

الطاقة المصروفة في الراحة وفي الجهد البدني

ما هي أشكال الطاقة؟

تأخذ الطاقة (Energy) أشكالاً متعددة، منها الطاقة الكيميائية، والطاقة الكهربائية، والطاقة الكهرومغناطيسية، والطاقة الحرارية، والطاقة الميكانيكية، والطاقة النووية. وطبقاً لقوانين الديناميكا الحرارية، فإن الطاقة لا تفنى بل تتحول من شكل إلى آخر، فالطاقة الكيميائية على سبيل المثال يمكنها أن تتحول إلى طاقة كهربائية تخزن في البطارية التي تستخدم بدورها لإنتاج الطاقة الميكانيكية. كذلك بالنسبة للعمليات الحيوية داخل الإنسان نجد أن الطاقة الكيميائية الموجودة على هيئة أدينوسين ثلاثي الفوسفات (Adenosine triphosphate) أو فوسفات الكرياتين (Creatine Phosphate) تتحول إلى طاقة ميكانيكية (على هيئة شغل ناتج عن انقباض العضلات) وأخرى حرارية (حرارة منبعثة من الجسم). بالإضافة إلى الانقباض العضلي، فإن الطاقة داخل الإنسان تستخدم لأغراض عدة، حيث تستخدم الطاقة الحرة لبناء خلايا جديدة وترميم الخلايا التالفة، كما تستخدم بغرض عمليات النقل النشط (Active transport) للعديد من المواد مثل الجلوكوز والكالسيوم عبر غشاء الخلية.

مركز أبحاث

نمط الحياة والصحة

مصادر الطاقة لدى الإنسان Lifestyle & Health Research Center

إن مصدر الطاقة لدى الإنسان هو الطعام المتناول، الذي يتكون بشكل رئيسي من الكربون والهيدروجين والأكسجين بالإضافة إلى النيتروجين في حالة البروتينات. ومن المعلوم أن الروابط الجزيئية (Molecular bonds) في الطعام تعد ضعيفة، وبالتالي فهي لا توفر إلا طاقة محدودة عند فكها، لذا فإن الطاقة المخزنة في الطعام تتحلل كيميائياً داخل خلايا الجسم وتخزن على هيئة مركب غني بالطاقة يدعى أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يستخدم في عمليات الأيض، ثم ينتهي به الأمر وقد تحول إلى أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) الذي يعاد شحنه مرة أخرى ليصبح أدينوسين ثلاثي الفوسفات ذو الطاقة العالية.

إن الوقود المستخدم لإنتاج الطاقة في الجسم يتكون من المواد الكربوهيدراتية والدهنية، بينما يكون الدور الرئيسي للبروتينات هو بناء الخلايا وترميم التالف منها، وبالتالي فإن البروتينات لا تستخدم إلا في حالات نادرة كمصدر للطاقة وذلك عندما ينتهي المخزون من الكربوهيدرات والدهون كما في حالات المجاعة. على أن الأحماض الأمينية التي هي المكونات الأساسية للبروتينات يمكن أن تستخدم كمصدر للوقود أثناء الجهد البدني التحملي ولكن على نطاق محدود لا تتجاوز نسبته 5%. ويوضح الجدول رقم (1) المخزون من الطاقة في جسم الإنسان المتوسط

الوزن والذي لديه نسبة طبيعية من الشحوم (15% من وزن الجسم)، ويظهر من الجدول أن مجمل الطاقة القادمة من مخزون الجسم من الكربوهيدرات لا تتجاوز 2000 كيلو سعر حراري، معظمها يأتي من جلايكوجين العضلات، بينما يصل مجموع الطاقة الممكن الحصول عليها من الشحوم المخزنة في الجسم إلى قرابة 100 ألف كيلو سعر حراري، وهي طاقة تكفي الشخص من الناحية النظرية لأن يجري 40 سباقاً للماراثون بشكل متواصل.

جدول رقم (1): مقدار المخزون من الطاقة في جسم الإنسان الذي يزن 70 كجم ولديه نسبة من الشحوم تبلغ 15%.

مقدار المخزون		نوع الطاقة
كيلو سعر حراري	جرام	
451	110	الكربوهيدرات: جلايكوجين الكبد
1435	350	جلايكوجين العضلات
62	15	جلوكوز في سوائل الجسم
1948	475	المجموع:
95550	10500	الدهون: شحوم تحت الجلد
1820	200	شحوم داخل العضلات
97370	10700	المجموع:

ويعطي كل جرام من الدهون عند أكسدته بالكامل (أي حرقه في وجود الأوكسجين) طاقة حرارية (9.4 كيلو سعر حراري) أكبر مما يعطيه جرام واحد من الكربوهيدرات (4.1 كيلو سعر حراري)، لكن الدهون في المقابل تستهلك كمية أكبر من الأوكسجين عن حرقها واستخدامها كمصدر للطاقة داخل جسم الإنسان، الأمر الذي يجعل استخدام الكربوهيدرات كوقود أكثر اقتصادية من استخدام الدهون (أي أكثر توفيراً للأوكسجين)، وبالتالي تعطينا طاقة حرارية أكبر من الدهون مقابل استخدام لتر واحد من الأوكسجين (5.06 مقابل 4.68 كيلو سعر حراري/ لتر O₂، أو 21.2 مقابل 19.6 كيلو جول/ لتر O₂). أما إذا كان الوقود خليطاً من الدهون والكربوهيدرات، كما هو حاصل في معظم الأنشطة البدنية المعتدلة الشدة، فإن كل لتر من الأوكسجين المستهلك يعطي 20.3 كيلو جول في الدقيقة (4.85 كيلو سعر حراري).

