

L'obésité : un problème d'actualité, une question d'avenir
Obesity: an existing problem, a question for the future
 © 2006 Elsevier SAS. Tous droits réservés

Composantes de la dépense énergétique

Martine Laville

*Service d'endocrinologie, diabétologie, nutrition, hôpital Édouard-Herriot,
 place d'Arsonval, Lyon. Centre de recherche en nutrition humaine Rhône-Alpes, France.*

L'obésité est une maladie chronique complexe aux déterminants multiples. Il est cependant tentant de la réduire à un simple aspect d'équilibre énergétique. En effet la prise de poids est obligatoirement liée à un déséquilibre entre les apports d'énergie et la dépense énergétique. Cette dernière inclut trois composantes parfaitement définies : le métabolisme basal, la thermogénèse et l'activité physique [1].

MÉTABOLISME DE BASE

Il s'agit de la dépense d'énergie mesurée chez un individu à jeun, couché, éveillé et en thermoneutralité. Elle représente la consommation d'énergie nécessaire pour assurer les fonctions vitales de l'organisme : travail des pompes membranaires nécessaires pour maintenir les gradients ioniques, renouvellement des constituants de l'organisme (en particulier des protéines), travail cardiaque et respiratoire.

La valeur obtenue chez le sujet éveillé est d'approximativement 10 % supérieure à celle du sujet endormi, en raison du tonus musculaire associé à l'état d'éveil. Il existe une grande variabilité interindividuelle du métabolisme de base. L'âge, le sexe, et la composition corporelle sont à l'origine de la majeure partie de cette variabilité.

Le métabolisme de repos (MR) peut être estimé à l'aide de différentes équations de prédiction. La plus couramment utilisée est l'équation de Harris-Benedict, qui tient compte du sexe, du poids corporel (P) en kg, de la taille (T) en m et de l'âge (A) en années [2] :

$$\text{— femmes } MR = 2,741 + (0,0402 \times P) + (0,711 \times T) - (0,0197 \times A)$$

$$\text{— hommes } MR = 0,276 + (0,0573 \times P) + (2,073 \times T) - (0,0285 \times A).$$

Le résultat est exprimé en mégajoules (MJ), sachant que 1 MJ = 236 kcal.

Thermogénèse alimentaire

La prise alimentaire augmente les dépenses énergétiques de l'individu au repos de manière proportionnelle à la quantité d'énergie ingérée. Cette thermogénèse alimentaire diffère selon le type d'aliment (5–10 % pour les glucides, 0–2 % pour

Martine Laville

les graisses, 20–30 % pour les protéines). Elle est en majeure partie expliquée par le coût énergétique associé à l'absorption intestinale, au stockage et à la transformation des aliments [3].

Dans certaines conditions (administration importante de glucides), une portion de la thermogenèse alimentaire peut être inhibée par les agents bêta-adrénoLytiques, ce qui indique un rôle du système nerveux sympathique dans son contrôle [4].

Dépenses liées à la thermorégulation

Le maintien d'une température corporelle de 37–37,5 °C est une fonction essentielle de l'organisme humain. Lors d'exposition à des températures externes basses, les mécanismes de thermorégulation tendent à diminuer les pertes de chaleur. Les sujets exerçant une activité physique au froid maintiennent par ailleurs leur température centrale en raison de la production de chaleur importante associée au travail musculaire.

Chez le sujet au repos, et dans le cas où les mécanismes de thermorégulation s'avèrent insuffisants, une baisse de la température centrale entraîne le frisson. Ce processus élève de manière importante les dépenses d'énergie. La plupart des personnes sont protégées de manière adéquate de l'exposition au froid par l'habillement et le chauffage des habitations, et les variations saisonnières de température jouent un rôle négligeable dans les dépenses énergétiques globales.

Activité physique

L'activité physique est le second facteur de variation de la dépense et des besoins énergétiques des individus, après le poids et la composition corporelle. Au cours des dernières décennies, la mécanisation des travaux agricoles et industriels a réduit la part des dépenses liées aux travaux physiques. On estime que globalement la dépense énergétique des individus a diminué de 600 kcal/j entre 1920 et 1990.

