

Article original

Métabolisme de repos par calorimétrie indirecte vs équations de prédiction chez étudiants et des étudiantes actifs physiquement

Resting metabolism by indirect calorimetry vs. Predictive equations in active students

Danielle R. Bouchard *, Marie-Hélène Bélanger

Résumé

Objectifs. – Déterminer si les équations de prédictions élaborées au cours du siècle dernier et la valeur attribuée à la consommation d'oxygène au repos sont encore valables de nos jours.

Patients et méthodes. – Dix sujets actifs de sexe masculin (âge $23,9 \pm 2,13$) et dix sujets actifs de sexe féminin (âge $23,2 \pm 1,61$) ont été soumis à une évaluation de leur métabolisme de repos par calorimétrie indirecte (*Vacumed Gas Analyser* : Ventura, CA).

Résultats. – Quatre-vingt pour cent des sujets ont un métabolisme de repos plus bas que la prédiction tant de Harris et Benedict que de Black et al. Les résultats des mesures directes sont aussi significativement plus bas ($p < 0,01$) que les données estimées du métabolisme de repos en termes de consommation d'oxygène par minute. La moyenne des femmes étant de 2,48 ml/kg par minute ($\pm 0,6$) et celle des hommes de 2,66 ml/kg par minute ($\pm 0,71$), ces résultats sont bien loin de la valeur classique attribuée à 1 MET (3,5 ml d'O₂/kg par minute).

Conclusions. – Il est nécessaire de remettre en question les équations de prédictions du métabolisme de repos afin de mieux refléter la réalité de la population d'aujourd'hui.

© 2005 Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Objective. – Verify the validity of some of the equations used to determine the resting metabolism and the usual value of oxygen consumption (1 MET).

Methods. – Ten active males (age 23.9 ± 2.13) and ten active females (age 23.2 ± 1.61) participated in the evaluation of their resting metabolism by indirect calorimetry (*Vacumed Gas Analyser*: Ventura, CA).

Results. – Eighty percent of the subjects had a lower resting metabolism than what it would have been with the equation of Harris and Benedict or Black et al. Results were also lower ($P < 0.01$) than the estimated resting metabolism in terms of oxygen consumption. The average consumption for women was 2.48 ml/kg per minute (± 0.6) and 2.66 ml/kg per minute (± 0.71) for men, both far from the classical value of one MET (3.5 ml d'O₂/kg per minute).

Conclusions. – It is necessary to re-evaluate the equation used to predict resting metabolism to better fit the current population's energy expenditure.

© 2005 Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Calorimétrie indirecte ; Estimation de la dépense énergétique ; Métabolisme de repos

Keywords: Estimate energy expenditure; Indirect calorimetry; Resting metabolism

* Auteur correspondant. Institut universitaire de gériatrie de Sherbrooke, Centre de recherche sur le vieillissement, pavillon D'Youville 1036, rue Belvédère Sud, Sherbrooke, Québec, Canada.

Adresse e-mail : danielle.bouchard@usherbrooke.ca (D.R. Bouchard).

1. Introduction

Le métabolisme de repos pour la majorité de notre société occidentale constitue la principale part de la dépense énergétique quotidienne totale, pouvant représenter jusqu'à de 70–75 % de celle-ci chez les sédentaires [1]. Alors que l'obésité devient un véritable fléau pour la santé, les données de statistique Canada démontrent que plus de la moitié des canadiens ont un excès de poids et près de 15 % sont obèses [2]. L'importance de comprendre et d'assimiler la notion de balance énergétique s'impose. En effet, bien que la science cherche encore une solution miracle, il semble que seul un équilibre entre la dépense énergétique et l'apport alimentaire ait réellement fait ses preuves jusqu'ici dans la prévention de la prise de poids. En ce sens, et comme la mesure massive du métabolisme de la population par calorimétrie directe ou indirecte est évidemment exclue, il importe de pouvoir estimer assez précisément les besoins énergétiques de chacun.

