

مقرر ٥٥٦ ترض
اختبار الجهد ووصفة النشاط البدني

تخطيط القلب في الراحة وفي الجهد البدني

المصدر:

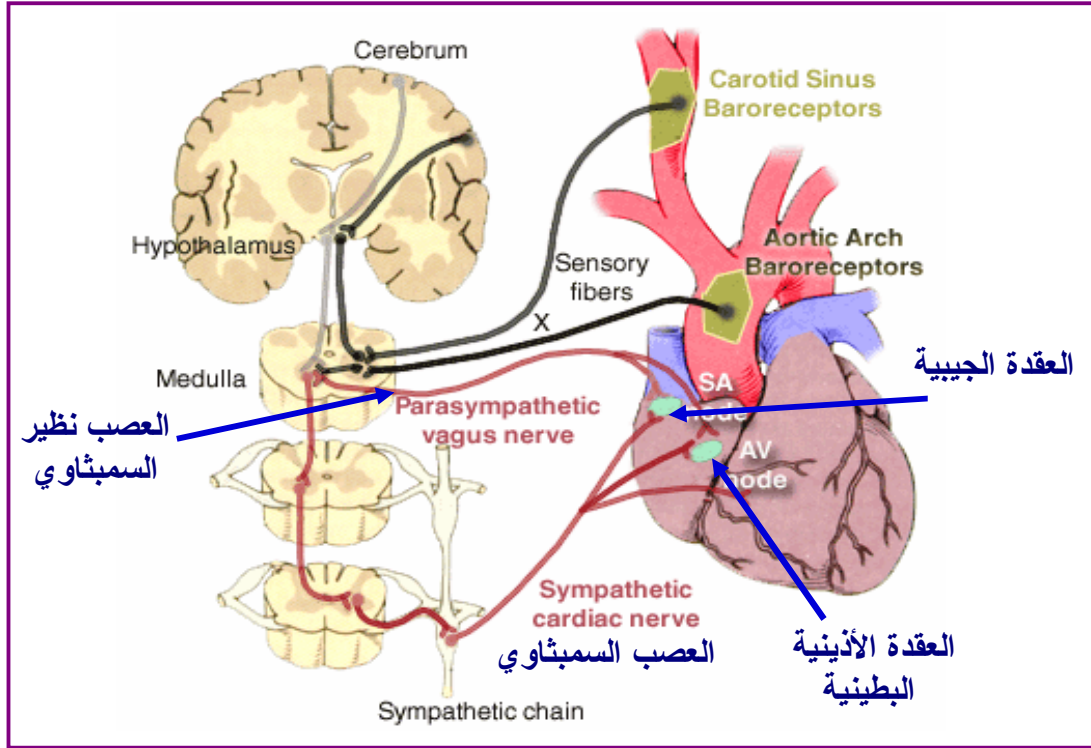
الهزاع، هزاع محمد. كتاب فسيولوجيا الجهد البدني: الأسس النظرية والإجراءات العملية للقياسات الفسيولوجية. الفصل الثاني عشر. إصدار جامعة الملك سعود. تحت الطبع.

جهاز التوصيل الكهربائي في القلب

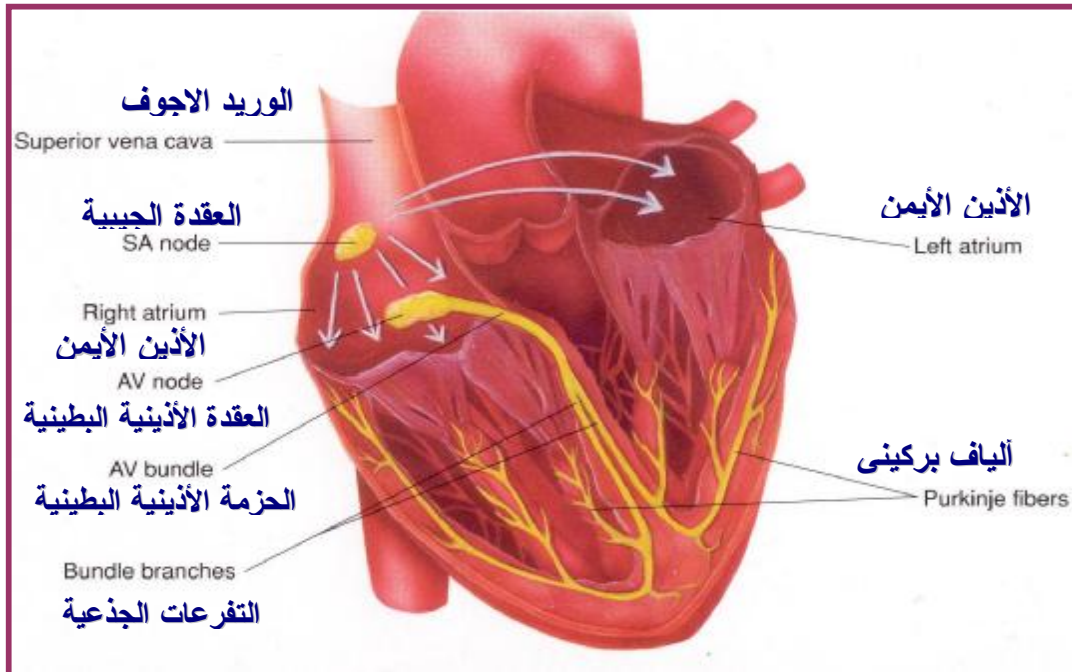
يتم استثارة عضلة القلب بواسطة موجات كهربائية تنشأ من العقدة الجيبية (sinus node)، وهي مجموعة خلايا متخصصة موجودة في جدار الأذنين الأيمن بالقرب من الوريد الأجوف العلوي. وتعد العقدة الجيبية ضابط إيقاع القلب، حيث تصدر منها الموجات الكهربائية بمعدل يتراوح من ٦٠ إلى ٨٠ مرة في الدقيقة. وهذا المعدل من الذبذبات الكهربائية الصادرة من العقدة الجيبية يجعلها بالفعل ضابطاً لإيقاع عضلة القلب، ذلك أن خلايا أخرى في عضلة القلب ومن ضمنها أنسجة البطينين تمتلك خاصية الإيقاع الذاتي، إلا أن تلك الخلايا الأخرى تصدر الذبذبات الكهربائية بمعدل أبطأ من معدل إصدار الذبذبات من قبل العقدة الجيبية (تصدر خلايا البطينين إيقاعاً ذاتياً بمعدل يصل إلى حوالي ٣٠ مرة في الدقيقة) (١، ١٠، ٣١، ٣٤).

يتصل بالعقدة الجيبية أعصاب سمبثاوية وأخرى نظير سمبثاوية، تقوم كل منها بإفراز موصلات عصبية من نهاياتها تؤثر على معدل صدور الذبذبات من العقدة الجيبية، حيث تفرز من النهايات العصبية السمبثاوية مادة النورإبينفرين التي تؤدي إلى إسرار معدل إصدار الموجات الكهربائية من العقدة الجيبية، وبالتالي زيادة معدل ضربات القلب في الدقيقة. أما النهايات العصبية نظير السمبثاوية فتفرز مادة الأسيتايل كولين، التي تؤدي إلى إبطاء معدل الموجات الصادرة من العقدة الجيبية وبالتالي إلى ببطء معدل ضربات القلب في الدقيقة. وعليه، فإن زيادة النشاط السمبثاوي أو خفض النشاط نظير السمبثاوي يؤدي إلى إسرار معدل ضربات القلب، بينما خفض النشاط السمبثاوي أو زيادة النشاط نظير السمبثاوي يقود إلى إبطاء معدل ضربات القلب. ومن المعروف أن الأذنين مزودين بشبكة من الأعصاب السمبثاوية ونظير السمبثاوية، أما البطينان فمزودان بشبكة من الأعصاب السمبثاوية فقط. ويوضح الشكل رقم (١٢-١) شبكة التوصيل العصبي السمبثاوي والنظير السمبثاوي لعضلة القلب (١، ١٠، ٣١، ٣٤).

وتشير عملية انتقال الذبذبات الكهربائية داخل عضلة القلب إلى أنها تسري أولاً من العقدة الجيبية إلى أن تنتشر في جميع أجزاء الأذنين، حتى تصل إلى العقدة الأذينية البطينية (AV node) التي تقع بين الأذنين الأيمن والبطين الأيمن تقريباً. تلتقط العقدة الأذينية البطينية الذبذبات الكهربائية وتوصلها بعد ذلك إلى جذع هس والفروع الجذعية ثم إلى ألياف بركيني وأخيراً إلى بقية أجزاء البطينين، كما هو موضحاً في الشكل رقم (١٢-٢).



شكل رقم (١٢-١): التأثير العصبي السمبثاوي ونظير السمبثاوي على القلب، وتظهر في الصورة أيضاً كل من العقدة الجيبية (SA node) والعقدة الأذينية البطينية (AV node).



شكل رقم (١٢-٢): جهاز التوصيل الكهربائي في القلب (أنظر المتن لمعرفة تفاصيل انتقال الإشارات الكهربائية داخل القلب).

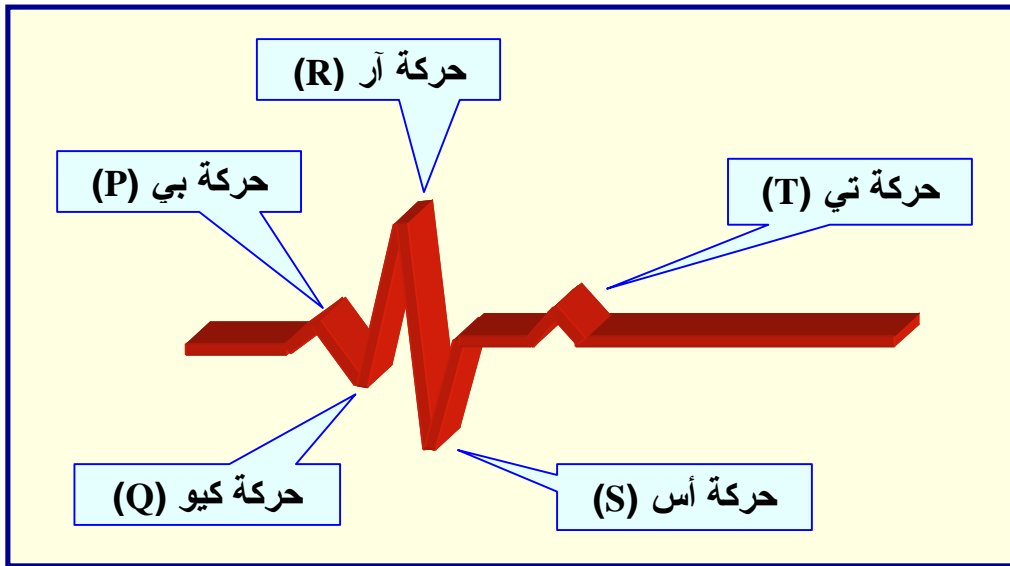
إن مرور الموجة الكهربية على الأذنين يقود إلى حدوث ما يسمى بزوال استقطاب الأذنين (Depolarization)، وهو تغير وقتي لتركيز الشحنات الكهربية داخل وخارج جدران الخلايا، ثم يتبع ذلك انقباض الأذنين. وبعد أن تصل الموجة الكهربية إلى البطينين فإنها تحدث أيضاً زوال استقطاب للبطينين، ومن ثم يتبع ذلك حدوث انقباض للبطينين. بعد ذلك يحدث عودة استقطاب للبطينين (Repolarization)، وهكذا تتكرر عمليات زوال الاستقطاب وعودة الاستقطاب لكل من الأذنين والبطينين ومع ما يتبعهما من انقباضاً وارتخاء لكل منهما. والجدير بالذكر أن عملية عودة استقطاب الأذنين تحدث أثناء حدوث عملية زوال استقطاب البطينين، ولذلك لا يمكن النقاط الجهد الكهربي لهذه العملية بواسطة أجهزة تخطيط القلب لأن الجهد الكهربي الناتج من زوال استقطاب البطينين يُعد الأكبر مما يجعله يلتقط الجهد الكهربي الناتج عن زوال استقطاب البطينين على حساب عودة استقطاب الأذنين (أنظر لاحقاً حركات رسم القلب).