En revanche, les activités de sport et de loisirs se sont développées, de sorte que les références des dépenses et des besoins énergétiques pour les divers types d'activités ou de mode de vie doivent être déterminées.

Les différentes activités physiques de la vie (déplacements, tâches ménagères, activités professionnelles, sport...) correspondent à une fourniture de travail très variable selon leur nature et les individus. Au sens physique du terme, le travail (exprimé en joules) est le produit d'une force par un déplacement. L'intensité du travail se caractérise par sa puissance, exprimée en watts (joules par seconde). Les exercices intenses et de longue durée entraînent un déficit d'oxygène, une accumulation de lactate au niveau musculaire et sanguin ainsi qu'un accroissement général du métabolisme de l'individu sous l'action des hormones médullo-surréaliennes. Ils sont suivis d'une période de durée variable (de quelques dizaines de minutes à quelques heures) pendant laquelle la dépense énergétique est supérieure à la dépense de repos.

Ces phénomènes doivent être pris en compte pour l'estimation des dépenses ou des besoins énergétiques selon la nature, l'intensité et la durée du travail.

Composantes de la dépense énergétique

Tableau 1. Facteurs de variation interindividuelle de la dépense énergétique.

	<i>Facteurs intrinsèques</i>	<i>Facteurs extrinsèques</i>
Métabolisme basal	Masse maigre Âge, sexe Hormones thyroïdiennes Débit de renouvellement protéique	
Thermogenèse	État nutritionnel Activité du système nerveux sympathique Tissu adipeux brun	Prise alimentaire Ingestion de substances thermogéniques, stress, exposition au froid
Activité physique	Masse musculaire Rendement des muscles VO ₂ maximale	Durée et intensité des exercices musculaires

Les différentes composantes de la dépense énergétique sont donc variables d'un individu à l'autre en fonction de divers paramètres (tableau 1).

Mesure de la dépense énergétique

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour mesurer la dépense énergétique.

Calorimétrie directe

Cette méthode repose sur le principe de l'égalité entre production de chaleur et dépenses d'énergie de l'individu. La réalisation de la mesure nécessite une enceinte de taille réduite et hermétique permettant la quantification des différentes composantes de la perte de chaleur. Les mesures obtenues sont très précises (± 1 W).

La calorimétrie directe est une méthode peu utilisée en raison de ses limitations et du nombre réduit d'institutions disposant de l'équipement nécessaire.

Calorimétrie indirecte

Cette méthode repose sur le fait que l'énergie utilisée par l'organisme est produite par l'oxydation des nutriments (lipides, protéines, glucides, alcool). La production d'énergie par litre d'oxygène consommé est de 5,01 kcal (20,96 kJ) pour le glucose, 4,66 kcal (19,5 kJ) pour les lipides et 4,34 kcal (18,16 kJ) pour les protéines.

Il est donc possible d'utiliser la consommation globale d'oxygène de l'organisme comme témoin des oxydations mitochondriales.

Calorimétrie indirecte en chambre

Le calcul exact de la dépense énergétique nécessite de connaître la participation relative de chacun des substrats à la consommation totale d'O₂. L'oxydation nette des protéines peut être déterminée à partir de l'excrétion urinaire d'azote.

Martine Laville

Par ailleurs, la mesure simultanée de la consommation d'O₂ et de la production de CO₂ permet de calculer la participation relative des glucides et des lipides aux oxydations totales. En effet, le rapport O₂ consommé/CO₂ produit est de 1,0 lors de l'oxydation de glucides et de 0,7 lors de l'oxydation de lipides. Il est donc possible de calculer précisément les oxydations nettes de ces deux substrats à partir des échanges respiratoires totaux mesurés en O₂ et CO₂, auxquels on aura retranché les échanges gazeux attribuables à l'oxydation des protéines (cette dernière étant obtenue à partir de l'excrétion urinaire d'azote).