Plusieurs équations sont nées de cette idée au cours du siècle dernier, se fondant sur des données anthropométriques afin de prédire le métabolisme basal d'un individu. En 1919, Harris et Benedict ont analysé les mesures (métaboliques et anthropométriques) de 136 hommes et 103 femmes adultes et en ont extrapolé des formules de prédiction encore largement utilisées aujourd'hui [3]. Ces formules sont présentées ci-après, et la taille y est exprimée en cm, le poids en kg, et l'âge en années. L'erreur de prédiction sur la dépense énergétique de repos est au maximum de 10 % selon Rigaud et Melchior (1992) :

- hommes : $66,473 + (5,003 \times \text{taille}) + (13,752 \times \text{poids}) - (6,755 \times \text{âge})$;
- femmes : $655,096 + (1,850 \times \text{taille}) + (9,563 \times \text{poids}) - (4,876 \times \text{âge})$.

Ces équations datent cependant de près d'un siècle et l'on peut supposer que les nombreux changements survenus dans le mode de vie des gens au cours de cette période aient pu influencer sur leur métabolisme.

Black, Coward, Cole et Prentice (1996) ont publié de nouvelles équations de prédiction en 1996, fondées sur 574 données extraites d'études existantes, données prises sur des sujets de 2 à 95 ans en excluant les athlètes, les femmes enceintes, et autres cas d'exceptions pouvant influencer sur la physiologie et le métabolisme. Ils ont vérifié la corrélation existante entre le poids, la taille et la dépense énergétique, de même que la corrélation négative de cette dernière avec l'âge. Par ailleurs, à facteurs égaux, ils ont conclu que les femmes auraient un métabolisme de repos de 11 % inférieur à celui des hommes [4].

Ils en sont donc arrivés aux formules suivantes :

- femmes = $0,963 \times (\text{poids} \times 0,48) \times (\text{taille} \times 0,5) \times \text{âge} (-0,13)$;
- hommes = $1,083 \times (\text{poids} \times 0,48) \times (\text{taille} \times 0,5) \times \text{âge} (-0,13)$.

Il semble cependant que ces nouvelles équations surestiment de 3 à 6 % la dépense énergétique de repos chez les obèses tandis qu'elles la sous-estiment de 3 à 5 % pour les gens âgés

de 60 à 70 ans [3]. Il faut aussi souligner que les résultats s'approchent beaucoup aux estimations de Harris et Benedict.

Des études récentes ont en outre démontré que le meilleur prédicteur du métabolisme de repos n'est pas nécessairement le poids, ni même lorsque relativisé avec la taille et l'âge, mais bien la masse cellulaire active [3]. Cette dernière correspond à peu de chose près à la masse maigre puisque les réserves adipeuses n'utilisent que très peu d'oxygène, du moins en absence de lipolyse et de réestérification. Malheureusement, nous ne disposons pas suffisamment de normes ni de valeurs quant aux erreurs de prédiction. Par ailleurs, le calcul de la masse maigre sous-entend des mesures fastidieuses et/ou coûteuses, selon la méthode choisie (plis cutanés, pesée hydrostatique, etc.), et ne reste encore qu'une estimation.

Le MET est une notion par ailleurs fort utilisée en sciences de l'activité physique. Un MET correspond chez un individu à sa consommation d'oxygène au repos en une minute. Dans la littérature, l'on estime cette consommation à 3,5 ml d'O₂ par kg de masse corporelle, indépendamment du sexe, de la taille ou de l'âge de la personne. Il est facile de convertir cette donnée en dépense énergétique puisque c'est à partir de la consommation d'oxygène que celle-ci est le plus souvent mesurée. Effectivement, la calorimétrie indirecte consiste en fait à la mesure des produits chimiques dérivés des transformations d'énergie. L'analyse des gaz expirés fournit ainsi une indication sur un ensemble de réactions chimiques internes qui ont consommé de l'oxygène et produit du gaz carbonique. Il suffit donc de connaître quel est l'équivalent calorique de la consommation de l'O₂ pour en faire la conversion. Bien que cette concordance varie selon le substrat énergétique utilisé (de 4,18 calories (cal)/l d'O₂ pour l'oxydation des protéines et 4,66 cal/l pour le palmitate, à 5,01 cal/l pour le glucose), dans l'ignorance du RER, une valeur de 4,84 cal/l est acceptée comme valeur moyenne pour des sujets dont le régime alimentaire est mixte. Cette approximation se rapproche à 5–10 % près de la mesure calculée plus spécifiquement à partir de chaque substrat [3].

