

Coûts métabolique et mécanique des activités sédentaires et des activités physiques des enfants et des adolescents obèses

ebook.ecog-obesity.eu/fr/depense-energetique-activite-physique/couts-metabolique-et-mecanique-des-activites-sedentaires-et-des-activites-physiques-des-enfants-et-des-adolescents-obeses/



Stefano Lazzer

Département des Sciences Médicales et Biologiques
Université de Udine
Italie

Grace O'Malley

Département de Physiothérapie, Service d'Obésité Infantile
Hôpital Universitaire Infantile, Temple Street
Dublin,
Irlande

Michel Vermorel

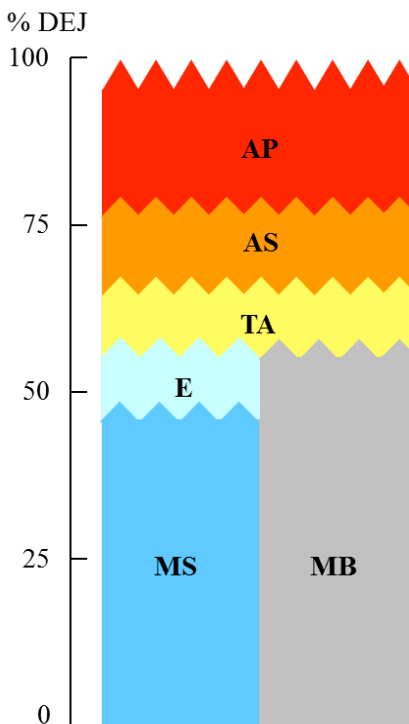
Unité de Recherches sur les Métabolismes Energétique et Lipidique
INRA Theix, Saint-Genès Champanelle
Centre de Recherches en Nutrition Humaine d'Auvergne
France

INTRODUCTION

L'obésité résulte souvent d'un déséquilibre entre les apports et les dépenses énergétiques. Les apports énergétiques journaliers peuvent être déterminés à la fois quantitativement et qualitativement. En revanche, l'évaluation de la dépense énergétique quotidienne dans les conditions habituelles de vie nécessite un personnel qualifié et des méthodes et techniques sophistiquées.

La dépense énergétique journalière (DEJ) peut se répartir entre différentes composantes, dont le métabolisme de base (MB) extrapolé à 24 heures, la dépense énergétique liée à l'alimentation (thermogenèse alimentaire, TA), la croissance (chez les enfants), la guérison, la thermorégulation (mais dans les pays industrialisés les effets du froid sont réduits par un habillement adapté et le chauffage des maisons (1)) et les activités physiques. De plus, les dépenses énergétiques liées aux activités physiques doivent être réparties entre activités sédentaires et activités physiques proprement dites (Fig.1).

Figure 1 : Principales composantes de la dépense énergétique journalière (DEJ) (schéma tiré de Lazzer et al. 2003 (2)).



MB: métabolisme de base; MS: métabolisme de sommeil ; E: métabolisme dû à l'état d'éveil ; TA: thermogenèse alimentaire; AS : activités sédentaires, AP : activités physiques proprement dites.

Les objectifs de ce chapitre sont les suivants :

- 1) examiner les facteurs qui influencent les principales composantes de la dépense énergétique journalière;
- 2) étudier l'association entre les paramètres mécaniques de la marche et de la course chez les adolescents obèses et post-obèses;
- 3) déterminer les rapports d'activité physique correspondant à diverses activités sédentaires et différentes activités physiques des enfants et des adolescents obèses, et finalement,
- 4) proposer des méthodes d'évaluation de la dépense énergétique journalière des adolescents obèses.