وعلى الرغم من أن ألياف عضلة القلب تعد ألياف مخططة كما هو الحال بالنسبة للألياف العضلية الهيكلية، إلا أن خلايا القلب تتميز بوجود فترة كمون طويلة نسبياً (٢٥٠ ملي ثانية) بعد تنبيهها بالسيال العصبي، وهذا يعادل تقريباً الوقت الذي يحدث فيه انقباضها بعد التنبيه العصبي. ومن المعلوم أن فترة الكمون في خلايا الألياف العضلية الهيكلية تعد قصيرة، مما يسمح بحدوث حالة التجميع والتشنج العضلي لها. أما خلايا القلب فلا يمكن حدوث التجميع أو التشنج لها بفعل طول فترة كمونها (فترة الكمون - Refractory period - هي الفترة التي تفصل بين بداية التنبيه وجاهزية الخلية لاستقبال تنبيه آخر)، وعليه فلا يمكن تنبيه خلايا عضلة القلب إلا بعد انتهاء انقباضها من جراء التنبيه السابق. وتعد هذه الفترة الطويلة من الكمون عامل وقاية وصمام أمان لعضلة القلب، حيث أنها مضخة تستقبل الدم وتدفعه إلى بقية أجزاء الجسم الأخرى مما يعني أن عليها أن تضخ الدم ثم ترتخي حتى يمتلئ القلب بالدم ثم تعاود الضخ مرة أخرى وهكذا. ويعود سبب وجود فترة كمون طويلة في خلايا القلب إلى تثبيط قنوات الصوديوم (Na^+) على جدار الخلية حتى يحين موعد دخولها مرة ثانية بعد انتهاء مرحلة عودة الاستقطاب (Repolarized).

تخطيط القلب الكهربائي (ECG)

عرفنا أن القلب يصدر إشارات كهربية تنطلق من ضابط إيقاع القلب وهي العقدة الجيبية لتنتشر إلى بقية أجزاء القلب. وعند وضع مجسات (لاقطات) كهربية على الجلد في مواقع معينة من الصدر يمكن أن نلتقط هذه الإشارات الكهربية الصادرة من القلب ومن ثم

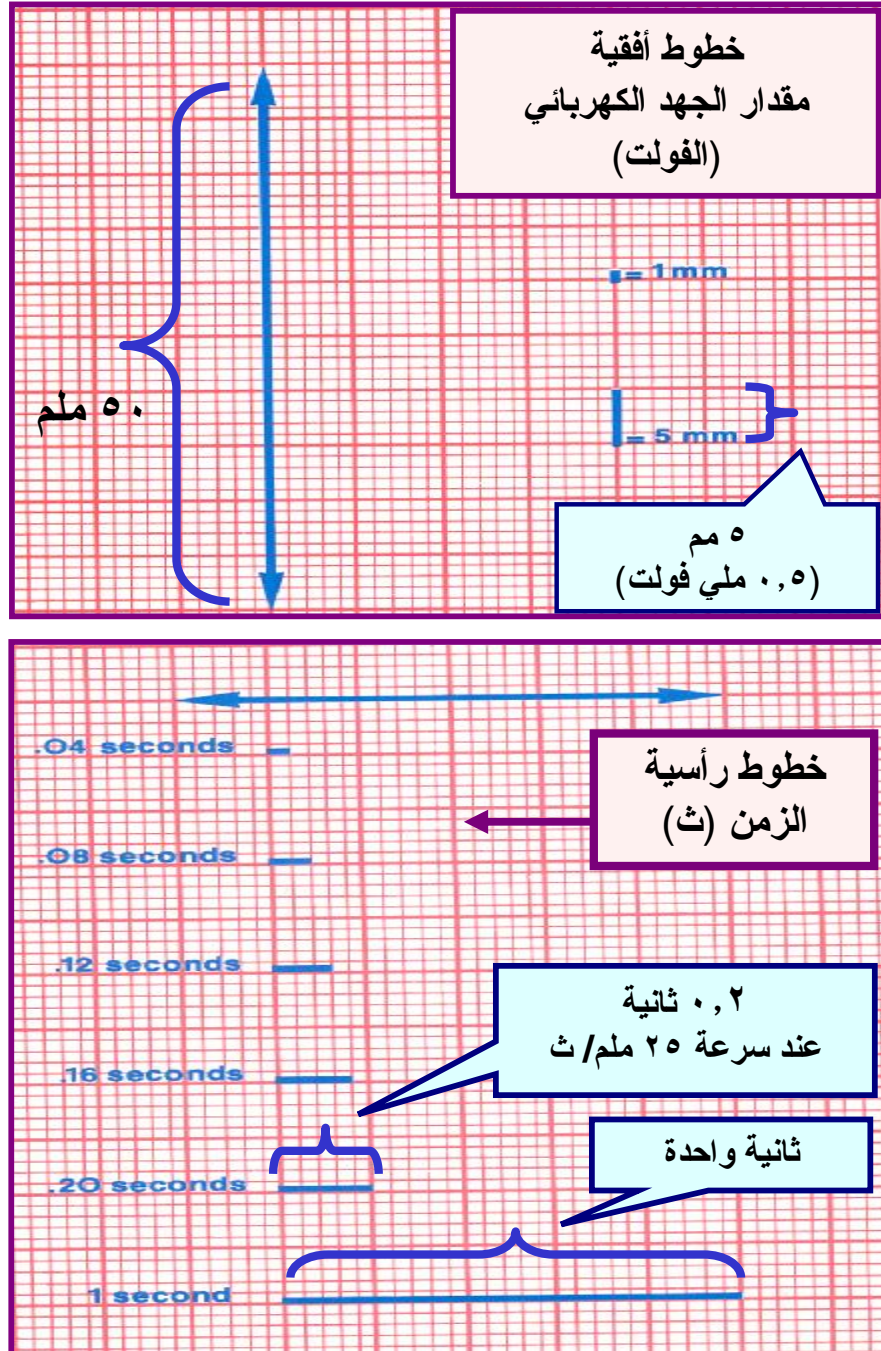
رسمها على جهاز تخطيط القلب. ورسم القلب (أو تخطيط القلب) يعطي معلومات عديدة ومهمة عن حالة القلب، وخاصة ما يتعلق بتروية شرايين القلب التاجية وانتظام ضرباته. ويبين الشكل التوضيحي رقم (١٢-٣) رسماً لدورة واحدة من تخطيط القلب الكهربائي، حيث تمثل حركة بي (P) زوال استقطاب الأذنين وتبدو الحركة صغيرة بسبب أن حجم العضلات في الأذنين صغير، بينما تمثل مجموعة حركات كيو آر أس (QRS) زوال استقطاب البطينين (تمثل موجة كيو Q زوال الاستقطاب عند موقع حزمة هس (His) بينما موجة آر زوال الاستقطاب من داخل البطين إلى خارجه وموجة أس زوال الاستقطاب لبقيّة البطين باتجاه الأعلى)، أما حركة تي (T) فتمثل عودة استقطاب البطينين بعد انتهاء مرحلة الانقباض. وكما أشرنا سابقاً لم تظهر حركة تمثل عودة استقطاب الأذنين في رسم القلب لأنها حدثت أثناء حدوث زوال استقطاب البطينين ولأن مقدار الجهد في زوال استقطاب البطينين أقوى من الجهد في عود استقطاب الأذنين فقد غطت عليها ولم تظهر في رسم القلب. ولكل حركة من الحركات الموضحة في الشكل رقم (١٢-٣) معنى ودلالة، سوف يتم التطرق لها لاحقاً في هذا الفصل.



شكل رقم (١٢-٣): تعريف بمسميات حركات تخطيط القلب (أو رسم القلب).

ويتم تسجيل تخطيط القلب على ورق رسم القلب الذي يدور بسرعة ٢٥ ملم في الثانية (يمكن في بعض الأجهزة زيادة السرعة إلى ٥٠ ملم في الثانية) ويتكون ورق رسم القلب من خطوط أفقية وأخرى عمودية، كما هو موضحاً في الشكل رقم (١٢-٤). وتتكون الخطوط الأفقية التي تمثل مقدار الجهد الكهربائي (الفولت) من خطوط رئيسية (عريضة) تبعد عن بعضها البعض مسافة ٥ ملم (يبلغ مقدار الجهد ٠,٥ ملي فولت) وخطوط فرعية (دقيقة) تبعد

عن بعضها مسافة ١ ملم (٠,١ ملي فولت). أما الخطوط العمودية فتتكون أيضاً من خطوط رئيسية (عريضة) تبعد عن بعضها مسافة ٥ ملم وخطوط فرعية (دقيقة) تبعد عن بعضها البعض مسافة ١ ملم، وتقدر مسافة المربعات الكبيرة بزمن مقداره ٠,٢ ثانية (عند سرعة ٢٥ ملم في الثانية) (١٢,١١).



شكل رقم (١٢ - ٤): ماذا تعني الخطوط الأفقية (الرسم العلوي من الشكل) والرأسية في رسم القلب (الرسم السفلي من الشكل)؟

ويمكن من خلال معرفة سرعة حركة الورق (التي عادة ما تكون ٢٥ ملم في الثانية) التعرف على معدل ضربات القلب بواسطة حساب المسافة بين حركتين متجاورتين من حركات آر (R)، فعند سرعة ٢٥ ملم في الثانية فإن ذلك يعني ١٥٠٠ ملم في الدقيقة، وبالتالي فعلينا أن نحسب المسافة بين حركة آر وأخرى مجاورة لها، فإذا وجدنا أن تلك المسافة مثلاً بلغت ٢٠ ملم فإننا نستطيع تحديد معدل ضربات القلب كالتالي: $١٥٠٠ \div ٢٠ = ٧٥$ ضربة في الدقيقة. هذا وسيأتي لاحقاً شرح مفصّل عن كيفية التعرف على ضربات القلب من خلال تخطيط القلب.

مسارات تخطيط القلب (ECG Leads)

يتكون تخطيط القلب في الراحة من ١٢ مساراً، تمثل المسارات الثنائية الأقطاب (Bipolar Leads) الثلاثة المسارات الأولى (I, II, III) وهي المسارات الاعتيادية (Standard). أما المسارات الثلاثة الأخرى فتمثلها المسارات الطرفية المعززة (Augmented Leads) وهي aVF, aVL, aVR. أما المسارات الستة الباقية فهي المسارات الصدرية (Precordial Leads)، وهي مسارات أحادية القطب (Unipolar Leads) وتتمثل في كل من (V1)، (V2)، (V3)، (V4)، (V5)، (V6)، وسنتطرق بشيء من التفصيل عن مسارات تخطيط القلب، وذلك كما يلي:

المسارات الثنائية الأقطاب (Bipolar Leads):

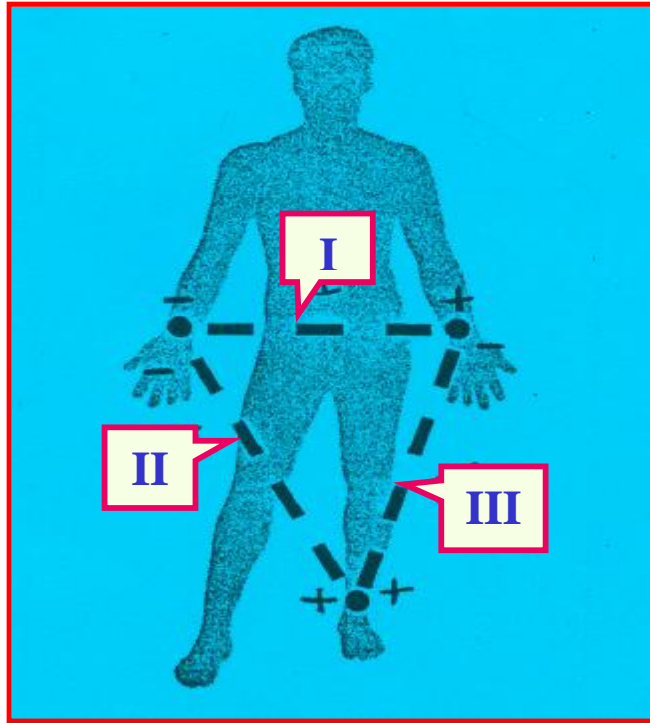
وهي المسارات الاعتيادية أو الأساسية (Standard Leads)، وتسمى أيضاً المسارات الثنائية الأقطاب لأنها تتكون من قطبين أحدهما موجب والآخر سالب، حيث يسجل جهاز تخطيط القلب الفرق في الجهد بين القطبين وتتكون هذه المسارات من المسار I والمسار II والمسار III وذلك على النحو التالي:

المسار I : ويتكون من المجس (electrode) الموضوع على اليد اليمنى (قطب سالب)، والمجس الآخر الموضوع على اليد اليسرى (قطب موجب).