ويبين الجدول رقم (2) مقادير الطاقة الناتجة عن أكسدة كل من الكربوهيدرات والدهون والبروتينات، وكذلك قيم المعامل التنفسي الخلوي (Respiratory Quotient). والمعروف أن المعامل التنفسي الخلوي يساوي حاصل قسمة حجم ثاني أكسيد الكربون المنتج على حجم الأكسجين المستهلك أثناء حالة الاستقرار (Steady state)، ويتراوح بين 0.7 عندما تكون الدهون هي الوقود المستخدم 100% في عمليات التنفس الخلوي، إلى 1.0 عندما تكون الكربوهيدرات هي الوقود المستخدم 100% في عمليات التنفس الخلوي (أي في عمليات إنتاج الطاقة بواسطة النظام الهوائي). ونظراً لأن المعامل التنفسي الخلوي (Respiratory quotient) لا يأخذ في الاعتبار الطاقة القادمة من البروتين (والتي تمثل نسبة منخفضة من مجموع الطاقة الكلية في الأحوال الاعتيادية) فإنه يمكن تقدير الطاقة المصروفة من خلال المعامل التنفسي الخلوي غير البروتيني (None-Protein-RQ) باستخدام معادلة وير (Weir) على النحو التالي (إهمال البروتين يقود إلى خطأ لا يتجاوز 2% فقط).

الطاقة المصروفة (بالكيلو سعر حراري) =

استهلاك الأكسجين (بالتر) $\times [3.9 + (1.1 \times \text{المعامل التنفسي الخلوي})]$.

مركز أبحاث
نمط الحياة والصحة

جدول رقم (2): الطاقة الناتجة عن أكسدة أنواع الوقود الثلاث، وقيم المعامل التنفسي الخلوي.

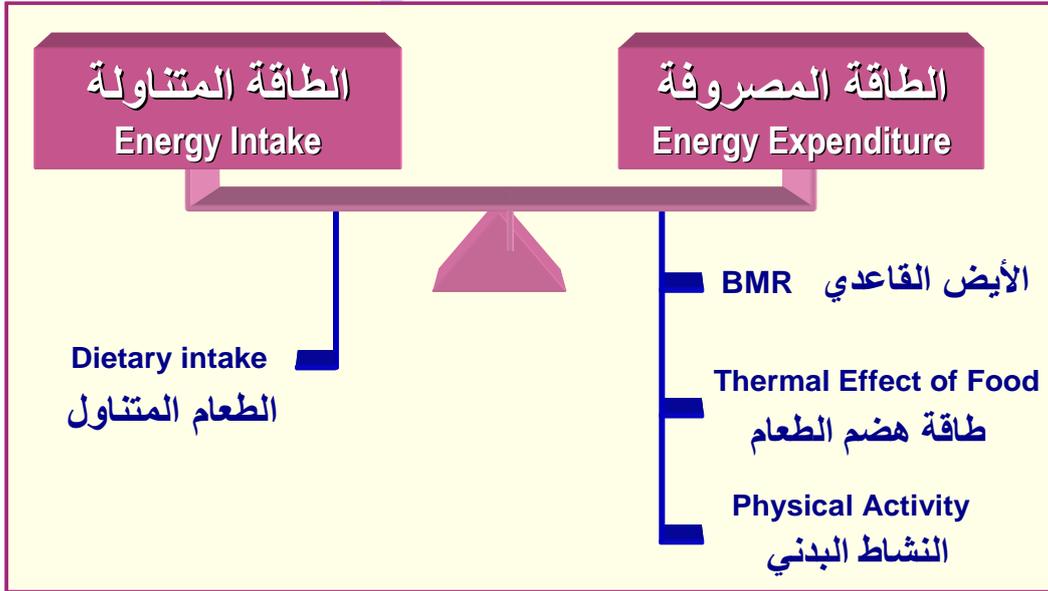
نوع الوقود المستخدم			الفقرة
البروتينات	الدهون	الكربوهيدرات	
4.6	9.3	4.1	الطاقة الناتجة عن أكسدة جرام واحد من الوقود (كيلو سعر حراري)
1	2.0	0.8	مقدار الأكسجين المستخدم عند أكسدة جرام واحد من الوقود (بالتر)
4.6	4.68	5.06	الطاقة الناتجة عن استخدام لتر واحد من الأكسجين (كيلو سعر حراري/لتر O ₂) (كيلو جول/لتر O ₂)
18.75	19.59	21.18	
0.82	0.70	1.00	قيمة المعامل التنفسي الخلوي (RQ)

المصدر: McArdle, Katch & Katch, 1991.