PRINCIPALES COMPOSANTES DE LA DEPENSE ENERGETIQUE JOURNALIERE

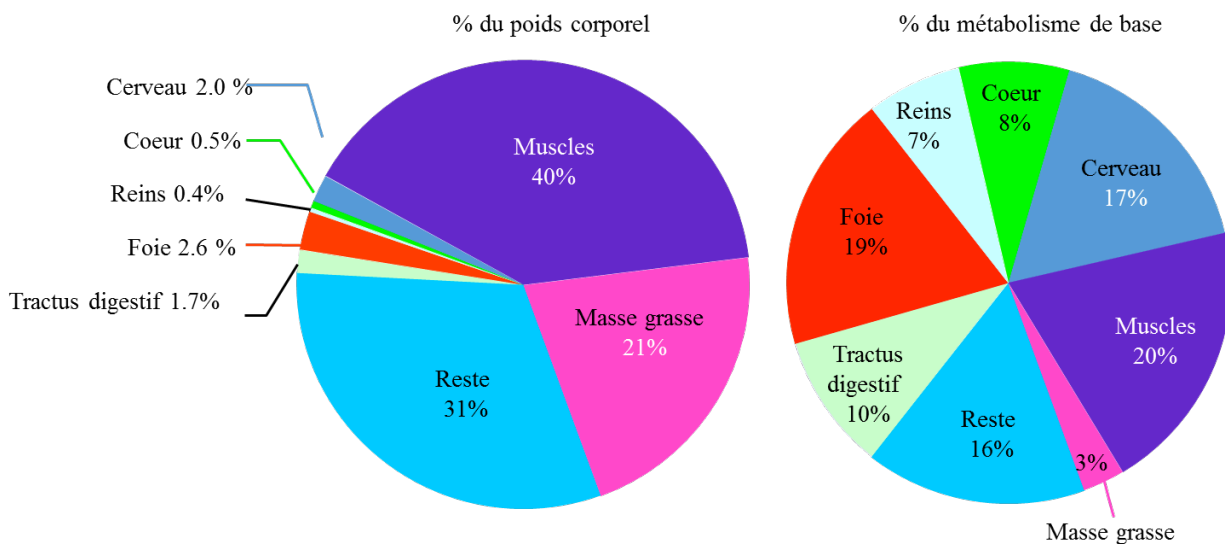
Le métabolisme de base

Le métabolisme de base (MB) correspond à la quantité d'énergie dépensée par le corps pour assurer les fonctions physiologiques essentielles (activité cellulaire et fonctions organiques, fonctionnement cardiaque, contraction et fonctionnement musculaires, respiration, excrétion ...) d'un individu éveillé. En raison de l'accroissement de la dépense énergétique du cerveau et des muscles après l'éveil, le MB est approximativement supérieur de 5 % au métabolisme de sommeil (dépense minimale de l'organisme pour maintenir la vie).

Le MB se mesure après 12 heures de jeûne chez un sujet au repos, placé dans un environnement calme et dans la zone de neutralité thermique. Le MB reste stable au cours du nyctémère et relativement stable dans le temps pour chaque individu. C'est la composante principale de la dépense énergétique journalière puisqu'il contribue en moyenne pour 60 % à la dépense énergétique journalière, de 45-50 % chez les sujets très actifs à environ 70 % chez les sujets sédentaires. Il dépend donc de la masse et de l'activité métabolique (dépense énergétique par g de tissu et par minute) des tissus et organes.

Cependant l'activité métabolique des tissus et organes est très variable. Par exemple, elle est environ 10, 15, 20, 30 et 35 fois plus élevée pour le tractus digestif, le foie, le cerveau, le cœur et les reins que pour le muscle au repos. Au contraire l'activité métabolique du tissu adipeux blanc est seulement à peu près égale à 1/3 de celle du muscle au repos (3). De ce fait, alors que les organes ne représentent qu'environ 7 % du poids corporel, ils contribuent pour environ 60 % au MB, tandis que les tissus squelettiques et les tissus adipeux, qui représentent 35 à 40 % de la masse corporelle contribuent respectivement pour seulement 18 à 22 % et 3 à 4 % du MB (4) (Fig. 2).

Figure 2: Contribution des organes et tissus au poids corporel et au métabolisme de base.



En raison du manque d'informations sur la masse et l'activité métaboliques des organes chez les différentes personnes, le facteur principal du MB est la masse maigre ($R^2 = 0.65-0.80$). La masse grasse (MG) n'est un facteur significatif que chez les individus obèses ($R^2 < 0.04$) (5).

En valeur absolue le métabolisme de base des individus obèses est plus élevé que celui des individus minces en raison de leur masse maigre et de leur masse grasse supérieures. Cependant, après ajustement pour les différences de composition corporelle, le MB n'est pas significativement différent, ce qui suggère que l'activité métabolique des tissus et organes n'est pas significativement différente entre individus obèses et individus normo-pondéraux. Exprimé par kg de masse maigre le MB est significativement plus élevé chez les garçons que chez les filles, de 3 % et 6 % respectivement chez les sujets prépubères et pubères (6). Le MB est supérieur chez les enfants pubères en raison de proportions plus élevées de fibres musculaires glycolytiques (7), d'une activité Na^+-K^+ ATPase supérieure (8) et de changements de l'état hormonal (9).

