

مقرر ٥٥٦ ترض
اختبار الجهد ووصفة النشاط البدني

بروتوكولات الجهد البدني المستخدمة لقياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين

المصدر:

الهزاع، هزاع محمد. كتاب فسيولوجيا الجهد البدني: الأسس النظرية والإجراءات العملية
للقياسات الفسيولوجية. الفصل ١٧. إصدار جامعة الملك سعود. تحت الطبع.

بروتوكولات الجهد البدني المستخدمة لقياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين

تتعدد بروتوكولات الجهد البدني (المتدرج) المستخدمة لإجهاد المفحوص أثناء قياس استهلاكه الأقصى للأكسجين، إلا أنها تتفق في أن الغرض منها هو إجهاد الجهاز القلبي التنفسي للمفحوص في وقت ليس بالقصير جداً (ليس أقل من عدة دقائق) وليس بالطويل جداً حتى لا يمل المفحوص من الاختبار، أو ينال منه التعب العضلي قبل إجهاد جهازه القلبي التنفسي، أو يقود ارتفاع درجة حرارة الجسم إلى توجيه بعض من الدم إلى الجلد على حساب العضلات العاملة. وتتفق معظم الآراء في أن الاختبار الجيد هو ما يجعل المفحوص يصل في الغالب إلى جهده الأقصى في حدود ٨-١٢ دقيقة، ويؤكد ذلك ما توصلت إليه دراسة حديثة تم فيها تجريب عدة بروتوكولات على السير المتحرك تقود جميعها إلى إجهاد المفحوصين خلال مدة تراوحت من ٥ دقائق إلى ١٤ دقيقة، حيث أشارت نتائج تلك الدراسة إلى أن مدة البروتوكول الذي يعطي أفضل مقدار من الاستهلاك الأقصى للأكسجين ينبغي أن يكون من ٨ - ١٠ دقائق لدى الأشخاص الأصحاء الذين يمتلكون لياقة بدنية متوسطة إلى مرتفعة^(١١٧).

ويستخدم في إجهاد المفحوص أما السير المتحرك، أو دراجة الجهد الثابتة، أو مجهاد اليدين (لمن لديهم إعاقة في الجزء السفلي من الجسم)، أو صندوق الخطوة، أو ما شابه ذلك من وسائل كجهاز التجديف أو جهاز محاكاة التزلج. ولكل طريقة من هذه الطرق مميزات وعيوب، كما تطرقنا إليها بالتفصيل في الفصل الثاني من هذا الكتاب. ولعل أكثر هذه الطرق شيوعاً هو استخدام السير المتحرك ودراجة الجهد الثابتة، علماً بأن مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين المتحصل عليه عند استخدام السير المتحرك يزيد بحوالي ٥-٢٠% عما هو عند استخدام دراجة الجهد الثابتة.

ويعتبر قياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين باستخدام السير المتحرك أفضل الطرق لقياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الأشخاص العاديين وكذلك للرياضيين الذين يستخدمون الجري في رياضتهم. أما متسابق الدراجات فيتم الحصول على أقصى استهلاك للأكسجين له عند اختباره على جهاز خاص يقوم بوضع دراجته عليه مباشرة، مما يجعل عملية الاختبار تحاكي إلى حد كبير طبيعة رياضة الدراجات وتدريباتها، وهكذا الحال بالنسبة للسباحين الذين يتم اختبارهم في وضع يحاكي السباحة، أما رياضيو التجديف فيتم اختبارهم باستخدام جهاز يحاكي التجديف.

ويتم قياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين بطريقة مباشرة ومعلمية من خلال قياس التبادل الغازي ويتطلب ذلك مختبراً مجهزاً بالأجهزة اللازمة لقياس نسبة الأكسجين وثنائي

أكسيد الكربون وحجم التهوية الرئوية. وتتلخص الطريقة بأن يقوم المفحوص ببذل أقصى جهداً بدنياً ممكناً باستخدام السير المتحرك أو الدراجة الثابتة، ويتم خلال ذلك قياس استهلاكه الأقصى للأكسجين عن طريق معرفة نسبة الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون في هواء الزفير وحجم هواء الزفير في الدقيقة، ومن ثم يمكن معرفة الاستهلاك الأقصى للأكسجين باللتر في الدقيقة. وللتأكد من أن المفحوص قد حقق المستوى الحقيقي لاستهلاكه الأقصى للأكسجين، يتفق الكثير من المختصين على وجوب تحقيق الشروط التالية قبل الحكم على أن المفحوص قد وصل إلى استهلاكه الأقصى للأكسجين أثناء الاختبار التدرّجي للجهد:

- ١ - أن المفحوص قد وصل إلى ضربات القلب القصوى المتوقعة لديه (في حدود لا يزيد عن ١٠ ضربات في الدقيقة عن المعدل المتوقع).
- ٢ - أن مستوى استهلاك الأكسجين أخذ في الاستقرار أو الزيادة البسيطة جداً على الرغم من زيادة الجهد البدني.
- ٣ - أن يكون معامل التبادل التنفسي قد تجاوز ١,١.
- ٤ - يتشرب البعض وصول حمض اللبنيك إلى مستوى أعلى من ٨ ملي مول.

والجدير بالذكر أن بعض البروتوكولات التي تستخدم السير المتحرك تعتمد على زيادة الميل مع تثبيت السرعة حتى شعور المفحوص بالتعب، والبعض الآخر يستخدم بروتوكولاً يتصف بزيادة السرعة حتى حد معين ثم زيادة الميل بعد ذلك، وهناك من يجمع بين زيادة السرعة والميل في آن واحد. كما أن هناك من يقوم بإجهاد المفحوص عبر جهد بدني متدرج حتى التعب ثم يعقب ذلك راحة قصيرة، يلي ذلك جهد بدني فوق الأقصى (Supramaximal)، وهو اختبار قصير جداً لا تتجاوز مدته ٢-٣ دقائق حتى التعب. ومن البروتوكولات المستخدمة للرياضيين بروتوكول كوستيل وفوكس (Costill & Fox)، الذي يبدأ بعشر دقائق إحماء وبعد ذلك تُثبت السرعة عند ١٥ كم في الساعة، ثم يزداد الميل ٢% كل دقيقتين حتى التعب^(٥١). ولمزيد من بروتوكولات الجهد البدني التدرّجي الأقصى، يمكن الرجوع إلى الفصل الحادي عشر من هذا الكتاب.

ومن بروتوكولات الجهد البدني باستخدام الدراجة بروتوكول أستراند، وتكون المقاومة في بداية الجهد ٢ كجم للرجال وواحد كجم للنساء، على أن تكون سرعة دوران العجل ٥٠ دورة في الدقيقة (أي تكون القدرة تساوي ٦٠٠، و ٣٠٠ كجم. متر في الدقيقة للرجال وللنساء على التوالي) وتكون مدة هذه المرحلة دقيقتان، ثم يتم زيادة المقاومة بمقدار كجم واحد للرجال (٥٠ شمعة) ونصف كجم للنساء (٢٥ شمعة) كل دقيقتين أو ثلاث دقائق حتى التعب^(٣٥). وهناك بروتوكولات أخرى متنوعة باستخدام دراجة الجهد تختلف فيما بينها تبعاً لنوعية

العينة وعمر المفحوص ومستوى لياقته البدنية، ونظراً لكثرة البروتوكولات المعروفة وتعدد استخداماتها فلن نتطرق إليها هنا، بل سنكتفي بالإشارة إلى البروتوكولات المستخدمة في مختبر فسيولوجيا الجهد البدني في قسم التربية البدنية وعلوم الحركة بجامعة الملك سعود.

بروتوكولات الجهد البدني المستخدمة في مختبر فسيولوجيا الجهد البدني بجامعة الملك سعود

١ - بروتوكولات السير المتحرك (Treadmill):

تُستخدم هنا في المختبر العديد من البروتوكولات تبعاً لعمر المفحوص ولياقته البدنية. ونظراً لأن الاختبارات التي تجري هنا في المختبر هي بغرض قياس الكفاءة الفسيولوجية للشخص، فإننا نحرص على إجهاد المفحوص إلى أقصى طاقة ممكنة في فترة معقولة (٨-١٤ دقيقة غالباً). وتتضمن بروتوكولات السير المتحرك إعطاء المفحوص فترة من الإحماء والتعود على الجري، ويتم خلال هذه الفترة معرفة السرعة المناسبة للمفحوص (خاصة لدى الأطفال)، ثم بعد ذلك يتم وضع أجهزة القياس على المفحوص ويبدأ الاختبار بسرعة ثابتة (تبعاً للفئة التي ينتمي لها المفحوص - أنظر فيما بعد) لمدة دقيقتين بدون ميل (الميل صفر)، بعد ذلك يزداد الميل كل دقيقتين بمقدار ٢,٥ % حتى نهاية الاختبار الذي غالباً لا يتجاوز الميل الأقصى فيه ١٢,٥ %. ويوضح الجدول رقم (١٧-٥) سرعات الجري المستعملة في بروتوكولات الجهد البدني في مختبر فسيولوجيا الجهد البدني بجامعة الملك سعود تبعاً لعمر الشخص وحالته التدريبية.

٢ - بروتوكولات دراجة الجهد (Bicycle Ergometer):

يبدأ بروتوكول دراجة الجهد لدى الذكور بقدرة مقدارها ٥٠ شمعة (٣٠٠ كجم. متر في الدقيقة، أي تكون المقاومة ١ كجم) عند سرعة دوران بمعدل ٥٠ دورة في الدقيقة لمدة دقيقتين (يمكن رفع معدل الدوران إلى ٦٠ دورة في الدقيقة لدى من يجد أن معدل الدوران السابق بطيئاً، لكن ذلك سيغير القدرة بالشمعة لتصبح ٣٦٠ شمعة بدلاً من ٣٠٠ شمعة)، ثم تُرفع القدرة بعد ذلك بمقدار ٢٥ شمعة (أي تُرفع المقاومة بمقدار نصف كجم) كل دقيقتين حتى التعب.