Pour revenir au MET tel qu'estimé par la littérature, 1 MET correspondrait à $0,01694 \text{ cal} \times \text{kg}^{-1} \times \text{minute}^{-1}$, ce qui équivaut à 1,1858 cal/minute pour un homme moyen de 70 kg. Sur une journée de 24 heures, ce même homme de 70 kg dépenserait ainsi 1707,6 cal/jour au repos. Or, comme il n'y a aucune modification à apporter à cette méthode pour mesurer l'énergie dépensée par une femme, il faudrait croire, à contre-courant de tout ce que les équations précédentes supposent, qu'à masse corporelle égale, le métabolisme de repos est le même pour un homme que pour une femme. Et c'est effectivement ce que certaines méthodes encouragent.

Dans le but de prescrire de l'exercice aérobie pour la perte de poids, la formule suivante est proposée : dépense énergétique = $[\text{METs}^{-1}] \times \text{poids (kg)} \times \text{durée (heure)}$ [1]. L'on arrondit ainsi à 1 cal à l'heure par kg plutôt que 1,0164. Cette formule a l'avantage de tenir compte de la perte de poids progressive du sujet dans sa dépense énergétique à l'exercice, ce qui est particulièrement important lors d'activités tel-

les la course à pied ou l'ascension d'escaliers. Il nous apparaît cependant fort probable que l'estimation de l'énergie dépensée par une femme sera surestimée par cette méthode, et d'autant plus si le MET est multiplié par une intensité élevée. Si la valeur de 1 MET est faussée au départ, toutes les valeurs subséquentes et utilisant cette donnée comme facteur s'en trouveront en effet contrefaites. Comme il s'agit d'un calcul impliqué dans la plupart des appareils d'exercices cardiovasculaires, l'erreur serait largement répandue.

C'est donc dans cette perspective qu'a germé l'idée de faire cette étude et de vérifier si les estimations sur lesquelles l'on se fonde encore souvent aujourd'hui tiennent toujours la route. Le présent projet vise d'abord à observer si la mesure par analyse des gaz en laboratoire du métabolisme de repos se rapproche ou non de l'estimation fournie par le principe des METs ainsi que de celles proposées par les équations de Harris et Benedict ou Black et al. De surcroît, l'étude veut évaluer l'influence du sexe dans la détermination du métabolisme de repos et, par définition, de la valeur de 1 MET.

2. Hypothèses

Comme la majeure partie de la littérature témoigne d'une différence de métabolisme de base entre les sexes, et par le fait même de consommation d'oxygène, nous croyons que le précepte selon lequel un individu consomme 3,5 ml d'oxygène par kg par minute ne peut s'appliquer aux femmes. Toutes les valeurs utilisant le MET comme facteur seraient ainsi erronées pour la population féminine. Par ailleurs, nous pensons que même les équations de prédiction élaborées spécifiquement pour les femmes sont imprécises, ou du moins le sont devenues avec le temps et les changements d'habitudes de vie. Nous croyons donc que les formules de prédiction surestiment le métabolisme de repos chez les femmes.

3. Méthodologie

3.1. Sujets

Dix sujets de sexe masculin âgés de 21 à 27 ans ($23,9 \pm 2,13$) et dix sujets de sexe féminin âgés entre 21 et 26 ans ($23,2 \pm 1,61$) ont participé à l'étude. Les sujets étaient tous des étudiants se déclarant régulièrement actif ($\geq 3 \times$ /semaine) et leurs caractéristiques sont rapportées dans le Tableau 1.