المسار II : ويتكون من المجس (electrode) الموضوع على اليد اليمنى (قطب سالب)، والمجس الآخر الموضوع على الرجل اليسرى (قطب موجب).

المسار III : ويتكون من المجس (electrode) الموضوع على اليد اليسرى (قطب سالب)، والمجس الآخر الموضوع على الرجل اليسرى (قطب موجب).

وتكوّن المسارات الثلاثة هذه شكل مثلث يسمى "مثلث اينثوفن" نسبة إلى العالم الهولندي فيلم اينثوفن (Einthoven) الذي طور عملية تخطيط القلب (ECG) وحصل من جراء ذلك على جائزة نوبل في الطب عام ١٩٢٤م. ولقد أشار اينثوفن أيضاً إلى معادلة رياضية تربط المسارات الثلاثة، وهي أن ارتفاع الرسم (حركة التخطيط) في المسار I مضافاً إليه ارتفاع الرسم في المسار III يساوي ارتفاع الرسم في المسار II، ويوضح الشكل رقم (١٢-٥) أوضاع المسارات الثنائية الأقطاب.



شكل رقم (١٢-٥): مثلث اينثوفن ومجسات المسارات الثنائية الأقطاب (I, II, III)

المصدر: Davis, 1985, p. 5

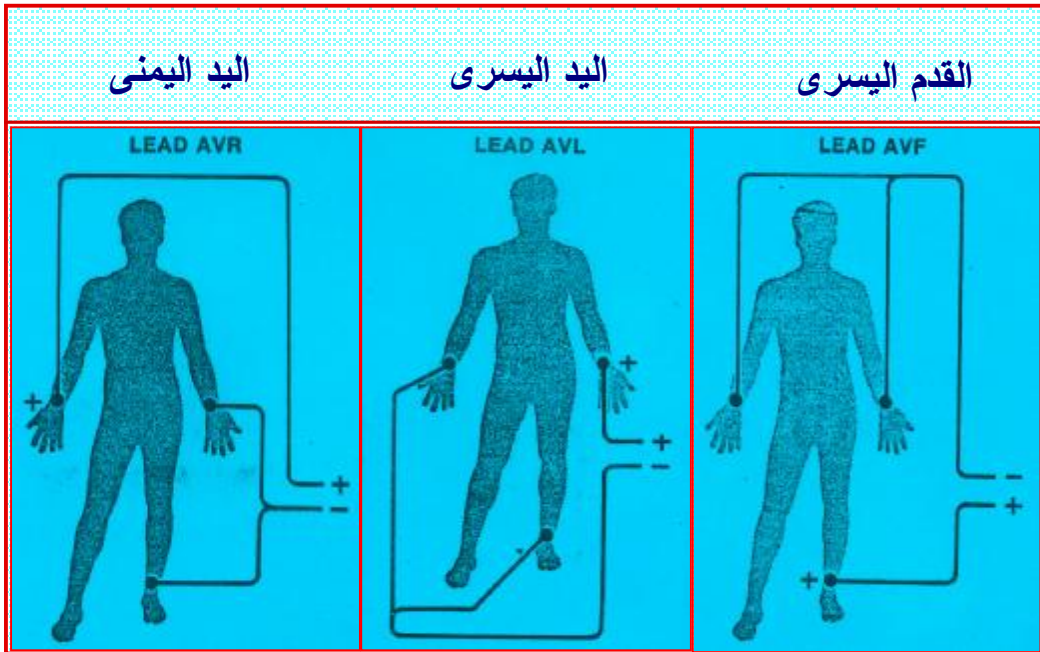
أما اتجاه الرسم فيحدده اتجاه الإشارات نحو المحور (Axis) الموجب أو السالب، حيث تعطي الإشارات المتجهة إلى محور المسار الموجب حركة ذات اتجاه موجب (—)، بينما تعطي الإشارات المتجهة إلى محور المسار السالب حركة ذات اتجاه سالب (—). أما الإشارات المتجهة عمودياً نحو محور المسار فتعطي حركة متساوية في الاتجاهين (—).

المسارات الطرفية المعززة (Augmented Leads):

وهذه تأخذ نفس المواقع المكونة للمسارات الاعتيادية السابقة الذكر (اليد اليسرى، واليد اليمنى، والرجل اليسرى)، إلا أنها ذات تشكيل مختلف، كما هو موضحاً في الشكل رقم (١٢) - (٦). وهذه المسارات تعد أحادية القطب حيث تستخدم إما اليد اليسرى أو اليمنى أو الرجل اليسرى كقطب موجب، مع اعتبار المسارين الآخرين كقطب مرجعي، ونظراً لانخفاض مقدار قوة الفولت في هذه التشكيلة من المسارات (بسبب انعدام القطب السالب) فكان لزاماً على جهاز تخطيط القلب (EGC) أن يعزّز مقدار الفولت ويزيده ليصبح مشابه في شدته للمسارات الأخرى (الثنائية الأقطاب)، ومن هنا جاءت التسمية المعززة أو المزيّدة (Augmented)، هذا وتتكوّن المسارات الطرفية المعززة من الآتي:

المسار الطرفي المعزّز لليد اليمنى (AVR):

وتكون اليد اليمنى هي القطب الموجب، مع بقاء القطبين الآخرين في اليد اليسرى والرجل اليسرى كقطب مرجعي (Reference). ويسجل هذا المسار النشاط الكهربائي في القلب من اتجاه اليد اليمنى.



شكل رقم (١٢-٦): وضع المسارات الطرفية المعززة (aVR , aVL, aVF)

المصدر: Davis, 1985, p.5,6.

المسار الطرفي المُعزّز لليد اليسرى (AVL Lead):

وتكون فيه اليد اليسرى هي القطب الموجب، مع بقاء القطبين الآخرين في اليد اليمنى والرجل اليسرى كقطب مرجعي، ويسجل هذا المسار النشاط الكهربائي في القطب في اتجاه اليد اليسرى.

المسار الطرفي المُعزّز للرجل اليسرى (AVF Lead):

وتكون فيه الرجل اليسرى هي القطب الموجب، ويبقى القطبان الموجودان في اليد اليمنى واليد اليسرى كقطب مرجعي. ويسجل هذا المسار النشاط الكهربائي في القلب من اتجاه أسفل القلب.

المسارات الصدرية (Precordial Lead):

وهي مكونة من ستة مسارات أحادية القطب، وتتنظر هذه المسارات إلى النشاط الكهربائي في القلب من وضع أفقي وبزوايا مختلفة كما هو موضح في الشكل رقم (٧-١٢)، وفيما يلي قائمة بالمسارات الصدرية وكيفية وضع المجسات (Electrodes) على الصدر لكل مسار:

V1 = فوق الفراغ البين ضلعي الرابع في الجهة اليمنى من عظم القص.

V2 = فوق الفراغ البين ضلعي الرابع في الجهة اليسرى من عظم القص.

V3 = بين V2 و V4

V4 = فوق الفراغ البين ضلعي الخامس على خط مقابل لمنتصف عظم الترقوة.

V5 = فوق الفراغ البين ضلعي الخامس إلى اليسار من الخط الأمامي للإبط.

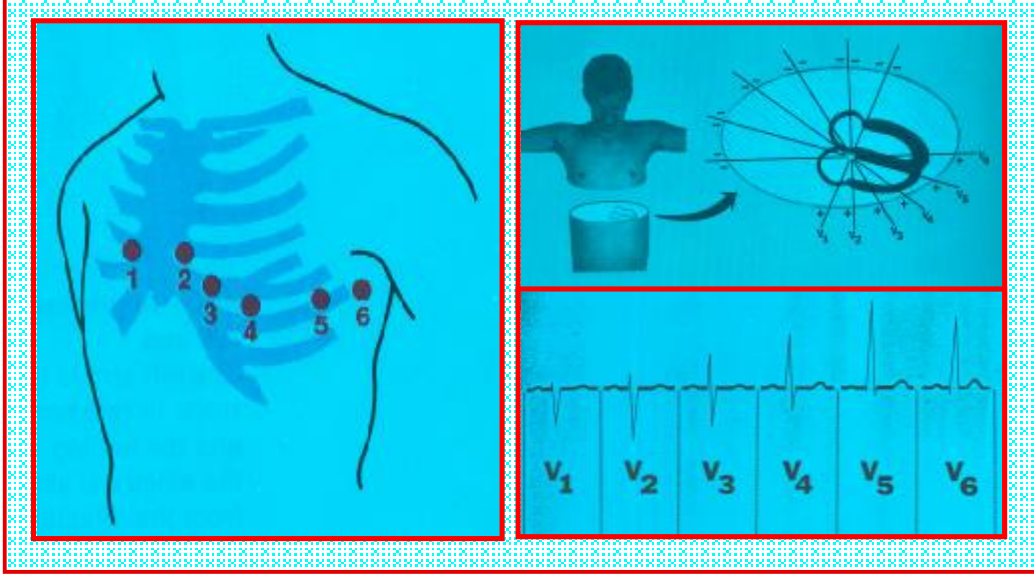
V6 = فوق الفراغ البين ضلعي الخامس إلى اليسار من منتصف خط الإبط.

وتتنظر المسارات الصدرية إلى القلب من زوايا مختلفة، حيث يكون موقع V1 و V2 فوق البطين الأيمن، ويكون موقع V3 , V4 فوق الحاجز البطيني للقلب (Interventricular septum)، بينما يكون موقع V5 , V6 فوق البطين الأيسر.

أجزاء رسم القلب: المعدلات الطبيعية والدلالات

لكل حركة من حركات رسم القلب معنى، كما أن لكل جزء من أجزاء هذه الحركات توقيت محدد وحجم معين وشكل معروف، إذا أختل هذا التوقيت أو تغيير شكل الرسم فإن هذا يشير إلى حالة مرضية في القلب أو مشكلة فيه، وسنستعرض فيما يلي بعض من أهم حركات

رسم القلب ومعدلاتها الطبيعية وكذلك الدلالات المرضية لتلك الاختلافات التي تحيد عن المعدلات الطبيعية (٧) :



شكل رقم (١٢-٧): وضع المجسات الصدرية أثناء تخطيط القلب، وكيفية النقاط المسارات الصدرية للنشاط الكهربائي في القلب. المصدر: .Davis, 1985, p.5, 6.

فترة P-R :

المعدل الطبيعي لها ٠,١٢ - ٠,٢٠ ثانية والزيادة عن ٠,٢٠ ثانية تعني حالة حصار قلبي للعقدة الأذينية البطينية (AV Block)، أي إعاقة انتقال الإشارة الكهربائية إلى العقدة الأذينية البطينية، أما النقصان عن ٠,١٢ ثانية فيعني حالة تسرع في التوصيل الأذيني.

حركة QRS :

المعدل الطبيعي لها هو ٠,٠٤ إلى ٠,١٠ ثانية، وفي حالة وصولها إلى ٠,١١ ثانية أو أكثر فيعني ذلك اضطراب في عملية توصيل الإشارات في عضلة القلب.

حركة ST :

لا يجب أن تكون مرتفعة أو منخفضة بأكثر من ١ مم، وهي مؤشر حساس للتروية التاجية في القلب، فارتفاعها عن الحد الطبيعي يعني أي من الاحتمالات التالية: إصابة القلب بتلف، أو نقص تروية، أو التهاب غشاء التامور، أو اضطراب في المنحلات (Electrolyte)، أما انخفاضها عن الحد الطبيعي فيعني أي من الحالات السابقة أو بفعل تأثير دوائي.