كيف يتم صرف الطاقة من قبل الجسم

إن لمعادلة ائزان الطاقة طرفان، الطرف الأول هو الطاقة المستهلكة أو المتناولة (Energy intake)، وهي الطاقة الحرارية المتناولة من قبل الجسم (الطعام المتناول)، بينما يمثل الطرف الثاني الطاقة المصروفة (Energy Expenditure). ويمكن تقسيم الطاقة المصروفة إلى ثلاثة أجزاء، هي الطاقة المصروفة أثناء الراحة، والمعروفة اختصاراً (RMR)، والطاقة المصروفة من جراء استهلاك الطعام (Thermal effect of food)، وأخيراً الطاقة المصروفة من جراء النشاط البدني اليومي، سواء كان نشاطاً حياتياً اعتيادياً أو نشاطاً رياضياً، ويوضح الشكل رقم (1) عناصر كل من الطائقتين المصروفة والمتناولة. والمعروف أن مصروف الطاقة في الراحة يمثل النسبة الأكبر من الطاقة المصروفة في اليوم (حوالي 60 - 70%)، وهو المصروف اللازم للوفاء باحتياجات الجسم الحيوية أثناء الراحة، مثل عمليات التنفس وعمل القلب، وضخ الدم، وائزان السوائل، ونشاط الجهازين العصبي والعضلي، علماً بأن معدل مصروف الطاقة في الراحة (الذي يوازي مكافئ أيضي واحد) يعد أعلى من معدله أثناء النوم (الذي يعادل 0.9 مكافئ أيضي) - أنظر لاحقاً إلى تعريف المكافئ الأيضي.

مركز أبحاث
نمط الحياة والصحة



شكل رقم (1): معادلة ائزان الطاقة في الجسم، والعناصر المكونة لكل من الطائقتين المصروفة والمتناولة

أما الطاقة المصروفة في استهلاك الطعام وهضمه وامتصاصه وتخزينه فتقدر بحوالي 10% من مجموع الطاقة الكلية المتناولة في اليوم من قبل الشخص، ويتأثر هذا الجزء بعدد مرات تناول الطعام، وكميته، ونوعه. وتعد الطاقة المصروفة من خلال النشاط البدني الأكثر تفاوتاً بين الأفراد، والأكبر تأثيراً على توازن الطاقة في الجسم، ويدخل ضمن ذلك الطاقة المصروفة نتيجة النشاط البدني والحركي المبذول في المنزل وفي العمل وفي الرياضة والترفيه (أنظر الشكل رقم 2). والمعروف أن زيادة مقدار الطاقة المتناولة أو انخفاض النشاط البدني (أو كلاهما) يقودان إلى البدانة، كما أن انخفاض النشاط البدني يؤدي بدوره إلى انخفاض اللياقة البدنية، وكذلك فإن زيادة البدانة تقود بدورها إلى انخفاض اللياقة البدنية، وعليه فإن النشاط البدني يؤثر على البدانة ويتأثر بها.

النشاط البدني	Physical Activity (20-30%)
طاقة هضم الطعام	Thermal Effect of Food (10%)
الأيض القاعدي	Basal Metabolic Rate (60-70%)

شكل رقم (2): مكونات الطاقة المصروفة ونسبة مشاركة كل مكون منها ضمن الطاقة الكلية.

ويتفاوت معدل الطاقة الكلية المصروفة من قبل الأفراد تبعاً لمعدل نشاطهم البدني، لكن من المعتقد أن الحد الأدنى من معدل الأيض في الجسم هو 1.4 أضعاف معدل الأيض القاعدي أو الأساسي (BMR)، ويدخل في ذلك الطاقة اللازمة للأيض القاعدي، والطاقة اللازمة لاستهلاك الطعام، والطاقة الضرورية للقيام بالحد الأدنى من الأنشطة البدنية اليومية. أما الحد الأعلى للطاقة المصروفة من قبل الجسم، فنلاحظها لدى بعض الرياضيين الذين ينخرطون في تدريبات بدنية شاقة ومنافسات رياضية حادة، مثل طواف فرنسا للدراجات، الذي يتكون من 20 مرحلة ويدوم ثلاثة أسابيع، حيث يصل معدل الطاقة المصروفة من قبل هؤلاء الرياضيين إلى معدل

عال يبلغ 3.5 - 5.5 ضعف ما هو عليه معدل الأيض القاعدي، علماً بأن الطاقة المصروفة في اليوم (متوسط معدل الأيض في اليوم ÷ معدل الأيض القاعدي) لدى عامة الناس تتراوح من 1.2 - 2.5.