Ensemble, la masse maigre, la masse grasse, le sexe, l'âge et l'activité physique expliquent 70 à 80 % de la variance du MB (10, 11). Les 20 à 30 % de la variance restants peuvent être dus à des facteurs génétiques ou à d'autres facteurs comme le métabolisme de la flore intestinale (12).

La prédiction précise du MB des personnes obèses est essentielle pour leur prise en charge diététique puisqu'elle permet de calculer les apports alimentaires nécessaires selon le déficit énergétique souhaité. La méthode de référence pour la mesure du métabolisme de base est la calorimétrie indirecte ; cependant son usage en clinique (pour le diagnostic et le pronostic) est limité en raison de sa complexité, du manque de personnel qualifié et du coût élevé de l'équipement. Plusieurs auteurs ont essayé de surmonter ces difficultés en développant des relations de prédiction du MB des enfants et des adolescents à partir de données anthropométriques ou de composition corporelle (13, 14).

Les relations reposant sur des données anthropométriques [Equation 1] ou la composition corporelle [Equation 2] permettent une évaluation relativement précise du MB des enfants et des adolescents obèses (10, 11):

$$MB = (\text{Sexe} \times 213) - (\text{Age} \times 28) + (\text{Poids corporel} \times 13) + (\text{Taille} \times 434) + 355 \quad [\text{Equation 1}]$$

$R^2 = 0.66$ et erreur-type = 246 kcal

$$MB = (\text{Sexe} \times 217) - (\text{Age} \times 26) + (\text{MM} \times 16) + (\text{MG} \times 13) + 868 \quad [\text{Equation 2}]$$

$R^2 = 0.66$ and erreur-type = 247 kcal

avec Sexe = 1 for pour les garçons et 0 pour les filles. Le MB est exprimé en kcal, l'âge en années, le poids corporel en kg, la taille en m, la MM et la MG en kg.

Thermogenèse alimentaire

La thermogenèse alimentaire correspond à l'augmentation de la dépense énergétique qui se produit pendant l'ingestion et la digestion des aliments. Elle dure au moins cinq heures et s'élève en moyenne à 10 % de la quantité d'énergie ingérée. Elle dépend principalement de la composition des aliments ingérés et est relativement stable dans le temps pour un individu donné (15). L'augmentation de l'activité métabolique après un repas est plus faible pour les lipides et les glucides (respectivement 3 et 5 % de l'énergie ingérée) que pour les protéines (20 à 25 %).

Croissance

Bien que les enfants aient besoin de davantage d'énergie pour la croissance, la contribution de la croissance aux besoins énergétiques totaux est négligeable, sauf au cours des premiers mois de la vie. Pendant la période de croissance l'énergie est stockée dans l'organisme sous forme de protéines et de lipides (respectivement 5.5 et 9.5 kcal·g⁻¹). Si l'on admet que le rendement d'utilisation de l'énergie pour la croissance est de 50 à 70 % (selon la proportion d'énergie fixée sous forme de lipides), la croissance contribuerait pour 2 à 4 % seulement aux besoins énergétiques journaliers des adolescents au pic de croissance (16).

Au cours de l'adolescence la masse grasse augmente de 13 % en moyenne chez les filles tandis qu'elle diminue de 4 % chez les garçons. Les adolescents ont en moyenne 20 kg de masse maigre de plus que les adolescentes. Ces modifications de la composition corporelle expliquent pourquoi les dépenses énergétiques des garçons, au repos et pendant les activités physiques, augmentent beaucoup plus que celles des filles, à poids corporel comparable.

Guérison

A la suite de blessures, de lésions, de maladies ou d'interventions chirurgicales l'organisme a des besoins accrus en énergie et en protéines pour assurer la réponse immunitaire et réparer les tissus lésés. L'organisme fournit des substrats directement utilisables par les tissus, ce qui augmente la dépense énergétique au repos (17).

Dépense énergétique pendant les activités sédentaires et les activités physiques.

