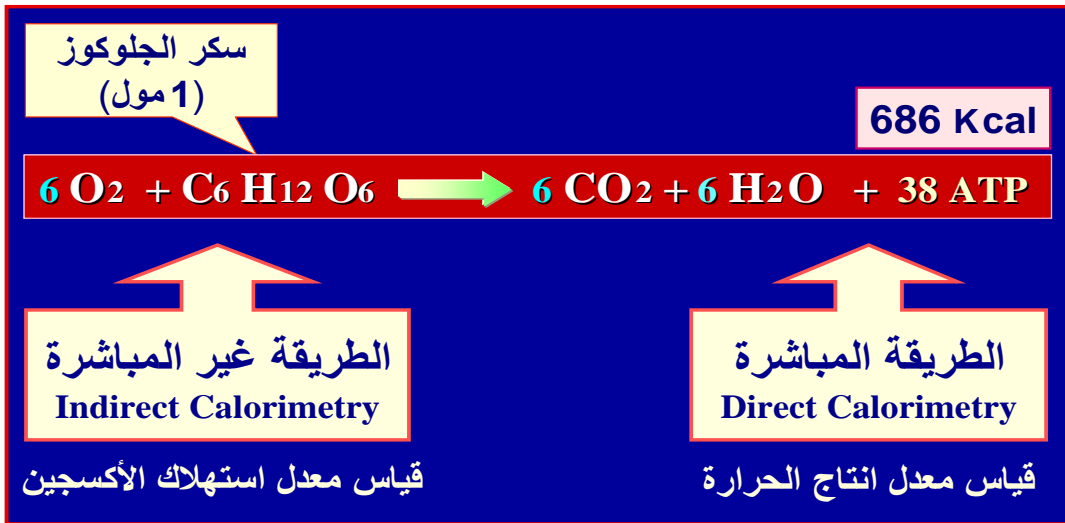


كيفية قياس الطاقة المصروفة من قبل الجسم

إن جميع العمليات الحيوية داخل جسم الإنسان يتم فيها استخدام الطاقة وينتج عنها حرارة. ويقوم الجسم بالتخلص من الحرارة المنبعثة من جراء عمليات الأيض (الإستقلاب) هذه بوسائل عدة، منها الحمل، والإشعاع، والتوصيل، وتبخر العرق. والمعروف أن تحويل الطاقة الكيميائية داخل العضلات (الناجمة من التمثيل الغذائي داخل الجسم) إلى طاقة ميكانيكية (شغل عضلي) يتم بكفاءة لا تزيد عن 25%، مما يعني أن ما يربو على 75% من الطاقة الكيميائية داخل الجسم تتحول إلى حرارة يتم التخلص منها من قبل الجسم. ويعتبر معدل إنتاج الحرارة في الجسم مؤشراً دقيقاً على معدل العمليات الأيضية (الحوية) التي تجري داخل الجسم، أي مؤشراً لمعدل الطاقة المصروفة من قبل الجسم. ويوضح الشكل رقم (1) معادلة التنفس الخلوي، المؤدية لإنتاج الطاقة داخل خلايا الجسم، حيث تستخدم كل من المواد الدهنية والكربوهيدراتية (وبنسبة ضئيلة جداً يمكن استخدام الأحماض الأمينية) في عمليات إنتاج الطاقة، وذلك من خلال حرقها في وجود الأكسجين، ويكون ناتج هذا التفاعل هو غاز ثاني أكسيد الكربون والماء. إن مقدار الطاقة الحرارية المنتجة من عملية التنفس الهوائي عند حرق مول واحد من الجلوكوز (بواسطة الأكسجين) تقدر بما يساوي 686 كيلو سعر حراري. هذه الحرارة المنبعثة من التحلل الجلوكوزي ترتبط ارتباطاً وثيقاً مع مقدار الوقود المستخدم (في هذه الحالة الجلوكوز) وبالتالي مقدار الأكسجين المستخدم، وعليه فكلما كان الأكسجين المستخدم في حرق الوقود أكبر كانت الطاقة الحرارية المنبعثة من التفاعل أكثر.