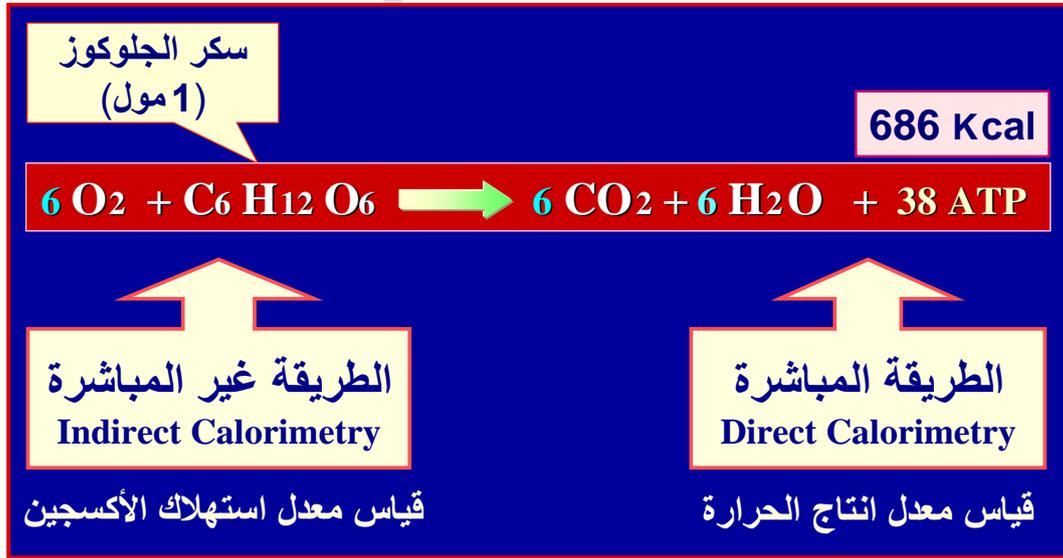
ما هي وحدات قياس الطاقة المصروفة من قبل الجسم

يتم التعبير عن الطاقة المصروفة بالكيلو جول في الدقيقة، أو بالكيلو سعر حراري في الدقيقة (الكيلو سعر حراري يساوي 4.18 كيلو جول)، أو بمقدار استهلاك الجسم من الأكسجين باللتر في الدقيقة. بالإضافة على ما سبق، يمكن التعبير عن مقدار الطاقة المصروفة بالمكافئ الأيضي (Metabolic Energy Turnover)، والذي يرمز له عادة بالرمز (MET)، وهو يعني مقدار الطاقة المصروفة من قبل الجسم أثناء النشاط منسوبة إلى ما يصرف أثناء الراحة (أي مضاعفات الطاقة المصروفة في الراحة)، ويبلغ مقدار الطاقة المصروفة في الراحة مكافئ أيضي واحد، أما أثناء النوم فإن الطاقة المصروفة تعادل 0.9 مكافئ أيضي. ومن المعلوم أن استهلاك الأكسجين من قبل الجسم في الراحة يساوي تقريباً 3.5 ملي لتر لكل كيلوجرام من وزن الجسم في الدقيقة (أي أن شخصاً وزنه 75 كجم يبلغ استهلاكه للأكسجين في الراحة ما يعادل 262 ملي لتر في الدقيقة، أو 15.75 لتراً في الساعة). وبذلك يمكن حساب الطاقة المصروفة من قبل الجسم في الراحة، حيث تبلغ مقدار واحد كيلو سعر حراري لكل كيلو جرام من وزن الجسم في الساعة، أو ما يعادل 4.2 كيلو جول لكل كيلو جرام من وزن الجسم في الساعة، أي أن الطاقة المصروفة في الراحة لشخص كتلته 75 كجم تبلغ 75 كيلو سعر حراري في الساعة، أو 1.25 كيلو سعر حراري في الدقيقة.

وعندما يتم حساب الطاقة المصروفة أثناء النشاط البدني بالمكافئ الأيضي، فالمعروف أن الأنشطة البدنية التي تتطلب أقل من 3 مكافئ أيضي تعد أنشطة بدنية منخفضة الشدة، وتلك الأنشطة التي تتطلب 3 - 6 مكافئ أيضي تعد أنشطة بدنية معتدلة الشدة، أما الأنشطة البدنية التي تتطلب أكثر من 6 إلى 9 مكافئ أيضي فتعد مرتفعة الشدة، وتلك التي تتجاوز 9 مكافئ أيضي تعتبر أنشطة بدنية مرتفعة جداً، والمعلوم أن معظم الأنشطة البدنية الحياتية من أكل وارتداء ملابس واستحمام والقيام بالأعمال البدنية الاعتيادية مثل حمل الحاجيات الخفيفة وما شابه ذلك يقع في نطاق 2-3 مكافئ أيضي، علماً بأن المكافئ الأيضي الأقصى المتوقع لشباب غير رياضي يبلغ حوالي 12 - 13 مكافئاً أيضياً، إلا أن هذا الرقم يبدأ في التضاؤل تدريجياً مع التقدم في العمر بعد تجاوز الشخص نهاية العشرينات من عمره.

