الفصل الثاني عشر

طاقة الغذاء وقياسها
Food Energy and Its Measurement

● المقدمة ● وحدات الطاقة ● صور الطاقة ● قياس الطاقة الغذائية
● قياس صرف الطاقة ● احتياجات الجسم للطاقة ● توازن الطاقة
● حساب احتياجات الجسم من الطاقة.

(١٢,١) المقدمة Introduction

يعتبر الغذاء المصدر الرئيسي الذي يمد الإنسان بالطاقة التي يحتاجها جسمه للقيام بوظائفه ونشاطاته الحيوية المختلفة مثل انقباض عضلة القلب heart contractions وعضلات الجهاز التنفسي، وتحركات الدم داخل الجهاز الهضمي، ودخول وخروج الهواء من وإلى الرئتين، ونمو الجسم، والمحافظة على حرارته، والقيام بالنشاط الحركي الخارجي، أي أن الطاقة ضرورية لقيام جميع أجهزة الجسم بوظائفها الحيوية مثل الجهاز الهضمي والدوري والعضلي والتنفسي والإخراج. وتستلزم التغذية المتكاملة احتواء الطعام على كمية مناسبة من الطاقة كما تستلزم وجود البروتينات والفيتامينات والمعادن. ويحصل الجسم على الطاقة من أيض (أكسدة) الكربوهيدرات والدهون والبروتينات بمساعدة عناصر غذائية أخرى مثل المعادن والفيتامينات، حيث إن تناول جرام واحد من أي من هذه العناصر الغذائية الثلاثة يمد الجسم بحوالي ٤ سعرات و ٩ سعرات و٤ سعرات على التوالي. وتنتج الطاقة من الغذاء بسبب تكسر الروابط الكيميائية الغنية بالطاقة بواسطة الإنزيمات، وانتقالها داخل الجسم بواسطة المركبات الغنية بالطاقة مثل ATP . ولقد وجد بأن قلة تناول الغذاء يسبب نقصًا في كمية الطاقة التي يحتاجها الجسم مما يسبب عدم قدرة الجسم على القيام بوظائفه ونشاطاته الحيوية، وانخفاض الوزن، كما قد يتوقف نمو الطفل ويصاب بالهزال والضعف الجسماني. وفي حالة عدم توافر الطاقة

من مصادر غذائية، فإن الجسم يعتمد على أنسجته الداخلية في الحصول عليها، مما يؤدي إلى تحللها وتآكلها، وفي النهاية قد تحدث الوفاة. وتعرف الطاقة بأنها القدرة على أداء العمل، أي أنها القوة التي تمكن الجسم من القيام بوظائفه ونشاطاته الحيوية المختلفة التي تحافظ عليه حيًا، ومتى ما توقفت هذه النشاطات تحدث الوفاة. توجد الطاقة الطبيعية في صور كثيرة مثل الطاقة الشمسية والطاقة الكيميائية والطاقة الكامنة والطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية والطاقة الإشعاعية والطاقة الكهربائية والطاقة الغذائية. ولا تستطيع الحيوانات أن تستفيد مباشرة من الطاقة الشمسية، بينما النباتات الخضراء التي تحتوي على مادة الكلورفيل chlorophyll تستخدم الطاقة الشمسية لتصنيع الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون والماء خلال عملية التمثيل الضوئي photosynthesis . وعندما يتناول الإنسان النباتات فإنه يحصل على هذه الطاقة المخزنة بها (طاقة كيميائية) في صورة كربوهيدرات، كذلك فإن الإنسان يحصل على الطاقة الكيميائية الكامنة في البروتينات والدهون عندما يتناول الأغذية الغنية بهما.

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{الطاقة الشمسية}]{\text{كلورفيل}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

تخزن الطاقة الكيميائية الكامنة في الكربوهيدرات (النشويات) في الروابط الجلوكوسيدية glucosidic bonds التي تربط وحدات الجلوكوز مع بعضها البعض، ويمكن للنباتات أن تستخدم جزءًا منها للنمو (بناء هياكلها) أو أنها تحول جزءًا من هذه الطاقة إلى زيوت أو مركبات بروتينية أولية في وجود النيتروجين والفوسفور والكبريت. يتضح مما سبق ذكره بأن الإنسان لا يستطيع أن يصنع الطاقة داخل جسمه، ولكن يعتمد على النباتات والحيوانات المختلفة في الحصول عليها. وقد أثبتت الدراسات بأن الإنسان يستطيع أن يعيش لفترة طويلة بدون تناول البروتينات أو الفيتامينات أو المعادن بينما لا يستطيع أن يعيش طويلاً بدون الطاقة. والجدول (١٢,١) يوضح مقدار الطاقة التي يوصي بها للفئات المختلفة.

جدول (١٢,١). متوسط الأطوال والأوزان ومقدار الطاقة التي يوصى بها.

الفئة	العمر بالسنوات	الوزن كجم	الوزن رطل	الطول سم	الطول بوصة	احتياجات الطاقة كيلوكالوري	احتياجات الطاقة ميجاجول
الرضع	٠,٠-٠,٥	٦	١٢	٦٠	٢٤	كجم×١١٥ (٩٥-١٤٥)	كجم×٠,٤٨
	٠,٥-١,٠	٩	٢٠	٧١	٢٨	كجم×١٠٥ (٨٠-١٣٥)	كجم×٠,٤٤
الأطفال	١-٣	١٣	٢٩	٩٠	٣٥	١٣٠٠ (٩٠٠-١٨٠٠)	٥,٥
	٤-٦	٢٠	٤٤	١١٢	٤٤	١٧٠٠ (١٣٠٠-٢٣٠٠)	٧,١
	٧-١٠	٢٨	٦٢	١٣٢	٥٢	٢٤٠٠ (١٦٥٠-٣٣٠٠)	١٠,١
الذكور	١١-١٤	٤٥	٩٩	١٥٧	٦٢	٢٧٠٠ (٢٠٠٠-٣٧٠٠)	١١,٣
	١٥-١٨	٦٦	١٤٥	١٧٦	٦٩	٢٨٠٠ (٢١٠٠-٣٩٠٠)	١١,٨
	١٩-٢٢	٧٠	١٥٤	١٧٧	٧٠	٢٩٠٠ (٢٥٠٠-٣٣٠٠)	١٢,٢
	٢٣-٥٠	٧٠	١٥٤	١٧٨	٧٠	٢٧٠٠ (٢٣٠٠-٣١٠٠)	١١,٣
	٥١-٧٥	٧٠	١٥٤	١٧٨	٧٠	٢٤٠٠ (٢٠٠٠-٢٨٠٠)	١٠,١
	+٧٦	٧٠	١٥٤	١٧٨	٧٠	٢٠٥٠ (١٦٥٠-٢٤٥٠)	٨,٦
الإناث	١١-١٤	٤٦	١٠١	١٥٧	٦٢	٢٢٠٠ (١٥٠٠-٣٠٠٠)	٩,٢
	١٥-١٨	٥٥	١٢٠	١٦٣	٦٤	٢١٠٠ (١٢٠٠-٣٠٠٠)	٨,٨
	١٩-٢٢	٥٥	١٢٠	١٦٣	٦٤	٢١٠٠ (١٧٠٠-٢٥٠٠)	٨,٨
	٢٣-٥٠	٥٥	١٢٠	١٦٣	٦٤	٢٠٠٠ (١٦٠٠-٢٤٠٠)	٨,٤
	٥١-٧٥	٥٥	١٢٠	١٦٣	٦٤	١٨٠٠ (١٤٠٠-٢٢٠٠)	٧,٦
	+٧٦	٥٥	١٢٠	١٦٣	٦٤	١٦٠٠ (١٢٠٠-٢٠٠٠)	٦,٧
الحمل						+٣٠٠	
الرضاعة						+٥٠٠	

المصدر: Food and Nutrition Board/NRC (1980). P. 23.

(١٢,٢) وحدات الطاقة Energy Units

تقاس الطاقة الناتجة من أيض العناصر الغذائية (الأكسدة) بوحدات تسمى الكالوري calorie والكيلوكالوري kilocalorie والميجاكالوري megacalorie والجول joule والميجاجول megajoule . ويمكن تعريف وحدات قياس الطاقة كالتالي :

- الكالوري (Cal) أو السعر الصغير: هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جراء واحد من الماء درجة مئوية واحدة وذلك من ١٥-١٦°م .
- الكيلو كالوري (Kcal) أو السعر الكبير: هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوجرام واحد من الماء درجة واحدة مئوية، وذلك من ١٥-١٦°م .
- الجول (J) : وهو كمية الطاقة اللازم صرفها لتحريك كيلوجرام واحد لمسافة متر بقوة مقدارها واحد نيوتن newton. ويستخدم في النظام المتري metric system ، ويمكن توضيح العلاقة بين وحدات قياس الطاقة كالتالي :

1 Kcal = 1000 Cal

1 Kcal = 4.184 KJ (Kilojoules)

1 Cal = 4.184 J

1 KJ = 0.240 Kcal

1 MJ (megajoule) = 240 Kcal

1 Mcal (megacalorie) = 1000 Kcal

ويعبر دائمًا عن الطاقة الناتجة من الأيض الغذائي (الأكسدة) للكربوهيدرات والبروتينات والدهون بالكيلوكالوري حتى لو ذكرت كلمة كالوري calorie في كتب التغذية فإنه يقصد بها السعر الكبير (الكيلو كالوري)، إلا أن الكالوري يستخدم في الفيزياء والكيمياء فقط.

(١٢,٣) صور الطاقة Forms of Energy

تخزن الطاقة الكامنة potential energy في جسم الإنسان بكميات قليلة في جليكوجين الكبد، والعضلات وبكميات كبيرة في الأنسجة الدهنية، وتتحول هذه

الطاقة إلى صور أخرى لكي يستطيع الجسم أن يقوم بوظائفه ونشاطاته الحيوية المختلفة. وأهم الصور التي تتحول إليها الطاقة الكامنة في الجسم هي: (١) الطاقة الحرارية thermal energy الضرورية لتنظيم درجة حرارة الجسم، (٢) الطاقة الكهربائية electrical energy التي تستخدم لنقل النبضات العصبية nerve impulses من خلية عصبية إلى أخرى، (٣) الطاقة الأزموزية osmotic energy اللازمة لنقل العناصر الغذائية nutrients ، (٤) والطاقة الميكانيكية mechanical energy الضرورية لانقباض وانبساط العضلات، (٥) الطاقة الكيميائية chemical energy التي تستخدم لتصنيع مركبات جديدة new compounds وتكون مخزنة في الروابط الكيميائية في الأغذية (العناصر الغذائية)، (٦) الطاقة المتاحة available energy التي تكون جاهزة للاستخدام في صورة أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP ، (٧) الطاقة الحرة free energy الناتجة من الأيض الغذائي والتي لم تخزن في الروابط الكيميائية في المركبات الغذائية. وعندما ينتج الجسم أي صورة من صور الطاقة فإن ذلك يصاحبه انخفاض في صورة أخرى بالكمية المنتجة نفسها، وهذا ما يعرف بقانون المحافظة على الطاقة conservation of energy ، أي أن الطاقة لا تهدم ولا تستحدث created ، ولكن يمكن لها أن تتحول إلى صور أخرى فقط. وتخزن الكميات الزائدة من الطاقة في جسم الإنسان على هيئة أنسجة دهنية adipose tissues ويؤدي هذا إلى السمنة وأمراض القلب، كما أن الجسم يستطيع أن يحصل على بعض احتياجاته من الطاقة اللازمة للنشاطات العضلية من الأنسجة الدهنية المخزنة في الجسم.