٣ - بروتوكولات مجهاد اليدين (Arm Ergometer):

يبدأ بروتوكول مجهاد اليدين بتحريك اليدين بدون مقاومة لمدة دقيقتين وبمعدل دوران يعادل ٦٠ دورة في الدقيقة، ثم زيادة القدرة بمقدار ١٠ شمعات كل دقيقتين حتى التعب (وفي

حالة بعض الأفراد الذين يمتلكون قدرة عضلية عالية في الجزء العلوي من الجسم يمكن البدء مباشرة بقدرة مقدارها ١٠ شمعات، أو حتى ٢٠ شمعة).

جدول رقم (١٧-٥): بروتوكولات السير المتحرك المستخدمة في مختبر فسيولوجيا الجهد البدني بجامعة الملك سعود. هناك فترة تدرج قبل الوصول إلى تلك السرعة الموضحة في الجدول، أما الميل فيبدأ عند صفر ثم زيادته بمقدار ٢,٥% كل دقيقتين، وعند الوصول إلى أقصى ميل (١٢,٥%) بدون إجهاد المفحوص تزداد السرعة بمقدار ٠,٥ - ١ كم في الساعة في كل مرحلة إضافية حتى التعب.

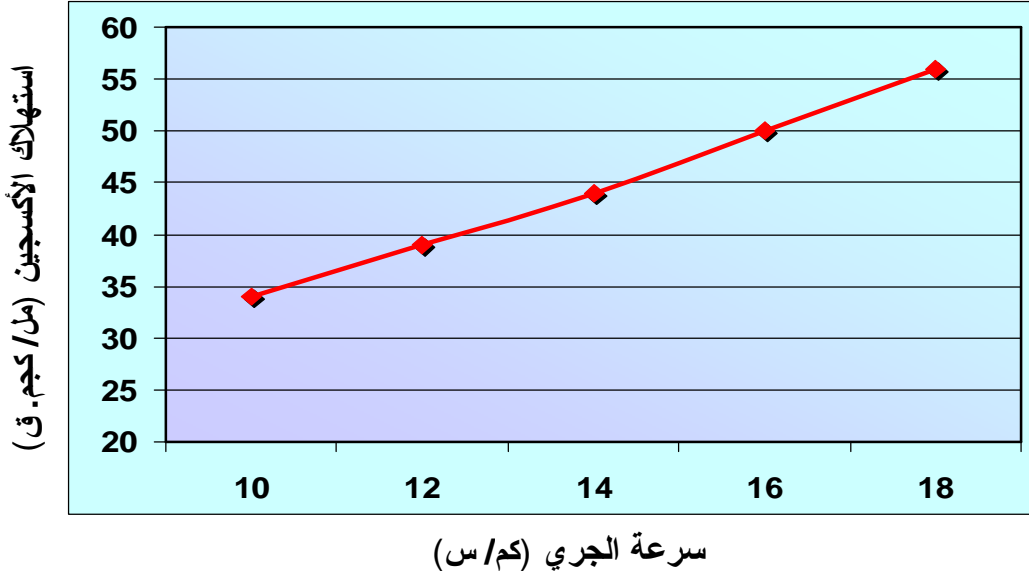
الفة	العمر بالسنوات	سرعة السير المتحرك (كم/ساعة)
أطفال	٦-٨	٨
أطفال	٩-١٠	١٠
أطفال	١١-١٢	١٢
ناشئون *	١٣-١٥	١٢-١٤
ناشئون *	١٦-١٧	١٢-١٤
راشدون - غير متدربين	١٨ فما فوق	١٤
راشدون - متدربون	١٨ فما فوق	١٦
راشدون - رياضيو الجري	١٨ فما فوق	١٨

* يعتمد تحديد السرعة على لياقة الناشئ البدنية ومقدار طولته ونسبة الشحوم في جسمه.

الطرق غير المباشرة لتحديد الاستهلاك الأقصى للأكسجين

فضلاً عن أن الطرق المعملية تتطلب مختبراً مجهزاً بالأدوات اللازمة لقياس استهلاك الأكسجين، فهي أيضاً غير عملية عند اختبار عدد كبير من المفحوصين وعلى نطاق واسع، لما يتطلبه ذلك من جهد ودقة وتكلفة، ولهذا يكثر استخدام الطرق غير المباشرة أو الميدانية والتي يتم من خلالها تقدير (وليس قياس) الاستهلاك الأقصى للأكسجين، خاصة عند إجراء الاختبار على عدد كبير من الأفراد في وقت قصير. ويُنبي تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين غالباً على إحدى الطريقتين التاليتين:

- ١ - على العلاقة بين بعض الاختبارات الأدائية (Performance)، كالجري مثلاً مسافة معينة، والاستهلاك الأقصى للأكسجين، حيث من المعلوم أن هناك علاقة خطية بين سرعة الجري ومقدار استهلاك الأكسجين، كما يوضحه الشكل البياني رقم (١٧-١٩).
- ٢ - على العلاقة بين ضربات القلب دون القصوى (عند جهد بدني دون الأقصى) والاستهلاك الأقصى للأكسجين.



شكل رقم (١٧-١٩): العلاقة الخطية بين سرعة الجري على السير المتحرك ومقدار استهلاك الأكسجين (البيانات من مختبر فسيولوجيا الجهد البدني بجامعة الملك سعود).

وسوف نستعرض بعض المعادلات التي تقدر الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال قياسات غير مباشرة، بعضاً منها مبنياً على الجهد البدني الأقصى والآخر على الجهد البدني دون الأقصى. غير أنه يستحسن أن نؤكد على أن عمليات اشتقاق المعادلات التنبؤية هذه هي ذات طبيعة خصوصية للمجتمع الذي أجريت عليه الدراسة، وبالتالي فلكي يمكن استخدامها بكل ثقة على مجتمع ما، ينبغي التأكد من أن هذه المعادلات قد سبق اختبار صدقها (Validation) على المجتمع المراد تطبيقها عليه.

تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال اختبارات الجهد البدني الأقصى

- تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال جهد بدني أقصى على السير المتحرك باستخدام بروتوكول بروس:

وهذا التقدير كما تم وصفه في أحد الكتب المرجعية^(٨٢) يعتمد على زمن المشي أو الجري على السير المتحرك باستخدام برتوكول بروس (Bruce) المشهور، والذي يتم فيه زيادة سرعة السير المتحرك ورفع درجة الميل كل ثلاث دقائق خلال المراحل السبع من مراحل الاختبار، وذلك على النحو التالي:

- المرحلة الأولى (مدتها ٣ دقائق) عند سرعة ٢,٧ كم/س ودرجة الميل ١٠ %
- المرحلة الثانية (مدتها ٣ دقائق) عند سرعة ٤,٧ كم/س ودرجة الميل ١٢ %
- المرحلة الثالثة (مدتها ٣ دقائق) عند سرعة ٥,٥ كم/س ودرجة الميل ١٤ %
- المرحلة الرابعة (مدتها ٣ دقائق) عند سرعة ٦,٨ كم/س ودرجة الميل ١٦ %
- المرحلة الخامسة (مدتها ٣ دقائق) عند سرعة ٨,٠ كم/س ودرجة الميل ١٨ %
- المرحلة السادسة (مدتها ٣ دقائق) عند سرعة ٨,٨ كم/س ودرجة الميل ٢٠ %
- المرحلة السابعة (مدتها ٣ دقائق) عند سرعة ٩,٦٥ كم/س ودرجة الميل ٢٢ %

علماً بأن السرعة في الاختبار الأصلي^(٤٥) هي بالميل في الساعة ولقد تم تحويلها إلى كيلو متر في الساعة. وتعتمد معادلات التنبؤ هذه على الزمن الذي يقضيه المفحوص باستخدام برتوكول بروس، وهي مقسمة إلى معادلات خاصة (أي لفئات محددة من الناس) أو معادلة عامة (للجميع)، وذلك على النحو التالي:

(أ) معادلات خاصة (Specific equations):

- ١ - رجال نشيطون بدنياً: معامل الارتباط = ٠,٩٠٦
 - الاستهلاك الأقصى للأكسجين (مل/كجم. ق) = (٣,٧٧٨ × الزمن بالدقائق) + ٠,١٩
 - ٢ - رجال غير نشيطين بدنياً: معامل الارتباط = ٠,٩٠٦
 - الاستهلاك الأقصى للأكسجين (مل/كجم. ق) = (٣,٢٩٨ × الزمن بالدقائق) + ٤,٠٧
 - ٣ - مرضى قلب: معامل الارتباط = ٠,٨٦٥
 - الاستهلاك الأقصى للأكسجين (مل/كجم. ق) = (٢,٣٢٧ × الزمن بالثواني) + ٩,٤٨
 - ٣ - راشدون أصحاء: معامل الارتباط = ٠,٩٢٠
 - الاستهلاك الأقصى للأكسجين (مل/كجم. ق) = (٦,٧٠ - (نوع الجنس) + ٠,٠٥٦) × الزمن بالثواني). نوع الجنس: الرجال = ١، النساء = ٢
- علماً بأن كلمة مل تعني ملي لتر، والحرف ق يعني دقيقة.

ب) المعادلة العامة (General equation):

نظراً لأن المعادلة الخاصة لا تصلح لعامة الناس، بل ينبغي استخدامها بشكل خاص للفئة التي أُشتقت لها المعادلة أو لفئات تتصف بصفات مشابهة جداً لها، فقد طور فوستر وزملاؤه معادلة عامة (Generalized) لتقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال معرفة زمن أداء المفحوص على السير المتحرك مستخدماً برتوكول بروس ومعلومات إضافية أخرى (أنظر إلى المرجع ^(٨٢)، صفحة رقم ٣٩)، وذلك على النحو التالي:

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم في الدقيقة) =

$$15,98 + [0,176 \times (\text{الزمن بالدقائق}) + 0,24 \times (\text{الزمن بالدقائق})^2] - [0,006 \times (\text{الزمن بالدقائق})^3] + [1,33 \times (\text{الحالة الصحية}) - 0,94 \times (\text{مستوى النشاط البدني}) + 4,08 \times (\text{الحالة الصحية} \times \text{مستوى النشاط البدني}) - 0,05 \times (\text{العمر بالسنوات})].$$

* الحالة الصحية: ١ = حالة صحية جيدة، صفر = لديه أمراض قلب تاجية.

* مستوى النشاط البدني: ١ = نشيطاً، صفر = غير نشيطاً.

• تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال جهد بدني أقصى على السير المتحرك باستخدام برتوكول بلكي المعدل:

في هذا الاختبار يُستخدم برتوكول بلكي Balke المعدل، والذي يتم فيه المشي على السير المتحرك بسرعة مقدارها ٥,٤ كم في الساعة مع رفع الميل ١ % كل دقيقة حتى الشعور بالتعب.

ولقد طور فروليكر وزملائه ^(٥٩) معادلة تنبؤية تُقدّر الاستهلاك الأقصى للأكسجين باستخدام برتوكول بلكي المعدل، وهي على النحو التالي:

$$\text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (مل/كجم. ق)} = 11,12 + (1,51 \times \text{الزمن بالدقائق})$$

ولقد بلغ معامل الارتباط بين القياس المباشر والتقدير ٠,٧٢، والخطأ المعياري للتقدير (SEE) = ٤,٢٦ ملي لتر/ كجم في الدقيقة.

• تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال جهد بدني أقصى على دراجة الجهد باستخدام معادلة ستورير وآخرون ^(١١١) (Storer, et al, 1990):

الإجراءات:

١ - إحماء لمدة أربع دقائق عند مقاومة تساوي صفر.

٢ - أداء جهد بدني متدرج على دراجة الجهد بدءاً بعبء جهدي مقداره هو ١٥ شمعة، ثم زيادته بمقدار ١٥ شمعة كل دقيقة حتى التعب، على أن يكون معدل دوران العجل عند ٦٠ دورة في الدقيقة.

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ دقيقة) =

الرجال = (١٠,٥١ × مقدار العبء الأقصى الذي وصل إليه الشخص بالشمعة) + (٦,٣٥ × وزن الجسم بالكجم) - (١٠,٤٩ × العمر بالسنوات) + ٥١٩,٣ ملي لتر

مقدار خطأ التقدير = ٢١٢ ملي لتر/ دقيقة.

النساء = (٩,٣٩ × مقدار العبء الأقصى بالشمعة) + (٧,٧ × الوزن بالكجم) - (٥,٨٨ × العمر بالسنوات) + ١٣٦,٧ ملي لتر. (مقدار خطأ التقدير = ١٤٥ ملي لتر في الدقيقة).

علماً بأن المعادلة السابقة قد تم التأكد من صحتها وملائمتها للبنين والبنات من ١٣-١٨ سنة، حيث بلغ معامل الارتباط ٠,٩٠ للبنين و ٠,٩١ للبنات، ولكلاهما ٠,٩٦، وخطأ التقدير كان ١٩٨ ملي لتر في الدقيقة^(٧١).

تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال اختبارات الجهد البدني دون الأقصى

تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال جهد بدني أقصى فيه إجهاد على الشخص، كما أن ذلك يعرضه لبعض المخاطر التي تنجم من القيام بالجهد البدني الأقصى، خاصة إذا كان يعاني من بعض عوامل الخطورة الصحية، أو من الخاملين بدنياً. لذا يتم اللجوء أحياناً إلى تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال إجراء اختبارات الجهد البدني دون الأقصى. إن معظم اختبارات الجهد البدني دون الأقصى تعتمد إلى حد كبير على مقدار استجابة ضربات القلب عند ذلك المستوى من الجهد البدني دون الأقصى. وهذا الإجراء يتميز ببعض المميزات لكنه يتضمن أيضاً بعض العيوب، وهي على النحو التالي:

المميزات:

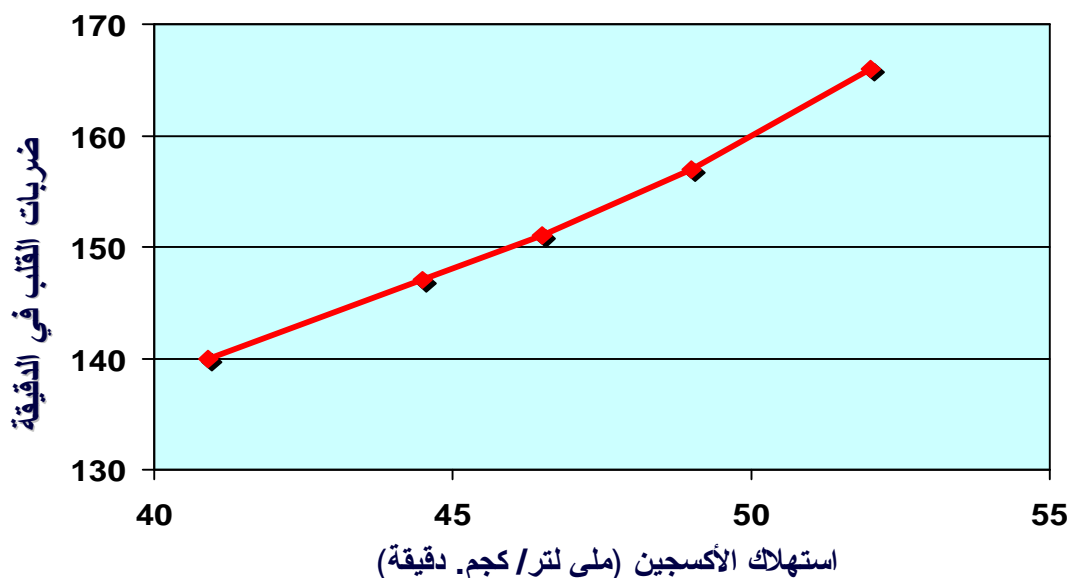
- ١ - ليس من الضروري إجهاد المفحوص إلى طاقته القصوى في هذا النوع من الاختبارات، وهذا يحمل بين طياته راحة وسلامة للمفحوص.
- ٢ - قياس ضربات القلب إجراء سهل ومتوافر دائماً، بالإضافة إلى أن ضربات القلب أثناء الجهد البدني مؤشر جيد على العبء الملقى على الجهاز القلبي التنفسي.

العيوب:

- ١ - ضربات القلب دون القصوى تتأثر بعوامل عديدة، منها الحالة النفسية للمفحوص (القلق والاستثارة)، والفترة الفاصلة بين الاختبار والوجبة (بعد الوجبة، وخاصة الكبيرة ترتفع

ضربات القلب من أجل ضخ دم أكثر للجهاز الهضمي)، ودرجة الحرارة الخارجية، ومقدار السوائل في جسم المفحوص (حيث يؤدي انخفاض حجم البلازما في الدم إلى ارتفاع ضربات القلب).

٢- أن هذه الاختبارات مبنية على العلاقة الخطية بين ضربات القلب وعبء الجهد واستهلاك الأوكسجين، وفي الواقع فإن العلاقة بين ضربات القلب واستهلاك الأوكسجين هي علاقة خطية عندما تكون ضربات القلب تتراوح فقط بين مستويات فوق ٥٠ % إلى ٩٠ % من ضربات القلب القصوى. ويوضح الشكل البياني رقم (١٧-٢٠) العلاقة الخطية بين معدل ضربات القلب واستهلاك الأوكسجين، بناءً على قياسات أُجريت في مختبر فسيولوجيا الجهد البدني بجامعة الملك سعود.



شكل رقم (١٧-٢٠): العلاقة الخطية بين ضربات القلب ومقدار استهلاك الأوكسجين (البيانات من مختبر فسيولوجيا الجهد البدني بجامعة الملك سعود).

• تقدير الاستهلاك الأقصى للأوكسجين باستخدام اختبار أستراند:

يعد هذا الاختبار من أشهر الاختبارات التي تقدر الاستهلاك الأقصى للأوكسجين بناءً على معدل ضربات القلب دون القصوى أثناء جهد بدني دون الأقصى، والاختبار في الواقع منسوباً إلى العالمين الإسكندنافيين أستراند وريمنج^(٣٦) الذين قاما بتطويره في عام ١٩٥٤، لكنه معروف أيضاً باختبار أستراند فقط. ويعتبر هذا الاختبار سهل التطبيق، وهو يعتمد أساساً من الناحية النظرية على العلاقة الوثيقة بين معدل ضربات القلب وحجم استهلاك الأوكسجين

اثناء الجهد البدني دون الأقصى، وكل ما يتطلبه الاختبار هو دراجة جهد من نوع مونارك أو ماشابهها، وجهاز لقياس معدل ضربات القلب (يمكن القيام بتحسس نبض القلب في حالة عدم توفر أجهزة قياس معدل ضربات القلب). في هذا الاختبار يتم تعريض المفحوص إلى جهد بدني محدد باستخدام دراجة الجهد لمدة ٦ دقائق، ثم يتم قياس ضربات قلبه عند استقرارها في نهاية الاختبار، ومن ثم النظر في جداول معدة مسبقاً من قبل العالمين أستراند وريمونق لتقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين. ويجدر الإشارة إلى أن احتمالات حدوث خطأ في عملية التقدير تصل إلى ١٠% (أي أن الفرق بين التقدير والقياس الحقيقي قد يصل إلى ١٠%).

إجراءات الاختبار:

- ١- يجلس المفحوص على مقعد الدراجة ويتم ضبط ارتفاع المقعد بالشكل المناسب، بحيث تصبح الساق ممدودة وزاوية الركبة أثناء مدّها لا تزيد عن ١٠%.
- ٢- يتم تحديد ضربات القلب في الراحة للمفحوص وهو جالساً على الدراجة، وفي حالة استخدام طريقة التحسس فيكون جس النبض لمدة ١٥ ثانية ثم ضرب الناتج في ٤ للحصول على معدل ضربات القلب في الدقيقة.
- ٣- يبدأ المفحوص بتحريك العجل بمعدل ٥٠ دورة في الدقيقة، بعد وضع المقاومة على ٢ كجم بالنسبة للرجال (أي تصبح القدرة ٦٠٠ كجم. متر في الدقيقة، أو ١٠٠ شمعة)، وعند مقاومة تساوي ١ كجم بالنسبة للنساء (أي تصبح القدرة ٣٠٠ كجم. متر في الدقيقة، أو ٥٠ شمعة). ينبغي أن يتراوح معدل ضربات القلب للمفحوص في نهاية الاختبار من ١٢٠-١٧٠ ضربة في الدقيقة، لذا إذا لم تصل ضربات القلب في نهاية الدقيقة السادسة إلى ١٢٠ ضربة في الدقيقة فيتم رفع القدرة لدى الرجال إلى ٩٠٠ كجم. متر في الدقيقة (أي المقاومة عند ٣ كجم)، ولدى النساء إلى ٤٥٠ كجم. متر في الدقيقة، أما في حالة تجاوز ضربات القلب ١٧٠ فينبغي اختيار قدرة أدنى من تلك التي أدت إلى رفع ضربات القلب إلى هذا المستوى.
- ٤- يتم تسجيل معدل ضربات القلب في نهاية كل دقيقة، ويستخدم متوسط معدل ضربات القلب في الدقيقتين الخامسة والسادسة كمؤشر لمعدل ضربات القلب عند ذلك العبء، وفي حالة وجود فرق بين معدل ضربات القلب في الدقيقة الخامسة والدقيقة السادسة يزيد عن خمس ضربات في الدقيقة، فعلى المفحوص الاستمرار في أداء الجهد البدني لمدة دقيقة سابعة، ثم أخذ متوسط الدقيقتين السادسة والسابعة كمتوسط لمعدل ضربات القلب عند ذلك العبء.