كيفية قياس الطاقة المصروفة من قبل الجسم

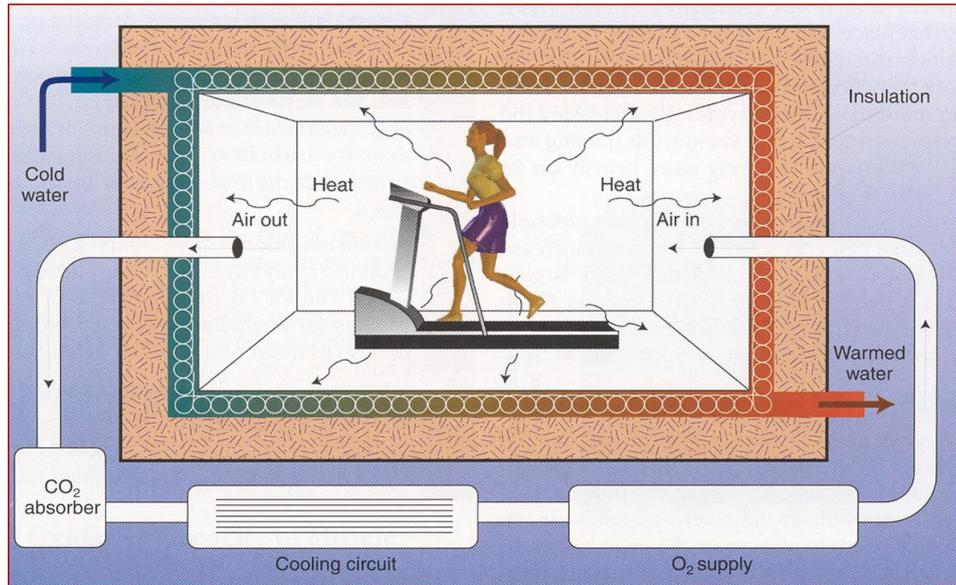
إن جميع العمليات الحيوية داخل جسم الإنسان يتم فيها استخدام الطاقة وينتج عنها حرارة. ويقوم الجسم بالتخلص من الحرارة المنبعثة من جراء عمليات الأيض هذه بوسائل عدة، منها الحمل، والإشعاع، والتوصيل، وتبخر العرق. والمعروف أن تحويل الطاقة الكيميائية داخل العضلات (الناجمة من التمثيل الغذائي داخل الجسم) إلى طاقة 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 (3) معادلة التنفس الخلوي، المؤدية لإنتاج الطاقة داخل خلايا الجسم، حيث تستخدم عموماً كل من المواد الدهنية والكربوهيدراتية (وبنسبة ضئيلة جداً يمكن استخدام الأحماض الأمينية) في عمليات إنتاج الطاقة. 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 أكبر.



شكل رقم (3): معادلة التنفس الخلوي، حيث ينتج حرارة من جراء حرق الوقود (في هذه الحالة سكر الجلوكوز) بواسطة الأكسجين.

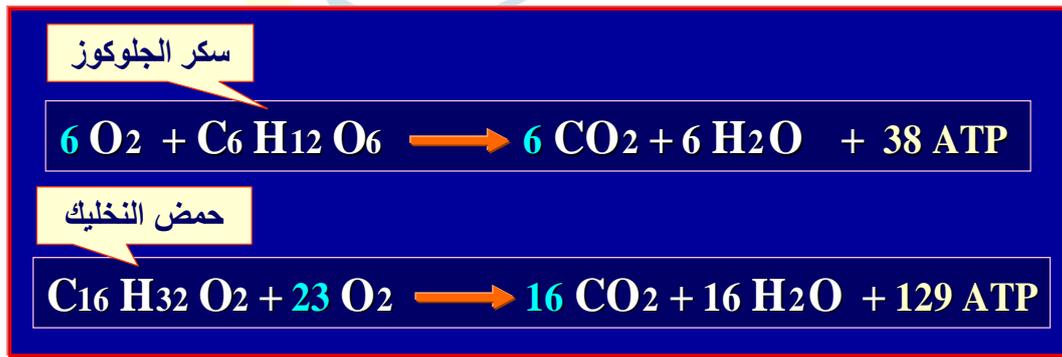
ولقياس الطاقة الحرارية المنبعثة مباشرة من الجسم، يلزمنا استخدام ما يسمى بمقياس الطاقة الحرارية المباشر (Direct calorimeter)، أي قياس الطاقة الحرارية المنبعثة مباشرة من الجسم، وهذا الإجراء يتطلب وجود غرفة خاصة مجهزة لهذا الغرض، تكون معزولة عن المحيط الخارجي، يتم بداخلها قياس مقدار الحرارة المنبعثة من 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، ويتم قياس الفرق بين درجة حرارة تيار الماء الداخل إلى الغرفة والتيار المائي الخارج منها (أنظر الشكل رقم 4)، 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. علماً بأنه يتم الأخذ بالحسبان الحرارة المنبعثة من بخار الماء في تيار الهواء الداخل إلى الغرفة.

وفي وقتنا الحاضر، لا يوجد في كل دول العالم إلا مجموعة محدودة 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 جداً لأغراض البحث العلمي.