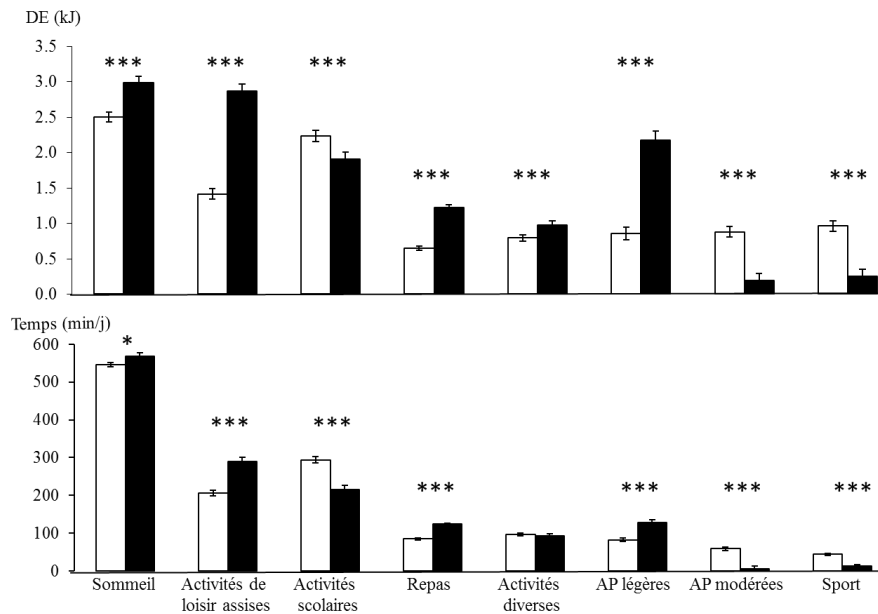
En raison de leur poids corporel et de leur masse maigre supérieurs, les enfants et les adolescents obèses ont des dépenses énergétiques, un MB et des dépenses liées à l'activité physique plus élevées que les sujets minces (2). Cependant on sait que les enfants obèses consacrent moins de temps aux activités physiques et plus de temps aux activités sédentaires que les enfants minces de même âge (18).

Les dépenses énergétiques journalières et les dépenses liées aux activités sédentaires et aux activités physiques habituelles ont été déterminées chez 50 adolescents normo-pondéraux et 27 adolescents obèses, âgés de 14.0 ± 0.3 ans (2). L'indice de masse corporelle (IMC), la masse maigre et la masse grasse des sujets obèses étaient supérieurs à ceux des sujets minces, respectivement 34.1 vs 18.8 kg·m⁻², 52.4 vs 39.9 kg, et 43.1 vs 19.7 kg. L'excès de poids était composé en moyenne de 27 % de masse maigre et 73 % de masse grasse. Les dépenses énergétiques correspondant au sommeil et aux activités sédentaires des sujets obèses étaient supérieures de 19 % à celles des sujets minces, mais elles n'étaient pas significativement différentes après ajustement pour les différences de composition corporelle. Les dépenses énergétiques des sujets obèses pendant la marche sur un tapis roulant, mesurées dans un calorimètre, étaient, aux mêmes vitesses, supérieures de 81 % à celles des sujets minces. Après ajustement pour les différences de poids corporel, ces dépenses étaient encore supérieures de 25 % ($P < 0.001$), probablement en raison des plus grandes difficultés de marche observées chez des sujets obèses sévères (19-21).

Les dépenses énergétiques journalières des sujets obèses dans les conditions habituelles de vie étaient supérieures de 2.26 MJ à celles des sujets minces (Fig. 3, $P < 0.001$). Après ajustement pour les différences de composition corporelle les dépenses énergétiques journalières, pendant le sommeil et pendant les activités sédentaires n'étaient pas significativement différentes entre les sujets obèses et les sujets minces. En revanche, la dépense énergétique liée aux activités physiques était inférieure de 61 %

chez les adolescents obèses ($P < 0.001$), malgré le coût énergétique supérieur des activités physiques. En effet, les adolescents obèses consacraient 47 minutes de plus par jour à des activités physiques légères (marche lente, travaux ménagers) et 53 minutes de moins par jour à des activités physiques modérées (marche à une vitesse normale et activités récréatives) que les adolescents minces (22).

Figure 3: Moyennes (\pm erreur-type de la moyenne) des dépenses énergétiques (DE) et du temps consacré aux principales activités par des adolescents minces (\square ; $n = 50$) et obèses (\blacksquare ; $n = 27$) dans les conditions habituelles de vie. (AP : Activités physiques).