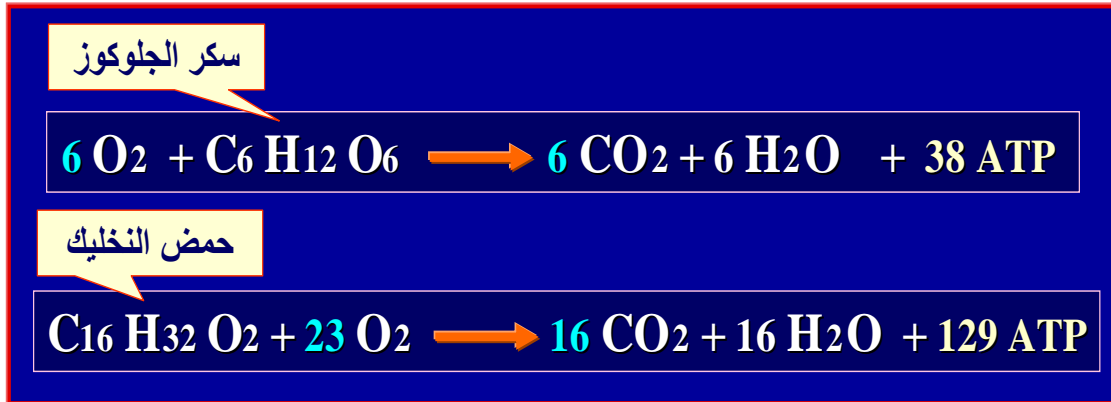
شكل رقم (1): معادلة التنفس الخلوي، وتظهر عملية حرق سكر الجلوكوز بواسطة الأكسجين، والنتيجة هي انبعاث ثاني أكسيد الكربون والماء والحصول على الطاقة بما يعادل 686 كيلو سعر حراري، وعليه فيمكن الاستدلال على معدل الأيض عن طريق غير مباشر من خلال قياس معدل الأكسجين المستهلك.

ولقياس الطاقة الحرارية المنبعثة مباشرة من الجسم، يلزمنا استخدام ما يسمى بمقياس الطاقة الحرارية المباشر (Direct calorimeter)، أي قياس الطاقة الحرارية المنبعثة مباشرة من الجسم، وهذا الإجراء يتطلب وجود غرفة خاصة مجهزة لهذا الغرض، تكون معزولة عن المحيط الخارجي، ويتم بداخلها قياس مقدار الحرارة المنبعثة من الجسم، سواء كان ذلك أثناء الراحة أم أثناء النشاط البدني. وعادة ما تكون هذه الغرفة معزولة تماماً عن الوسط الخارجي ومجهزة بأنابيب من الداخل يمر فيها تيار مائي (أو هوائي)، ويتم قياس الفرق بين درجة حرارة تيار الماء الداخل إلى الغرفة والتيار المائي الخارج منها، ومن ثم يتم تحويل ذلك إلى سرعات حرارية، حيث يدل انخفاض درجة حرارة لتر واحد من الماء درجة مئوية واحدة على فقدان كيلو سعر حراري واحد (كذلك فإن انخفاض درجة حرارة 10 لترات من الماء في الأنابيب المحيطة بالغرفة مقدار نصف درجة مئوية هو مؤشر على فقدان خمسة كيلو سرعات حرارية). علماً بأنه يتم الأخذ بالحسبان الحرارة المنبعثة من بخار الماء في تيار الهواء الداخل إلى الغرفة.