La mesure des échanges gazeux respiratoires s'effectue en collectant l'air expiré à l'aide soit d'un masque, soit d'un embout buccal, soit encore d'un boîtier placé sur la tête du sujet. Cette dernière méthode de collecte est la plus utilisée. Le boîtier est ventilé avec une quantité constante d'air. La mesure du débit d'air au travers du boîtier et des différences de concentration d'O₂ et de CO₂ à l'entrée et à la sortie du boîtier permettent le calcul de la consommation d'O₂ et de la production de CO₂. Cette mesure non invasive peut être effectuée aisément chez des patients coopérants. L'inconfort lié au port du boîtier sur la tête limite cependant la durée des mesures à quelques heures. Cette mesure ne permet donc pas d'évaluer les dépenses réelles de la vie quotidienne.

Pour pallier ces limitations, certains centres d'investigation disposent d'une chambre calorimétrique. Il s'agit de chambres hermétiques, ventilées, qui permettent de mesurer les dépenses d'énergie selon le même principe qu'avec un boîtier ventilé, mais pendant des périodes prolongées (24 heures et plus) [5].

Méthode à l'eau doublement marquée

La méthode à l'eau doublement marquée (EDM) est un des outils de la calorimétrie indirecte, puisqu'elle repose sur la mesure de la production de CO₂. C'est une méthode isotopique : la production de CO₂ est calculée à partir de la différence entre les cinétiques d'élimination du deutérium (²H) et de l'oxygène 18 (¹⁸O), tous deux apportés sous forme d'eau marquée : ²H₂O (eau deutérée) et H₂¹⁸O (eau enrichie en ¹⁸O), d'où son nom.

Schématiquement, l'eau doublement marquée ingérée se dilue dans l'eau totale de l'organisme. Le deutérium de l'eau n'est éliminé que dans les urines alors que l'oxygène 18 marque également le pool de CO₂, du fait d'échanges isotopiques par l'anhydrase carbonique. C'est donc la différence des vitesses d'élimination des deux isotopes qui permet de calculer la production de CO₂. L'intégration des cinétiques isotopiques est réalisée sur environ 14 jours chez les adultes. La production de CO₂ calculée est donc une moyenne sur cette période. Une certaine stabilité de la situation métabolique est nécessaire pendant la période de mesure. La dépense énergétique totale est calculée à partir de cette production de CO₂ et de la détermination ou de l'estimation du quotient respiratoire (VO₂/VCO₂) [6].

Composantes de la dépense énergétique

Le principal avantage de cette méthode est le caractère limité des contraintes pour les patients ou volontaires explorés. Il suffit de boire la dose d'EDM (eau sans goût particulier), puis de fournir un échantillon d'urine (ou de salive) quotidien. Les isotopes utilisés sont stables et permettent donc également des mesures chez les petits enfants et les femmes enceintes. La précision des mesures est de 3–5 %.

Le principal défaut de cette méthode est qu'elle n'est disponible que dans de rares centres spécialisés. En partie à cause du prix des isotopes (l'eau enrichie en ^{18}O est chère) mais aussi en raison de l'équipement nécessaire pour réaliser les mesures (spectrométrie de masse isotopique) et de l'expertise imposée par les calculs de production de CO_2 , cette méthode reste peu utilisée, malgré son potentiel.

En conclusion, il s'agit d'une méthode de « terrain », utilisable là où nulle autre méthode n'est utilisable (sportifs, expéditions lointaines, conditions habituelles de vie...), qui vient en complément des autres techniques décrites ici.

Méthodes indirectes non calorimétriques

Les méthodes de calorimétrie indirecte présentent, nous l'avons vu, des limitations. Des alternatives ont été mises au point et validées pour remédier à ces difficultés et évaluer les dépenses énergétiques des individus dans les conditions habituelles de vie.

Méthode d'enregistrement de la fréquence cardiaque

Elle est fondée sur la relation linéaire étroite existant entre la fréquence cardiaque et la dépense énergétique pour des activités physiques d'intensité croissante. Cependant cette relation varie selon les capacités cardiaques, selon le sexe, le type d'activité et l'état d'entraînement physique des individus.