شكل رقم (4): الغرفة الحرارية لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم أثناء الجهد البدني باستخدام السير المتحرك (الصورة من: Wilmore J, Costill D. *Physiology of Sport and Exercise*, 1994, p. 130)

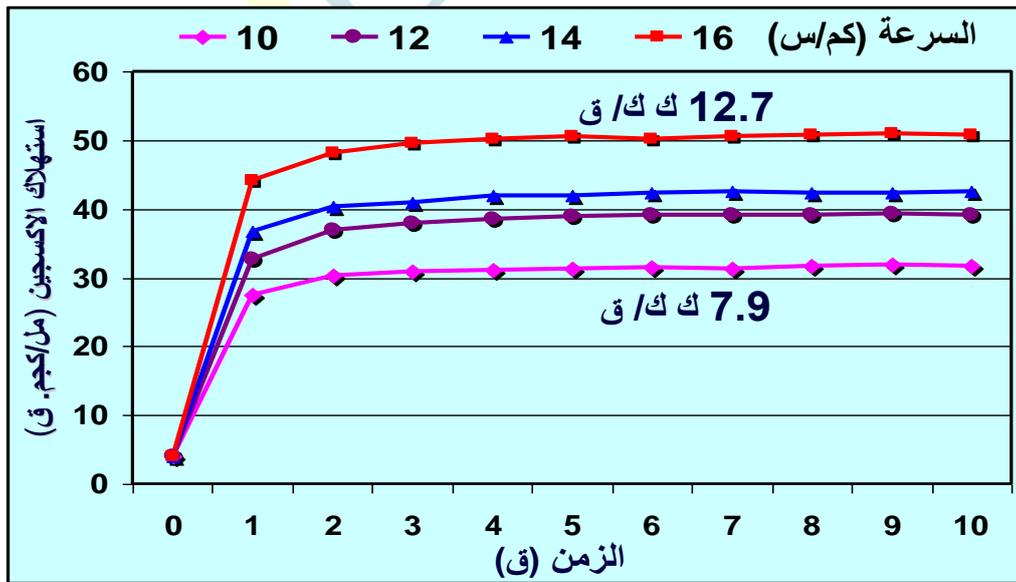
ونظراً لصعوبة استخدام الطريقة المباشرة لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم، يتم اللجوء إلى ما يسمى بالطريقة غير المباشرة لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم (Indirect calorimetry)، ومن ذلك قياس معدل استهلاك الأوكسجين وإنتاج ثاني أكسيد الكربون من قبل الجسم، سواء كان ذلك في الراحة أم أثناء الجهد البدني، فالمعروف 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 كنتاج أيضاً 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 (RQ)، خاصة في حالة الاستقرار (Steady state)، حيث يكون المعامل التنفسي الخلوي يساوي 1 صحيح في حالة حرق الكربوهيدرات 100% (6 ÷ 6 = 1)، وحوالي 0.7 في حالة حرق الدهون 100% (16 ÷ 23 + 0.695)، كما هو موضحاً في الشكل رقم (5).



شكل رقم (5): 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 بالشمعة أو بسرعة الجري. ويوضح الشكل البياني رقم (6) رسماً بيانياً لمعدلات استهلاك الأوكسجين وكذلك الطاقة المصروفة لشاب رياضي أثناء قيامة 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 الأكسجين، ومع توافر أجهزة صغيرة الحجم وسهلة الحمل تقوم بتخزين بيانات استهلاك الأكسجين وإنتاج ثاني أكسيد الكربون ليتم تحليلها لاحقاً، أصبح بالإمكان استخدام هذه التقنية ميدانياً وإجراء قياسات استهلاك الأكسجين وتقدير الطاقة المصروفة للعديد من الحالات خارج المختبر بيسر وسهولة، إلا أن تكلفة هذه الأجهزة ما تزال مرتفعة، حيث يتراوح سعرها من 30 - 40 ألف دولار أمريكي، وبالتالي فهي مقتصرة على المختبرات المجهزة تجهيزاً جيداً ومراكز البحث العلمي، خاصة في فسيولوجيا الجهد البدني والطب الرياضي. وفي وقتنا الحاضر لا تقتصر عملية تقدير الطاقة المصروفة عن طريق قياس استهلاك الأكسجين على مجالات الطب الرياضي، بل تتعداها للعديد من المجالات الأخرى مثل التغذية والتأهيل والطب الصناعي، كما في حالات قياس الطاقة المصروفة من قبل العديد من المهن التي تتطلب جهداً بدنياً كرجال الدفاع المدني، على سبيل المثال.