وفي حالة استخدام غرفة قياس الحرارة المنبعثة من الجسم أثناء الجهد البدني باستخدام السير المتحرك على سبيل المثال، فيتم أولاً حساب الطاقة الحرارية المنبعثة من تشغيل جهاز السير المتحرك وحده، وطرحها فيما بعد من الطاقة الحرارية الكلية المنبعثة أثناء الجهد البدني، لكي نحصل على الطاقة الفعلية التي انبعثت من قيام المفحوص بالجهد البدني داخل الغرفة. ولا يوجد في وقتنا الحاضر الكثير من الغرف الحرارية في دول العالم، بل هناك عدد محدود من غرف القياس المخصصة لرصد الحرارة المنبعثة من الجسم، وتستخدم بشكل رئيسي في أغراض البحث العلمي. وفي الآونة الأخيرة حدث تطور في قياس الحرارة المنبعثة من الجسم عن طريق تصنيع بذلة تحتوي أنابيب يمر فيها الماء، ويمكن لبسها من قبل المفحوص، وبالتالي قياس الحرارة المنبعثة منه سواء أثناء الراحة أو أثناء النشاط البدني، لكنها تظل أكثر تعقيداً مما يمكن تصوره، وبالتالي فهي ليست في الواقع طريقة عملية عدا لأغراض البحث العلمي.

ونظراً لصعوبة استخدام الطريقة المباشرة لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم، يتم اللجوء إلى ما يسمى بالطريقة غير المباشرة لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم (Indirect calorimetry)، ومن ذلك قياس معدل استهلاك الأوكسجين وإنتاج ثاني أكسيد الكربون من قبل الجسم، سواء كان ذلك في الراحة أم أثناء الجهد البدني، فالمعروف أن الأوكسجين المستنشق يتم استخدامه من قبل الجسم في حرق الوقود (المواد الكربوهيدراتية، والدهون، وإلى حد أقل البروتينات) من خلال عمليات أيضية هوائية (عمليات التمثيل الغذائي داخل الخلايا)، ويتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون كناتج أيضي يخرج عن طريق هواء الزفير، بالإضافة إلى إنتاج الماء. ويمكن بدقة ويسر تقدير الطاقة المصروفة أثناء الجهد البدني من خلال معرفة معدل استهلاك الأوكسجين ومقدار

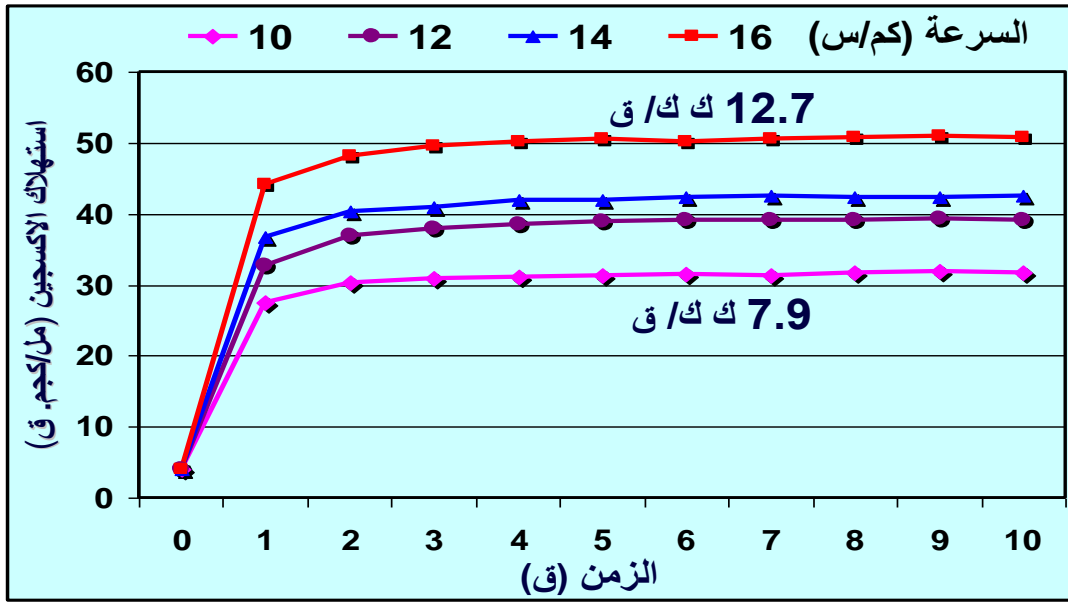
المعامل التنفسي الخلوي، خاصة في حالة الاستقرار (Steady state)، وهو حاصل قسمة معدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون على معدل استهلاك الأوكسجين، ويرمز له بالرمز (RQ)، حيث يكون المعامل التنفسي الخلوي يساوي 1 صحيح في حالة حرق الكربوهيدرات $100\% (6 \div 6 = 1)$ ، وحوالي 0.7 في حالة حرق الدهون $100\% (16 \div 23 + 0.695)$ ، كما هو موضحاً في الشكل رقم (2).