(١٢,٤) قياس طاقة الغذاء Measurement of Food Energy or Calorimetry

المسعر ذو البومبة (المسعر الحراري) Bomb calorimeter

يستخدم المسعر ذو البومبة لقياس كمية الطاقة في الأغذية والناتجة عن الاحتراق الكامل للعناصر الغذائية المكونة للغذاء. لهذا تعرف الطاقة الغذائية بأنها الحرارة الناتجة من الاحتراق (الأكسدة) الكامل لكمية معلومة من الغذاء داخل أسطوانة محكمة القفل في وجود الأكسجين. والشكل (١٢,١) يوضح رسمًا تخطيطيًّا للمسعر ذي البومبة الذي يتركب من الآتي:

(ا) حمام مائي له جدار مزدوج مغطى بمادة عازلة ومملوء بالماء.

(ب) بومبة bomb مملوءة بالأكسجين.

(جـ) بوتقة من البلاتين platinum توضع عليها العينة الغذائية المراد تقدير محتواها من الطاقة.

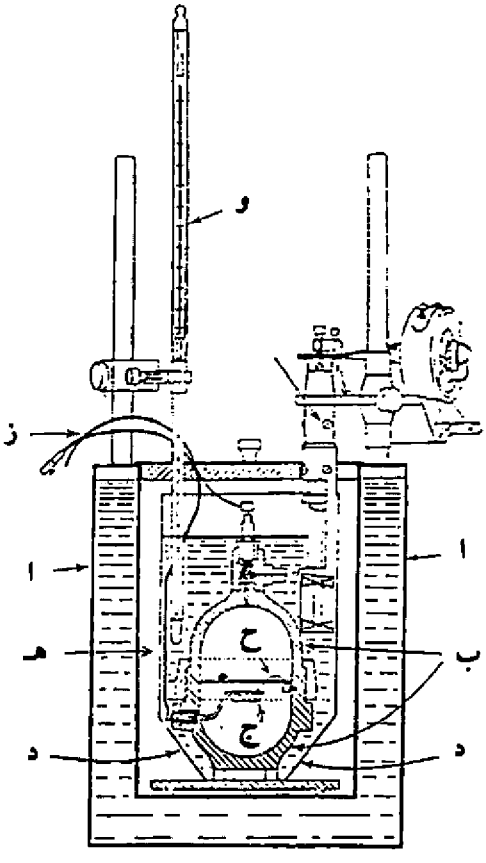
(د) وعاء يحتوي على ماء معلوم الوزن، والذي تغمر بداخله البومبة.

(هـ) فراغ هواء air space .

(و) مقياس الترمومتر.

(ز) سلك لتوصيل التيار الكهربائي إلى الفيوز fuse .

(ح) فيوز fuse يوصل بالتيار الكهربائي.



شكل (١٢,١). المسعر ذو البومبة.

وقبل تقدير كمية الطاقة في الغذاء تملأ البومبة بالأكسجين النقي حتى يصبح الضغط ٢٥ جوي بواسطة صمام خاص، كذلك يملأ الحمام المائي بالماء. يؤخذ وزن معلوم من عينة الغذاء الجافة dried food وتوضع على طبق العينة في داخل البومبة، ثم يملأ الوعاء المحيط بالبومبة بكمية معلومة من الماء. ويوصل السلك الكهربائي بمصدر التيار الكهربائي فتحترق العينة الغذائية وتنتقل الحرارة الناتجة من الاحتراق إلى الماء من خلال جدار البومبة فترتفع درجة حرارته ويكون الاحتراق مصحوبًا بانفجار. وتقدر كمية الطاقة في الغذاء بمعرفة الفرق في درجة حرارة الماء قبل وبعد حرق العينة الغذائية، وكذلك بمعرفة كمية الماء، لهذا يعرف الكيلوكالوري بأنه كمية الحرارة اللازمة لتغير درجة حرارة حجم معلوم من الماء. أي أن حرارة الاحتراق يتم تحديدها عن طريق الارتفاع في درجة حرارة الماء، ومعدل تبريده بعد ذلك، والحرارة النوعية للمسعر.

وتحسب كمية الطاقة في الغذاء من المعادلة التالية:

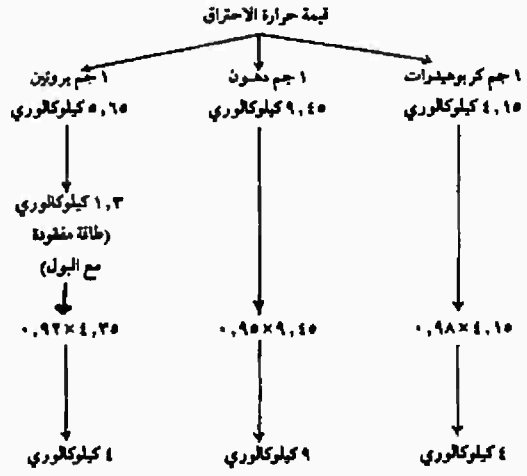
$$\text{كمية الطاقة في الغذاء (القيمة السعرية)} = \frac{\text{وزن الماء} \times \text{فرق درجة حرارة الماء قبل وبعد حرق العينة} - \text{التصحيح}}{\text{وزن العينة بالجرامات}}$$

وقد أشارت الدراسات إلى أن حرق جرام واحد من البروتينات أو الدهون أو الكربوهيدرات بواسطة المسعر ذي البومبة ينتج ٥,٦٥ و ٩,٤٥ و ٤,١٥ سعر على التوالي. وتمثل هذه القيم الطاقة الكلية الكامنة في هذا العناصر. وتؤدي عملية حرق العينة الغذائية إلى انطلاق الطاقة الكامنة في الروابط الكيميائية chemical bonds في صورة حرارة heat والتي يتم قياسها مباشرة بواسطة المسعر، لذا تسمى هذه الطريقة di-rect calorimetry . ولقد وجد بأن قيمة الطاقة التي نحصل عليها من احتراق المادة الغذائية داخل المسعر ذي البومبة أعلى من تلك الناتجة من أكسدة (أيض) الغذاء في جسم الإنسان، وهذا يرجع إلى أن المسعر يسبب حدوث أكسدة كاملة لجميع مكونات المادة الغذائية (تتحول كل ذرات الكربون والهيدروجين والنيتروجين إلى ثاني أكسيد كربون وماء وأكسيد نيتروز) بينما في حالة أيض الغذاء في جسم الإنسان فإن امتصاص

وأكسدة العناصر الغذائية يكون غير مكتمل، مما يؤدي إلى حدوث فقدان لبعض العناصر الغذائية مع البراز والبول، بالإضافة إلى أن النيتروجين الناتج من تحلل البروتين لا يتحول نهائيًا إلى أكسيد نيتروز في جسم الإنسان. لهذا يجب تعديل قيمة الطاقة التي نحصل عليها من المسعر، وذلك بضربها في معامل هضم coefficient of digestibility الكربوهيدرات (٩٨٪) والدهون (٩٥٪) والبروتينات (٩٢٪) للحصول على قيمة طاقة الغذاء التي تتوافر للجسم، والتي تسمى القيمة الفسيولوجية للطاقة physiological energy values . ومما سبق ذكره يمكن تعريف القيمة الفسيولوجية للطاقة بأنها كمية الطاقة الناتجة من أيض (أكسدة) جرام واحد من البروتينات أو الدهون أو الكربوهيدرات داخل الجسم مع الأخذ بعين الاعتبار كمية الطاقة المفقودة مع البراز (غير الممتصة) في صورة فضلات، وكذلك الطاقة المفقودة مع البول.

ومما تجدر الإشارة إليه أن جميع المركبات الناتجة من حرق الغذاء داخل المسعر (ثاني أكسيد الكربون والماء وأكسيد النيتروز أو حمض النيتريك) تعد ذات درجة عالية من السمية، كذلك فإنه في جسم الإنسان لا تحدث أكسدة لمجموعة الأمين NH_2 الموجودة في البروتينات حيث إنها تتحول إلى بولينا وتطرح خارج الجسم مع البول.

ويوضح المثال التالي طريقة تحويل قيم حرارة الاحتراق في المسعر إلى قيم حرارية فسيولوجية التي يستفيد منها الجسم:



قيم الحرارة الفسيولوجية التي تعرف باسم قيم أتواتر Atwater factors.

ويلاحظ من المثال أعلاه بأن قيم الحرارة الفسيولوجية التي يستفيد منها الجسم = (قيم حرارة الاحتراق في المسعر ـ القيم السعرية للمركبات غير كاملة الاحتراق) × معامل الهضم.

(١٢,٥) قياس صرف (استهلاك) الطاقة
Measurement of Energy Expenditure

يصرف جسم الإنسان الطاقة للمحافظة على معدل الأيض القاعدي basal metabolic rate (BMR) ، وعلى النشاطات العضلية physical activities ، وعلى التأثير الديناميكي الخاص بالأغذية specific dynamic action ، لهذا فإن الطاقة التي يصرفها جسم الإنسان يوميًا عبارة عن حاصل جمع الأجزاء الثلاثة السابقة. وتوجد طريقتان لقياس الطاقة الكلية التي يصرفها الجسم أثناء أداء وظائفه ونشاطاته الحيوية المختلفة وهي:

أولاً: الطريقة المباشرة لقياس الطاقة Direct calorimetry

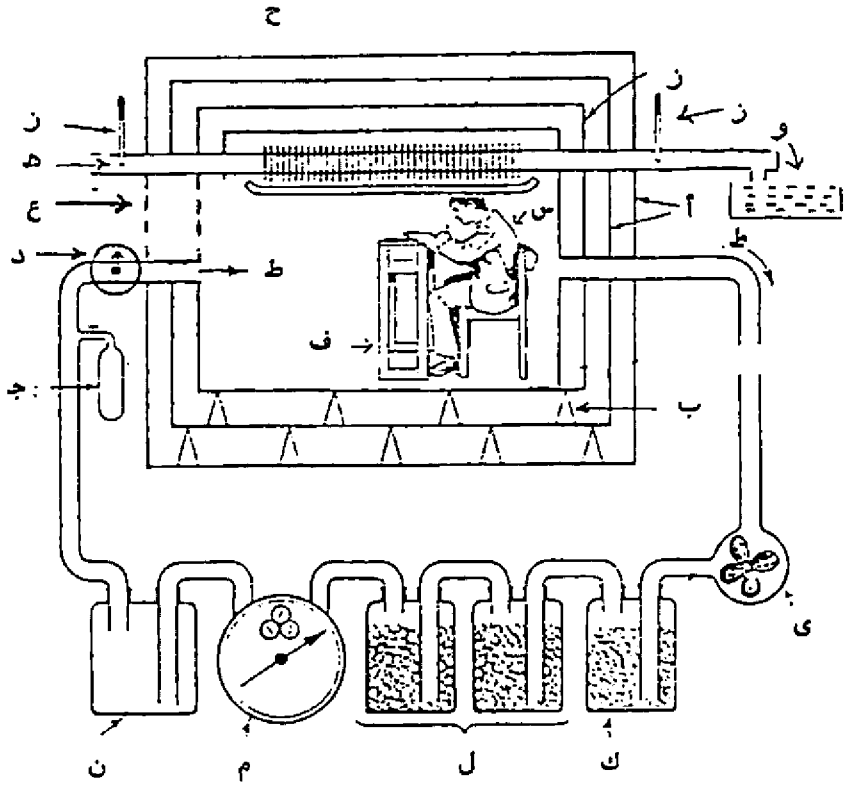
قام العالمان اتواتر Atwater وروزا Rosa (١٨٩١-١٩٠٣م) الأمريكيان بتصميم هذه الطريقة، وهي سهلة التطبيق من الناحية النظرية، وتعتمد على قياس كمية الحرارة التي ينتجها الجسم، إلا أنها تستخدم على نطاق ضيق في بعض مراكز الأبحاث، وتعتبر معقدة من الناحية العملية، وغالية الثمن، وتحتاج إلى كثير من الصبر لإجرائها، وإلى مجموعة من الفنيين المهرة، وعند قياس الحرارة المنصرفة يجلس الشخص في حجرة (أبعادها ٣×٢×٢ متر) مصممة من جدران محتوية على مادة عازلة لمنع دخول وخروج الحرارة، ومجهزة بمستلزمات النوم والأكل والرياضة، وبها كرسي وسرير وتلفزيون وهاتف. وتمتص الحرارة المنطلقة من الشخص أثناء ممارسة نشاطاته العادية داخل الغرفة بواسطة ماء (مالح ومثلج)، يجري في أنابيب coils داخل جدران الحجرة، والفرق بين درجة حرارة الماء قبل إجراء التجربة وبعدها يعبر عن الحرارة المفقودة، كما

يحسب حجم الماء الذي يجري في داخل الأنابيب، ومن هذه المعلومات يمكن حساب الطاقة الكلية المنصرفة من الجسم، كما تحتوي الحجرة على ترمومترات لقياس درجة حرارة الماء، وعدادات لقياس كمية الماء الجاري في الأنابيب، وكذلك تزود الحجرة باسطوانات من الأكسجين المضغوط الذي يدفع إلى داخل الحجرة ليستنشقه الشخص أثناء التجربة. ومما تجدر الإشارة إليه أن الطعام والشراب يقدم إلى الشخص الذي تجرى عليه التجربة عن طريق نافذة في الحجرة، كما يتم إخراج البراز والبول الخاص به من النافذة نفسها. يمرر هواء الغرفة المحمل بثاني أكسيد الكربون وبخار الماء الناتجين من عملية استنشاق الأكسجين على حمض الكبريتيك لامتصاص بخار الماء منه، ثم على جير الصودا (صودا الكلس soda lime) لامتصاص ثاني أكسيد الكربون، ثم على حمض الكبريتيك مرة أخرى لامتصاص المتبقى من بخار الماء، وبعد ذلك يعود الهواء مرة أخرى إلى داخل الغرفة بعد اختلاطه بالأكسجين. وتحسب الحرارة الكامنة في بخار الماء المفقود من الرئتين أو الجلد بقياس رطوبة الهواء الخارج من الجهاز، حيث يتم امتصاص بخار الماء وثاني أكسيد الكربون منه كما ذكر أعلاه. وتعرف الحرارة الكامنة في بخار الماء بأنها كمية الحرارة اللازمة لتبخير جرام واحد من الماء عند درجة ٣٠°م، وهي تعادل ٠,٥٨ كيلوكالوري، كما تجرى تصحيحات لاختلاف درجات الحرارة بسبب إحضار الغذاء والشراب للغرفة أو اختلاف حرارة الجسم. وتشمل الطاقة الكلية المنصرفة من الجسم الحرارة المفقودة عن طريق التوصيل والإشعاع أثناء القيام بمجهود، بالإضافة إلى الحرارة الكامنة في بخار الماء المفقودة من الرئتين أو الجلد. ويسمى الجهاز المستخدم لقياس الطاقة بالطريقة المباشرة بالمسعر التنفسي respiratory calorimeter ، وكلمة calorimeter (المسعر) مشتقة من الكلمة اللاتينية calor التي يقصد بها الحرارة. ويوضح الشكل (١٢,٢) رسمًا تخطيطيًا للمسعر التنفسي حسب طريقة اتواتر وروزا.

ثانيًا: الطرق غير المباشرة لقياس الطاقة Indirect calorimetry

(أ) قياس الأكسجين المستهلك

تتميز هذه الطريقة بأنها سهلة الاستخدام ورخيصة الثمن وغير معقدة من الناحية العملية، بالإضافة إلى أنها تستخدم على نطاق واسع لقياس صرف الطاقة



شكل (١٢,٢). رسم تخطيطي للمسعر التنفسي حسب طريقة اتواتر وروزا.

توضيحات:

(أ) حجرة معزولة
(ب) مواد عازلة
(جـ) أسطوانة أكسجين
(د) مقياس للأكسجين
(هـ) ماء مالح مثلج داخل إلى الغرفة
(و) ماء خارج من الغرفة (يجمع لمعرفة حجمه)
(ز) ترمومتر
(حـ) مبرد حراري
(ط) هواء خارج من الغرفة
(ي) مروحة لضخ الهواء إلى الخارج
(ك) صودا تمتص الماء
(ل) حمض كبريتيك يمتص ثاني أكسيد الكربون
(م) مقياس للغاز
(ن) مرطـــب
(س) شخص يجلس على كرسي
(ع) فتحة إدخال وإخراج الطعام
(ف) طاولـــة

energy expenditure . وتعتمد هذه الطريقة أساسًا على قياس حجم الأكسجين المستهلك خلال فترة زمنية محددة، حيث إن كمية الأكسجين المستهلك لأكسدة الغذاء أثناء عملية الأيض الغذائي أو باستخدام المسعر calorimeter تتناسب طرديًا مع كمية الطاقة المنبعثة في صورة حرارة. ويمكن تمثيل أكسدة الجلوكوز بالمعادلة الكيميائية التالية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{heat (664 Kcal)}$$

$$\text{١٨٠ جرامًا} + \text{٦ لتر} \times \text{٢٢,٤} \longrightarrow \text{٢٧٦٧ KJ}$$

إذن يحتوي الجرام الواحد من الجلوكوز على = ٢٧٦٧ ÷ ١٨٠ = ١٥,٣٧ كيلوجول (KJ)

= ١٥,٣٧ × ٠,٢٤٠ = ٣,٩٦ كيلوكالوري

وبما أن حجم الأكسجين المستهلك يساوي ١٣٤,٤ (٦×٢٢,٤) لتر

إذن فإن الحرارة التي يكافئها لتر واحد من الأكسجين = ٢٧٦٧÷١٣٤,٤ = ٢٠,٦ كيلوجول

= ٢٠,٦ ÷ ٤,١٨٤ = ٤,٩٢ كيلوكالوري

حيث إن القيمة ١٣٤,٤ تمثل حجم الأكسجين.

يتضح من المعادلات الكيميائية أعلاه بأنه عند أكسدة الكربوهيدرات فإن حجم الأكسجين المستهلك يساوي حجم ثاني أكسيد الكربون الناتج، بينما في حالة أكسدة الدهون فإن حجم الأكسجين المستهلك يساوي ١٤٤٪ من حجم ثاني أكسيد الكربون الناتج. كما يتضح بأنه يعبر عن حاصل التنفس بكسر (RQ) عشري ينتج من قسمة حجم ثاني أكسيد الكربون على حجم الأكسجين.

وبالطريقة السابقة نفسها يمكن حساب الطاقة المنطلقة من أكسدة الحمض الدهني بالميتيك palmitic كالتالي:

$$C_{16}H_{32}O_2 + 23O_2 \longrightarrow 16CO_2 + 16H_2O + \text{heat (2340 Kcal)}$$

وبشكل عام فقد أشارت الدراسات التي أجريت على أشخاص في أعمار مختلفة بأن استهلاك لتر واحد من الأكسجين في أكسدة البروتينات أو الكربوهيدرات أو الدهون ينتج حوالي ٤,٦ كيلوكالوري أو ٥,٠٥ كيلوكالوري أو ٤,٦٩ كيلوكالوري

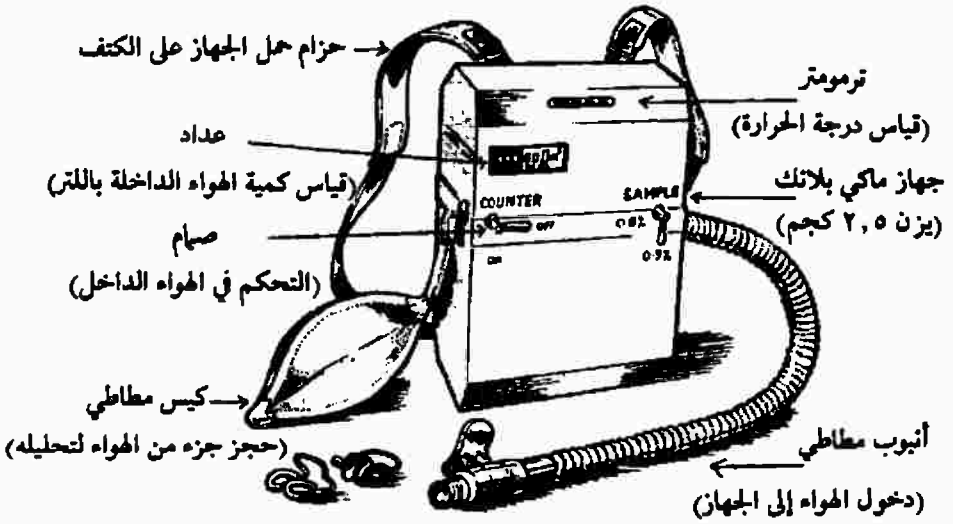
على التوالي. والغذاء الذي يتناوله الإنسان عبارة عن خليط من العناصر الغذائية الثلاثة السابقة، لهذا وجد أنه من المناسب استخدام متوسط مكافىء حراري caloric equivalent قدره ٤,٨ كيلوكالوري لكل ليتر مستهلك من الأكسجين. ويتوافر حاليًا عدة أجهزة مختلفة لقياس الطاقة المنصرفة بالطريقة غير المباشرة، حيث إن بعضها يستخدم لقياس الطاقة المنصرفة أثناء ركوب الدراجة الثابتة stationary bicycle أو المشي على جهاز الحركة الدائرة عند الإقدام treadmill ، ويتميز البعض الآخر بأنه قابل للنقل portable ، لهذا يستخدم أثناء الكتابة على الآلة الكاتبة أو تسلق الجبال أو الكي ironing أو أداء أي نشاطات أخرى داخل أو خارج المنزل. وتتألف هذه الأجهزة من كمامة توضع على الفم ومقياس meter لقياس حجم هواء الزفير expired air ، وحقيبة bag لتجميع هواء الزفير، وأسطوانة أكسجين يستخدمها الشخص، وبتحليل محتوى عينات الهواء من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون يمكن تقدير الطاقة المنصرفة. وتجدر الإشارة إلى أن كمية الأكسجين الموجودة في الأسطوانة تقل تدريجيًا أثناء التجربة، ويتم تسجيل ذلك على المقياس لمعرفة كمية الأكسجين المستهلكة. وقد أثبتت الدراسات بأن استهلاك ليتر واحد من الأكسجين يصاحبه طاقة منصرفة مقدراها ٢٠ كيلو جول (KJ). ويوجد في الوقت الحالي أنواع مختلفة من أجهزة قياس التنفس التسجيلي recording respirometer وهي منتشرة على نطاق واسع في معامل المدارس الثانوية.