Elle peut être utilisée dans des études épidémiologiques, pour évaluer les dépenses énergétiques moyennes de groupes d'individus en utilisant les relations moyennes correspondant à ce type de population.

Méthode des accéléromètres

Elle permet de quantifier et d'enregistrer l'intensité de mouvement selon un ou trois axes au cours d'une activité physique. Des relations individuelles doivent être établies entre quantité de mouvement et dépense énergétique mesurée par calorimétrie indirecte.

Cette méthode présente à peu près les mêmes avantages et les mêmes inconvénients qui consistent à enregistrer la fréquence cardiaque.

Méthode factorielle

Elle permet d'évaluer les dépenses énergétiques journalières et fragmentaires d'un individu à partir de l'enregistrement du type et de la durée des activités pratiquées au cours de la journée et du coût énergétique unitaire de chaque activité. Pour uniformiser les données entre les individus, le coût énergétique unitaire peut être

Martine Laville

Tableau 2. Classification des activités selon leur coût énergétique, en multiples de la dépense énergétique de repos (DER).

<i>Catégories</i>	<i>Multiples de la DER</i>	<i>Activités</i>
1	1	Sommeil, sieste, repos allongé
2	1,5	Position assise (TV, jeux de société, repas, lecture travail de bureau, transports...)
3	2,2	Position debout (toilette, cuisine, travaux ménagers, achat, vente, travail de laboratoire...)
4	3	Marche, jardinage, gymnastique, activités professionnelles manuelles
5	3,5	Activité physique intense (maçonnerie, sport...)
6	5	Sport de compétition, terrassement, travaux forestiers...

exprimé en multiples du métabolisme de base. Le coefficient de variation est en moyenne de 10 % [7].

La méthode factorielle est plus simple, plus fiable et plus précise que la méthode d'enregistrement de la fréquence cardiaque. Sa précision est liée à celle de l'estimation du métabolisme de base ou de repos. Elle nécessite une bonne compliance des volontaires pour l'enregistrement de leurs activités journalières (nature, intensité, durée) [8]. Le coût énergétique de chaque activité quotidienne a été déterminé dans des populations de sujets adultes variées. Les activités ont été classées selon leur coût énergétique en six groupes (tableau 2) correspondant à des multiples croissants de la dépense énergétique de repos (DER).

La dépense énergétique totale (DET) peut dès lors être calculée en fonction de l'activité physique moyenne, en tenant compte du temps passé à chaque activité. La DET est calculée comme un multiple pondéré de la DER en fonction de l'activité physique journalière moyenne. Le tableau 3 présente une illustration de la méthode par un exemple concret.

INÉGALITÉS ENTRE INDIVIDUS DANS LA PRISE DE POIDS

En 1999, l'équipe de la Mayo Clinic a défini une nouvelle composante de la dépense énergétique, la thermogenèse induite par les activités physiques non programmées (*non exercise activity thermogenesis*, NEAT). Elle correspond aux dépenses énergétiques liées au maintien de la posture, à la position debout ou à la gesticulation.

*Composantes de la dépense énergétique***Tableau 3.** Application de la méthode factorielle au calcul dépense énergétique totale (DET) de Mme A, qui exerce la profession de vendeuse.

<i>Activité</i>	<i>Durée (heures)</i>	<i>Multiples de la DER</i>
Sommeil	8	1
Toilette	1	2,2
Cuisine-ménage	2	2,2
TV, lecture	2,5	1,5
Travail	8	2,2
Repas	1,5	1,5
Voiture	1	1,5
Total	24	39,7

DER = dépense énergétique de repos

L'activité moyenne de Mme A. est de $[(8 \times 1) + (1 + 2 + 8) \times 2,2 + (2,5 + 1,5 + 1) \times 1,5] : 24 = 1,65$

Sa DET (kcal/j) est égale à la DER $\times 1,65$.