L'analyseur métabolique *Vacumed Gas Analyser* (Ventura, CA) utilisé pour l'expérience a été calibré avant chaque utilisation. La seule mesure prise a été le métabolisme de base. Le sujet devait se présenter au laboratoire à jeun depuis au moins 12 heures et les données ont toutes été prises avant dix heures le matin. Lors de l'arrivée au laboratoire l'évaluateur expliquait en détails la procédure :

- se coucher sur le dos pendant 25 minutes ;
- rester étendu jusqu'à se que les lumières de la salle s'allument ;

Tableau 1
Caractéristiques personnelles des sujets

	Sujet	taille	poids	âge
Femmes				
	1	160	68,2	23
	2	169	72,3	22
	3	168	68	21
	4	157,5	56,4	25
	5	163	56,7	26
	6	160,02	52,27	22
	7	169,9	59,09	23
	8	162,56	54,5	22
	9	167	75	25
	10	167	56,7	23
	Moyenne femmes	$164,398 \pm 4,34$	$61,916 \pm 8,14$	$23,2 \pm 1,62$
Hommes				
	1	180	74,8	23
	2	178,5	84,7	23
	3	172	79	25
	4	179,07	80,9	23
	5	164	59	21
	6	183	79,5	24
	7	177,5	71	27
	8	183	81,2	21
	9	190,5	95,5	25
	10	176,5	63,7	27
	Moyenne hommes	$178,407 \pm 7,03$	$76,93 \pm 10,47$	$23,9 \pm 2,13$

- respirer normalement et ne pas dormir ;
- bouger le moins possible.

Une fois le sujet bien installé sur le lit, l'évaluateur fermait les lumières et sortait de la salle pour permettre un environnement de détente. L'évaluateur restait à l'extérieur du local, près de la porte pour éviter toute entrée au laboratoire pendant le test. Les mesures ont été relevées pendant 25 minutes, à intervalles de 30 secondes, mais seulement les dix dernières minutes du test ont été prises en compte pour le calcul du métabolisme de base. La pièce devait se trouver entre 22–24 °C afin que la température n'interfère pas sur la demande énergétique des sujets. En effet, une ambiance trop froide aurait tendance à augmenter de métabolisme.

Les valeurs obtenues dans la présente étude ont été comparées avec celles fournies par les équations de prédiction à l'aide d'une analyse de variance.

4. Résultats

La Fig. 1 montre clairement que les deux équations de prédiction surestiment le métabolisme de la plupart des sujets. Observés de façon individuelle, on peut remarquer que 80 % des sujets ont un métabolisme de repos plus bas que la prédiction tant de Harris et Benedict que de Black et al.

En regroupant tous les participants, la différence entre la prédiction et la mesure directe est notable. Il est possible de constater que les formules de prédiction sont plus près de la

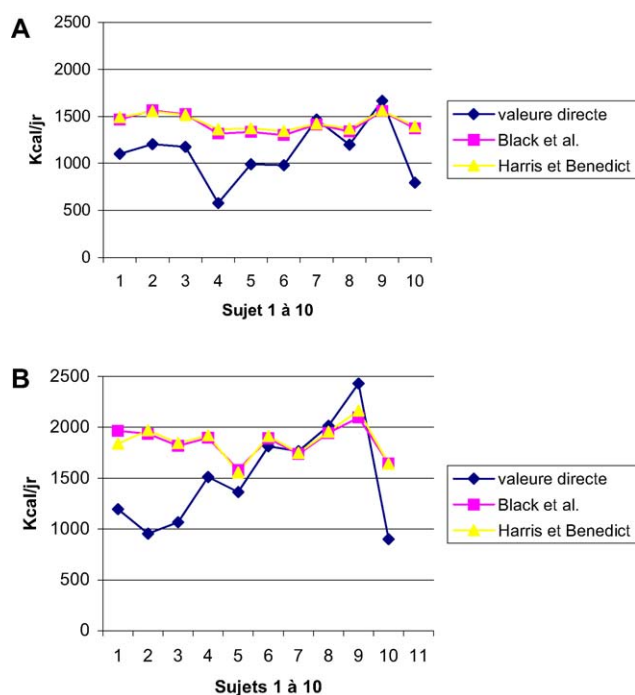


Fig. 1. Différences interindividuelles et intra-individuelles entre les différentes méthodes de mesure chez les A) les filles et B) les gars.