وتجدر الإشارة إلى أنه توجد لأجهزة قياس التنفس التسجيلي بعض العيوب منها:

١- أنها لا تعطي معلومات عن أنواع الأغذية التي تتأكسد داخل الجسم أثناء إجراء التجربة، ٢- تتطلب إعادة ملئها كل ١٠-١٥ دقيقة. ٣- لا تستطيع قياس حجم ثاني أكسيد الكربون الناتج، ولهذا لا يمكن حساب حاصل التنفس (RQ) . ٤- يتطلب من الشخص تحت التجربة أن يكون في حالة راحة تامة أثناء التجربة، وأن يتنفس بانتظام، حيث إن حدوث سعل أو ابتلاع اللعاب يؤثر على النتيجة.

وبشكل عام فإن أجهزة قياس التنفس تستخدم لقياس الطاقة المنصرفة لأداء وظائف مختلفة، والأساس الذي تعتمد عليه هو التحليل الكيميائي لهواء الزفير، وكذلك حجم هذا الهواء خلال فترة زمنية محددة. والشكل (١٢,٣) يوضح رسمًا

تخطيطيًا لجهاز ماكس بلانك لقياس التنفس The Max Planck Respirometer . حيث يتنفس الشخص من خلال صمام الزفير expiratory valve للهواء الداخل، ويسجل حجم الهواء مباشرة على عداد counter ، كما أن جزءًا من هواء الزفير يتجه إلى كيس مطاطي bladder للتحليل الكيميائي .



شكل (١٢,٣). جهاز ماكس بلانك لقياس التنفس The Max Planck respirometer .

(ب) قياس حاصل (معدل) التنفس Respiratory quotient (RQ)

هو عبارة عن طريقة سريعة وسهلة ورخيصة الثمن تستخدم لتقدير الطاقة المنصرفة energy expenditure من جسم الإنسان أثناء القيام بنشاطاته المختلفة، ويسمى أحيانًا معامل أو مكافىء التنفس. وحاصل التنفس يعني النسبة بين حجم ثاني أكسيد الكربون المنطلق وحجم الأكسجين المستهلك أثناء تكوين الطاقة الحرارية O ÷OC= QR وكما هو معروف فإن أيض المادة الغذائية (أكسدتها) يتم في وجود الأكسجين وينتج عن ذلك ثاني أكسيد الكربون وطاقة تتناسب طرديًا مع كمية الأكسجين المستهلكة. لذلك، صممت بعض أجهزة قياس التنفس respiration

calorimeter التي تستطيع قياس الأكسجين المستهلك وثاني أكسيد الكربون المنطلق مع هواء الزفير في الوقت نفسه الذي تنطلق فيه الحرارة من الجسم.

يختلف حاصل التنفس باختلاف المادة الغذائية المتأكسدة في الجسم، لذلك يستخدم كدليل لمعرفة نوع المادة الغذائية التي تأكسدت في الجسم، ومدى تحول المواد الغذائية إلى بعضها البعض. ولقد وجد بأن كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة المادة الغذائية تتوقف على محتواها من الأكسجين، فمثلاً تحتوي الكربوهيدرات على كمية كبيرة من الأكسجين عما في الدهون، لهذا تحتاج إلى كمية قليلة من الأكسجين لأكسدتها إلى ثاني أكسيد الكربون. ويمكن توضيح حساب حاصل التنفس للكربوهيدرات والدهون والبروتينات حسب المعادلات التالية:

١ ـ الكربوهيدرات (الجلوكوز):

$$CH_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

$$RQ = 6CO_2 + 6O_2 = 1.0$$

٢ ـ الدهون: (حمض الباليتيك palmitic acid وثلاثي الاستيارين tristearin على التوالي).

$$CH_3(CH_2)_{14}COOH + 23O_2 \longrightarrow 16CO_2 + 16H_2O$$

$$RQ = 16CO_2 + 23O_2 = 0.7$$

$$2C_{57}H_{110}O + 163O_2 \longrightarrow 114CO_2 + 110H_2O$$

$$RQ = 114CO_2 + 163O_2 = 0.7$$

٣ ـ البروتينات Proteins : إن حساب حاصل التنفس للبروتينات أكثر تعقيدًا نظرًا لعدم تأكسدها بصورة كاملة داخل الجسم، حيث يحدث لها فقدان مع البول على شكل يوريا. ولكن أشارت الدراسات إلى أن متوسط حاصل التنفس المناسب للبروتينات هو ٠,٨. ومن المعروف أن الوجبة الغذائية التي يتناولها الإنسان تتكون من خليط من كل من الكربوهيدرات والبروتينات والدهون، ولهذا فإن حاصل التنفس يقع بين ٠,٧ وواحد صحيح، وبمتوسط قدره ٠,٨٥. ويمكن الاسترشاد بحاصل التنفس للتعرف على نوعية الغذاء في حدود معينة، فمثلاً إذا كان حاصل التنفس

يساوي ٠,٧ أو واحد صحيح فهذا يدل على أن الغذاء المؤكسد أثناء عملية الأيض الغذائي عبارة عن دهون أو كربوهيدرات على التوالي. بينما إذا كان الرقم المتحصل عليه لحاصل التنفس يقع بين ٠,٧ وواحد صحيح فإنه يصعب تحديد نوع الغذاء المتناول، إلا أنه يكون أقرب إلى البروتين. ويوضح جدول (١٢,٢) قيم الأكسجين وثاني أكسيد الكربون اللازمة لأكسدة بعض العناصر الغذائية. وتوجد عدة عوامل تؤثر على حاصل التنفس منها:

١- **الصيام Fasting ومرض السكري Diabetes** : وكلاهما يقلل من قيم حاصل التنفس بسبب انخفاض مستوى الجلوكوز، وارتفاع معدل أكسدة الأحماض الدهنية التي تحتاج إلى كمية كبيرة من الأكسجين.

٢- **تحول الدهون إلى كربوهيدرات في جسم الإنسان**: يحتاج ذلك إلى كمية كبيرة من الأكسجين مع هواء الشهيق مما يقلل من حاصل التنفس.

٣- **إنتاج الأجسام الكيتونية keton bodies بكمية كبيرة**: يعمل ذلك على تقليل حاصل التنفس نظرًا لأن تحول الأحماض الدهنية إلى أجسام كيتونية يستهلك كمية كبيرة من الأكسجين.

٤- **التمارين الرياضية**: تقلل التمارين الرياضية من حاصل التنفس نظرًا لاستهلاك كمية كبيرة من الأكسجين اللازم لأكسدة حمض اللاكتيك lactic acid الموجود في العضلات، بالإضافة إلى أن ثاني أكسيد الكربون المنتج يتحد مع القواعد التي كانت مرتبطة بحمض اللاكتيك وبذلك لا يخرج مع هواء الزفير.

٥- **الإصابة بمرض الكُلي والاختناق وزيادة إفراز الأدرينالين**: يزيد ذلك من حاصل التنفس بسبب تكون كمية كبيرة من ثاني أكسيد الكربون الناتجة من تفاعل الأحماض الزائدة في الدم مع بيكربونات الصوديوم.

يمكن استخدام حاصل التنفس لحساب الطاقة المنصرفة من الجسم بسبب أكسدة المادة الغذائية وذلك بالرجوع إلى جداول حاصلات الطاقة الحرارية كما يوضحه المثال التالي:

تناول طالب مادة غذائية، وقدرت كمية الطاقة المنصرفة منه أثناء الأيض الغذائي بطريقة حاصل التنفس فكانت النتائج كالتالي:

حجم الأكسجين المستهلك يساوي ١٤,٤ لتر في الساعة.

حجم ثاني أكسيد الكربون الناتج يساوي ١٢ لترًا في الساعة.

الحـــل:

حاصل التنفس = حجم ثاني أكسيد الكربون ÷ حجم الأكسجين

= ١٢ ÷ ١٤,٤ = ٠,٨٣

وبالرجوع إلى جداول حاصلات الطاقة الحرارية (جدول ١٢,٣) نلاحظ أنه عند حاصل تنفس ٠,٨٣ يقابلها قيمة حرارية مقدراها ٤,٨٣٨ لكل لتر أكسجين وقيمة حرارية مقدارها ٥,٨٢٩ لكل لتر ثاني أكسيد كربون.

إذن الطاقة المنصرفة = ١٤,٤ × ٤,٨٣٨ = ٦٩,٧ كيلوكالوري في الساعة

أو الطاقة المنصرفة = ١٢ × ٥,٨٢٩ = ٦٩,٩ كيلوكالوري في الساعة

(١٢,٦) احتياجات الجسم للطاقة Energy Requirements of the Body

إن الطاقة الكلية التي يصرفها الإنسان تحددها ثلاثة عوامل هي: معدل الأيض الأساسي basal metabolic rate (BMR) والنشاطات العضلية muscular or physical activities والتأثير الديناميكي النوعي للغذاء specific dynamic effect (SDE).

جدول (١٢,٢). قيم الأكسجين وثاني أكسيد الكربون اللازمة لأكسدة بعض العناصر الغذائية.

	الأكسجين اللازم ملليليتر/ جرام (المستهلك)	ثاني أكسيد الكربون ملليليتر/ جرام (الناتج)	حامل التنفس (RQ)	الطاقة الناتجة كيلوجول/ جرام	الطاقة الناتجة من استهلاك لتر أكسجين واحد
نشا	٨٣٠	٨٣٠	١,٠	١٧,٠	٢١,١
جلوكوز	٧٤٧	٧٤٧	١,٠	١٥,٥	٢٠,٨
دهن	٢٠٢٠	١٤٣٠	٠,٧١	٣٩,٠	١٩,٦
بروتين	٩٦٦	٧٨٢	٠,٨١	١٨,٦	١٩,٣

المصدر: د. آمال السيد الشامي وآخرون (١٩٨٥م)، ص٥١.

جدول (١٢,٣). القيمة الحرارية للأكسجين وثاني أكسيد الكربون عند حاملات التنفس المختلفة.