٥- يتم النظر في الجدولين رقم (١٧-٨) ورقم (١٧-٩) لتحديد معدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين المقابل لمعدل ضربات القلب عند ذلك العبء.

جدول رقم (١٧-٨): تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين (لتر في الدقيقة) لدى الرجال من خلال استجابة ضربات القلب في الدقيقة لجهد بدني عند عبء محدد على دراجة الجهد.

القدرة (كجم/ متر في الدقيقة)				ضربات القلب	القدرة (كجم/ متر في الدقيقة)					ضربات القلب	
١٥٠٠	١٢٠٠	٩٠٠	٦٠٠		١٥٠٠	١٢٠٠	٩٠٠	٦٠٠	٣٠٠		
٥,٤	٤,٣	٣,٢	٢,٤	١٤٨		-	٤,٨	٣,٥	٢,٢	١٢٠	
٥,٤	٤,٣	٣,٢	٢,٣	١٤٩		-	٤,٧	٣,٤	٢,٢	١٢١	
٥,٣	٤,٢	٣,٢	٢,٣	١٥٠		-	٤,٧	٣,٤	٢,٢	١٢٢	
٥,٢	٤,٢	٣,١	٢,٣	١٥١		-	٤,٦	٣,٤	٢,١	١٢٣	
٥,٢	٤,١	٣,١	٢,٣	١٥٢		٦,٠	٤,٥	٣,٣	٢,١	١٢٤	
٥,١	٤,١	٣,٠	٢,٢	١٥٣		٥,٩	٤,٤	٣,٢	٢,٠	١٢٥	
٥,١	٤,٠	٣,٠	٢,٢	١٥٤		٥,٨	٤,٤	٣,٢	٢,٠	١٢٦	
٥,٠	٤,٠	٣,٠	٢,٢	١٥٥		٥,٧	٤,٣	٣,١	٢,٠	١٢٧	
٥,٠	٤,٠	٢,٩	٢,٢	١٥٦		٥,٦	٤,٢	٣,١	٢,٠	١٢٨	
٤,٩	٣,٩	٢,٩	٢,١	١٥٧		٥,٦	٤,٢	٣,٠	١,٩	١٢٩	
٤,٩	٣,٩	٢,٩	٢,١	١٥٨		٥,٥	٤,١	٣,٠	١,٩	١٣٠	
٤,٨	٣,٨	٢,٨	٢,١	١٥٩		٥,٤	٤,٠	٢,٩	١,٩	١٣١	
٤,٨	٣,٨	٢,٨	٢,١	١٦٠		٥,٣	٤,٠	٢,٩	١,٨	١٣٢	
٤,٧	٣,٧	٢,٨	٢,٠	١٦١		٥,٣	٣,٩	٢,٨	١,٨	١٣٣	
٤,٦	٣,٧	٢,٨	٢,٠	١٦٢		٥,٢	٣,٩	٢,٨	١,٨	١٣٤	
٤,٦	٣,٧	٢,٨	٢,٠	١٦٣		٥,١	٣,٨	٢,٨	١,٧	١٣٥	
٤,٥	٣,٦	٢,٧	٢,٠	١٦٤		٥,٠	٣,٨	٢,٧	١,٧	١٣٦	
٤,٥	٣,٦	٢,٧	٢,٠	١٦٥		٥,٠	٣,٧	٢,٧	١,٧	١٣٧	
٤,٥	٣,٦	٢,٧	١,٩	١٦٦		٤,٩	٣,٧	٢,٧	١,٦	١٣٨	
٤,٤	٣,٥	٢,٦	١,٩	١٦٧		٤,٨	٣,٦	٢,٦	١,٦	١٣٩	
٤,٤	٣,٥	٢,٦	١,٩	١٦٨		٦,٠	٤,٨	٣,٦	٢,٦	١,٦	١٤٠
٤,٣	٣,٥	٢,٦	١,٩	١٦٩		٥,٩	٤,٧	٣,٥	٢,٦	-	١٤١
٤,٣	٣,٤	٢,٦	١,٨	١٧٠		٥,٨	٤,٦	٣,٥	٢,٥	-	١٤٢
						٥,٧	٤,٦	٣,٤	٢,٥	-	١٤٣
						٥,٧	٤,٥	٣,٤	٢,٥	-	١٤٤
						٥,٦	٤,٥	٣,٤	٢,٤	-	١٤٥
						٥,٦	٤,٤	٣,٣	٢,٤	-	١٤٦
						٥,٥	٤,٤	٣,٣	٢,٤	-	١٤٧

المصدر: Astrand, 1965

جدول رقم (١٧-٩): تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين (لتر في الدقيقة) لدى النساء من خلال استجابة ضربات القلب في الدقيقة لجهد بدني عند عبء محدد على دراجة الجهد.

القدرة (كجم/ متر في الدقيقة)				ضربات القلب	القدرة (كجم/ متر في الدقيقة)					ضربات القلب
٩٠٠	٧٥٠	٦٠٠	٤٥٠		٩٠٠	٧٥٠	٦٠٠	٤٥٠	٣٠٠	
٣,٥	٣,٠	٢,٦	٢,١	١٤٩	-	٤,٨	٤,١	٣,٤	٢,٦	١٢٠
٣,٥	٣,٠	٢,٥	٢,٠	١٥٠	-	٤,٨	٤,٠	٣,٣	٢,٥	١٢١
٣,٥	٣,٠	٢,٥	٢,٠	١٥١	-	٤,٧	٣,٩	٣,٢	٢,٥	١٢٢
٣,٤	٢,٩	٢,٥	٢,٠	١٥٢	-	٤,٦	٣,٩	٣,١	٢,٤	١٢٣
٣,٣	٢,٩	٢,٤	٢,٠	١٥٣	-	٤,٥	٣,٨	٣,١	٢,٤	١٢٤
٣,٣	٢,٨	٢,٤	٢,٠	١٥٤	-	٤,٤	٣,٧	٣,٠	٢,٣	١٢٥
٣,٢	٢,٨	٢,٤	١,٩	١٥٥	-	٤,٣	٣,٦	٣,٠	٢,٣	١٢٦
٣,٢	٢,٨	٢,٣	١,٩	١٥٦	-	٤,٢	٣,٥	٢,٩	٢,٢	١٢٧
٣,٢	٢,٧	٢,٣	١,٩	١٥٧	٤,٨	٤,٢	٣,٥	٢,٨	٢,٢	١٢٨
٣,١	٢,٧	٢,٣	١,٨	١٥٨	٤,٨	٤,١	٣,٤	٢,٨	٢,٢	١٢٩
٣,١	٢,٧	٢,٢	١,٨	١٥٩	٤,٧	٤,٠	٣,٤	٢,٧	٢,١	١٣٠
٣,٠	٢,٦	٢,٢	١,٨	١٦٠	٤,٦	٤,٠	٣,٤	٢,٧	٢,١	١٣١
٣,٠	٢,٦	٢,٢	١,٨	١٦١	٤,٥	٣,٩	٣,٣	٢,٧	٢,٠	١٣٢
٣,٠	٢,٦	٢,٢	١,٨	١٦٢	٤,٤	٣,٨	٣,٢	٢,٦	٢,٠	١٣٣
٢,٩	٢,٦	٢,٢	١,٧	١٦٣	٤,٤	٣,٨	٣,٢	٢,٦	٢,٠	١٣٤
٢,٩	٢,٥	٢,١	١,٧	١٦٤	٤,٣	٣,٧	٣,١	٢,٦	٢,٠	١٣٥
٢,٩	٢,٥	٢,١	١,٧	١٦٥	٤,٢	٣,٦	٣,١	٢,٥	١,٩	١٣٦
٢,٨	٢,٥	٢,١	١,٧	١٦٦	٤,٢	٣,٦	٣,٠	٢,٥	١,٩	١٣٧
٢,٨	٢,٤	٢,١	١,٦	١٦٧	٤,١	٣,٥	٣,٠	٢,٤	١,٨	١٣٨
٢,٨	٢,٤	٢,٠	١,٦	١٦٨	٤,٠	٣,٥	٢,٩	٢,٤	١,٨	١٣٩
٢,٨	٢,٤	٢,٠	١,٦	١٦٩	٤,٠	٣,٤	٢,٨	٢,٤	١,٨	١٤٠
٢,٧	٢,٤	٢,٠	١,٦	١٧٠	٣,٩	٣,٤	٢,٨	٢,٣	١,٨	١٤١
					٣,٩	٣,٣	٢,٨	٢,٣	١,٧	١٤٢
					٣,٨	٣,٣	٢,٧	٢,٢	١,٧	١٤٣
					٣,٨	٣,٢	٢,٧	٢,٢	١,٧	١٤٤
					٣,٧	٣,٢	٢,٧	٢,٢	١,٦	١٤٥
					٣,٧	٣,٢	٢,٦	٢,٢	١,٦	١٤٦
					٣,٦	٣,١	٢,٦	٢,١	١,٦	١٤٧
					٣,٦	٣,١	٢,٦	٢,١	١,٦	١٤٨

المصدر: Astrand, 1965

٦- بالإضافة إلى حجم الاستهلاك الأقصى للأكسجين المطلق (باللتر في الدقيقة) يمكن حساب الاستهلاك الأقصى للأكسجين بالملي لتر لكل كجم من وزن الجسم في الدقيقة (أي الاستهلاك النسبي)، وذلك بقسمة الاستهلاك المطلق على وزن الجسم بعد تحويل حجم استهلاك الأكسجين من لترات إلى ملي لترات وذلك بضرب الحجم بالرقم ١٠٠٠.