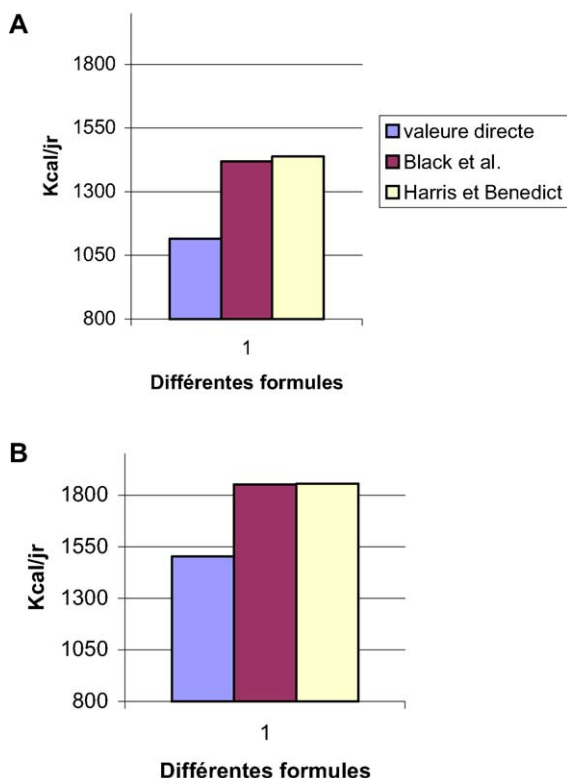


Fig. 2. Différence entre la valeur directe et les deux formules pré-établies. A) chez les femmes et B) chez les hommes.

mesure directe chez les femmes que chez les hommes mais l'écart-type est plus élevé chez ces derniers. La différence entre la « moyenne directe » (\bar{X}_d) et d'estimation (\bar{X}_e) chez les femmes est de $303,139 \pm 258,59$ cal pour la formule de Black

et al. et de $322,65 \pm 267,44$ cal pour la formule de Harris et Benedict. Chez les hommes, cette différence est de $349,21 \pm 443,98$ cal pour la formule Black et de $353,54 \pm 426,59$ cal pour la formule d'Harris et Benedict.

Ces figures (Figs. 2–4) mettent en évidence la différence entre les formules préétablies et la mesure directe. Nous retrouvons ainsi chez les femmes : 1115,56 cal/jour de façon directe, 1418,69 avec la formule de Black et al. (1996), et 1438,21 avec la formule d'Harris et Benedict (1919). Chez les hommes les résultats sont, respectivement, de 1502, 1851,22 et 1855,54 cal/jour. Si l'on remet les différences entre \bar{X}_d et \bar{X}_e en rapport avec le métabolisme moyen, la différence devient alors plus prononcée pour les sujets féminins : 303/1116 vs 349/1502. Les équations de Black et al. surestimeraient ainsi de 27 % la dépense énergétique de repos chez les femmes et de 23 % chez les hommes.

Les résultats qui se penchent sur la consommation d'oxygène de base, soit la mesure de 1 MET, révèlent que la moyenne des femmes est de 2,48 ml/minute ($\pm 0,6$) alors que la moyenne des hommes est de 2,66 ml/minute ($\pm 0,71$).

Selon le test d'hypothèse, il est possible d'affirmer que les résultats de mesures directes sont significativement plus bas que les données estimées du métabolisme de repos et de consommation d'oxygène par minute (1 MET \neq 3,5 ml/O₂ par kg par minute). Ces résultats sont significatifs tant chez les femmes que chez les hommes ($p < 0,01$).

5. Discussion

Les résultats indiquent qu'il existe vraiment une grande différence entre les valeurs directes et celles prédites. Plusieurs facteurs peuvent influencer le métabolisme de repos, et de ce fait les présents résultats par rapport à ceux de Harris et Benedict (1919) ou Black et al. (1996) : le mode de vie, l'alimentation, les conditions de travail, la génétique, ainsi que la masse maigre sont autant de paramètres qui restent négligés dans ces formules. D'ailleurs, bien que la littérature s'accorde généralement à attribuer un rôle important à ces facteurs, celui-ci est encore mal défini. Les résultats de la présente étude étant largement significatifs, il apparaît peu probable que la surestimation du métabolisme par les équations soit entièrement imputable à ces paramètres jusqu'alors omis des procédés de prédiction. Il apparaît cependant important de poursuivre la recherche en ce sens et de spécifier l'importance de chacun des déterminants du métabolisme afin d'en tenir compte dans la détermination d'équations de prédiction plus exactes.