فترة QT :

هذه تعتمد على معدل ضربات القلب، فعلى سبيل المثال لا ينبغي أن تزيد عن ٠,٣٧ ثانية ولا تقل عن ٠,٣٠ ثانية عند ضربات قلب تساوي ٨٥ ضربة في الدقيقة.

موجة Q :

تكون أقل من ٠,٠٤ ثانية، وتمثل أقل من ٢٥% لطول موجة R (باستثناء مسار III ، V1)، وفي حالة زيادتها عن الحدود الطبيعية فيعني ذلك وجود ذبحة قلبية (infarction)، أو اضطراب في توصيل الإشارات، أو اعتلال عضلة القلب (Cardiomyopathy)، أو أمراض تنفسية (COPD).

محور QRS :

يتراوح المحور الطبيعي بين - ٣٠ درجة و + ١١٠ درجة، وعندما يكون أقل من - ٣٠ درجة فيعني انحراف محور القلب إلى اليسار (بسبب تضخم القلب، أو موت جزء من عضلة القلب)، أما تجاوزه + ١١٠ درجة فيعني انحراف محور القلب إلى اليمين (بسبب تضخم البطين الأيمن، أو موت جزء من عضلة القلب، أو بسبب أمراض الرئتين).

معدل ضربات القلب:

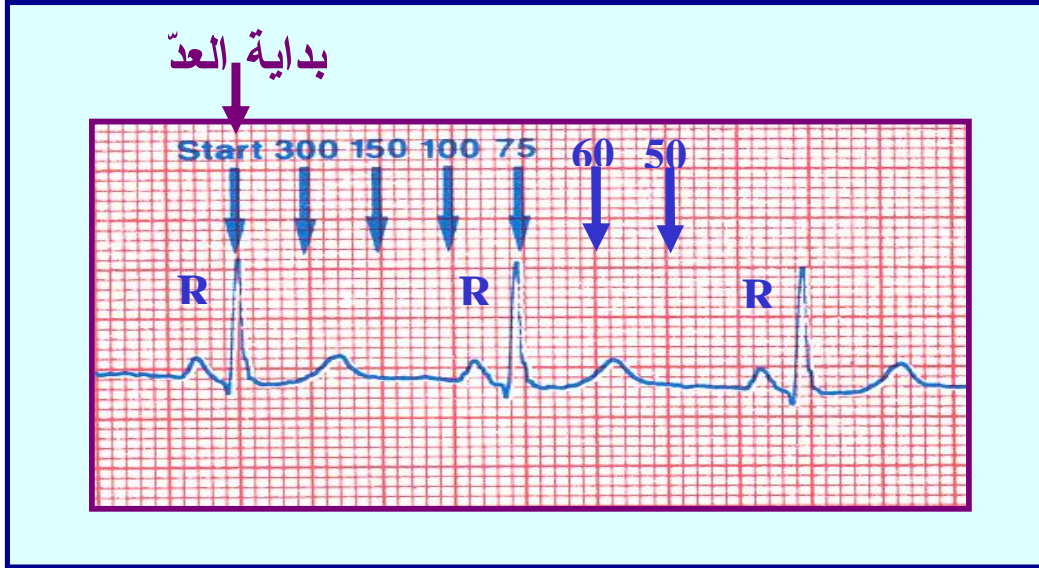
المعدل الطبيعي لعدد ضربات القلب في حالة الراحة لدى الإنسان هو من ٦٠ - ١٠٠ ضربة في الدقيقة، وفي حالة انخفاض معدل ضربات القلب في الراحة عن ٦٠ ضربة في الدقيقة، فيعني ذلك حالة بطء في معدل ضربات القلب (Bradycardia) أما عند تجاوز معدل ضربات القلب ١٠٠ ضربة في الدقيقة أثناء الراحة فتسمى هذه الحالة بتسارع ضربات القلب أو خفقان القلب (Tachycardia). ومن المعلوم أن معدل ضربات القلب أثناء الزفير يكون أبطأ مما هو في حالة الشهيق، وذلك ناتجاً من زيادة الضغط داخل القفص الصدري أثناء عملية الشهيق.

تحديد معدل ضربات القلب من رسم القلب

يمكن تحديد معدل ضربات القلب من رسم القلب بأي من الطريقتين التاليتين:

- ١- حساب الزمن (بالثواني) بين حركتين متجاورتين من حركات آر (R) ثم يُقسم الرقم ٦٠ على الناتج (أنظر إلى الشكل رقم ١٢-٤ حول كيفية حساب الزمن).
- ٢- الطريقة الأخرى وهي الأسرع وتعطي الانطباع العام عن ضربات القلب، وذلك بقسمة الرقم ٣٠٠ على عدد المربعات الكبرى (الكاملة) التي بين حركة آر (R) وأخرى مجاورة لها، فإذا كان بينهما مربعين فالمعدل هو ١٥٠ ضربة في الدقيقة، وإذا كان بينهما ٣

مربعات كاملة فإن معدل ضربات القلب هو ١٠٠ ضربة في الدقيقة، وإذا كان بينهما ٤ مربعات كاملة فإن المعدل هو ٧٥ ضربة في الدقيقة، أما إذا كان بينهما ٥ مربعات كاملة فإن معدل ضربات القلب هو ٦٠ ضربة في الدقيقة، وإذا كان بينهما ٦ مربعات كاملة فإن معدل ضربات القلب هو ٥٠ ضربة في الدقيقة. (أنظر إلى الشكل رقم ١٢-٨).

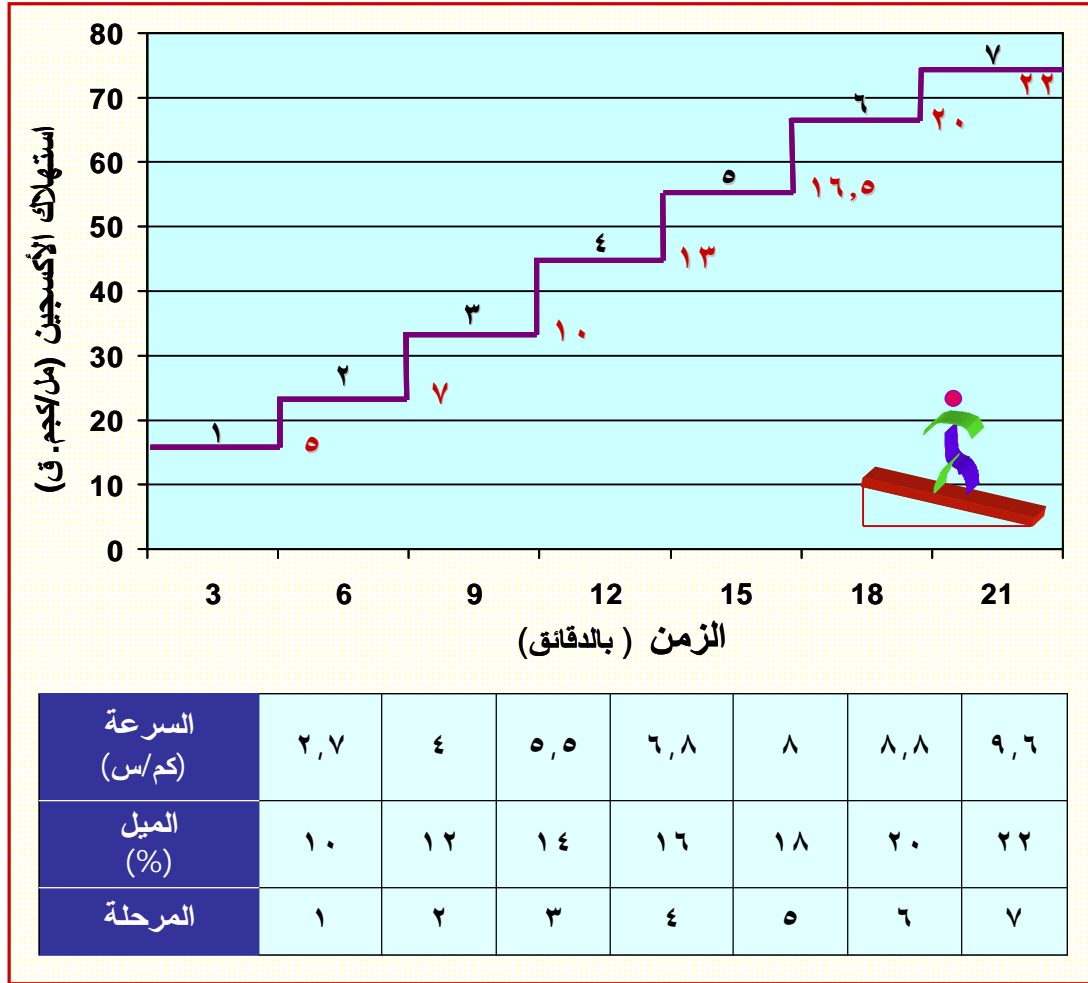


شكل رقم (١٢-٨): كيفية تقدير معدل ضربات القلب بصورة عاجلة من خلال النظر إلى عدد المربعات الكبيرة التي تفصل بين حركتي أر متجاورتين. المصدر: Davis, 1985, p. 36.

تخطيط القلب أثناء اختبار الجهد البدني

يتم عادة إجراء تخطيطاً للقلب أثناء اختبار الجهد البدني، خاصة بغرض الكشف على أمراض القلب، ويستخدم في هذه الحالة تخطيط القلب ذي ١٢ مساراً (كما في الراحة). وغالباً ما يتم خلال الاختبار قياس ضغط الدم بالإضافة إلى معدل ضربات القلب ورسم القلب. ويسمى عادة هذا الاختبار باختبار الجهد البدني (stress Testing) أو اختبار الجهد البدني التدرجي (Graded Exercise Testing)، ويتم إجراء الاختبار باستخدام السير المتحرك أو دراجة الجهد. ومن أشهر البروتوكولات المستخدمة في هذا الصدد بروتوكول بروس (Bruce)، وبرتوكول ايلستاد (Ellestad)، وبروتوكول ناتن (Naughton)، وبروتوكول بلكي (Balke)، وكل هذه البروتوكولات تستخدم السير المتحرك كوسيلة لإجهاد المفحوص، ويوضح الشكل رقم (١٢-٩) رسماً بيانياً لبروتوكول بروس، وما يقابل كل مرحلة من مراحل الاختبار السبعة من استهلاك للأكسجين (ملي لتر/ كجم. دقيقة)، وكذلك مقدار المكافئ الأيضي (الذي يعني مضاعفات استهلاك الأكسجين في الراحة - الذي يبلغ ٣,٥ ملي لتر/ كجم في الدقيقة)، علماً

بأن بروتوكول بروس المعدل (Modified Bruce) يتضمن مرحلتين قبل المراحل الموضحة في الشكل رقم (١٢-١٠) تكون السرعة في الأولى منها ١,٧ كم في الساعة والميل يساوي صفرًا وفي الثانية ٥%. كما يوضح الجدول رقم (١٢-١) بروتوكول كل من بلكي ٢، وناتن، وإليستاد الذي يتكون من أربع مراحل فقط، علماً بأن هناك بروتوكول بلكي ١ الذي يعد أقدم من البروتوكول رقم ٢، ويتكون من ١٥ مرحلة مدة كل مرحلة دقيقة واحدة والسرعة ثابتة عند ٥,٣ كم في الساعة والميل يزداد بنسبة ١% عند كل مرحلة. ويعد بروتوكول ناتن أسهل في بداياته من البروتوكولات الأخرى، لذا فهو يناسب كبار السن والأفراد غير القادرين على بذل الجهد البدني، أما الأصغر سناً أو النشيطين بدنياً فغالباً ما يتم استخدام اختبار بروس لهم (٢٠٠٧، ٢٣، ٢٦).



شكل رقم (١٢-٩): بروتوكول بروس للجهد البدني التدريجي باستخدام السير المتحرك، وتظهر في الرسم المراحل السبع (الأرقام ذات اللون الأسود) وما يعادل ذلك بالمكافئ الأيضي (الأرقام ذات اللون الأحمر) ويظهر على المحور الصادي مقادير استهلاك الأوكسجين. المصدر بعد التعديل والإضافة: Franklin B, et al. Sport Med, 1997, 24 (2): 101.

جدول رقم (١٢ - ١): مواصفات بروتوكولات بلكي ٢، وناتن، وإليستاد.