ونظراً لأن حجم الاستهلاك الأقصى للأكسجين يتناقص مع التقدم في العمر كما أشرنا إلى ذلك سابقاً، فينبغي إذاً تصحيح مقادير الاستهلاك الأقصى للأكسجين الموضحة في الجدولين رقم (١٧-٨) ورقم (١٧-٩) باستخدام معامل التصحيح الموضح في الجدول رقم (١٧-١٠)، وذلك بضرب الحجم المشتق من الجدولين السابقين بمعامل التصحيح المبين في الجدول رقم (١٧-١٠). كما يوضح الجدول رقم (١٧-١١) تصنيف لمستويات اللياقة القلبية التنفسية بناءً على مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين المشتقة من الجدولين رقم (١٧-٨) ورقم (١٧-٩)، وذلك من أجل الاسترشاد والمقارنة.

جدول رقم (١٧-١٠): معامل تصحيح حجم الاستهلاك الأقصى للأكسجين بناءً على العمر عند تقديره طبقاً لطريقة أستراند.

العمر بالسنوات	معامل التصحيح	العمر بالسنوات	معامل التصحيح
١٥	١,١٠	٥٠	٠,٧٥
٢٥	١,٠٠	٥٥	٠,٧١
٣٥	٠,٨٧	٦٠	٠,٦٨
٤٠	٠,٨٣	٦٥	٠,٦٥
٤٥	٠,٧٨		

المصدر: Astrand, 1965

• تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين باستخدام معادلة فوكس:

تعد هذه الطريقة وسيلة سهلة لتقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين باستخدام معادلة خطية (Linear equation) قدمها العالم الفسيولوجي الأمريكي إدوارد فوكس (Fox) في بداية السبعينيات الميلادية^(٥٦). ولقد تم بناء المعادلة الخطية من خلال العلاقة بين مقادير القياس المباشر للاستهلاك الأقصى للأكسجين واستجابة معدل ضربات القلب في نهاية الدقيقة

الخامسة من الجهد البدني المرتفع الشدة على دراجة الجهد (عند مقاومة تعادل ٣ كجم، أي بقدرة تساوي ٩٠٠ كجم. متر في الدقيقة، أو ١٥٠ شمعة).

جدول رقم (١٧-١١): تصنيف اللياقة القلبية التنفسية بناءً على مقادير الاستهلاك الأقصى للأكسجين (بالملي لتر/كجم في الدقيقة) المشتقة من اختبار أستراند، تبعاً للعمر لدى الرجال والنساء.

العمر بالسنوات	منخفض	دون المتوسط	متوسط	جيد	مرتفع
الرجال					
٢٩-٢٠	٣٨ فأقل	٤٣-٣٩	٥١-٤٤	٥٦-٥٢	٥٧ فأكثر
٣٩-٣٠	٣٤ فأقل	٣٩-٣٥	٤٧-٤٠	٥١-٤٨	٥٢ فأكثر
٤٩-٤٠	٣٠ فأقل	٣٥-٣١	٤٣-٣٦	٤٧-٤٤	٤٧ فأكثر
٥٩-٥٠	٢٥ فأقل	٣١-٢٦	٣٩-٣٢	٤٣-٤٠	٤٤ فأكثر
٦٩-٦٠	٢١ فأقل	٢٦-٢٢	٣٥-٢٧	٣٩-٣٦	٤٠ فأكثر
النساء					
٢٩-٢٠	٢٨ فأقل	٣٤-٢٩	٤٣-٣٥	٤٨-٤٤	٤٩ فأكثر
٣٩-٣٠	٢٧ فأقل	٣٣-٢٨	٤١-٣٤	٤٧-٤٢	٤٨ فأكثر
٤٩-٤٠	٢٥ فأقل	٣١-٢٦	٤٠-٣٢	٤٥-٤١	٤٦ فأكثر
٦٥-٥٠	٢١ فأقل	٢٨-٢٢	٣٦-٢٩	٤١-٣٧	٤٢ فأكثر

المصدر: Astrand, 1965

إجراءات الاختبار:

- ١- يجلس المفحوص على مقعد الدراجة ويتم ضبط ارتفاع المقعد بالشكل المناسب، بحيث تصبح الساق ممدودة وزاوية الركبة أثناء مدّها لا تزيد عن ١٠%.
- ٢- تُوضع مقاومة الدراجة على ثلاثة كيلوجرامات، ويكون معدل سرعة دوران العجل ٥٠ دورة في الدقيقة (أي أن القدرة تكون ٩٠٠ كجم. متر في الدقيقة أو ١٥٠ شمعة).
- ٣- بعد بدء الاختبار يتم قياس معدل ضربات القلب كل دقيقة حتى نهاية الدقيقة الخامسة، وبمجرد تسجيل معدل ضربات القلب في الدقيقة الخامسة يتم إيقاف الاختبار.
- ٤- للحصول على تقدير للاستهلاك الأقصى للأكسجين، يتم استخدام معادلة فوكس التالية:

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (باللتر في الدقيقة) = $6,3 - (0,193 \times \text{معدل ضربات القلب في الدقيقة الخامسة من الجهد})$.

• تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين باستخدام اختبار كوينز كولينج (كلية الملكة):

وهو عبارة عن نسخة مبسطة من اختبار الخطوة لهارفارد تم تطويره في كلية الملكة في ولاية نيويورك الأمريكية بواسطة مكاردل وآخرون^(٨٤) (McArdle et al, 1991)، وتتلخص فكرة الاختبار بأن يقوم المفحوص بأداء جهد بدني لمدة ٣ دقائق على صندوق الخطوة، وفي نهاية الدقائق الثلاث يتم قياس ضربات القلب لديه، ومن ثم مقارنتها ببعض المعايير التي تم عملها على مجموعة كبيرة من الذكور والإناث، ولقد تم قياس صدق هذا الاختبار بمقارنته بالقياس المباشر للاستهلاك الأقصى للأكسجين ووجد أن معامل الارتباط بين القياس ومعدل ضربات القلب يساوي (-٠,٧٢) للرجال و(-٠,٧٥) للنساء.

الغرض من التجربة:

تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين.

الأدوات المستخدمة:

- صندوق خطوة ارتفاعه ١٦,٢٥ بوصة (٤١ سم).
- مقياس Metronome
- ساعة توقيت.
- جهاز قياس ضربات القلب (في حالة عدم توافره يمكن قياس نبض القلب عن طريق التحسس).

الإجراءات:

- ١- على المفحوص الصعود على صندوق الخطوة والنزول منه بمعدل ٢٤ صعوداً في الدقيقة للرجال (يوضع الميقاع على ٩٦ دقة في الدقيقة)، و ٢٢ صعوداً للنساء (يوضع الميقاع على ٨٨ دقة في الدقيقة).
- ٢- على المفحوص الاستمرار في أداء الجهد متمشياً مع الإيقاع لمدة ٣ دقائق متواصلة.
- ٣- في نهاية الدقائق الثلاث يتوقف المفحوص ويتم قياس نبض لقلب لديه بعد ٥ ثوان مباشرة من توقفه ولمدة ١٥ ثانية ثم ضرب الناتج في ٤ لمعرفة ضربات القلب في الدقيقة.
- ٤- تسجل قراءة ضربات القلب لدى المفحوص.
- ٥- ينظر في الجدول رقم (١٧-١٢) لمعرفة مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى ذلك المفحوص.

جدول رقم (١٧-١٢): معايير الاستهلاك الأقصى للأكسجين (مل/كجم. دقيقة) لدى الرجال والنساء بناءً على نتائج معدلات ضربات القلب في الدقيقة بعد التوقف مباشرة عن الجهد البدني في اختبار كوينز كوليج.

نساء		رجال	
الاستهلاك الأقصى للأكسجين	معدل ضربات القلب	الاستهلاك الأقصى للأكسجين	معدل ضربات القلب
٤٢,٢	١٢٨	٦٠,٩	١٢٠
٤٠,٠	١٤٠	٥٩,٣	١٢٤
٣٨,٥	١٤٨	٥٧,٦	١٢٨
٣٧,٧	١٥٢	٥٤,٢	١٣٦
٣٧,٠	١٥٦	٥٢,٥	١٤٠
٣٦,٦	١٥٨	٥٠,٩	١٤٤
٣٦,٣	١٦٠	٤٩,٢	١٤٨
٣٥,٩	١٦٢	٤٨,٨	١٤٩
٣٥,٧	١٦٣	٤٧,٥	١٥٢
٣٥,٥	١٦٤	٤٦,٧	١٥٤
٣٥,١	١٦٦	٤٥,٨	١٥٦
٣٤,٨	١٦٨	٤٤,١	١٦٠
٣٤,٤	١٧٠	٤٣,٣	١٦٢
٣٤,٢	١٧١	٤٢,٥	١٦٤
٣٤,٠	١٧٢	٤١,٦	١٦٦
٣٣,٣	١٧٦	٤٠,٨	١٦٨
٣٢,٦	١٨٠	٣٩,١	١٧٢
٣٢,٢	١٨٢	٣٧,٤	١٧٦
٣١,٨	١٨٤	٣٦,٦	١٧٨
٢٩,٦	١٩٦	٣٤,١	١٨٤

تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين باستخدام اختبار إيبيلنج:

نظراً لأن القيام بجهد بدني أقصى حتى التعب التام ينطوي على بعض الخطورة القلبية على الشخص كما أشرنا إلى ذلك سابقاً، خاصة لدى غير الممارس للنشاط البدني ممن هو في متوسط العمر أو في مرحلة الشيخوخة، فقد قام إيبيلنج (Ebbeling) وزملاؤه^(٥٣) بتطوير اختباراً للجهد البدني دون الأقصى يتمحور حول المشي على جهاز السير المتحرك بسرعة مريحة للشخص، ثم عن طريق بيانات سرعة المشي على السير المتحرك ومعدل ضربات القلب في نهاية الاختبار ومعلومات أخرى عن العمر ونوع الجنس يتم تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال استخدام معادلة تنبؤية مخصصة لهذا الغرض.