Effets significatifs de l'obésité: * $P < 0.05$, *** $P < 0.001$.

La variabilité interindividuelle des dépenses énergétiques des adolescents obèses était importante et dépendait du sexe. Après ajustement pour les différences de masse maigre elle était en moyenne de ± 10.1 % chez les garçons et ± 12.4 % chez les filles pendant les activités sédentaires dans des conditions standardisées (en chambre calorimétrique). Pendant la marche à $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ sur un tapis roulant, et après ajustement pour les différences de masse maigre, la variabilité interindividuelle des dépenses énergétiques était de ± 21.3 % chez les garçons et ± 12.9 % chez les filles (22), ce qui suggère des différences d'efficacité de marche.

Effets de la réduction de l'obésité sur la dépense énergétique

Les objectifs principaux des programmes de réduction pondérale sont 1) de diminuer la masse grasse pour réduire les troubles métaboliques qui prédisposent les adolescents obèses à des complications métaboliques et des pathologies sévères comme l'hypertension, les maladies cardiovasculaires et le diabète; 2) d'augmenter la dextérité, les capacités physiques, le plaisir et la motivation pour pratiquer des activités physiques; 3) de préserver ou d'augmenter la masse maigre pour accroître la dépense énergétique journalière et ainsi améliorer la régulation du poids à long terme; et 4) de changer les habitudes alimentaires et le comportement pour améliorer le bilan énergétique. Tous les programmes devraient avoir pour objectifs d'améliorer le bien-être des personnes, d'encourager leur intégration sociale

et de favoriser leur épanouissement mental, ce qui constitue des conditions indispensables pour maintenir un effet à long terme des programmes de réduction pondérale.

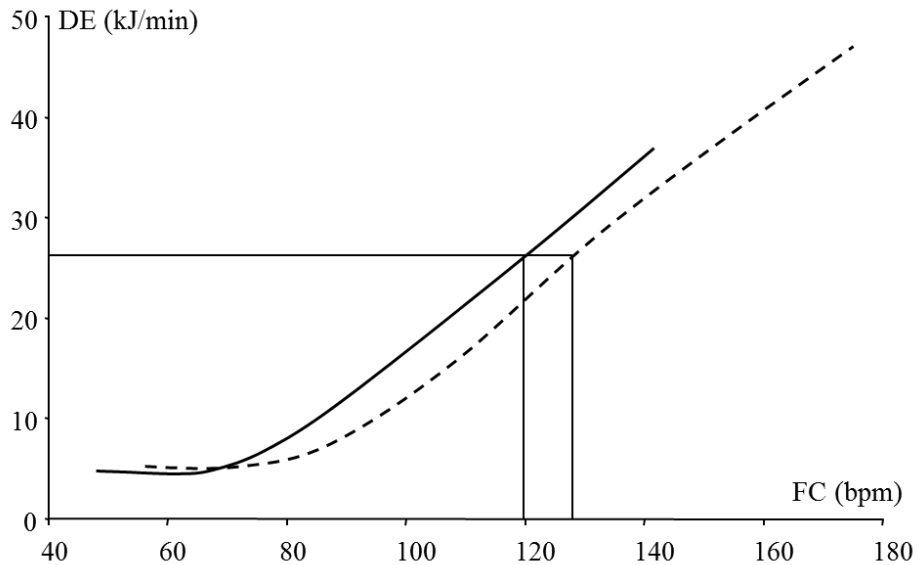
Des restrictions sévères des apports énergétiques ont provoqué chez des adolescents des diminutions significatives de la masse grasse et de la masse maigre (23), qui peuvent réduire la croissance et induire des réductions de la dépense énergétique journalière, favorisant ainsi une reprise de poids ultérieure. Inversement, un entraînement physique important, sans restriction des apports énergétiques, a permis de maintenir ou d'augmenter la masse maigre, les capacités physiques et les dépenses énergétiques, mais avec une faible réduction de la masse grasse (24, 25). Les programmes de réduction pondérale permettent de combiner des thérapies médicales, psychologiques et physiques, une éducation nutritionnelle, un suivi diététique et un entraînement physique progressif adapté à chaque sujet.