النسبة المئوية للحرارة الكلية الناتجة عند تناول الدهن	النسبة المئوية للأكسجين المستهلك عند تناول الدهن	القيمة الحرارية لكل لتر ثاني أكسيد الكربون	القيمة الحرارية لكل لتر أكسجين	حاصل التنفس للمواد غير البروتينية
١٠٠,٠	١٠٠,٠	٦,٦٢٩	٤,٦٨٦	٠,٧٠٧
٩٨,٥	٩٩,٠	٦,٦٠٦	٤,٦٩٠	٠,٧١
٩٥,٢	٩٥,٦	٦,٥٣١	٤,٧٠٢	٠,٧٢
٩١,٦	٩٢,٢	٦,٤٥٨	٤,٧١٤	٠,٧٣
٨٨,٠	٨٨,٧	٦,٣٨٨	٤,٧٢٧	٠,٧٤
٨٤,٤	٨٥,٣	٦,٣١٩	٤,٧٢٩	٠,٧٥
٨٠,٨	٨١,٩	٦,٢٥٣	٤,٧٥١	٠,٧٦
٧٧,٢	٧٨,٥	٦,١٨٧	٤,٧٦٤	٠,٧٧
٧٣,٧	٧٥,١	٦,١٢٣	٤,٧٧٦	٠,٧٨
٧٠,١	٧١,٧	٦,٠٦٢	٤,٧٨٨	٠,٧٩
٦٦,٦	٦٨,٣	٦,٠٠١	٤,٨٠١	٠,٨٠

٠,٨١	٤,٨١٣	٥,٩٤٢	٦٤,٨	٦٣,٧
٠,٨٢	٤,٨٢٥	٥,٨٨٤	٦١,٤	٥٩,٧
٠,٨٣	٤,٨٢٨	٥,٨٢٩	٥٨,٠	٥٦,٢
٠,٨٤	٤,٨٥٠	٥,٧٧٤	٥٤,٦	٥٢,٨
٠,٨٥	٤,٨٦٢	٥,٧٢٧	٥١,٢	٤٩,٣
٠,٨٦	٤,٨٧٥	٥,٦٦٩	٤٧,٨	٤٥,٩
٠,٨٧	٤,٨٨٧	٥,٦١٧	٤٤,٤	٤٢,٥
٠,٨٨	٤,٨٩٩	٥,٥٦٨	٤١,٠	٣٩,٢
٠,٨٩	٤,٩١١	٥,٥١٩	٣٧,٥	٣٥,٨
٠,٩٠	٤,٩٢٤	٥,٤٧١	٣٤,١	٣٢,٥
٠,٩١	٤,٩٣٦	٥,٤٢٤	٣٠,٠	٢٩,٢
٠,٩٢	٤,٩٤٨	٥,٣٧٨	٢٧,٣	٢٥,٩
٠,٩٣	٤,٩٦٧	٥,٣٣٣	٢٣,٩	٢٢,٦
٠,٩٤	٤,٩٧٣	٥,٢٩٠	٢٠,٥	١٩,٣
٠,٩٥	٤,٩٨٥	٥,٢٤٧	١٧,١	١٦,٠
٠,٩٦	٤,٩٩٨	٥,٢٠٥	١٣,٧	١٢,٨
٠,٩٧	٥,٠١٠	٥,١٦٥	١٠,٢	٩,٥١
٠,٩٨	٥,٠٢٢	٥,١٢٤	٦,٨٣	٦,٣٧
٠,٩٩	٥,٠٣٥	٥,٠٨٥	٣,٤١	٣,١٨
١,٠٠	١,٠٠	٥,٠٤٧	صفر	صفر

أولاً: معدل الأيض الأساسي

يقصد به كمية الطاقة الكلية التي يصرفها الجسم على العمليات اللاإرادية (نشاطاته الحيوية الأساسية) اللازمة للمحافظة على الحياة مثل دقات القلب والدورة الدموية والتنفس (استنشاق الأكسجين وطرد ثاني أكسيد الكربون) والمحافظة على درجة حرارة الجسم وعملية إخراج الفضلات من الجسم والنشاطات الأيضية داخل الخلايا ونشاط الكليتين والغدد. ويمثل معدل الأيض الأساسي الجزء الأكبر من الطاقة التي

يصرفها الإنسان، إذ يصل إلى أكثر من نصف السعرات الكلية المنصرفة، ويقاس الأيض الأساسي بالطريقة المباشرة أو غير المباشرة التي سبق ذكرها آنفًا، والشخص في حالة راحة تامة جسمانيًا وعقليًا ونفسيًا، وبعد تناول الطعام بحوالي ١٤ ساعة (١٢-١٦ ساعة). كما تجرى التجربة والشخص مستلقيًا على ظهره في غرفة ذات درجة ملائمة وإضاءة هادئة ومرتديًا ملابس ملائمة وقليلة. أي تقدر الطاقة المنصرفة من الأيض الأساسي والشخص في حالة راحة تامة، وأفضل وقت لقياسها هو في الصباح قبل تناول الإفطار.

العوامل التي تؤثر على معدل الأيض الأساسي Facotrs affecting the basal metabolic rate

١- **العمر والنمو Age and growth** : أشارت الدراسات إلى أن الأيض الأساسي لكل وحدة من مساحة الجسم السطحية يصل إلى أقصاه في عمر ١٨ شهرًا (٥٥-٦٠ سعرا/متر مربع/ ساعة)، ثم يبدأ في الانخفاض التدريجي أثناء مرحلة الطفولة المبكرة والمراهقة. ويستمر الانخفاض في معدل الأيض الأساسي بمعدل منتظم أثناء فترة الحياة الباقية بمعدل يقدر بحوالي ٢٪ لكل تقدم في العمر مقداره عشر سنوات ابتداء من ٢١ سنة، وذلك بسبب انخفاض في كتلة الأنسجة العضلية النشيطة active cell mass في الجسم، وزيادة كمية الأنسجة الدهنية فيه. وقد أشارت الدراسات إلى أن معدل الأيض الأساسي يستمر في الانخفاض أثناء فترة الشيخوخة حتى يصل إلى ٣٢ سعرًا/ متر مربع/ ساعة للذكور وإلى ٣٠,٩ سعرا/ متر مربع/ ساعة للإناث.

وتجدر الإشارة إلى أن السبب في ارتفاع معدل الأيض القاعدي في سن الطفولة يرجع إلى سرعة معدل النمو أثناء هذه الفترة التي يصاحبها ارتفاع في عمليات الأيض. لهذا فإن كمية الطاقة الموصى بها للأطفال الذكور والإناث حتى عمر ١٠ سنوات تكون متشابهة، وذلك لتساوي معدل الأيض الأساسي لديهما. إلا أنه بعد عمر ١١ سنة تصبح كمية الطاقة الموصى بها للأولاد أعلى من تلك الموصى بها للبنات نظرًا لاختلاف معدل النمو في هذه الفترة. ولقد أشارت الدراسات بأن معدل الأيض الأساسي لرجل

عمره ٧٥ عامًا يقل بحوالي ٢٠٪ عن الأيض الأساسي لرجل عمره ٢٠ عامًا. ويزيد معدل الأيض الأساسي في المرأة أثناء فترة الحمل بنسبة ١٥-٢٣٪ بسبب نمو الجنين وتكوين أنسجة جديدة في جسم الأم مثل المشيمة والثديين، أي لزيادة الأنسجة العضلية.

٢- الجنس Sex : وجد أن معدل الأيض الأساسي للرجل يكون أعلى عما هو بالمرأة في العمر نفسه نظرًا لكبر وزن الرجل عن وزن المرأة، بالإضافة إلى أن نسبة الأنسجة الدهنية adipose tissues (غير فعالة أيضيًا metabolicaly inert) في جسم الرجال أقل عما في جسم النساء، بينما تكون كتلة الأنسجة العضلية (فعالة أيضيًا) أقل في جسم النساء مما في جسم الرجال. ولقد أشارت الدراسات إلى أن معدل الأيض الأساس في النساء يقل بحوالي ٦-١٠٪ عن الرجال. ويعتقد كل من كلايبر Kleiber وميتشل Mitchel أن الهرمونات الجنسية sex hormones قد يكون لها بعض التأثير على اختلاف معدل الأيض الأساسي بين الرجال والنساء. كما أشارت الدراسات بأن معدل الأيض الأساسي يكون أعلى لدى الأشخاص الرياضيين athletes منه لدى الأشخاص قليلي الحركة sedentary persons ، ويكون أقل عند الأشخاص السمان obese persons ، ويرجع هذا كله إلى اختلاف تركيب الجسم في الأنسجة العضلية والدهنية. ويبين الجدول (١٢,٤) الأوزان المناسبة المقترحة بالنسبة للطول لكل من الرجال والنساء البالغين.

٣- الحالة الصحية Health status : تكون الحالة الصحية للشخص أثناء قياس معدل الأيض الأساسي مهمة جدًا نظرًا لأن لها تأثيرًا مباشرًا عليها، لهذا يشترط أن يكون الشخص في حالة صحية جيدة. فمثلاً ينخفض الأيض الأساسي عن المعدل الطبيعي بالنسبة للأشخاص المصابين بأمراض سوء التغذية، بينما يرتفع الأيض الأساسي بمعدل ١٣٪ بالنسبة للأشخاص المصابين بالحمى fevers (أعلى من ٣٧°م) مقابل زيادة درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة. كما أشارت الدراسات إلى أن معدل الأيض الأساسي قد انخفض في حالة الصيام وفي حالة المجاعات بنسبة ٢٥٪ بعد ٢٠ يومًا من التوقف عن تناول الطعام.

جدول (٤, ١٢). الأوزان المناسبة المقترحة بالنسبة للطول (للرجال والنساء البالغين).

الطول (١)		الوزن (٢)					
		الرجال			النساء		
بوصة	سم	رطل	كجم		رطل		كجم
٥٨	١٤٧	—	—		١٠٢ (٩٢-١١٩)	٤٧	(٤٢-٦٤)
٦٠	١٥٢	—	—		١٠٧ (٩٦-١٢٥)	٤٩	(٤٤-٥٧)
٦٢	١٥٨	١٢٣ (١١٢-١٤١)	٥٦	(٥١-٦٤)	١١٣ (١٠٢-١٣١)	٥١	(٤٦-٥٩)
٦٤	١٦٣	١٣٠ (١١٨-١٤٨)	٥٩	(٥٤-٦٧)	١٢٠ (١٠٨-١٣٨)	٥٠	(٤٩-٦٣)
٦٦	١٦٨	١٣٦ (١٢٤-١٥٦)	٦٢	(٥٦-٧١)	١٢٨ (١١٤-١٤٦)	٥٨	(٥٢-٦٦)
٦٨	١٧٣	١٤٥ (١٣٢-١٦٦)	٦٦	(٦٠-٧٥)	١٣٦ (١٢٢-١٥٤)	٦٢	(٥٥-٧٠)
٧٠	١٧٨	١٥٤ (١٤٠-١٧٤)	٧٠	(٦٤-٧٩)	١٤٤ (١٣٠-١٦٣)	٦٥	(٥٩-٧٤)
٧٢	١٨٢	١٦٢ (١٤٨-١٨٤)	٧٤	(٦٧-٨٤)	١٥٢ (١٣٨-١٧٣)	٦٩	(٦٣-٧٩)
٧٤	١٨٨	١٧١ (١٥٦-١٩٤)	٧٨	(٧١-٨٨)	—	—	
٧٦	١٩٣	١٨١ (١٦٤-٢٠٤)	٨٢	(٧٤-٩٣)	—	—	

المصدر : Fleck, H. (1981). p. 106 .