وتتلخص إجراءات الاختبار في المشي على السير المتحرك بسرعة تتراوح من ميلين (٣,٢ كم) إلى ٤,٥ ميلاً في الساعة (٧,٢ كم) لمدة ٤ دقائق، تبعاً لراحة المفحوص وقدرته، وذلك عند ميل يبلغ ٥%. يتم بعد ذلك حساب كل من سرعة المشي بالميل ومعدل ضربات القلب في نهاية الدقائق الأربعة مباشرة، ومن ثم استخدام تلك البيانات في معادلة تنبؤية بغرض تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين. هذا وقد بلغ معامل الارتباط بين القياس والتقدير ٠,٩٦، بناءً على فحص ١٣٩ شخصاً.

الإجراءات:

- ١- يعطي المفحوص فرصة للتعود على الجري على السير المتحرك وإجراء الإحماء لمدة ٢-٤ دقائق، ويتم خلال تلك الفترة معرفة السرعة المناسبة للمشي (والتي يجب أن تتراوح بين ميلين و ٤,٥ أميال في الساعة).
- ٢- تضبط السرعة المناسبة بعد ذلك ويوضع الميل عند ٥ %، ثم يطلب من المفحوص المشي على السير المتحرك لمدة ٤ دقائق متواصلة.
- ٣- يتم قياس معدل ضربات قلب المفحوص في نهاية الاختبار مباشرة.
- ٤- بعد انتهاء الاختبار، يُعطى المفحوص فترة من ٢-٣ دقائق يمشي خلالها على السير المتحرك عند سرعة منخفضة (لا يتم التوقف المفاجئ) من أجل الاسترداد ببطء.
- ٥- يقدر بعد ذلك الاستهلاك الأقصى للأكسجين وفقاً للمعادلة التنبؤية التالية:

$$\text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم. دقيقة)} =$$

$$15,1 \times (21,8 \times \text{السرعة بالميل}) - 0,327 \times \text{معدل ضربات القلب في الدقيقة} - \\ (0,263 \times \text{السرعة بالميل}) \times \text{العمر بالسنوات} + (0,00504 \times \text{معدل ضربات القلب}) \times \\ \text{العمر} + (0,98 \times \text{نوع الجنس}).$$

حيث يعطي الرقم ١ للذكور ، وصفر للإناث

تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال اختبارات ميدانية

تعتمد هذه الاختبارات الميدانية على زمن الأداء أثناء مشي أو جري مسافة معينة، أو على حساب المسافة المقطوعة أثناء المشي أو الجري لمدة زمنية محددة، وهي اختبارات لا تتطلب أي أدوات أو تجهيزات غير عادية. إن تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين في هذا النوع من الاختبارات مبني على العلاقة الخطية بين سرعة الجري ومعدل استهلاك الأكسجين عند تلك السرعة، كما يوضحه الشكل البياني رقم (١٧-١٩) المشار إليه سابقاً، على أن الاختبار لا يأخذ بالحسبان الاختلاف الطفيف بين الأفراد في كفاءة الجري. هذا وسوف نستعرض مجموعة من الاختبارات من هذا النوع مع معادلاتها التنبؤية، وذلك على النحو التالي:

١ - اختبار روكبورت (Rockport) للمشي (ميل واحد):

وهو اختبار للأشخاص الأصحاء البالغون من ٢٠-٦٩ سنة من العمر، ويتلخص الاختبار في مشي ميل واحد (١٦٠٩ متراً) في أقصر زمن ممكن على أرض مستوية أو مضمار، ومن ثم حساب الزمن الذي يستغرقه المفحوص في مشي ذلك الميل بالدقائق وأجزائها، وحساب معدل ضربات قلبه بعد نهاية المشي مباشرة، ثم تطبيق المعادلة التنبؤية التالية (٧٢):

$$\text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم . دقيقة)} =$$

$$132,853 - (0,0769 \times \text{وزن الجسم (بالباوند)}) - (0,3877 \times \text{العمر (بالسنوات)}) + \\ (6,315 \times \text{نوع الجنس}) - (3,2649 \times \text{الزمن بالدقائق وأجزائها}) - (0,1565 \times \text{معدل ضربات القلب})$$

ملاحظة: نوع الجنس: الرجال = ١ ، النساء = صفر ، علماً بأن كجم واحد = ٢.٢ باوند (رطل)

كما يمكن مقارنة أداء الشخص تبعاً للعمر ونوع الجنس مع معايير تصنيف اللياقة القلبية التنفسية الموضحة في الملحق رقم (١٤) في نهاية هذا الكتاب.

٢ - اختبار المشي لمسافة كيلومترين:

هو اختبار للمشي لمسافة كيلومترين، وهو شبيه باختبار روكبورت لكن المسافة أطول قليلاً من مسافة اختبار روكبورت، وتم تطوير الاختبار في فنلندا^(٧٦)، ويتم تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الرجال والنساء من خلال زمن قطع مسافة الكيلومترين ومعدل ضربات القلب في نهاية الاختبار مباشرة، بالإضافة إلى العمر ومؤشر كتلة الجسم.

الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الرجال (ملي لتر/ كجم في الدقيقة):

$$١٨٤,٠ - ٤,٦٥ \times \text{الزمن بالدقيقة وأجزاءها} - ٠,٢٢ \times \text{معدل ضربات القلب في نهاية الاختبار مباشرة} - ٠,٢٦ \times \text{العمر بالسنوات} - ١,٠٥ \times \text{مؤشر كتلة الجسم}.$$

الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى النساء (ملي لتر/ كجم في الدقيقة):

$$١١٦,٢ - ٢,٩٨ \times \text{الزمن بالدقيقة وأجزاءها} - ٠,١١ \times \text{معدل ضربات القلب في نهاية الاختبار مباشرة} - ٠,١٤ \times \text{العمر بالسنوات} - ٠,٣٩ \times \text{مؤشر كتلة الجسم}.$$

٣ - اختبار الهرولة لمسافة ميل واحد:

وهو اختبار يعتمد على الهرولة (Jogging) لمسافة ميل واحد (١٦٠٩ متر)، ويصلح هذا الاختبار للشباب الأصحاء ممن تتراوح أعمارهم ما بين ١٨-٢٩ سنة، حيث تم تطوير ذلك الاختبار على عينة في هذه الفئة العمرية من الرجال والنساء. وتتلخص إجراءات الاختبار بالهرولة بخطوة مريحة وثابتة طوال المسافة المحددة، ثم قياس الزمن المستغرق في قطع مسافة الميل وكذلك حساب معدل ضربات القلب مباشرة بعد الإنهاء من الاختبار، ومن ثم تطبيق المعادلة التنبؤية التالية^(٦٠):

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم . دقيقة) =

$$٨٨,٠٢ - ٠,١٦٥٦ \times \text{وزن الجسم (بالكيلو جرام)} - ٢,٧ \times \text{الزمن بالدقائق} + ٣,٧١٦ \times \text{نوع الجنس}. \text{ حيث يعطى ١ للذكور، وصفر للإناث}.$$

٤ - اختبار الجري لمسافة ميل ونصف (٢,٤١ كم):

وهو اختبار يقوم فيه الشخص بالجري مسافة ميل ونصف الميل (أي مسافة ٢,٤١ كم)، ثم حساب الزمن المستغرق في قطع مسافة الاختبار، وبعد ذلك يتم النظر في الرتب المئينية الموضحة في الجدول رقم (١٧-١٣) لكل من الرجال والنساء في الفئات العمرية من ٢٠-٢٩ سنة وحتى ٦٠ سنة فما فوق، والتي هي نتاج إجراء الاختبار على أعداد كبيرة من المفحوصين في مختلف الأعمار، كما يمكن استخدام المعادلة التنبؤية التالية^(٦٤) لتقدير

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم في الدقيقة) = ٣,٥ + (٤٨٣ ÷ زمن جري ١,٥ ميل).

جدول رقم (١٧-١٣): الرتب المئينية (بالدقائق والثواني) لاختبار جري ميل ونصف (٢,٤١ كم).

العمر بالسنوات					الرتبة المئينية
٦٠+	٥٠-٥٩	٤٠-٤٩	٣٠-٣٩	٢٠-٢٩	
١٦٧٥ = ن	٧٠٩٥ = ن	٦٨٣٧ = ن	٣٨٠٨ = ن	١٠٠٥ = ن	رجال
١٢:٢٠	١١:١٨	١٠:١٦	٩:٣٠	٩:٠٩	٩٠
١٣:٥٣	١٢:٥١	١١:٤٤	١٠:٤٧	١٠:١٦	٨٠
١٤:٥٣	١٣:٤٥	١٢:٣٤	١١:٣٤	١٠:٤٧	٧٠
١٥:٢٩	١٤:٢٤	١٣:١٤	١٢:٢٠	١١:٤١	٦٠
١٦:٥٧	١٤:٥٥	١٣:٥٣	١٢:٥١	١٢:١٨	٥٠
١٦:٤٣	١٥:٢٦	١٤:٢٩	١٣:٣٦	١٢:٥١	٤٠
١٧:١٤	١٥:٥٧	١٤:٥٦	١٤:٠٨	١٣:٢٢	٣٠
١٨:٠٠	١٦:٤٣	١٥:٤١	١٤:٥٢	١٤:١٣	٢٠
١٩:١٥	١٧:٢٩	١٦:٢٨	١٥:٥٢	١٥:١٠	١٠
٧٦٤ = ن	٢٠٤٩ = ن	١٦٣٠ = ن	٨٧٨ = ن	٢٠٢ = ن	نساء
١٤:٥٥	١٤:٥٥	١٣:٢٢	١٢:٥١	١١:٤٣	٩٠
١٦:٢٠	١٥:٥٧	١٤:٣١	١٣:٤٣	١٢:٥١	٨٠
١٦:٥٨	١٦:٢٧	١٥:١٦	١٢:٢٤	١٣:٥٣	٧٠
١٧:٤٦	١٦:٥٨	١٥:٥٧	١٥:٠٨	١٤:٢٤	٦٠
١٨:١٦	١٧:٢٤	١٦:٢٧	١٥:٢٦	١٤:٥٥	٥٠
١٨:٤٤	١٧:٥٥	١٦:٥٨	١٥:٥٧	١٥:٢٦	٤٠
١٨:٥٩	١٨:٢٣	١٧:٢٤	١٦:٣٥	١٥:٥٧	٣٠
١٩:٢١	١٨:٤٩	١٨:٠٠	١٧:١٤	١٦:٣٣	٢٠
٢٠:٠٤	١٩:٣٠	١٨:٣١	١٨:٠٠	١٧:٢١	١٠

المصدر: ACSM's Guidelines for Exercise Testing & Prescription, 1995: 113-115.