Autre constatation majeure, selon l'étude la moyenne de consommation d'oxygène au repos n'égale pas 3,5 ml/O₂ par kg par minute mais plutôt $2,48 \text{ ml} \pm 0,6$ chez les femmes et $2,66 \text{ ml} \pm 0,7$ chez les hommes. Il est clair que la différence est énorme, d'autant plus que le MET est multiplié par de nombreux autres facteurs pour la mesure de la dépense énergétique (le poids du sujet et la période de temps circonscrite, mais aussi l'intensité de l'exercice — 5 METs par exemple).

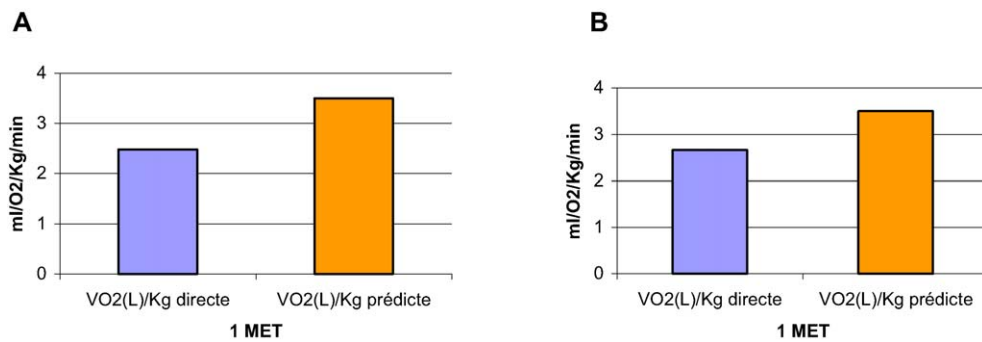


Fig. 3. Différence entre la prédiction de 3,5 ml d' O_2 /kg et la mesure directe. A) chez les femmes et B) chez les hommes.

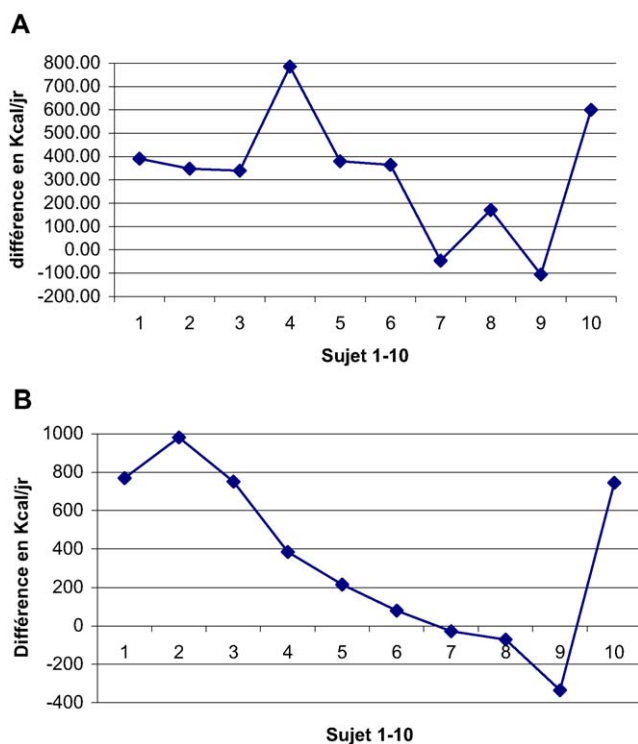


Fig. 4. Différence intra-individuelle entre la prédiction et la mesure directe. A) chez les femmes et B) les hommes.