(١) الطول بدون حذاء.

(٢) الوزن بدون ملابس. مدى متوسط الوزن بين قوسين.

٤- إفرازات الغدد الصماء Endocrine glands : من المعروف أن هرمونات الغدة الدرقية thyroid gland تعمل على تنظيم معدل أيض الطاقة، وأن حدوث اضطراب فيها يؤثر على معدل الأيض الأساسي. فمثلاً تؤدي زيادة إفراز هرمون الثيروكسين thyroxin (Hyperthyroidism) في الدم إلى رفع معدل الأيض الأساسي بنسبة قد تصل إلى ٧٥-١٠٠٪، بينما يؤدي انخفاض إفراز الثيروكسين hypothyroidism إلى تقليل معدل الأيض الأساسي بنسبة قد تصل إلى ٣٠-٤٠٪. ,

كما يحدث الإفراط في إفرازات الغدد الصماء الأخرى مثل هرمونات الغدة

النخامية pituitary hormones وهرمون الأدرينالين adrenalin (Epinephrine) زيادة في معدل الأيض الأساسي، إلا أن تأثير الهرمون الأخير يكون وقتيًا (مؤقت) بالنسبة لزيادة معدل الأيض الأساسي.

٥ـ النشاطات Activities : أوضحت لجنة الخبراء التابعة لمنظمتي الأغذية والزراعة والصحة العالمية FAO/WHO بأن النشاطات الجسمانية التي يؤديها الشخص أثناء النوم لها تأثير واضح وكبير على معدل الأيض الأساسي، فمثلاً يزيد معدل الأيض الأساسي للشخص الرياضي عنه للشخص غير الرياضي في العمر والحجم نفسه وتركيب الجسم.

٦ـ الحالة الغذائية Nutrition state : ينخفض معدل الأيض الأساسي أثناء الصيام لفترة طويلة أو أثناء المجاعات starvation أو بسبب سوء التغذية malnutrition كما أشير أعلاه، وقد يصل الانخفاض إلى ٥٠٪ عن الحالة الطبيعية.

كما أشارت دراسات جديدة بأن معدل الأيض الأساسي يكون أقل في الأطفال المصابين بالكواشيوركور kwashiorkor أو المراسمس marasmus بسبب سوء التغذية الناتج عن نقص السعرات والبروتين مقارنة بالأطفال الأصحاء في العمر والحجم نفسيهما. كما أن تناول كميات كبيرة من البروتينات تزيد من معدل الأيض الأساسي.

٧ـ النوم Sleep : ينخفض معدل الأيض الأساسي في الأشخاص النائمين عما في الأشخاص المستيقظين (اليقظين).

٨ـ الظروف الجوية Climate . أشارت الدراسات إلى أن تغير الظروف الجوية من حرارة أو برودة لا يؤثر على معدل الأيض الأساسي، أما بالنسبة لسكان المناطق ذات الظروف الجوية الاستوائية (الحارة) tropical climate فإن معدل الأيض الأساسي يقل بمعدل ١٠٪ عما في المناطق الباردة. كما أن الطاقة التي يصرفها الشخص أثناء قيامه بنشاط معين تزداد بمعدل ٥٪ عندما تكون درجة حرارة الوسط أقل من ١٤°م.

٩ـ المساحة السطحية Surface area : يتناسب معدل الأيض الأساسي تناسبًا طرديًا مع مساحة الجسم السطحية، فمثلاً يكون الأيض الأساسي في الشخص الطويل والنحيف أعلى عما في الشخص القصير والسمين في العمر والوزن نفسيهما.

١٠ـ تركيب الجسم Body composition : يزداد معدل الأيض الأساسي بزيادة نسبة الأنسجة العضلية في الجسم وانخفاض نسبة الأنسجة الدهنية، والعكس. حيث تعتبر الأنسجة الدهنية المراكز النشيطة لعمليات الأكسدة والأيض الغذائي، بينما تعتبر الأنسجة الدهنية مراكز خاملة لعمليات أكسدة الغذاء. ويفسر ذلك ارتفاع معدل الأيض الأساسي في الرياضيين عنه في غير الرياضيين، وفي الرجال عنه في النساء نظرًا لاحتواء أجسامهم على نسب أعلى من الأنسجة العضلية.

ثانيًا: النشاطات العضلية Muscular activities :

يقصد بالنشاطات العضلية الشغل الخارجي الذي يؤديه الشخص مثل الأعمال المكتبية والمنزلية والتمارين الرياضية وغيرها من النشاطات الأخرى المختلفة. وتمثل الطاقة المنصرفة على النشاطات العضلية جزءًا كبيراً من احتياجات الطاقة الكلية بعد معدل الأيض الأساسي BMR . ولا ينطبق هذا على الأشخاص شديدي النشاط very active مثل السباحين والمصارعين ولاعبي كرة القدم، حيث إن الطاقة المنصرفة على النشاطات العضلية تكون أعلى من تلك المنصرفة على معدل الأيض الأساسي. أي أن كمية الطاقة التي يصرفها الشخص الرياضي على نشاطاته العضلية تكون أكبر من تلك التي يصرفها الشخص غير الرياضي، كما أن كمية الطاقة التي يصرفها الشخص البدين تكون أكبر من تلك التي يصرفها الشخص النحيف الذي يؤدي النشاطات نفسها. وتحتاج النشاطات المختلفة التي يؤديها الشخص في حياته اليومية إلى طاقة تتناسب مع نوع هذا النشاط ومدته ودرجة الجهد المبذول فيه. ولقد أمكن قياس مقدار الطاقة التي يصرفها الإنسان أثناء أدائه للعديد من النشاطات المختلفة (جدول ١٢,٥) مما يساعد على حساب الاحتياجات الكلية من الطاقة خصوصًا عند تخطيط الوجبات الغذائية.

جدول (١٢,٥). الطاقة المستهلكة في بعض النشاطات اليومية العادية للشخص البالغ محسوبة لكل كيلوجرام من وزن الجسم ولكل ساعة من الزمن.

نوع النشاط	كيلو كلوري/كجم/ساعة	نوع النشاط	كيلو كلوري/كجم/ساعة
ركوب الدراجة(سباق)	٧,٦	القراءة (بصوت عال)	٠,٤
ركوب الدراجة بسرعة معتدلة	٢,٥	التجديف (سباق)	١٦,٠
تجليد الكتب	٠,٨	الجري السريع	٧,٠
الملاكمة	١١,٤	نشر الخشب	٥,٧
عمل النجارة (الثقيل)	٢,٣	الخياطة (باليد)	٠,٦
الرقص	٣,٠	الخياطة (بالمكنة)	٠,٤
غسل الصحون	١,٠	صناعة الأحذية	١,٠
تغيير الثياب	٠,٧	الغناء بصوت مرتفع	٠,٨
قيادة السيارة	٠,٩	الجلوس (بهدوء)	٠,٤
تناول الطعام	٠,٤	للتزلج على الماء	٣,٥
التمرين الرياضي		التزلج على الجليد	١٠,٣
التمرين الخفيف جدًا	٠,٩	الوقوف باسترخاء	٠,٥
التمرين الخفيف	١,٤	قلع الحجارة	٤,٧
التمرين المعتدل	٣,١	كنس بمكنسة أرض (عادية)	١,٤
التمرين الشديد	٥,٤	كنس بمكنسة أرض (مفروشة)	١,٦
التمرين الشديد جدًا	٧,٦	تنظيف بآلة الشفط	٢,٧
المشي أو ركوب الخيل	١,٤	السباحة ٢ ميل/ساعة	٧,٩
ركوب الخيل (القفز)	٤,٣	تفصيل الثياب	٠,٩
ركوب الخيل (عدوًا)	٦,٧	استعمال الآلة الكاتبة اليدوية	١,٠
كي الثياب	١,٠	استعمال الآلة الكاتبة الكهربائية	٠,٥
الحياكة	٠,٧	العزف على الفيولين	٠,٦
الغسل (الخفيف)	١,٣	المشي السريع ٣ أميال/ساعة	٢,٠
الاضطجاع (دون نوم)	٠,١	المشي السريع ٤ أميال/ساعة	٣,٤
دهان الأثاث	١,٥	المشي السريع جدًا ٥,٣ أميال/ساعة	٩,٣

تابع جدول (١٢,٥).

نوع النشاط	كيلو كلوري/كجم/ساعة	نوع النشاط	كيلو كلوري/كجم/ساعة
لعبة تنس الطاولة	٤,٤	غسيل أرضية البيت	١,٢
عزف البيانو (دون غناء)	٠,٨	الكتابة	٠,٤
		نزول الدرجات	٠,٧
		صعود الدرجات	٢,١

المصدر: حامد التكروري وخضر المصري (١٩٨٩م).

ويمكن قياس الطاقة المنصرفة على النشاطات العضلية إما بالطريقة المباشرة أو الطريقة غير المباشرة التي سبق الإشارة إليها أعلاه. كما يمكن تقدير الطاقة المنصرفة على النشاطات العضلية بواسطة معرفة مستوى النشاط الذي يقوم به الشخص في حياته اليومية. حيث تقدر الطاقة المنصرفة للنشاطات العضلية بحوالي ٢٠٪ من معدل الأيض الأساسي BMR إذا كان الشخص دائم الجلوس sedentary ، و ٣٠٪ من الأيض الأساسي إذا كان قليل النشاط lightly active ، و ٤٠٪ من الأيض الأساسي إذا كان متوسط النشاط moderately active ، و ٥٠٪ من الأيض الأساسي إذا كان الشخص شديد النشاط very active .

ثالثًا: التأثير الديناميكي النوعي للغذاء Specific dynamic effect (SDE) of food

يقصد به الزيادة في طاقة الأيض الأساسي BMR فوق مستوى حالة السكون re-sting conditions بسبب تناول الوجبة الغذائية، ويسمى أحيانًا التأثير الحراري الناشيء عن الغذاء thermogenic effect of food . ويلاحظ عادة أن تناول الغذاء يصاحبه زيادة في درجة الحرارة التي تخرج من الجسم دون أن يستفيد منها. وقد كان يعتقد بأن التأثير الديناميكي للغذاء يمثل الطاقة المنصرفة أثناء عملية هضم وامتصاص وأيض الغذاء، إلا أنه قد ثبت أنه يمثل أيضًا الطاقة المنصرفة أثناء إفراز الإنزيمات وحركات الأمعاء ونقل الغذاء داخل الجهاز الهضمي وطرح الفضلات خارج الجسم. ومما تجدر

الإشارة إليه أيضًا أن تناول البروتين بمفرده يسبب زيادة كبيرة في معدل الأيض الأساسي مقدارها ٣٠٪، بينما تناول الكربوهيدرات أو الدهون يسبب زيادة قليلة جدًا فيه تقدر بحوالي ٦٪ و ٤٪ على التوالي.