٥ - اختبار كوبر للجري أو المشي لمدة ١٢ دقيقة:

وهو اختبار ميداني مشهور ينسب إلى الطبيب الأمريكي كينيث كوبر الذي طور هذا الاختبار وأشتق معاييره من تجارب عديدة أجراها على الجنود الأمريكيين^(٤٩)، حيث قام بمقارنة أداءهم أثناء جري ١٢ دقيقة متواصلة (اختبار ميداني) مع المستويات الحقيقية لاستهلاكهم الأقصى للأكسجين الذي تم الحصول عليه من خلال اختبارات مباشرة أجريت في المختبر عن طريق قياس غازات التنفس أثناء جهد بدني أقصى، ولقد بلغ معامل الارتباط بين مسافة الجري في ١٢ دقيقة وقيمة الاستهلاك الأقصى للأكسجين ٠.٩٠. والاختبار يصلح في الواقع للأفراد الذين لديهم حماس واستعداد لبذل الجهد، ويمتلكون حداً أدنى من اللياقة الصحية والبدنية، كالرياضيين والجنود. وتتخلص إجراءات الاختبار بحساب أقصى مسافة يمكن أن يقطعها الشخص خلال ١٢ دقيقة (مشياً وجرياً)، ثم تقدير استهلاكه الأقصى من الأكسجين بواسطة أي من المعادلتين التنبؤيتين الموضحين أدناه، علماً بأن استخدام المعادلة الثانية يتطلب تحويل المسافة المقطوعة في ١٢ دقيقة من كيلومتر إلى ميل وإدخال المسافة بالكيلومتر في المعادلة، وذلك على النحو التالي:

$$١ - \text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم. دقيقة)} =$$

$$٢٢,٣٥١ \times (\text{المسافة المقطوعة بالكم}) - ١١,٢٨٩$$

$$٢ - \text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم. دقيقة)} =$$

$$٣٥,٩٧ \times (\text{المسافة المقطوعة في ١٢ دقيقة بالميل}) - ١١,٢٩$$

ولقد أصدر الدكتور كوبر معايير لكل من الرجال والنساء تبعاً لثلاث فئات عمرية، بحيث يمكن تصنيف أداء الشخص بناءً على مقدار المسافة المقطوعة إلى مستويات تبدأ من منخفض إلى عال، كما هو موضحاً في الجدول رقم (١٧-١٤). كما يوضح الجدول رقم (١٧-١٥) بعض المستويات الأدائية في اختبار كوبر (الجري لمدة ١٢ دقيقة) وما يقابلها من تقدير لمستوى الاستهلاك الأقصى للأكسجين، كما أشار إلى ذلك الدكتور إدموند بيرك^(٤٦)، أما الجدول رقم (١٧-١٦) فيوضح الرتب المئينية بالكيلومترات لنتائج اختبار كوبر لمدة ١٢ دقيقة، بناءً على قياسات أجريت على أعداد كبيرة من الرجال والنساء، وقد صُنفت إلى خمس فئات عمرية لكل من الرجال والنساء.

جدول رقم (١٧-١٤): تصنيف الأفراد حسب أدائهم لاختبار كوبر (الجري لمدة ١٢ دقيقة).

المسافة المقطوعة بالكيلومتر				العمر (سنة)
عال	جيد	مرضي	منخفض	
الرجال				
٢,٨٩ <	٢,٨٩ - ٢,٤٩	٢,٤٨ - ٢,١٧	٢,١٧ >	٢٦ - ١٧
٢,٥٦ <	٢,٥٦ - ٢,٣٣	٢,٣٢ - ٢,٠٩	٢,٠٩ >	٣٩ - ٢٧

٢,٤٠ <	٢,٤٠-٢,٢٤	٢,٢٣-٢,٠١	٢,٠١ >	٤٩-٤٠
٢,٢٥ <	٢,٢٥-٢,٠١	٢,٠٠-١,٧٩	١,٧٩ >	٥٠ ≤
النساء				
٢,٣٣ <	٢,٣٣-٢,٠١	٢,٠٠-١,٨٥	١,٨٥ >	٢٦-١٧
٢,١٧ <	٢,١٧-١,٩٣	١,٩٢-١,٦٩	١,٦٩ >	٣٩-٢٧
٢,٠١ <	٢,٠١-١,٨٥	١,٨٤-١,٦٠	١,٦٠ >	٤٩-٤٠
١,٨٥ <	١,٨٥-١,٦٩	١,٦٨-١,٥٢	١,٥٢ >	٥٠ ≤

(المصدر: Cooper,1980)

جدول رقم (١٧-١٥): تصنيف مستوى الأداء في اختبار الجري لمدة ١٢ دقيقة (اختبار كوبر) وما يقابلها من تقدير للاستهلاك الأقصى للأكسجين.

ممتاز	جيد	متوسط	ضعيف	الفقرة
٣,٢	٢,٨	٢,٤	٢,٠	جري ١٢ دقيقة (المسافة كم)
٦٥-٥٥	٥٥-٤٥	٤٥-٣٥	٣٠	الاستهلاك الأقصى للأكسجين (مل/كجم. في الدقيقة) تقريباً

(المصدر: Burke,1976)

جدول رقم (١٧-١٦): الرتب المئينية (بالكيلو متر) لاختبار كوبر (جري ١٢ دقيقة).

العمر بالسنوات					الرتبة المئينية
+ ٦٠	٥٩-٥٠	٤٩-٤٠	٣٩-٣٠	٢٩-٢٠	
١٦٧٥ = ن	٧٠٩٥ = ن	٦٨٣٧ = ن	٣٨٠٨ = ن	١٠٠٥ = ن	رجال
٢,٣٨	٢,٥١	٢,٦٤	٢,٧٤	٢,٨٧	٩٠
٢,١٩	٢,٣٢	٢,٤٦	٢,٥٨	٢,٦٤	٨٠
٢,٠٦	٢,٢١	٢,٣٥	٢,٤٨	٢,٥٨	٧٠
١,٩٨	٢,١٣	٢,٢٧	٢,٣٨	٢,٤٦	٦٠
١,٩٠	٢,٠٦	٢,١٩	٢,٣٢	٢,٤٠	٥٠
١,٨٤	٢,٠٠	٢,١٣	٢,٢٢	٢,٣٢	٤٠
١,٧٨	١,٩٤	٢,٠٦	٢,١٦	٢,٢٦	٣٠
١,٦٨	١,٨٤	١,٩٧	٢,٠٦	٢,١٤	٢٠
١,٥٢	١,٧٤	١,٨٧	١,٩٤	٢,٠٣	١٠
٧٦٤ = ن	٢٠٤٩ = ن	١٦٣٠ = ن	٨٧٨ = ن	٢٠٢ = ن	نساء
٢,٠٦	٢,٠٦	٢,٢٦	٢,٣٢	٢,٤٦	٩٠

١,٨٩	١,٩٤	٢,١١	٢,٢١	٢,٣٢	٨٠
١,٨١	١,٨٧	٢,٠٠	٢,١٣	٢,١٩	٧٠
١,٧١	١,٨١	١,٩٤	٢,٠٣	٢,١٣	٦٠
١,٦٥	١,٧٦	١,٨٧	٢,٠٠	٢,٠٦	٥٠
١,٥٨	١,٧٠	١,٨١	١,٩٤	٢,٠٠	٤٠
١,٥٥	١,٦٣	١,٧٦	١,٨٦	١,٩٤	٣٠
١,٥٠	١,٥٧	١,٦٨	١,٧٨	١,٨٦	٢٠
١,٤٢	١,٤٩	١,٦٢	١,٦٨	١,٧٦	١٠

المصدر: ACSM's Guidelines for Exercise Testing & Prescription, 1995: 113-115

٦ - اختبار بلكي لجري أو مشي ١٥ دقيقة:

هو اختبار مشابه لاختبار كوبر، إلا أنه يعتمد على حساب المسافة المقطوعة خلال ١٥ دقيقة بدلاً من ١٢ دقيقة كما هو الحال مع اختبار كوبر. ولقد تم تطوير هذا الاختبار في الواقع قبل اختبار كوبر بعدة سنوات من قبل الدكتور برونو بلكي^(٣٧). ويتطلب هذا الاختبار ضبط سرعة الجري حتى يتمكن الشخص بقطع أطول مسافة ممكنة خلال مدة الاختبار، ويتم تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين باستخدام المعادلة التالية:

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم. دقيقة) =

$$0,172 \times ((\text{المسافة المقطوعة بالمتر} \div 15) - 133) + 33,3$$

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم. دقيقة) =

$$12,5 \times \text{المسافة المقطوعة بالكلم في 15 دقيقة} + 6,5$$

٧ - اختبار هارفارد للخطوة (Harvard Step test):

هو اختبار لتحديد الكفاءة البدنية، ويمكن إجراءه في المختبر أو في الميدان، ويعد اختبار هارفارد من أقدم اختبارات الجهد البدني وأكثرها شيوعاً حتى الثمانينيات من نهاية القرن الماضي. وينسب هذا الاختبار إلى جامعة هارفارد الأمريكية، حيث تم تطويره في مختبر قياس التعب العضلي (Harvard Fatigue Laboratory) في تلك الجامعة في عام ١٩٤٣م. وهو اختبار شاق نسبياً، لذا يستخدم لمن لياقتهم البدنية جيدة، مثل الجنود العسكريين والشباب. ويتلخص إجراء هذا الاختبار في الصعود والنزول من على صندوق خشبي أو مقعد سويدي يبلغ ارتفاعه ٢٠ بوصة (حوالي ٥١ سم) وبمعدل يبلغ ٣٠ مرة في الدقيقة لمدة خمس دقائق، ومن ثم حساب مؤشر الكفاءة البدنية على النحو التالي:

مؤشر الكفاءة البدنية = (مدة الجهد البدني بالثواني × ١٠٠) ÷ (٢ × مجموع معدلات ضربات القلب في الدقائق الثلاث الأولى من الاسترداد).