بروتوكول إليستاد Ellestad			بروتوكول ناتن Naughton			بروتوكول بلكي ٢ Balke II			
الميل %	السرعة كم/ساعة	مدة المرحلة	الميل %	السرعة كم/ساعة	مدة المرحلة	الميل %	السرعة كم/ساعة	مدة المرحلة	عدد المراحل
١٠	٢,٧	ثلاث دقائق	صفر	١,٦	ثلاث دقائق	صفر	٤,٨	دقيقتان	١
١٠	٤,٨	دقيقتان	صفر	٢,٤	ثلاث دقائق	٢,٥	٤,٨	دقيقتان	٢
١٠	٦,٤	دقيقتان	صفر	٣,٢	ثلاث دقائق	٥	٤,٨	دقيقتان	٣
١٠	٨	ثلاث دقائق	٣,٥	٣,٢	ثلاث دقائق	٧,٥	٤,٨	دقيقتان	٤
			٧	٣,٢	ثلاث دقائق	١٠	٤,٨	دقيقتان	٥
			٥	٤,٨	ثلاث دقائق	١٢, ٥	٤,٨	دقيقتان	٦
			٧,٥	٤,٨	ثلاث دقائق	١٥	٤,٨	دقيقتان	٧
			١٠	٤,٨	ثلاث دقائق	١٧, ٥	٤,٨	دقيقتان	٨
			١٢, ٥	٤,٨	ثلاث دقائق	٢٠	٤,٨	دقيقتان	٩
			١٥	٤,٨	ثلاث دقائق	٢٢, ٥	٤,٨	دقيقتان	١٠

ومن الجدير بالذكر أنه عندما يتم إجراء اختبار الجهد البدني بأثنتي عشر مسار (12- Lead ECG) فإن المجسات الصدرية توضع في مكانها الاعتيادي (كما في تخطيط القلب في الراحة)، أما مجسات اليد اليمنى واليسرى فتوضع على الكتفين الأيسر والأيمن في الجزء

البعيد من عظم الترقوة، أما مجسي الرجل اليمنى واليسرى فتوضع في المنطقة الأنسية من أعلى الوركين. وعند إجراء اختبار الجهد البدني للأصحاء وخاصة الشباب منهم، بغرض قياس كفاءتهم الفسيولوجية، فإننا عادة ما نكتفي بإجراء تخطيط القلب باستخدام مساراً واحداً على قناة تخطيط واحدة (One lead channel)، حيث تقل احتمالات حدوث نقص في التروية في عضلة القلب لديهم. وغالباً ما يستخدم في هذه الحالة المسار الصدري المعدل (Modified chest lead) في الموقع الصدري رقم ٥ (V5)، أو ما يسمى (CM5). علماً بأنه يتم ملاحظة معدل ضربات القلب أثناء الاختبار ومدى انتظامها، وأي تغيرات ملحوظة في أجزاء رسم القلب أو الفترات الفاصلة بين حركاته. ولمزيد من البروتوكولات المستخدمة في قياس الكفاءة القلبية التنفسية للرياضيين والأصحاء، يمكن الرجوع إلى الفصل السابع عشر.

ويوضح الجدول رقم (١٢-٢) مقادير المكافئ الأيضي المتوقعة أثناء استخدام البروتوكولات الشائعة السابقة الذكر، علماً بأنه يمكن تقدير استهلاك الأكسجين بالملي لتر لكل كجم من وزن الجسم في الدقيقة عند كل مرحلة وذلك بضرب المكافئ الأيضي بالرقم ٣,٥.

جدول رقم (١٢-٢): مقادير المكافئ الأيضي المتوقعة في بعض اختبارات الجهد البدني الشائعة الاستخدام.

المرحلة (Stage)	بروس (Bruce)	بروس المعدل (Modified Bruce)	بلكي (Bulke)	ناتن (Naughton)
١	٤,٦	٢,٣	٣,٦	١,٨
٢	٧,٠	٣,٥	٤,٥	٣,٥
٣	١٠,٢	٤,٦	٥,٠	٤,٥
٤	١٢,١	٧,٠	٥,٥	٥,٤
٥	١٤,٩	١٥,٢	٥,٩	٦,٤
٦	١٧,٠	١٢,١	٦,٤	٧,٤
٧	١٩,٣	١٤,٩	٦,٩	٨,٣

المصدر: Heyward V, Advanced Fitness Assessment & Exercise Prescription, 2002

بروتوكولات دراجة الجهد

تعتمد بروتوكولات دراجة الجهد على عدة عوامل منها عمر الشخص وكتلة جسمه ولياقته البدنية، وعادة ما يتم إجهاد المفحوص في فترة لا تزيد عن ١٢ دقيقة. وغالباً ما يبدأ البروتوكول بعبء يساوي صفراً، ثم زيادة القدرة بمعدل ١٥-٣٠ شمعة كل دقيقة أو دقيقتين حتى التعب. غير أنه يمكن البدء بقدرة تساوي ٢٥-٥٠ شمعة في حالة الأشخاص ذوي اللياقة البدنية الجيدة. وبالنسبة للأطفال فهناك عدة بروتوكولات مخصصة لهم، يتم فيها استعمال دراجة الجهد، ومن بين تلك البروتوكولات ما هو موضحاً في الجدول رقم (١٢-٣)، الذي يعتمد فيه العبء على طول الطفل^(٩).

من الملاحظ أن هناك اختلاف في استجابة مرضى القلب للجهد البدني باستخدام دراجة الجهد في وضع الجلوس (Upright) مقارنة بوضع الاستلقاء (Supine)، حيث يزداد ضغط امتلاء البطين الأيسر (Preload) بشكل أكبر أثناء الاختبار في وضع الاستلقاء مقارنة بوضع الجلوس، وبالتالي فإن حجم الدم في البطين الأيسر يكون أكبر، مما يقود إلى حدوث انخفاض أكبر في جزء أس تي (ST segment depression) في تخطيط القلب، ولهذا فإن الذبحة الصدرية تحدث عند مستوى أقل من الناتج المزدوج (Double product) في وضع الاستلقاء مقارنة بوضع الجلوس^(١٤).

جدول رقم (١٢-٣): بروتوكول الجهد البدني التدريجي للأطفال باستخدام دراجة الجهد.

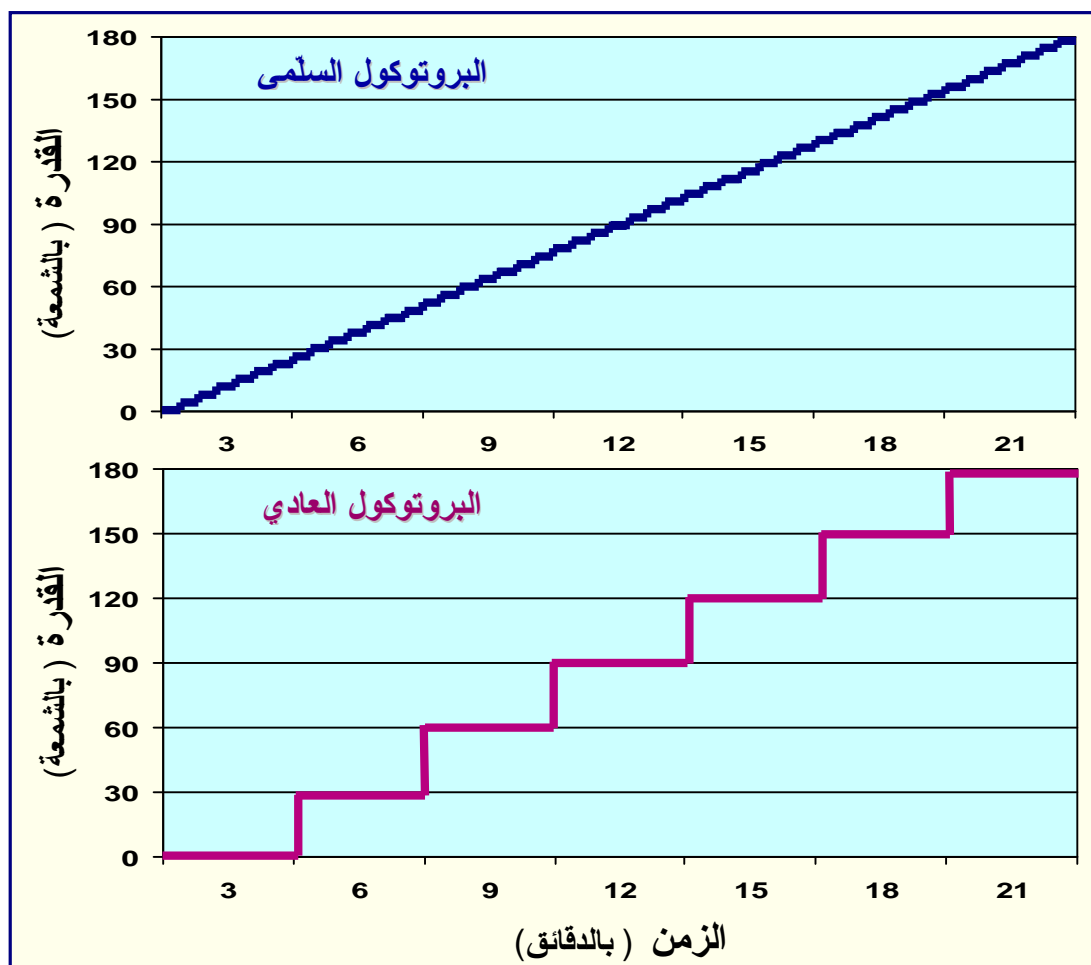
طول الجسم (سم)	بداية العبء (شمعة)	زيادة العبء (شمعة)	زمن المرحلة (دقيقة)
١٢٠ >	١٢,٥	١٢,٥	٢
١٣٩,٩ - ١٢٠	١٢,٥	٢٥	٢
١٥٩,٩ - ١٤٠	٢٥	٢٥	٢
١٦٠ <	٢٥	٢٥	٢

المصدر: Bar-Or, In: exercise Testing & Prescription, 1987

البروتوكول السلمى (المتصاعد):

ازداد في الآونة الأخيرة الاهتمام باستخدام بروتوكولات شخصية عند إجراء اختبار الجهد البدني، حيث من المعروف أن الأفراد يختلفون فيما بينهم البعض في مستوى لياقتهم البدنية، ونشاطهم البدني، وكتلة أجسامهم، وأعمارهم، وشدة المرض لديهم. ومن هذه البروتوكولات ما يسمى بالبروتوكول السلمى أو المتصاعد (Ramp protocol). ويتم في هذا

البروتوكول وضع أعباء جهدية صغيرة (من خلال السرعة والميل بالنسبة للسير المتحرك، والمقاومة وسرعة دوران العجل بالنسبة للدراجة) لكنها بصورة متصاعدة على مدار الوقت المخصص للاختبار ، والذي غالباً ما يكون في حدود ١٠ دقائق. أي لا يوجد مراحل في هذا النوع من البروتوكول. ويكون الغرض من الاختبار هو إجهاد المفحوص في حدود ١٠ دقائق بغض النظر عن لياقته البدنية، وللقيام بذلك يتم أولاً تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين المتوقع للشخص وكذلك العبء الجهدى الأقصى له، ثم تقسيم هذا العبء على ١٠ دقائق للحصول على التصاعد المطلوب في العبء (مثلاً: لو أن أحداً تم تقدير أقصى قدرة له بما يعادل ٢٠٠ شمعة، فيتم تقسيم ذلك على ١٠ دقائق، لنحصل على ٢٠ شمعة في الدقيقة، أي أن العبء سيزداد بمعدل شمعة واحدة كل ثلاث ثواني طوال فترة الاختبار). ويشير مؤيدو هذا النوع من البروتوكول إلى أنه أكثر ارتباطاً مع الطاقة المصروفة أثناء فترات الاختبار (بالمكافئ الأيضي)، ويعد هذا البروتوكول في نظر مؤيديه أكثر دقة وثباتاً في اكتشاف التغيرات التي يمكن أن تحدث في حركة أس تي (ST) في تخطيط القلب (٢٦، ٢٧)، ويوضح الشكل البياني رقم (١٢-١٠) الفرق بين البروتوكول العادي (ذو المراحل الممتدة) والبروتوكول السلمى المتصاعد.