وبشكل عام فإن الوجبة الغذائية المحتوية على العناصر الغذائية الثلاثة (البروتينات والدهون والكربوهيدرات) تؤدي إلى حدوث زيادة في الطاقة المنتجة تقدر بحوالي ٦٪ من قيمة الطاقة الغذائية المتناولة. ولكن إعطاء الغذاء عن طريق الحقن المباشر إلى الدم لم يسبب تغيراً في التأثير الديناميكي النوعي للغذاء مما ألغى فكرة فقدان جزء من الطاقة أثناء عملية الامتصاص، وأن التأثير الديناميكي للغذاء يمثل الطاقة المنصرفة بعد عملية امتصاص العناصر الغذائية. هناك عدة نظريات تقترح بأن سبب التأثير الديناميكي للغذاء هو الحرارة المفقودة من التفاعلات المعقدة اللازمة لإزالة مجموعة الأمين deamination من الأحماض الأمينية أثناء عملية أيض البروتينات، بالإضافة إلى حرارة التفاعلات الناتجة من المواد السريعة التأكسد بالنسبة للدهون وحرارة التفاعلات الوسطية بين الجلوكوز والجليكوجين بالنسبة للكربوهيدرات. والنظرية الأخيرة التي تقدم بها كربس Krebs عام ١٩٦٤م تعتبر أكثر قبولاً وتقترح بأن سبب التأثير الديناميكي للغذاء هو الحرارة المفقودة أثناء تخزين الطاقة في الجسم. حيث إن إنتاج جزيء واحد ATP من الكربوهيدرات أو البروتينات أو الدهون يلزمه حوالي ١٧,٤ سعر و٢١,٢ سعر و١٨,١ سعر على التوالي. وبشكل عام يقدر التأثير الديناميكي للغذاء بحوالي ١٠٪ من احتياجات الطاقة الكلية، أي ١٠٪ من مجموع الطاقة المنصرفة على كل من الأيض الأساسي BMR والنشاطات العضلية.

(١٢,٧) توازن الطاقة Energy Balance

يقصد به كمية الطاقة المتبقية في الجسم بعد خصم كمية الطاقة المنصرفة energy expenditure منه (المستهلكة) من كمية الطاقة الكلية المتناولة مع الغذاء energy intake أي:

توازن الطاقة = كمية الطاقة المتناولة ـ كمية الطاقة المنصرفة

Energy balance = energy input – energy output

وتوجد ثلاث حالات لتوازن الطاقة في الجسم وهي:

١ ـ توازن الطاقة المتعادلة Equilibrium energy balance

يعني أن كمية الطاقة المتناولة مع الغذاء تكون متساوية مع كمية الطاقة المنصرفة من الجسم، وفي هذه الحالة لا يحدث تغير في وزن الجسم، أي يظل وزن الجسم ثابتًا. ويدل توازن الطاقة المتعادل على أن الجسم يستفيد من العناصر الغذائية المولدة للطاقة بشكل كاف ومتكامل، ويستخدم لتقدير احتياجات الشخص من الطاقة الكلية.

٢ ـ توازن الطاقة الموجب Positive energy balance

يقصد به أن كمية الطاقة المتناولة مع الغذاء أكبر من كمية الطاقة المنصرفة من الجسم، مما يؤدي إلى تخزين الطاقة في الجسم على شكل أنسجة دهنية وحدوث زيادة في وزن الجسم والسمنة obesity.

توازن الطاقة الموجب = ٣٠٠٠ كيلوكالوري ـ ٢٥٠٠ كيلوكالوري = ٥٠٠ كيلوكالوري
(الطاقة المتناولة) (الطاقة المنصرفة)

ولقد وجد بأن تناول الشخص ٣٥٠٠ سعر زيادة على حاجته خلال فترة زمنية معينة يسبب زيادة في وزن الجسم مقدارها ٠,٥ كيلوجرام، أي أن تناول ٥٠٠ سعر يوميًا زيادة على حاجة الجسم لمدة أسبوعين يسبب زيادة في الوزن مقدارها كيلوجرام واحد.

وتجدر الإشارة إلى أن توازن الطاقة الإيجابي يلاحظ بوضوح في بعض مراحل العمر مثل مرحلة الطفولة والمراهقة والحمل بسبب تكوين أنسجة جديدة في الجسم وبنائها ويعتبر مقبولاً، كذلك يلاحظ توازن الطاقة الإيجابي عند الأشخاص الذين أجريت لهم عمليات جراحية أو تعرضوا إلى الحروق، حيث يبدأ الجسم في بناء أنسجة جديدة.

٣ ـ توازن الطاقة السلبي Negative energy balance

يعني أن كمية الطاقة المتناولة مع الغذاء تكون أقل من كمية الطاقة المنصرفة من الجسم، مما يؤدي إلى نقص في وزن الجسم نتيجة استنزاف الطاقة المخزنة في أنسجته. ولقد وجد بأن توازن الطاقة الإيجابي والسلبي يسببان حالة سوء التغذية malnutrition.

توازن الطاقة السلبي = ٢٥٠٠ كيلوكالوري - ٣٠٠٠ كيلوكالوري = - ٥٠٠ كيلوكالوري
(الطاقة المتناولة) (الطاقة المنصرفة)

وتماثلاً لما ذكر سابقًا فإن نقصًا في الطاقة مقداره ٣٥٠٠ كيلوكالوري يسبب إنخفاضًا في وزن الجسم مقداره ٠,٥ كيلوجرام، أي أن تناول وجبات غذائية ناقصة في محتواها من الطاقة بمقدار ٥٠٠ كيلوكالوري في اليوم لمدة أسبوعين يترتب عليه فقدان كيلوجرام واحد من وزن الجسم.

(١٢,٨) حساب احتياجات الجسم من الطاقة

أولاً: الطريقة التقديرية Estimated method

تعتبر طريقة سريعة وسهلة، إلا أنها غير دقيقة، وتعتمد على معرفة المجالات التي تصرف فيها الطاقة أثناء اليوم وهي:

١ - معدل الأيض الأساسي.
٢ - النشاطات العضلية.
٣ - التأثير الديناميكي النوعي للغذاء.

مثـــال:

رجل وزنه ١٥٦ رطلاً ويؤدي أعمالاً لا تحتاج إلى مجهود عضلي أو حركة، فما هي احتياجاته الكلية من السعرات في اليوم؟

الحـــل:

(أ) حساب الطاقة المنصرفة على معدل الأيض الأساسي BMR حسب القاعدة التالية:

يصرف الرجل ١ كيلوكالوري/ كيلوجرام من وزن الجسم/ ساعة.
تصرف المرأة ٠,٩ كيلوكالوري/ كيلوجرام من وزن الجسم/ ساعة.
إذن الطاقة المنصرفة على معدل الأيض الأساسي في الساعة=
وزن الجسم × ١ كيلوكالوري/كجم/ساعة = ١٥٦ ÷ ٢,٢ × ١ = ٧١ كيلوكالوري

الطاقة المنصرفة على معدل الأيض الأساسي في اليوم= ٧١×٢٤=١٧٠٤ كيلوكالوري

(ب) حساب الطاقة المنصرفة على النشاطات العضلية، ويتم ذلك بعد التعرف على أسلوب الشخص في الحياة ونوع النشاطات أو الأعمال التي يؤديها في اليوم.

ولقد قسمت النشاطات العضلية إلى أربع مجموعات هي :

- النشاطات العضلية التي لا تحتاج إلى حركة أو جهد عضلي (دائم الجلوس) مثل قيادة السيارة أو الطائرة والنسخ، وهذه تمثل ٢٠٪ من معدل الأيض الأساسي.
- النشاطات العضلية الخفيفة مثل أعمال المنزل والتدريس والمشي البطيء، وهذه تمثل ٣٠٪ من معدل الأيض الأساسي.
- النشاطات العضلية المتوسطة مثل المشي السريع وأعمال التمريض، وهذه تمثل ٤٠٪ من معدل الأيض الأساسي.
- النشاطات العضلية الشاقة مثل الجري السريع والسباحة ولعب كرة القدم والتنس وأعمال البناء والحفر، وهذه تمثل ٥٠٪ من معدل الأيض الأساس.

إذن الطاقة المنصرفة على النشاطات العضلية في اليوم=١٧٠٤×٠,٢ (دائم الجلوس)
= ٣٤١ كيلوكالوري

(جـ) حساب التأثير الديناميكي النوعي (SDE) للغذاء على أساس ١٠٪ من مجموع معدل الأيض الأساسي والنشاطات العضلية.

إذن الطاقة المنصرفة على التأثير الديناميكي للغذاء = (١٧٠٤+٣٤١) × ٠,١
= ٢٠٥ كيلوكالوري

الطاقة الكلية المنصرفة في اليوم = ١٧٠٤ + ٣٤١ + ٢٠٥ = ٢٢٥٠ كيلوكالوري

ثانيًا: الطريقة التفصيلية Detailed method

وهي طريقة مطولة وتحتاج إلى وقت وجهد ودقة، إلا أنها تعطي نتائج دقيقة مقارنة بالطريقة السابقة ويمكن توضيحها بحل المثال التالي.

مثال:

رجل عمره ٣٥ سنة ووزنه ٧٥ كيلوجرامًا وطوله ٦ أقدام و ١ بوصة، فما هي احتياجاته الكلية من السعرات في اليوم.