ومن الجدير بالإشارة أن معامل ارتباط مؤشر الكفاءة البدنية بناءً على استخدام اختبار هارفارد للخطوة مع الاستهلاك الأقصى للأكسجين يتراوح من ٠,٣٥ - ٠,٧٧، أما ثبات الاختبار فيتراوح من ٠,٦٨ - ٠,٩٥.

إجراءات الاختبار:

١- يتم أولاً ضبط معدل الصعود والهبوط من وعلى الصندوق بمعدل ١٢٠ دقة في الدقيقة بواسطة الميقاع (Metronome)، أي ٣٠ صعود كامل في الدقيقة، بحيث تكون خطوات الصعود والنزول خلال دورة صعود ونزول كاملة تساوي أربع خطوات.

٢- مع إشارة البدء يقوم المفحوص بالصعود والنزول من على الصندوق بمعدل ٣٠ خطوة في الدقيقة متمشياً مع دقات جهاز الميقاع، لمدة خمس دقائق كاملة.

٣- في نهاية الدقيقة الخامسة يتوقف المفحوص (أو متى ما توقف حتى ولو لم يكمل الدقائق الخمس)، ويتم بعد ذلك قياس معدل ضربات قلبه في نهاية كل دقيقة من الاسترداد (أي بعد الدقيقة الأولى من توقفه، ثم بعد نهاية كل من الدقيقة الثانية والثالثة من توقفه). وفي حالة عدم وجود جهاز لقياس معدل ضربات القلب، يمكن تقدير معدل ضربات القلب من خلال تحسس النبض في أي من الشريان السباتي أو الكعبري، لمدة ١٠ ثانية وضرب الناتج في ستة للحصول على معدل ضربات القلب في الدقيقة.

٤- يُحسب مؤشر الكفاءة البدنية باستخدام المعادلة المشار إليها سابقاً، ويمكن الاسترشاد بالمعايير التي تتم تطويرها من قبل ماثيوز (Mathews) في جامعة أوهايو الحكومية بالولايات المتحدة الأمريكية، والموضحة في الجدول رقم (١٧-١٧).

جدول رقم (١٧-١٧): بعض المعايير المقترحة من قبل ماثيوز في اختبار هارفارد للخطوة.

المعيار	مقدار مؤشر الكفاءة البدنية
ممتاز	فوق ٩٠
جيد	٨٩-٨٠
متوسط	٧٩-٦٥
دون المتوسط	٦٤-٥٥

٨ - اختبار الجري المكوكي المتعدد المراحل لـ ٢٠ متر (20 meter Shuttle run test test):

هو اختبار ميداني يُجرى في الصالات المغلقة أو أي ممر داخلي يتسع لمسافة الاختبار. وهو مقياس جيد لتقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين، خاصة للألعاب التي تتطلب جري سريع فكري وتغيير الاتجاه، كمعظم الألعاب الرياضية الشائعة مثل: كرة القدم والسلة واليد. وتتلخص إجراءاته في الجري بسرعة مقننة بين نقطتين يفصل بينهما مسافة ٢٠ متر، والاختبار يتكون من مجموعة مراحل، مدة كل مرحلة دقيقتين. وتبدأ سرعة الجري في المرحلة الأولى عند ٨,٥ كم في الساعة وتزداد السرعة بمقدار ٠,٥ كم في الساعة في كل دقيقة حتى الوصول إلى التعب وعدم القدرة على مجارة سرعة إيقاع النغمات^(٧٨).

ويتم ضبط إيقاع سرعة المشي من خلال شريط تسجيل يصدر صوتاً ذا نغمة قصيرة، ينبغي أن يكون المفحوص عند سماعها قد وصل إلى أحد طرفي مسافة العشرين متر، ونغمة الصوت الآخر يكون عند سماعها قد وصل إلى الطرف الآخر من مسافة العشرين متر، كما هو موضحاً في الشكل رقم (١٧-٢١). وعند بدء مرحلة جديدة (وبالتالي زيادة سرعة الجري) يتم إصدار صوت ذا نغمة طويلة. وينتهي الاختبار عندما لا يستطيع المفحوص المحافظة على إيقاع سرعة الجري، ويتم حساب آخر سرعة وصل إليها والمرحلة التي توصل إليها. ويتم تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين بالملي لتر/ كجم في الدقيقة من خلال أي من المعادلتين التاليتين، أحدهما معادلة عامة تصلح لكل الأعمار (المعادلة الأولى) والأخرى معادلة مخصصة للراشدين (المعادلة الثانية)، وذلك على النحو التالي:



شكل رقم (١٧-٢١): رسم توضيحي لاختبار الجري المكوكي لمسافة ٢٠ متر المتعدد المراحل.

$$\text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم. دقيقة)} = 31,025 + (3,238 \times \text{سرعة الجري كم/ ساعة}) - (3,248 \times \text{العمر بالسنوات}) + 0,1536 \times (\text{العمر} \times \text{السرعة}).$$

$$\text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم. دقيقة)} = (6,0 \times \text{سرعة الجري كم/ ساعة}) - 24,4.$$

وفي دراسة أخرى^(١١٠) أجريت لمعرفة مصداقية اختبار الجري المكوكي المتعدد المراحل لمسافة ٢٠ متر على الراشدين الذكور والإناث، تم التوصل إلى معادلتين تعطي مصداقية أفضل من معادلتني ليغر (Leger) المشار إليهما سابقاً. وكان مربع معامل الارتباط قد بلغ في المعادلة الأولى ٠,٧٧، مع خطأ تقدير يساوي ٤,٠٧ ملي لتر/ كجم في الدقيقة، وبلغ في الثانية ٠,٦٦، مع خطأ تقدير = ٣,٦٤ ملي لتر/ كجم في الدقيقة، والمعادلتين هما على النحو التالي:

$$\text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم. دقيقة)} = 2,75 \times (\text{آخر نصف مرحلة تم إكمالها من قبل المفحوص}) + 28,8 \quad (\text{معادلة الذكور})$$

$$\text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم. دقيقة)} = 2,85 \times (\text{آخر نصف مرحلة تم إكمالها من قبل المفحوص}) + 25,1 \quad (\text{معادلة الإناث})$$

وفي رسالة ماجستير منشورة^(١) قدمت إلى قسم التربية البدنية وعلوم الحركة بجامعة الملك سعود، تم التأكد من مصداقية اختبار الجري المكوكي المتعدد المراحل لمسافة ٢٠ متر لدى الشباب الجامعي السعوديين وتم التوصل إلى معادلة تعطي مصداقية أكثر لدى الطلاب الجامعيين من ١٨ - ٢٥ سنة، ولقد بلغ مربع معامل الارتباط ٠,٧٧، وخطأ التقدير = ٣,٨ ملي لتر/ كجم في الدقيقة ومعادلة التقدير هي على النحو التالي (الجباري والمزيني ١٤٢٠):

$$\text{الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/ كجم. دقيقة)} = 4,527 \times (\text{سرعة الجري كم/ ساعة}) - (0,447 \times \text{مؤشر كتلة الجسم}) + 4,27$$

٩ - معادلات تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين من خلال زمن السباق:

وهي مجموعة معادلات مبنية على العلاقة بين متوسط زمن الجري أثناء سباقات تحميلية تتراوح مسافتها من ١,٥ كم إلى سباق الماراثون ومقدار القدرة الهوائية معبراً عنها بالمكافئ الأيضي الأقصى (MET)، ثم يتم تحويل المكافئ الأيضي الأقصى إلى الأستهلاك الأقصى للأكسجين بالملي لتر لكل كجم من وزن الجسم في الدقيقة بضرب الناتج في ٣,٥ ملي/كجم. في الدقيقة^(١٤). ويوضح الجدول رقم (١٧-١٨) مسافة السباق والمعادلات التنبؤية بالمكافئ الأيضي الأقصى وكذلك مقدار العلاقة الارتباطية بين معدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين الحقيقي والمقدّر. ومن أجل تحويل الزمن الذي استغرقه المتسابق في جري المسافة المحددة إلى سرعة بالكيلو متر في الساعة ينبغي علينا أولاً ضرب مسافة السباق (كم) في ٦٠ دقيقة ثم قسمة الناتج على زمن السباق بالدقيقة وأجزاءها.

مثال:

شخص شارك في سباق ٥ كم وقطع مسافة السباق في ١٧,٥ دقيقة، ما هو معدل استهلاكه الأقصى للأكسجين المتوقع؟

الإجابة:

- تحويل الزمن إلى سرعة = $(60 \times 5) \div 17,5 = 17,14$ كم في الساعة.
- نطبق المعادلة الموجودة في الجدول (١٧ - ١٨) والمقابلة لمسافة ٥ كم، على النحو التالي:

$$\text{المكافئ الأيضي} = 3,1747 + (0,9139 \times \text{سرعة الجري كم/ساعة})$$

$$\text{المكافئ الأيضي} = 3,1747 + (0,9139 \times 17,14) = 18,84$$

- نحسب الاستهلاك الأقصى للأكسجين بضرب المكافئ الأيضي في الرقم ٣,٥ كالتالي:
 $18,84 \times 3,5 = 65,94$ ملي لتر / كجم. في الدقيقة

جدول رقم (١٧-١٨): معادلات تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين بناءً على الزمن المستغرق في السباق بدءاً من مسافة ١,٥ كم إلى سباق الماراثون.

مسافة السباق	معادلة تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين	العلاقة الارتباطية
١,٥ كم	م أيضي = $2,4388 + (0,8343 \times \text{سرعة الجري كم/ساعة})$	٠,٩٥
٣ كم	م أيضي = $2,9226 + (0,8900 \times \text{سرعة الجري كم/ساعة})$	٠,٩٨
٥ كم	م أيضي = $3,1747 + (0,9139 \times \text{سرعة الجري كم/ساعة})$	٠,٩٨
١٠ كم	م أيضي = $4,7226 + (0,8698 \times \text{سرعة الجري كم/ساعة})$	٠,٨٨

٠,٨٥	م أفضى = ٦,٩٠٢١ + (٠,٨٢٤٦ × سرعة الجري كم/ساعة)	٤٢,١٩٥ كم
------	---	-----------

م أفضى = مكافئ أفضى ؛ ٤٢,١٩٥ كم = مسافة سباق الماراثون

المصدر: Tokmakidid S, Leger L, Mercier D, et al. *J Sports Med* 1987; 27: 401-409.