شكل رقم (2): يختلف مقدار المعامل التنفسي الخلوي (RQ) تبعاً لنوع الوقود المستخدم، فالدهون كما هو موضح في الشكل تستهلك كمية أكبر من الأوكسجين مقابل كمية ثاني أكسيد الكربون المنتج (23 مقابل 16)، مقارنة بالكربوهيدرات (6 مقابل 6).

وتتناسب في الواقع عملية استخدام الأوكسجين تناسباً طردياً مع الطاقة المنتجة من قبل الجسم. كما نلاحظ أثناء الجهد البدني المتدرج وجود علاقة خطية قوية بين استهلاك الأوكسجين وشدة الجهد البدني المبذول سواء كان ذلك الجهد محسوباً بالشمعة أو بمقدار سرعة الجري. ويوضح الشكل البياني رقم (3) رسماً بيانياً لمعدلات استهلاك الأوكسجين وكذلك الطاقة المصروفة لشباب رياضي أثناء قيادة بالجري على السير المتحرك عند سرعات مختلفة تراوحت من 10 كم في الساعة إلى 16 كم في الساعة، بلغت خلالها مقادير الطاقة الحرارية التي تم صرفها من قبله أثناء الجري من 7.9 كيلو سعر حراري في الدقيقة عند السرعة الدنيا إلى 12.7 كيلو سعر حراري في الدقيقة عند السرعة العليا.

وفي الأعوام القليلة الماضية حدث تطوراً كبيراً في تقنية أجهزة قياس استهلاك الأوكسجين، فمع توافر أجهزة صغيرة الحجم وسهلة الحمل تقوم بتخزين بيانات استهلاك الأوكسجين وإنتاج ثاني أكسيد الكربون ليتم تحليلها لاحقاً، أصبح بالإمكان استخدام هذه التقنية ميدانياً وإجراء قياسات استهلاك الأوكسجين وتقدير الطاقة المصروفة للرياضيين وللعديد من منسوبي المهن الأخرى.



شكل رقم (3): معدل استهلاك الأوكسجين والطاقة المصروفة بالكيلو سعر حراري لشاب رياضي عمره 21 سنة أثناء جريه على السير المتحرك عند أربع سرعات هي 10، 12، 14، 16 كم/ساعة. (المصدر: الهزاع، 1993)

استخدام الماء غير المشع كمقياس لمعدل الطاقة المصروفة

وهي إحدى الطرق المستخدمة في قياس الطاقة المصروفة من قبل الشخص، والتسمية الحقيقية للإجراء هي في الواقع استخدام الماء الموسوم بنظيري الأوكسجين والهيدروجين (Doubly-labeled water)، ونظراً لطول الترجمة، فقد استخدمنا بدلاً عنها كلمة غير المشع، وهذا في الواقع صحيح، حيث أن نظيري كل من الأوكسجين والهيدروجين المستخدمين في هذه الطريقة يعدان من النظائر المستقرة (Stable isotopes) وبالتالي فليس هناك خطورة تذكر من استخدامهما لقياس مستوى النشاط البدني، فالعنصران مستقران وغير مشعين، ويتم الحصول عليهما من خلال شركات تجارية تنتج النظائر. والنظير يشبه كيميائياً العنصر الأصلي، لكن كتلته الذرية (Atomic mass) مختلفة قليلاً، هذا الاختلاف في الكتلة الذرية هو الذي يجعل من الممكن تعقبه داخل الجسم وتمييزه عن العنصر الأصلي.