La même équipe a récemment montré que la dépense énergétique liée à la NEAT, loin d'être anecdotique, pouvait expliquer la différence de poids entre des individus sédentaires minces et des sédentaires obèses. Le comportement quotidien de 20 sujets sédentaires, dix minces et dix obèses, a été étudié et comparé. Les auteurs ont constaté que les individus obèses passaient en moyenne 160 min de plus en position assise que les minces, ce qui représente une différence de dépense énergétique de 350 kcal/j.

De façon surprenante, la différence de dépense liée à la posture persistait lorsque les sujets obèses avaient perdu du poids et que les minces en avaient pris, suggérant un déterminisme biologique à cette différence. Les recommandations futures de prévention de l'obésité devront-elles favoriser la position debout ?

LES PARADOXES DE LA PRISE DE POIDS

Il est intéressant de considérer l'évolution du poids en fonction de la quantité d'énergie ingérée en trop. Si l'on raisonne de façon simpliste, on peut calculer que l'ingestion quotidienne de 50 kcal pendant 25 ans conduit à l'accumulation de $25 \times 365 \times 50 = 456$ Mcal. Sachant que 1 kg de masse grasse correspond à 800 g de lipides, il faut dépenser pour le constituer environ 7 200 kcal. En poursuivant le raisonnement, on aboutit pour 456 Mcal à la formation en 25 ans de 63 kg de masse grasse, ce qui ne correspond évidemment pas à la réalité !

Martine Laville

Comment s'explique cette discordance ?

En calculant le gain de masse grasse de cette manière, on oublie de tenir compte de deux faits essentiels :

- la prise de masse grasse s'accompagne toujours d'une prise de masse maigre (environ $\frac{3}{4}$ de gras, $\frac{1}{4}$ de maigre), dont le coût énergétique est plus élevé que celui de la masse grasse ;
- tous les autres postes de la dépense énergétique sont modifiés par la modification de composition corporelle, avec une augmentation du métabolisme de repos ainsi que de la dépense liée à l'activité physique.

Dans ces conditions, le coût énergétique de la prise d'un kg de gras est nettement plus élevé que dans le calcul initial et peut être estimé autour de 13 000 kcal.

On conçoit dès lors qu'il soit très important de connaître les différentes composantes de la dépense énergétique pour comprendre les mécanismes de la prise de poids chez la personne obèse. Cette compréhension pourra déboucher sur des recommandations pratiques [10], tant pour la prévention que pour le traitement, en mettant en évidence le rôle important de l'activité physique et de la composition corporelle.

Références

- 1 Laville M, Riou JP. L'énergie. In : Basdevant A, Laville M, Lerebours E, eds *Traité de nutrition clinique de l'adulte*. Flammarion Médecine-Sciences. 2001:19-24.
- 2 Harris JA, Benedict FG. *A biometric study of basal metabolism in man*. Washington, DC: Carnegie Institute of Washington; 1919 Publ. n°279.
- 3 Flatt JP. *The biochemistry of energy expenditure*. In: Bray GA, ed. Recent advances in obesity research. Londres, Newman Publishing; 1978:vol II;211-228.
- 4 Acheson K, Jequier E, Wahren J. Influence of beta-adrenergic blockade on glucose-induced thermogenesis in man. *J. Clin. Invest.* 1983;72:981-6.
- 5 Ravussin E, Lillioja S, Anderson T. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J. Clin. Invest.* 1986;78:1568-78.
- 6 Ritz P, Coward WA. Doubly labelled water measurement of total energy expenditure. *Diabete Metab.* 1995;21:241-51.
- 7 Morio B, Ritz P, Verdier E, Montaurier C, Beaufrère B, Vermorel M. Critical evaluation of the factorial and heart rate recording methods for the determination of energy expenditure in free living elderly people. *Br. J. Nutr.* 1997;78:702-22.
- 8 Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD. Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science.* 1999;283:212-4.
- 9 Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, et al. Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity *Science.* 2005;307:584-6.
- 10 Vermorel M. Bases méthodologiques de l'évaluation des apports nutritionnels conseillés. *Cah. Nutr. Diet.* 2000;35:113-20.