شكل رقم (١٢ - ١٠): الفرق بين نمط زيادة العبء الجهدى بين البروتوكول العادى ذى المراحل (الرسم السفلى) والبروتوكول السلمى المتصاعد (الرسم العلوى).

التغيرات غير الطبيعية فى تخطيط القلب أثناء الجهد البدنى

فى الفقرات التالية سيتم التطرق باختصار إلى أهم التغيرات غير الطبيعية التى تحدث فى رسم القلب أثناء الجهد البدنى، خاصة تلك المتعلقة بنقص التروية فى الشرايين التاجية. ونظراً لأن التغيرات الأكثر ارتباطاً بنقص التروية لعضلة القلب تكون فى جزء أس تى (ST segment) لذا سيتم التركيز عليها، علماً بأن التغيرات فى جزء أس تى (ST) تمتلك دقة تشخيصية عالية على إثبات المرض (Sensitivity) بدون فقدان القدرة على استبعاد المرض (Specificity)، وسيأتى لاحقاً مزيداً من الشرح عن القيمة التشخيصية لاختبار الجهد البدنى.

• انخفاض جزء أس تى (ST segment depression):

يعد انخفاض جزء أس تى أكثر المؤشرات شيوعاً للدلالة على حدوث نقص التروية لعضلة القلب (Ischemia). ويمثل هذا النقص فى التروية الجزء من عضلة القلب المسمى تحت الشغاف (Subendocardial). ويحدث الانخفاض على هيئتين، إما انخفاض أفقى (Horizontal) أو منحدر (Downsloping)، ويعد الانخفاض المنحدر أكثر دلالة على حدوث نقص التروية من الانخفاض الأفقى، ويبلغ معيار الانخفاض ٠,١٠ ملي فولت أو أكثر (أي مسافة ١ ملم أو أكثر) وكلما ازداد الانخفاض تأكد التشخيص على وجود نقص التروية، علماً بأن هناك عوامل أخرى بالإضافة إلى انخفاض أس تى تسهم فى الدلالة على حدة أمراض الشرايين التاجية، مثل: متى حدث الانخفاض (أي فى أى مرحلة من الجهد)، ومدة بقاء الانخفاض، وعدد المسارات التى حدث فيها الانخفاض، ويرتبط استمرار انخفاض حركة أس تى أثناء فترة الاسترداد (Recovery) بشدة المرض. ويوضح الشكل رقم (١٢-١١) رسماً لتخطيط القلب (المسار الصدرى الخامس V5) فى ثلاث حالات هى: تخطيط القلب فى الراحة، وتخطيط القلب أثناء الجهد، وتخطيط القلب بعد ٦ دقائق من التوقف عن الجهد، وتظهر فى الرسم الأوسط (أثناء الجهد) انخفاض أس تى، على الرغم من عدم وجودها فى الراحة أو بعد التوقف عن الجهد^(١٦).

• ارتفاع جزء أس تى (ST segment Elevation):

يعتمد ارتفاع أس تي على ما إذا كان الشخص قد سبق له أن أصيب باحتشاء قلبي (Myocardial infarction) أم لا ؟ ففي حالة حدوث احتشاء قلبي سابق فارتفاعها مؤشر على حدوث الاحتشاء السابق، ويعتمد مقدار الارتفاع على مقدار التلف الحاصل في عضلة القلب (من خلال التغير في موجة كيو Q). أما في حالة عدم وجود احتشاء سابق في عضلة القلب، فإن ارتفاع أس تي يعد مؤشر على حدوث نقص شديد في تروية عضلة القلب بالدم من جراء ضيق شرايين القلب التاجية، أو حدوث تشنج (Spasm) لعضلة القلب (١٥).



شكل رقم (١٢-١١): تخطيط القلب أثناء الراحة (الجزء الأعلى من الشكل) وأثناء الجهد البدني (الجزء الأوسط من الشكل) وبعد ٦ دقائق من الاسترداد (الجزء الأسفل من الرسم)، ويظهر انخفاض جزء أس تي (ST segment Depression) كما هو مؤشر عليها بالسهم الأحمر. (المصدر: Franklin, ACSM's Health & Fitness J, 2000)

القيمة التشخيصية لاختبار الجهد البدني مع تخطيط القلب

يتم التحقق من وجود أمراض القلب التاجية لدى الشخص بناءً على التغيرات التي تحدث في تخطيط القلب أثناء اختبار الجهد البدني. وتعتمد دقة الاختبار في الكشف عن وجود ضيق في شرايين القلب التاجية على عدة عوامل منها: مدى شيوع المرض لدى العينة المراد

إجراء الاختبار لها، فقدرة الاختبار على الكشف عن ضيق في شرايين القلب تزداد عندما تكون العينة تحت الفحص من كبار السن، ويعانون من ألم في الصدر، وعندما يتم إجهادهم إلى أقصى حد ممكن، وكذلك عند استخدام معايير أقل شدة وصرامة للحكم على التغير الحاصل في جزء أس تي (مثلاً ١ ملم بدلاً من ٢ ملم).

ولمعرفة درجة الدقة والموثوقية التي يمكن أن يصل إليها اختبار الجهد البدني في الكشف عن أمراض القلب التاجية تتم مقارنة نتائج اختبار الجهد البدني مع نتائج قسطرة القلب (التي تعد المحك Criterion)، وبناءً على ذلك يتكون لدينا واحدة من الحالات الأربع التالية:

• **نتيجة إيجابية صحيحة (True positive):** ويرمز لها اختصاراً بالرمز (TP)، وتعني أن النتيجة الإيجابية التي أظهرها اختبار الجهد البدني قد تم تأكيدها من قبل قسطرة القلب (أي كلا الاختبارين - الجهد البدني والقسطرة - أكدّا على وجود المرض).

• **نتيجة سلبية صحيحة (True negative):** ويرمز لها اختصاراً بالرمز (TN)، وتعني أن النتيجة السلبية التي أظهرها اختبار الجهد البدني قد تم تأكيدها (أي نفي وجود المرض) من قبل قسطرة القلب (أي كلا الاختبارين - الجهد البدني والقسطرة - نفيًا وجود المرض).

• **نتيجة إيجابية خاطئة (False positive):** ويرمز لها اختصاراً بالرمز (FP)، وتعني أن اختبار الجهد البدني قد أظهر أن هناك ضيق في شرايين القلب، لكن قسطرة القلب أظهرت عكس ذلك (أي عدم وجود ضيق في شرايين القلب).

• **نتيجة سلبية خاطئة (False negative):** ويرمز لها اختصاراً بالرمز (FN)، وتعني أن اختبار الجهد البدني قد أظهر عدم وجود ضيق في شرايين القلب، لكن قسطرة القلب أظهرت عكس ذلك (أي وجود ضيق في شرايين القلب).

وبهذا نصل إلى حالتين من الدقة (أو الموثوقية) في نتيجة اختبار الجهد البدني ترتبط إحداهما على إثبات وجود المرض والأخرى على نفي وجوده، وهما كالتالي:

• **دقة الاختبار على إثبات وجود المرض (Sensitivity):**

وهو مقياس على قدرة اختبار الجهد البدني على اكتشاف أمراض القلب التاجية لدى الشخص وإثبات وجودها. بمعنى آخر هو مؤشر لنسبة المرضى الذين لديهم فعلاً ضيق في شرايين القلب التاجية، وتمكن اختبار الجهد البدني من كشفها بصدق ودقة، ويمكن معرفة ذلك من المعادلة التالية:

دقة الاختبار على إثبات المرض = (النتيجة الإيجابية الصحيحة TP ÷ (النتيجة الإيجابية الصحيحة TP + النتيجة السلبية الخاطئة FN) × ١٠٠

وتزداد دقة الاختبار على إثبات وجود المرض عندما تكون أمراض القلب التاجية في أشد حالاتها (أي تضيق في ثلاثة شرايين مثلاً بدلاً من شريان واحد).

• دقة الاختبار على استبعاد وجود المرض (Specificity):

وهو مقياس على قدرة اختبار الجهد البدني في استبعاد وجود أمراض القلب التاجية لدى الشخص وإثبات عدم وجودها. بمعنى آخر هو مؤشر لنسبة المرضى الذين ليس لديهم ضيق في شرايين القلب التاجية، وتمكن اختبار الجهد البدني من استبعاد وجودها عندهم بصدق ودقة، ويمكن معرفة ذلك من المعادلة التالية:

دقة الاختبار على استبعاد المرض = (النتيجة السلبية الصحيحة TN ÷ (النتيجة السلبية الصحيحة TN + النتيجة الإيجابية الخاطئة FP) × ١٠٠

وتتخفف دقة الاختبار على استبعاد وجود المرض عند الأفراد الذين تزداد احتمالات ظهور نتيجة إيجابية خاطئة (FP) لديهم، كما هو لدى النساء، وفي حالة الإصابة بمرض ارتخاء الصمام المترالي.

ومن المعروف أن دقة الاختبار على إثبات وجود المرض (Sensitivity) ودقته على استبعاد وجود المرض (Specificity) ترتبطان ببعضهما البعض ارتباطاً عكسياً، حيث كلما ازدادت دقة الإثبات انخفضت دقة الاستبعاد، والعكس صحيح كلما انخفضت دقة الإثبات ارتفعت دقة الاختبار على الاستبعاد^(١٤، ٢٠). ولهذا ينبغي دائماً الأخذ بالاعتبار لكلا النسبتين عند الحكم على صلاحية أي أداة تشخيصية، كاختبار الجهد البدني.

• القيمة التنبؤية لثبوت وجود المرض (Predictive value of abnormal test):

وتعني مدى الدقة التي تظهرها نتيجة الاختبار الإيجابية كمؤشر على وجود أمراض شرايين القلب التاجية لدى الفرد، ويمكن معرفة ذلك من المعادلة التالية:

النتيجة الإيجابية الصحيحة TP ÷ (النتيجة الإيجابية الصحيحة TP + النتيجة الإيجابية الخاطئة FP) × ١٠٠

وتعتمد هذه القيمة على مدى انتشار أمراض القلب التاجية لدى الفئة المراد إجراء اختبار الجهد البدني لها، فأمراض القلب التاجية شائعة لدى كبار السن، وبالتالي فالقيمة التنبؤية لوجود المرض تكون مرتفعة في حالة إجراء اختبار الجهد البدني عليهم.

تأثير الأدوية على استجابة وظائف الجسم أثناء اختبار الجهد البدني

نظراً لأن العديد من الأدوية، وخاصة تلك التي يتناولها مرضى القلب أو ضغط الدم المرتفع، لها تأثير على استجابة وظائف الجسم أثناء اختبار الجهد البدني التدرّجي، فلا بد من معرفة تلك التأثيرات من أجل تفسير نتائج الاختبار بشكل صحيح. وسوف نستعرض في الفقرات التالية أهم الأدوية المستخدمة من قبل مرضى القلب وتأثيراتها على وظائف الجهاز القلبي الوعائي أثناء اختبار الجهد البدني^(٧، ٢٠)، علماً بأن الملحق رقم (١٥) يستعرض المزيد من تأثيرات الأدوية على الجهاز الدوري وإمكانية القيام بالجهد البدني.