شكل رقم (6): معدل استهلاك الأكسجين 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)

معدل الطاقة المصروفة أثناء النشاط البدني

تمثل الأنشطة البدنية، وخاصة ذات الشدة المرتفعة التي تستمر لفترة طويلة، نسبة مرتفعة من مصروف الطاقة للفرد وخاصة الرياضي، حيث تصل أو تتجاوز 50% من مصروف الطاقة الكلية (تمثل الطاقة المصروفة نتيجة للأنشطة البدنية كنسبة من الطاقة الكلية حوالي 20-30% لدى الفرد الاعتيادي). وعلى سبيل المثال يصرف متسابق الماراثون الذي ينجز السباق في ساعتين وعشرين دقيقة ما معدله 0.30 كيلو سعر حراري لكل كجم من وزن الجسم في الدقيقة، وهو مصروف عال جداً، خاصة إذا عرفنا أن ما يصرفه الفرد أثناء استلقائه مسترخياً لا يتجاوز 0.02 كيلو سعر حراري لكل كجم من وزن الجسم في الدقيقة (أي حوالي 15 ضعفاً مقارنة بمصروف الطاقة في الراحة).

ويتم قياس الطاقة المصروفة أثناء النشاط البدني (اعتيادياً) من خلال معرفة استهلاك الأوكسجين أثناء ذلك النشاط ثم طرح استهلاك الأوكسجين أثناء الراحة منه، ثم بعد ذلك ضرب الناتج بما يقابله من كيلو سعر حراري بناء على مقدار المعامل التنفسي الخلوي ونوع الوقود المستخدم، وذلك على النحو التالي:

الطاقة المصروفة أثناء النشاط البدني = مركز أبحاث
نمط الحياة والصحة
Lifestyle & Health
Research Center
(استهلاك الأوكسجين أثناء النشاط - استهلاك الأوكسجين أثناء الراحة) × عدد الكيلو سعرات
الحرارية المقابل لكل لتر O₂.

أو القيام بحساب صافي استهلاك الأوكسجين (استهلاك الأوكسجين أثناء النشاط مطروحاً منه استهلاك الأوكسجين في الراحة) ثم تطبيق معادلة وير (Weir) التي أشرنا إليها سابقاً. علماً بأنه يمكن تقدير استهلاك الأوكسجين أثناء الراحة بضرب وزن الجسم في الرقم 3.5 مليلتر، كما يمكن حساب الطاقة المصروفة أثناء النشاط البدني من خلال المكافئ الأيضي، وذلك بتحديد مقدار المكافئ الأيضي لذلك النشاط ثم طرح ما يوازي مكافئ أيضي واحد منه (وهو المصروف من الطاقة أثناء الراحة) ثم تحويل الناتج إلى طاقة حرارية بالكيلو سعر حراري مستخدماً المعادلة التالية:

الطاقة بالكيلو سعر حراري في الدقيقة =

$$(المكافئ الأيضي \times 3.5 \times \text{وزن الجسم بالكجم}) \div 200$$

ويوضح الجدول رقم (4) مقادير الطاقة المصروفة بالمكافئ الأيضي وبالكيلو سعر حراري لشخص يزن 70 كجم أثناء المشي والجري بسرعات مختلفة مقارنة بالطاقة المصروفة أثناء

الجلوس، وكذلك حجم استهلاك الأوكسجين ومقدار الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) المستخدم مقابل كل نشاط من الأنشطة المذكورة في ذلك الجدول.

جدول رقم (4): مقادير الطاقة المصروفة أثناء أنشطة رياضية متنوعة.

نوع النشاط	المكافئ الأيضي	الطاقة المصروفة (كيلو سعر حراري) لشخص وزنه 70 كجم	استهلاك الأوكسجين (مل/كجم. ق)	مقدار ATP (مول/ق)
جلوس	1	1.25	3.5	0.06
مشي (4.8 كم/ الساعة)	3	3.75	10.5	0.19
هرولة (9.6 كم/ الساعة)	10	12.5	35	0.65
جري (16 كم/ الساعة)	16	20	56	1.05
جري (19.3 كم/ الساعة)	19	24	66	1.23
جري (24 كم/ الساعة)	24	30	84	1.57
جري (32.2 كم/ الساعة) عدو 100م في 10.3 ث	32	40	112	2.09

المصدر: Haskell W. In: Biological Effects of Physical Activity, 1989:116

ويوضح الجدولان رقم (5) ورقم (6) مقادير الطاقة المصروفة (تقريباً) بالمكافئ الأيضي في حالة كل من المشي والجري تبعاً لسرعة المشي أو الجري ومقدار الميل. كما يبين الجدولان رقم (7) ورقم (8) مقادير الطاقة المصروفة (تقريباً) بالمكافئ الأيضي في حالة استخدام دراجة الجهد الثابتة أو مجهاد اليدين (Arm ergometer) تبعاً لوزن المفحوص والقدرة (بالكيلو جرام لكل متر في الدقيقة وكذلك بالشمعة)، أما الجدول رقم (9) فيوضح الطاقة المصروفة (تقريباً) بالمكافئ الأيضي في حالة استخدام اختبار الخطوة (Step test) تبعاً لارتفاع الصندوق بالسنتيمتر ومعدل الصعود، علماً بأن كل أربع خطوات (الرجل اليمنى لأعلى ثم الرجل اليسرى لأعلى ثم نزول الرجل اليمنى لأسفل فاليسرى) تعد خطوة كاملة واحدة.