الحل:

(أ) حساب الطاقة المنصرفة على معدل الأيض الأساسي BMR كالتالي:

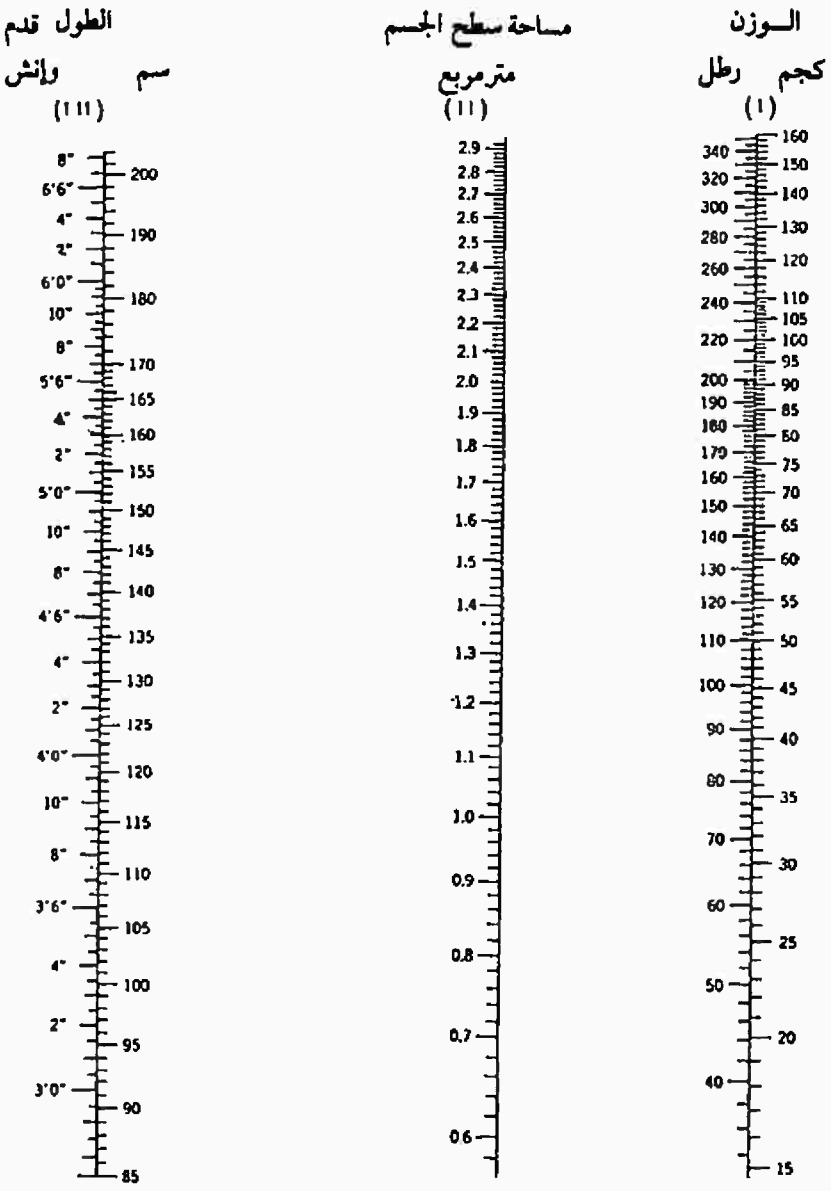
- يستخدم الشكل (١٢,٤) لتقدير مساحة الجسم السطحية، وهو عبارة عن مخطط بياني يتألف من ثلاثة أعمدة يمثل العمود رقم 1 الوزن بالكيلوجرام ويمثل العمود رقم 2 مساحة سطح الجسم بالمتر المربع ويمثل العمود رقم 3 الطول بالسنتيمترات، وعند تقدير مساحة الجسم يرسم خط مستقيم يوصل بين عمود الطول وعمود الوزن لتحصل على مساحة الجسم السطحية عند نقطة تقاطعه مع العمود الأوسط.

- يرجع إلى الجدول (١٢,٦) لتقدير عامل معدل الأيض الأساسي basal metabolic rate factor حسب الجنس والعمر ثم يضرب الناتج في مساحة الجسم السطحية.

إذن عامل معدل الأيض الأساسي للرجل = ٣٦,٩ كيلوكالوري / متر مربع / ساعة

إذن معدل الأيض الأساسي في الساعة = ٣٦,٩×٢= ٧٣,٨ كيلوكالوري/ساعة.

إذن معدل الأيض الأساسي في اليوم = ٨٣,٨×٢٤= ٢٠١١,٢ كيلوكالوري



تعليمات: يرسم خط يوصل بين عمود الطول height وعمود الوزن weight ويقطع عمود مساحة سطح الجسم.

شكل (٤, ١٢). مخطط بياني chart لتقدير مساحة سطح الجسم surface area .

جدول (١٢,٦). معدل الأيض الأساسي (Basal metabolic rate) للرجال والنساء في أعمار مختلفة.

العمر (بالسنة)	الرجال كيلوكالوري/ متر/ ساعة	النساء كيلوكالوري/ متر/ ساعة	العمر (بالسنة)	الرجال كيلوكالوري/ متر/ ساعة	النساء كيلوكالوري/ متر/ ساعة
٣	٦٠,١	٥٤,٥	٢٦	٣٨,٢	٣٥,٠
٤	٥٧,٩	٥٣,٩	٢٧	٣٨,٠	٣٥,٠
٥	٥٦,٣	٥٣,٠	٢٨	٣٧,٨	٣٥,٠
٦	٥٤,٠	٥١,٢	٢٩	٣٧,٧	٣٥,٠
٧	٥٢,٣	٤٩,٧	٣٠	٣٧,٦	٣٥,٠
٨	٥٠,٨	٤٨,٠	٣١	٣٧,٤	٣٥,٠
٩	٤٩,٥	٤٦,٢	٣٢	٣٧,٢	٣٤,٩
١٠	٤٧,٧	٤٤,٩	٣٣	٣٧,١	٣٤,٩
١١	٤٦,٥	٤٣,٥	٣٤	٣٧,٠	٣٤,٩
١٢	٤٥,٣	٤٢,٠	٣٥	٣٦,٩	٣٤,٨
١٣	٤٤,٥	٤٠,٥	٣٦	٣٦,٨	٣٤,٧
١٤	٤٣,٨	٣٩,٢	٣٧	٣٦,٧	٣٤,٦
١٥	٤٢,٩	٣٨,٣	٣٨	٣٦,٧	٣٤,٥
١٦	٤٢,٠	٣٧,٢	٣٩	٣٦,٦	٣٤,٤
١٧	٤١,٥	٣٦,٤	٤٠-٤٤	٣٦,٤	٣٤,١
١٨	٤٠,٨	٣٥,٨	٤٥-٤٩	٣٦,٢	٣٣,٨
١٩	٤٠,٥	٣٥,٤	٥٠-٥٤	٣٥,٨	٣٣,١
٢٠	٣٩,٩	٣٥,٣	٥٥-٥٩	٣٥,١	٣٢,٨
٢١	٣٩,٥	٣٥,٢	٦٠-٦٤	٣٤,٥	٣٢,٠
٢٢	٣٩,٢	٣٥,٢	٦٥-٦٩	٣٣,٥	٣٢,٠
٢٣	٣٩,٠	٣٥,٢	٧٠-٧٤	٣٢,٧	٣١,١
٢٤	٣٧,٧	٣٥,١	٧٥+	٣١,٨	
٢٥	٣٨,٤	٣٥,١			

المصدر: Hamilton, E.N. and Whitney, E.N. (1982). p. 198.

جدول (١٢,٧). نموذج لتسجيل الدقائق المبذولة على الأنشطة العضلية المختلفة خلال ٢٤ ساعة.

الاسم:

الوزن:

التاريخ:

الزمن من .. إلى ..	عدد الدقائق	نوع النشاط	عدد الدقائق المبذولة لكل نشاط (مستوى الطاقة)							
			a	b	c	d	e	f	g	h
٤,٠-٤,٥	٣٠	أداء صلاة الفجر			١٥	١٥				
٤,٥-٥,٥	٦٠	قراءة القرآن		٦٠						
٥,٥-٦,٠	٣٠	تمارين خفيفة					٣٠			
٦,٠-٦,٥	٣٠	تجهيز الفطور				٣٠				
٦,٥-٧,١٥	٤٥	الإفطار		٤٠	٥					
المجموع	١٤٤٠									

(ب) حساب الطاقة المنصرفة على الأنشطة العضلية كالتالي:

* تسجل جميع الأنشطة العضلية التي يؤديها الشخص خلال ٢٤ ساعة (١٤٤٠ دقيقة) في جدول (١٢,٧) مع تحديد الزمن اللازم لكل نشاط.
* يستعان بالجدول (١٢,٨) لتحديد الطاقة المنصرفة لكل نشاط (كيلوكالوري/كجم/دقيقة)، وكذلك لتحديد رمز مستوى الطاقة (a أو b أو c . . الخ)

* تجمع عدد الدقائق المبذولة على كل مستوى طاقة منفردًا من الجدول (١٢,٧) وتدون في جدول (١٢,٩).
* يؤخذ في الاعتبار تسجيل الطاقة المنصرفة أثناء صعود وهبوط السلالم (الدرج) حيث إن كل ١٤-١٥ درجة تمثل مجموعة واحدة flight .

جدول (١٢,٨). مقدار الطاقة المنصرفة في الأنشطة المختلفة.

مستوى الطاقة Energy level	نوع النشاط Type of activity	الطاقة المنصرفة كيلوكالوري/ كجم/ دقيقة
a	النوم والاسترخاء أو التمدد بدون حركة	٠,٠٠٠
b	الجلوس أو الوقوف بسكون (يشمل بعض النشاطات مثل الكتابة والأكل والقراء والخياطة)	٠,٠١٠
c	نشاط خفيف جدًّا (يشمل قيادة السيارة أو المشي بسرعة متوسطة moderate activity على أرض مستوية	٠,٠٢٠
d	النشاط الخفيف (يشمل أعمال المنزل الخفيفة مثل كنس الأرض والمشي بسرعة متوسطة على أرض مستوية حاملاً كتبًا)	٠,٠٢٥
e	النشاط المتوسط (يشمل المشي السريع والرقص وقيادة الدراجة بسرعة متوسطة)	٠,٠٤٠
f	النشاط المجهد heavy activity (يشمل الرقص السريع والمشي المقارب للجري وتسلق الجبال «مشي سريع»)	٠,٠٢٠
g	النشاط الشاق severe activity (يشمل الجري ولعب التنس)	٠,١١٠
h	النشاط الشاق جدًّا Very severe activity (يشمل السباق والمصارعة والملاكمة والتجديف)	٠,١٤٠

المصدر : Whitney, E.N. and Hamilton, E.N. (1981). p. 271.

جدول (١٢,٩). نموذج لحساب الطاقة المنصرفة على الأنشطة العضلية

الاسم :

الوزن :

المهنة :

مستوى الطاقة	مجموع الدقائق المبذولة (يجب أن يكون ١٤٤٠د)		الطاقة المنصرفة في الدقيقة (كيلوكالوري/ كجم/ دقيقة)		الطاقة الكلية المنصرفة لكل كجم من وزن الجسم (كيلوكالوري/ كجم)
a		×	٠,٠٠	=	
b		×	٠,٠١٠	=	
c		×	٠,٠٢٠	=	
d		×	٠,٠٢٥	=	
e		×	٠,٤٠	=	
f		×	٠,٠٧٠	=	
g		×	٠,١١٠	=	
h		×	٠,١٤٠	=	
عدد مجموعات الهبوط (١)		×	٠,٠١٢	=	
عدد مجموعات الصعود		×	٠,٠٣٦	=	

(١) المجموعة flight تمثل ١٤ ـ ١٥ درجة متواصلة من السلم

إذن مجموع الطاقة الكلية المنصرفة لكل كجم من وزن الجسم = ---------- كيلوكالوري/كجم/٢٤ ساعة

إذن الطاقة الكلية المنصرفة على الأنشطة العضلية في اليوم = الطاقة الكلية /كجم/٢٤ ساعة × وزن الجسم (كجم)

= ----------×----------

= ----------

(جـ) حساب الطاقة المنصرفة على التأثير الديناميكي النوعي للغذاء على أساس ١٠٪ من مجموع معدل الأيض الأساسي والنشاطات العضلية، أي (ا+ب) × ١,٠.

(د) حساب الطاقة الكلية المنصرفة في اليوم، أي بجمع ا + ب + ج.