• حاصرات بيتا (B-Blockers):

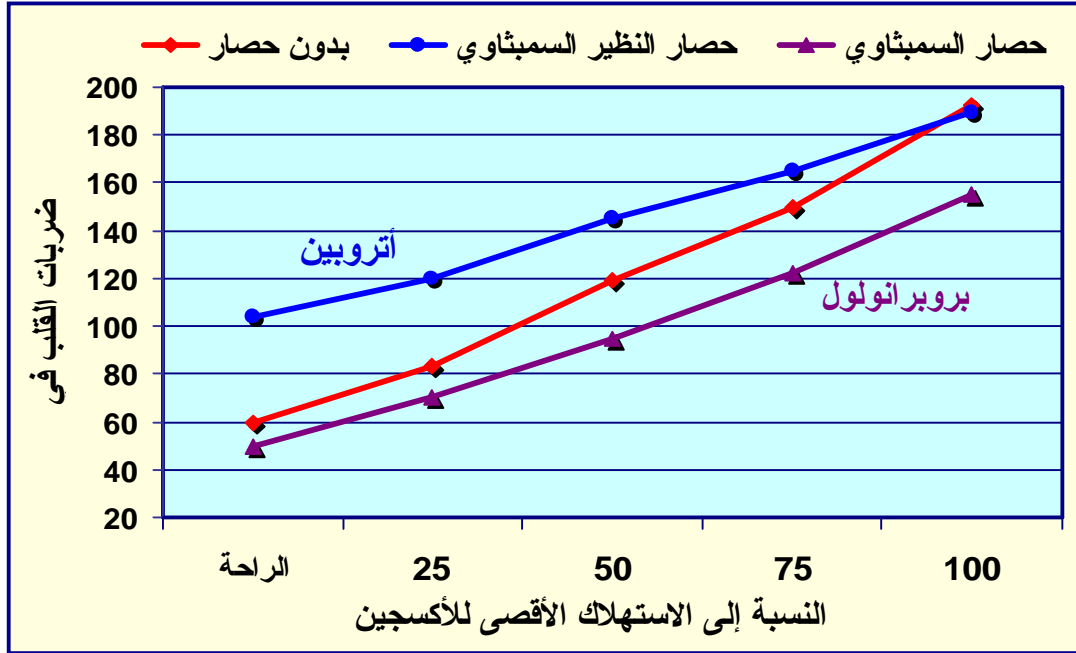
يؤدي استعمال أدوية حاصرات بيتا إلى خفض معدل ضربات القلب أثناء الراحة وأثناء الجهد البدني، لذا فإن معدل ضربات القلب القصوى وكذلك ضغط الدم الأقصى لا يبلغان المستويات القصوى المتوقعة لهما عند استعمال هذه الأدوية، ويوضح الشكل البياني رقم (١٢-١٢) رسماً لمعدلات ضربات القلب بعد استخدام دواء بروبرانولول، وهو من حاصرات مستقبلات بيتا (أو مثبطات بيتا) والتي تقوم بخفض النشاط العصبي السمبثاوي وتثبيط تأثيره على القلب، مقارنة باستخدام حاصرات النشاط العصبي النظير السمبثاوي (أي تثبيط التأثير المثبط لضربات القلب مما يؤدي إلى ارتفاعها)، كما هو الحال عند استخدام دواء أتروبين والذي ينافس ويضاد الأسيتايل كولين. وعادة ما يكون المريض الذي يستخدم أدوية حاصرات بيتا قادراً على الوصول إلى إمكانية أعلى من الجهد البدني قبل أن تظهر عليه أعراض الذبحة الصدرية، وذلك بسبب انخفاض ضربات القلب وضغط الدم لديه، مما يعني انخفاض الناتج المزدوج (Double product)، الذي هو محصلة مزيج من معدل ضربات القلب وضغط الدم الشرياني، ويُعد مؤشر على الإجهاد الحاصل على عضلة القلب.

• موسعات الأوعية الدموية (Vasodilators):

تقود موسعات الأوعية الدموية إلى توسع الأوعية الدموية الطرفية، وبالتالي خفض العبء على القلب، غير أن ذلك قد يؤدي إلى ارتفاع معدل ضربات القلب كرد فعل على انخفاض ضغط الدم. ولا يوجد في الواقع دليل علمي على أن موسعات الأوعية الدموية تقود إلى زيادة إمكانية الفرد على القيام بالجهد البدني. ومن المستحسن توخي الحذر من أن ينخفض ضغط الدم بعد التوقف من الجهد البدني إلى درجة قد تقود المريض إلى الشعور بالدوخة من جراء ذلك، حيث من المعروف أن التوقف عن الجهد البدني يؤدي إلى انخفاض معدل جريان الدم في الأوعية الدموية مقارنة بما كان عليه أثناء الجهد البدني، ومع توسع الأوعية الدموية فهناك احتمالات عالية على انخفاض ضغط الدم الشرياني لدى الشخص.

• **مضادات الكالسيوم (Calcium Antagonists):**

يمكن أن تساهم أدوية مضادات الكالسيوم في تأخير حدوث نقص تروية لعضلة القلب حتى مرحلة أعلى من الجهد البدني، وبالتالي تحسين إمكانية الشخص على أداء الجهد البدني، كما أن انخفاض جزء أس تي (ST) في تخطيط القلب عادة ما يحدث في مرحلة متأخرة من الجهد البدني عند استخدام مضادات الكالسيوم، علماً بأن استعمال مضادات الكالسيوم يؤدي إلى انخفاض معدل ضربات القلب وضغط الدم أثناء الجهد البدني دون الأقصى، لكن بدرجة أقل من حاصرات بيتا.



شكل رقم (١٢-١٢): استجابة ضربات القلب في الدقيقة أثناء جهد بدني حتى الأقصى عند استخدام أدوية تثبيط النشاط العصبي السمبثاوي (بروبرانولول) أو نظير السمبثاوي (أتروبين) مقارنة بدون أي تثبيط (اللون الأحمر) (Astrand & Rodahl, 1977, p. 191 (Data from: Ekblom et al., 1972

• **ديجيتاليس (Digitalis):**

تقود أدوية ديجيتاليس أصلاً إلى زيادة قوة انقباضية القلب مع خفض معدل ضرباته في الدقيقة، وعند استعمال أدوية ديجيتاليس من قبل مريض القلب فإن من الممكن حدوث انخفاض في جزء أس تي (ST) أثناء الجهد البدني.

• **مثبطات الأنزيم المحول للأنجيوتنسين (ACE Inhibitors):**

تؤدي هذه الأدوية إلى خفض ضغط الدم في الراحة وأثناء الجهد البدني، وذلك من خلال خفض تركيز أنجيوتنسين ٢ وهرمون ألدوستيرون في البلازما. وتقود هذه الأدوية الموصوفة لقصور عضلة القلب بتحسين إمكانية الجهد البدني لدى الأشخاص الذين يعانون من قصور مزمن في عضلة القلب.

• مضادات اضطرابات دقات القلب (Antiarrhythmic drugs):

تؤدي بعض الأدوية المضادة لاضطرابات دقات القلب إلى إبطاء النشاط الكهربائي البطيني، وبالتالي إضعاف درجة انخفاض أس تي (ST)، ونظراً لأن بعض أدوية اضطرابات دقات القلب تطيل فترة مجموعة كيو آر أس (QRS) فإن انخفاضاً في ضربات القلب القسوى يكون متوقعاً.

• مدرات البول (Diuretics):

تقوم الأدوية المدرة للبول بخفض حجم بلازما الدم وخفض المقاومة المحيطية، وبالتالي انخفاض ضغط الدم الشرياني. وفي حالة عدم انخفاض مستوى البوتاسيوم في الجسم (إحدى الآثار المترتبة على استخدام مدرات البول) فإن ليس لها تأثير ملحوظ على معدل ضربات القلب أو أداء عضلة القلب.

المخاطر المحتملة من جراء القيام بإجراء اختبار الجهد البدني

على الرغم من اختبار الجهد البدني يعد إجراءً آمناً في يد الأشخاص المؤهلين القادرين على القيام به، إلا أن حدوث احتشاء لعضلة القلب (MI) أو حتى حدوث الوفاة للشخص أمراً وارداً. وتقدر بعض المصادر أن معدل حدوث الاحتشاء القلبي أو الوفاة يصل على حوالي ١٠ مرات في كل ١٠٠ ألف اختبار، وتكون المخاطر أشد عند إجراء الاختبار لشخص ما بعد حدوث احتشاء قلبي له (Post MI) أو في حالة وجود اضطرابات بطينية في النبض^(١٤). علماً بأن البعض يرى أن حدوث مضاعفات من جراء القيام باختبار الجهد البدني لدى الأفراد الأصحاء الذين ليس لديهم عوامل خطورة للإصابة بأمراض القلب التاجية تعد منخفضة جداً وأنها أقل مما كان يعتقد سابقاً^(١٩).

وفي دراسة استعراضية قامت بمراجعة حالات حدوث الوفاة المفاجئة من جراء اختبار الجهد البدني في ثمان دراسات كبرى، خلصت تلك المراجعة إلى أن معدل حدوث هذا النوع من المضاعفات تراوح من صفر في أربع دراسات إلى ٥ في كل ١٠٠ ألف اختبار في الدراسات الأربعة الأخرى^(٢١). ويشير الكتاب الصادر عن الكلية الأمريكية للطب الرياضي المتعلق باختبار الجهد ووصفة النشاط البدني إلى أنه من خلال مراجعة ما يقارب مليونين

اختبار للجهد البدني أجريت على أشخاص من الأصحاء والمرضى، تم التوصل إلى ما يلي (٧):

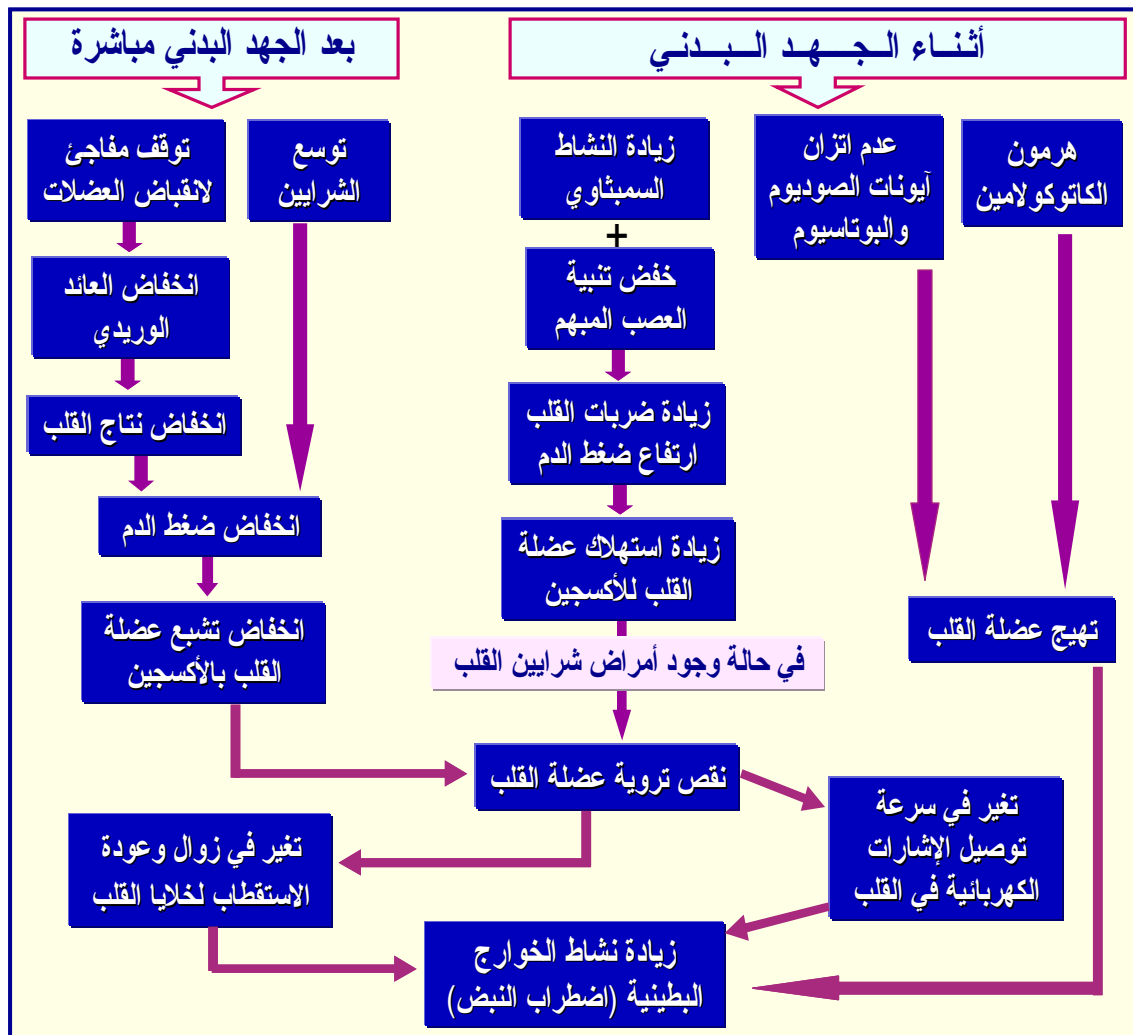
- أن احتمال حدوث وفاة للشخص أثناء اختبار الجهد البدني الأقصى أو بعده مباشرة لا تتجاوز ٠,٠١%.
- أن احتمال حدوث احتشاء قلبي أثناء اختبار الجهد البدني الأقصى أو بعده مباشرة لا تتجاوز ٠,٠٤%.
- أن احتمال حدوث مضاعفات تتطلب دخول الشخص إلى المستشفى (كاحتشاء قلبي أو اضطرابات في نظم القلب) من جراء القيام بإجراء اختبار الجهد البدني لا تتجاوز ٠,٢%.