Cette rectification de l'équivalent en consommation d'oxygène de « 1 MET » diminue le métabolisme de repos d'environ 310 kcal par jour chez les femmes et 350 kcal par jour chez les hommes. Cette différence peut s'avérer très importante lors de consultations cliniques pour la perte de poids. Il existe aussi des différences interindividuelles substantielles qu'il faudra prendre en considération. Non seulement la plupart des sujets sont sous l'estimation mais la différence entre la prédiction et la mesure réelle varie également de façon très prononcée et ce surtout chez les femmes.

Les participants de l'étude étaient tous actifs au moins trois fois par semaine. Les résultats sont donc plus représentatifs des gens actifs que de la population générale, plutôt sédentaire. Ceci dit, si les gens actifs ont des résultats de métabolisme de repos (MR) significativement plus bas que la pré-

tion, il serait légitime de penser que les données risquent d'être encore plus éloignées de la prédiction dans la population en générale. Il a d'ailleurs été surprenant de voir que les hommes sont aussi loin de la prédiction que les femmes. Il existe moins d'étude sur le métabolisme des femmes et les formules pour les hommes auraient pu être plus près des valeurs directes. Ce ne semble pas être le cas, du moins pour nos sujets. Pour une évaluation plus juste du MR, nous croyons ainsi que de nouvelles formules s'imposent prenant davantage la masse maigre en considération. En effet, c'est probablement un facteur plus facile à cerner que la génétique par exemple, et plusieurs indices portent à croire que ce serait un meilleur prédicteur de la dépense énergétique que le poids corporel et la taille.

Les résultats ne sont pourtant pas exempts de failles et de biais. Les biais pouvant provenir de l'effet de nouveauté et du laboratoire ont été limités en ne prenant que les dix dernières minutes du test pour évaluer le MR. Les sujets ont ainsi eu le temps de s'adapter au matériel et à la procédure. Bien sûr, il aurait été encore mieux de laisser les sujets passer la nuit au laboratoire afin d'éviter qu'ils ne se lèvent avant la mesure du MR, tel que le suggèrent Rigaud et Melchior (1992). Les participants étaient à tout le moins avertis d'utiliser un moyen de transport passif pour se rendre au laboratoire. Si toutefois cet écart a eu un impact sur les données recueillies, il fait certainement en sorte que le métabolisme des sujets est encore ici surestimé.

Finalement, la température au laboratoire était un peu plus basse (moyenne de $19,86^\circ$) qu'elle le devrait pour faire ce genre de test (22° – 24°) [3]. Nous ne croyons pourtant pas que la température ait influencé nos résultats car les sujets étaient vêtus en conséquence et n'ont pas émis de commentaires sur la température de la pièce. Il faut noter aussi qu'une telle baisse de la température ambiante devrait normalement augmenter la dépense énergétique des sujets. C'est donc dire que si la température a eu un effet sur le métabolisme, la différence entre la mesure directe et les estimations devrait être encore plus grande que les présents résultats le suggèrent.

6. Conclusion

L'étude a permis de voir que les formules manquent de précision pour estimer le BMR chez la plupart des gens. De

plus il est clair que la valeur 1 MET n'est pas équivalent au 3,5 ml/O₂ par kg par minute que l'on retrouve de façon méthodique dans la littérature et en clinique. Puisque les résultats sont largement significatifs, il serait intéressant de poursuivre à plus grande échelle afin de parvenir à un consensus qui prédirait plus exactement la consommation d'oxygène et la dépense énergétique de la population moderne. Cela aurait certainement un impact majeur sur l'évaluation du MR en clinique ainsi que sur le calcul de la dépense énergétique totale et à l'exercice, souvent calculée en METS.

Références

- [1] Dubost M, Scheider WL. La nutrition. Montréal: Chenelière/McGraw-Hill; 2000.
- [2] Tremblay MS, Katzmarzyk PT, Willms JD. Temporal trends in overweight and obesity in Canada, 1981-1996. *Int J Obes* 2002;26:538–43.
- [3] Rigaud D, Melchior JC. Le métabolisme énergétique chez l'homme: méthodes de mesure et applications pratiques. Paris: Médicales internationales; 1992.
- [4] Black AE, Coward WA, Cole TJ, Prentice AM. *Eur J Clin Nutr* 1996;50(2):72–92.