جدول رقم (5): الطاقة المصروفة بالمكافئ الأيضي أثناء المشي عند سرعات مختلفة تبعاً للميل.

سرعة المشي (متر في الدقيقة)						مقدار الميل (%)
100.5	91.2	80.4	67.0	53.6	45.6	
3.9	3.6	3.3	2.9	2.5	2.3	صفر
5.2	4.8	4.3	3.8	3.2	2.9	2.5
6.5	5.9	5.4	4.6	3.9	3.5	5.0
7.8	7.1	6.4	5.5	4.6	4.1	7.5
9.1	8.3	7.4	6.3	5.3	4.6	10.0
10.4	9.5	8.5	7.2	6.0	5.2	12.5
11.7	10.6	9.5	8.1	6.6	5.8	15.0
12.9	11.8	10.5	8.9	7.3	6.4	17.5
14.2	13.0	11.6	9.8	8.0	7.0	20.0
15.5	14.2	12.6	10.6	8.7	7.6	22.5
16.8	15.3	13.6	11.5	9.4	8.2	25.0

المصدر: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 2000: 307.

جدول رقم (6): الطاقة المصروفة بالمكافئ الأيضي أثناء الجري عند سرعات مختلفة تبعاً للميل.

سرعة المشي (متر في الدقيقة)							مقدار الميل (%)
268	241	214	201	188	161	134	
16.3	14.8	13.3	12.5	11.7	10.2	8.6	صفر
18.0	16.3	14.7	13.8	12.9	11.2	9.5	2.5
19.7	17.9	16.1	15.1	14.1	12.3	10.3	5.0
	19.4	17.4	16.4	15.3	13.3	11.2	7.5
		18.8	17.7	16.5	14.3	12.0	10.0
			19.0	17.7	15.4	12.9	12.5
				18.9	16.4	13.8	15.0

المصدر: ACSM's Guidelines for exercise Testing and Prescription, 2000: 308.

جدول رقم (7): الطاقة المصروفة بالمكافئ الأيضي أثناء استخدام الدراجة الثابتة تبعاً لوزن الجسم عند قدرات مختلفة.

القدرة (كجم. متر/ د)							وزن الجسم (%)
1200	1050	900	750	600	450	300	
القدرة (شمعة)							
200	175	150	125	100	75	50	
14.3	12.8	11.3	9.7	8.2	6.6	5.1	50
12.3	11.0	9.7	8.4	7.1	5.9	4.6	60
10.8	9.7	8.6	7.5	6.4	5.3	4.2	70
9.7	8.8	7.8	6.8	5.9	4.9	3.9	80
8.9	8.0	7.1	6.3	5.4	4.6	3.7	90
8.2	7.4	6.6	5.9	5.1	4.3	3.5	100

المصدر: ACSM's Guidelines for exercise Testing and Prescription, 2000: 308.

مركز أبحاث
نمط الحياة والصحة

جدول رقم (8): الطاقة المصروفة بالمكافئ الأيضي أثناء استخدام مجهات اليدين تبعاً لوزن الجسم عند قدرات مختلفة.

القدرة (كجم. متر/ د)						وزن الجسم (%)
900	750	600	450	300	150	
القدرة (شمعة)						
150	125	100	75	50	25	
16.4	13.9	11.3	8.7	6.1	3.6	50
13.9	11.7	9.6	7.4	5.3	3.1	60
12.0	10.2	8.3	6.5	4.7	2.8	70
10.6	9.0	7.4	5.8	4.2	2.6	80
9.6	8.1	6.7	5.3	3.9	2.4	90
8.7	7.4	6.1	4.9	3.6	2.3	100

المصدر: ACSM's Guidelines for exercise Testing and Prescription, 2000: 309.

جدول رقم (9): الطاقة المصروفة بالمكافئ الأيضي أثناء اختبار الخطوة عند ارتفاعات مختلفة من صندوق الخطوة تبعاً لمعدل الصعود في الدقيقة.

معدل الصعود (خطوة في الدقيقة)						ارتفاع الصندوق (سم)
30	28	26	24	22	20	
4.8	4.5	4.3	4.0	3.8	3.5	10.2
5.8	5.5	5.2	4.9	4.6	4.2	15.2
6.9	6.5	6.1	5.7	5.3	4.9	20.3
7.9	7.5	7.0	6.5	6.1	5.6	25.4
9.0	8.4	7.9	7.4	6.8	6.3	30.5
10.0	9.4	8.8	8.2	7.6	7.0	35.6
11.1	10.4	9.7	9.0	8.4	7.7	40.6
12.1	11.4	10.6	9.9	9.1	8.4	45.7

المصدر: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 2000: 310.

مركز أبحاث
نمط الحياة والصحة
Lifestyle & Health
Research Center

المصدر: الهزاع، هزاع محمد. فسيولوجيا الجهد البدني: الأسس النظرية والإجراءات المعملية للقياسات الفسيولوجية. دار نشر جامعة الملك سعود: الرياض، 2009.