أما احتمالات حدوث مشكلات قلبية أو مضاعفات أثناء اختبار الجهد البدني دون الأقصى (Submaximal) أو بعده فتبدو منخفضة جداً، فعلى سبيل المثال فإن الاختبار الكندي للياقة الهوائية، الذي يعتمد على القيام بجهد بدني باستخدام صندوق الخطوة (Step test)، لم يسجل خلاله أي حالة من حالات الإصابة القلبية (٣٣،٧).

آلية حدوث مضاعفات قلبية أثناء أو بعد الجهد البدني العنيف

على الرغم من أن حدوث مضاعفات قلبية أثناء الجهد البدني لدى الأفراد الأصحاء لا يعد شائعاً، إلا أنها تحدث أحياناً، خاصة عندما تكون هناك مشكلات قلبية غير ظاهرة لدى الشخص، مما يجعلها تبرز أثناء إجهاد عضلة القلب من جراء الجهد البدني المرتفع الشدة. وتشير الدلائل العلمية إلى أن حاجة عضلة القلب للأكسجين تزداد بشكل كبير أثناء الجهد البدني العنيف، الأمر الذي يؤدي فيما بعد إلى حدوث مشكلات قلبية سواء أثناء الجهد البدني الأقصى أو بعده مباشرة. ويوضح الشكل رقم (١٢-١٣) التغيرات الفسيولوجية التي تحدث نتيجة للجهد البدني العنيف والآلية المحتملة لحدوث المضاعفات القلبية من جراءه، فالجهد البدني يؤدي إلى زيادة النشاط العصبي السمبثاوي وتنشيط النشاط النظير سمبثاوي، مما يقود ذلك إلى ارتفاع معدل ضربات القلب وارتفاع ضغط الدم، اللذان يقودان بدورهما إلى زيادة استهلاك عضلة القلب من الأكسجين، وفي حالة وجود مشكلات في شرايين القلب فإن هذه الزيادة في متطلبات عضلة القلب للأكسجين تؤدي إلى حدوث نقص في تروية عضلة القلب (Ischemia)، مما يؤثر ذلك على النشاط الكهربائي في عضلة القلب ومن ثم زيادة احتمالات حدوث اضطراب في نبض القلب. يضاف إلى العوامل السابقة زيادة إفراز هرمون الكاتوكولامين وارتفاع تركيزه في الدم وما يحدث من فقدان لتوازن أيونات الصوديوم والبوتاسيوم، الأمر الذي بدوره يهيج عضلة القلب ويزيد من احتمالات حدوث الخوارج البطينية (اضطرابات في نبض القلب) (٧).

أما بعد توقف الجهد البدني مباشرة، فإن التوسع الحاصل في الشرايين والأوردة الدموية، مع ما يحدث من توقف عضلات الساقين من القيام بدور المضخة التي تقوم بضخ الدم لأعلى، الأمر الذي ينتج عنه انخفاض كمية الدم العائدة إلى القلب عبر الأوردة الدموية - أي انخفاض العائد الوريدي (Venous return) - وما يترتب على ذلك من انخفاض في نتاج القلب (Cardiac output)، والنتيجة هي انخفاض جريان الدم في الأوعية الدموية وما يتبع ذلك من انخفاض أكبر في ضغط الدم، مما يقود إلى نقص تشبع عضلة القلب بالدم، والمحصلة هي حدوث نقص في تروية عضلة القلب (نقص التروية بالدم وبالطبع بالأكسجين).



شكل رقم (١٢-١٣): التغيرات الفسيولوجية الناجمة عن الجهد البدني، والآلية المحتملة لحدوث مضاعفات قلبية أثناء الجهد العنيف أو بعده مباشرة (المصدر: ACSM's Guidelines, 2000, p 11).

موانع إجراء اختبار الجهد البدني (Contraindications)

تنقسم الحالات التي يتم فيها منع القيام بإجراء اختبار الجهد البدني للمريض إلى قسمين رئيسيين، هما موانع مطلقة (Absolute) وأخرى نسبية (Relative). والموانع المطلقة تعني عدم إجراء الاختبار في وجود تلك الموانع بأي حال من الأحوال، أما الموانع النسبية فإنها تخضع لحالة المريض والطبيب المعالج وعوامل أخرى، علماً بأنه ينبغي مراعاة تلك الموانع والتقيد بها حسب توصيات الكلية الأمريكية لطب القلب (ACC) والجمعية الأمريكية لطب القلب (AHA)، وتشمل تلك الموانع الحالات التالية (٢٠):

موانع مطلقة: وتشمل ما يلي:

- احتشاء قلبي حاد (MI).
- ذبحة صدرية غير مستقرة بالرغم من تعاطي الأدوية (Unstable angina).
- اضطراب في دقات القلب خارج عن السيطرة، ويؤدي إلى اختلال في جريان الدم.
- ضيق شديد في الأورطي (Aortic stenosis).
- قصور في القلب خارج عن السيطرة (Heart failure).
- جلطة رئوية (Pulmonary embolus) أو احتشاء رئوي (Pulmonary infarction).
- التهاب حاد في عضلة القلب (Myocarditis) أو في شغاف القلب (Pericarditis).
- أم الدم الأورطي المنسلخة (توسع وعائي منسلخ في الأورطي) Dissecting aneurysm

موانع نسبية: وتشمل ما يلي:

- ضيق في الشريان التاجي الرئيسي الأيسر.
- ضيق متوسط في صمامات القلب.
- اضطراب في المنحلات (انخفاض في البوتاسيوم أو المغنيسيوم).
- ارتفاع حاد في ضغط الدم الشرياني (الانقباضي = أكبر من ٢٠٠ ملم/زئبقي، والانبساطي = أكبر من ١١٠ ملم/زئبقي في الراحة).
- تسارع أو تباطؤ في معدل ضربات القلب، مع اضطراب في دقات القلب (Tachyarrhythmia or Bradyarrhythmia).
- اعتلال عضلة القلب التضخمي (HCM).
- حصار أذيني بطيني ذو درجة عالية (Atrio ventricular block).
- مشكلات عصبية أو هيكلية أو عضلية، تزداد سوءاً مع الجهد البدني.
- أمراض أيضية خارجة عن السيطرة (مثل داء السكري، أو التسمم الدرقي).

مؤشرات إيقاف اختبار الجهد البدني (Indications for terminating exercise) (testing)

طبقاً لتوصيات الكلية الأمريكية للطب الرياضي (ACSM)، ينبغي إيقاف اختبار الجهد البدني وإنهاءه في الحالات التالية (٧):

مؤشرات مطلقة: وتشمل ما يلي:

- انخفاض في ضغط الدم الشرياني بمقدار ١٠ ملم زئبقي أو أكثر مقارنة بالقراءة الأولية لضغط الدم، على الرغم من زيادة العبء الجهدية، مع ظهور مؤشرات أخرى تدل على وجود نقص تروية لعضلة القلب.
- ذبحة صدرية (Angina) متوسطة أو عالية الشدة.
- ازدياد ظهور بعض الأعراض العصبية كالدوخة أو الترنح أو شبه الإغماء.
- ظهور أعراض تدل على نقص التروية، كاصفرار الجلد أو البرودة.
- حدوث عطل في جهاز مراقبة القلب أو ضغط الدم أو اختلال عملهما.
- خفقان بطيني مستمر.
- ارتفاع في موجة أس تي (ST) في تخطيط القلب يساوي مليمتر واحد أو أكثر.
- رغبة المفحوص في التوقف.

مؤشرات نسبية: وتشمل ما يلي:

- انخفاض في ضغط الدم الشرياني بمقدار ١٠ ملم زئبقي أو أكثر مقارنة بالقراءة الأولية لضغط الدم، على الرغم من زيادة العبء الجهدية، مع عدم وجود أي مؤشرات أخرى تدل على وجود نقص تروية لعضلة القلب.
- ارتفاع حاد في ضغط الدم الشرياني (الانقباضي = أكبر من ٢٥٠ ملم/زئبقي، والانبساطي = أكبر من ١١٥ ملم/زئبقي).
- تغيرات غير طبيعية في موجة أس تي (ST)، أو حركة كيو آر أس (QRS)، مثل انخفاض موجة أس تي بأكثر من ٢ ملم.
- ظهور اضطرابات في نبض القلب، مثل خوارج مبكرة للبطينين (PVC) أو تباطؤ في نبض القلب (Bradycardia)، أو حدوث حالة حصار قلبي.
- شعور المفحوص بتعب شديد أو ضيق في التنفس، أو صفير في التنفس، أو تشنج في الساق.
- ألم مستمر في الصدر.

ملحوظة:

في حالة وجود خطأ (Noise) أو مشكلة في تخطيط القلب، فإنه يمكن تشخيص مصدر هذا الخطأ من خلال التدقيق في وضع المسار المعني ومن ثم النظر إلى المجس المسبب للمشكلة وذلك على النحو الموضح في الجدول رقم (١٢-٤) أدناه:

جدول رقم (١٢-٤): تشخيص الخطأ الناجم عن الأوضاع الخاطئة للمجسات لتخطيط القلب.

إذا كانت المشكلة آتية من المسار	أنظر إلى المجس أو المسار التالي:
II و III	LL الرجل اليسرى
I و II	LA اليد اليسرى
I و III	RA اليد اليمنى
II و II و III	RL الرجل اليمنى
واحد أو أكثر من المسارات الصادرة	المسار الصدري المعني

كيفية الاستفادة من نتائج اختبار الجهد في تحديد وصفة النشاط البدني للشخص

يساهم اختبار الجهد البدني في توفير معلومات قيمة تساعد كثيراً في تحديد وصفة النشاط البدني للشخص وجعلها أكثر أماناً وفعالية، وذلك من خلال توفير المعلومات التالية (٢٢):

- هل وصل الشخص أثناء الاختبار إلى إمكانيته الوظيفية القصوى، تبعاً لمقدار المكافئ الأيضي (MET) أم لا؟ وفي حالة توقفه قبل وصوله إليها، هل كان توقفه بسبب شعوره بأعراض قلبية أو تنفسية؟ أو مشكلة في المفاصل أو العظام؟ أم تغيرات في تخطيط القلب أدت إلى إيقاف الاختبار من قبل الفاحص؟ أو انخفاض في ضغط الدم الشرياني؟ أو دوخة؟ أم ماذا كان السبب؟
- تدوين التغيرات التي حدثت في تخطيط القلب أثناء الاختبار أو أثناء فترة الاسترداد، وما إذا كان لها أي دلالة على وصفة النشاط البدني لذلك الشخص.
- فحص استجابة ضربات القلب وضغط الدم أثناء الجهد البدني بعناية، وما إذا كانت تلك الاستجابتين طبيعيتين أم لا؟
- الإشارة إلى الأعراض التي حدثت للشخص أثناء كل مرحلة من مراحل الاختبار.
- هل يحتاج الشخص إلى عناية طبية إضافية قبل البدء ببرنامج النشاط البدني؟

- تحديد مدى ضربات القلب المستهدفة للشخص (THR range) وكذلك المكافئ الأيضي المناسب له بناءً على نتائج الاختبار.
- التوصية فيما إذا كان على المريض المشاركة في برنامج نشاط بدني تحت المراقبة الطبية (Supervised) أم بدون أي مراقبة.
- الأخذ بالاعتبار للأدوية التي يتناولها الشخص، أو أي إعاقات أخرى لديه، وتأثير ذلك على وصفة النشاط البدني له.