وطريقة استخدام الماء غير المشع لقياس الطاقة المصروفة تعد إجراء كيموحيوي يتم من خلاله مراقبة معدل العمليات الأيضية داخل الجسم، وبالتالي تحديد الطاقة الكلية المصروفة خلال كامل المدة التي تم فيها القياس. وفكرة الطريقة سهلة، حيث يقوم الشخص بشرب الماء الموسوم بنظيري الهيدروجين (^2H) والأوكسجين (^{18}O)، ومن هنا جاءت التسمية بالوسم المزدوج (Doubly labeled). ونظير الهيدروجين يسمى أحياناً ديوتيريوم

(Deuterium). وخلال ساعات بعد شرب الماء غير المشع يمتزج هذان النظيران بسوائل الجسم. إن نظير الهيدروجين يخرج بعد ذلك من الجسم على هيئة ماء (H_2O^2) من خلال البول والعرق والتنفس، أما نظير الأكسجين فيخرج على هيئة ماء (H_2O^{18}) وعلى هيئة ثاني أكسيد الكربون ($C^{18}O_2$). ويتم أخذ عينات من البول من المفحوص قبل شرب الماء غير المشع، ثم عينة أخرى في صباح اليوم التالي، وأخيراً عينة في نهاية التجربة، ومن خلال الفرق بين معدل التخلص من هذين النظيرين يتم تحديد كمية ثاني أكسيد الكربون المنتجة من قبل الجسم خلال زمن التجربة (الذي تتراوح من أسبوع إلى أسبوعين)، وبالتالي تقدير استهلاك الأكسجين. وهذه الطريقة لوحدتها تعطينا مؤشراً لكمية الطاقة الكلية المصروفة خلال مدة التجربة، ثم يتم قسمة تلك الطاقة الكلية على عدد أيام القياس، لنحصل على الطاقة الكلية بالكيلو سعر حراري في اليوم. وتمثل هذه الطاقة مجمل الطاقة المصروفة من قبل الجسم، بما في ذلك الطاقة المصروفة في العمليات الحيوية في الراحة (RMR) والطاقة المصروفة في استهلاك الطعام والطاقة المصروفة أثناء النشاط البدني اليومي، بدون أي تمييز يذكر بينهما. ومن أجل معرفة الطاقة المصروفة في الأنشطة البدنية يلزم أن يتم تقدير الطاقة المصروفة أثناء الراحة والطاقة المصروفة في استهلاك الطعام ثم طرحهما من مجمل الطاقة الكلية، أو القيام بقياس الطاقة في الراحة بواسطة أجهزة قياس الأكسجين، ومن ثم تحديد الطاقة المصروفة من جراء النشاط البدني اليومي.

ويعد استخدام الماء غير المشع من الطرق المباشرة لقياس الطاقة المصروفة لدى الفرد، وتستعمل هذه الطريقة كثيراً كمحك لبعض الطرق الأخرى المستخدمة لقياس النشاط البدني. والمعروف إن هذا الإجراء لا يتطلب جهداً كبيراً من المفحوص وهو لا يؤدي إلى تغيير سلوك الفرد ونشاطه البدني، كالمراقبة المباشرة مثلاً. إلا أن من عيوب هذه الطريقة أنها مكلفة نسبياً، خاصة إذا تطلب الأمر إجراءها على عدد كبير من المفحوصين، كما أن هذه الطريقة تعطينا معلومات عن مجمل الطاقة المصروفة خلال اليوم، ولا يمكن معرفة التغيرات الآنية في النشاط البدني (ساعة بساعة مثلاً)، أو الوقت الذي قضاه الشخص خلال ساعات اليوم في نشاط بدني مرتفع أو معتدل الشدة.

المصدر: الهزاع، هزاع محمد. كتاب فسيولوجيا الجهد البدني: الأسس النظرية والإجراءات المعملية للقياسات الفسيولوجية. الرياض: دار نشر جامعة الملك سعود، 1430هـ، 2009م (جزأين).