Une étude de ce type a été réalisée pendant une période de 9 mois avec 26 adolescents obèses (12 garçons et 14 filles) âgés de 12 à 16 ans. La perte de poids a été en moyenne de 18.4 kg (- 20 %) chez les garçons, dont 18.0 kg de masse grasse (- 51 %) et seulement 0.4 kg de masse maigre (- 0.7 %). L'IMC a diminué en moyenne de 8.1 and 6.3 kg/m² (e.t.m.: 0.38 kg/ m²) respectivement chez les garçons et chez les filles. Chez ces dernières la perte de poids a été en moyenne de 15.6 kg (- 17 %), dont 12.5 kg de masse grasse (- 31 %) et 3.2 kg de masse maigre (- 6 %). Le métabolisme de base, les dépenses énergétiques pendant le sommeil et pendant les activités sédentaires étaient significativement plus faibles à la fin qu'au début du programme de réduction pondérale de 9 mois, à la fois en valeur absolue (respectivement - 8.3, -14.0, et - 14.0%; $p < 0.001$) et après ajustement pour les différences de masse maigre (respectivement -6.3, -12.6, and -11.7%; $p < 0.001$).

Le coût énergétique de la marche, aux mêmes vitesses, a aussi diminué significativement (respectivement -24% and -22% chez les garçons et chez les filles), même après ajustement pour les différences de poids corporel (-17.6% chez les garçons; $p < 0.004$). Par suite, après la période de réduction pondérale et avec le même programme d'activités, la dépense énergétique journalière a été significativement inférieure (11.67 vs. 13.96 MJ/jour; $p < 0.001$), même après ajustement pour les différences de masse maigre (11.84 vs. 13.76 MJ/jour; $p < 0.001$) (26).

Le programme de réduction pondérale s'est accompagné aussi d'une augmentation continue de la vitesse de marche pendant la période de 9 mois : + 2.9 km / h chez les garçons et +1.8 km / h chez les filles. La capacité de travail des bras et des jambes a triplé. Les capacités cardiovasculaires se sont améliorées : la fréquence cardiaque a diminué de 11 à 18 battements par minute (bpm) pendant le sommeil et les activités sédentaires et de 20 à 25 bpm pendant la marche à 4 – 5 et 6 km/h (Fig. 4) (26).

Figure 4 : Relations entre la fréquence cardiaque (FC) et la dépense énergétique (DE) mesurée par calorimétrie indirecte avant (- - -) and après (-) le programme de réduction pondérale (valeurs moyennes pour l'ensemble des sujets) (26).



Pendant la période de 4 mois qui suivit le programme de réduction pondérale 12 des 26 adolescents ont maintenu leur poids corporel, tandis que 10 autres ont repris 6.6 kg de poids, mais essentiellement de la masse maigre (5.8 kg) (27).

Les résultats de cette étude confirment et démontrent qu'un programme multidisciplinaire de réduction pondérale dans une institution spécialisée a de nombreux effets bénéfiques chez des adolescents obèses, mais entraîne des réductions des dépenses énergétiques, en particulier pendant le sommeil et les activités sédentaires, qui représentent 80 % des dépenses énergétiques journalières. Ces phénomènes contribuent à la fréquente reprise de masse grasse et de poids corporel après un programme de réduction pondérale.

De plus, dans le cas des adolescents obèses dont les capacités fonctionnelles sont limitées, il est recommandé d'encourager un type d'activité physique entraînant une dépense énergétique importante. L'idéal serait que cette activité favorise l'oxydation des graisses, avec une perception minimale de l'intensité de l'exercice et de l'effort pour permettre une meilleure tolérance et une meilleure adhérence au protocole d'activité physique.

Des études précédentes suggèrent que les adolescents obèses présentent une oxydation maximale des graisses lors d'exercices d'intensité correspondant à 41 % de la consommation maximale d'oxygène (41% $V'O_2max$) ou 58 % de la fréquence cardiaque maximale (58% $FCmax$) (28). De même, à dépense énergétique égale, la marche présente l'avantage d'accroître l'oxydation des graisses davantage que le cyclisme (29). Il faut noter cependant que chez les enfants obèses la marche et le jogging peuvent provoquer des douleurs articulaires ; dans ce cas il serait préférable de proposer des activités comme le cyclisme ou la marche en piscine.

Rapports d'activité physique correspondant à diverses activités sédentaires ou physiques

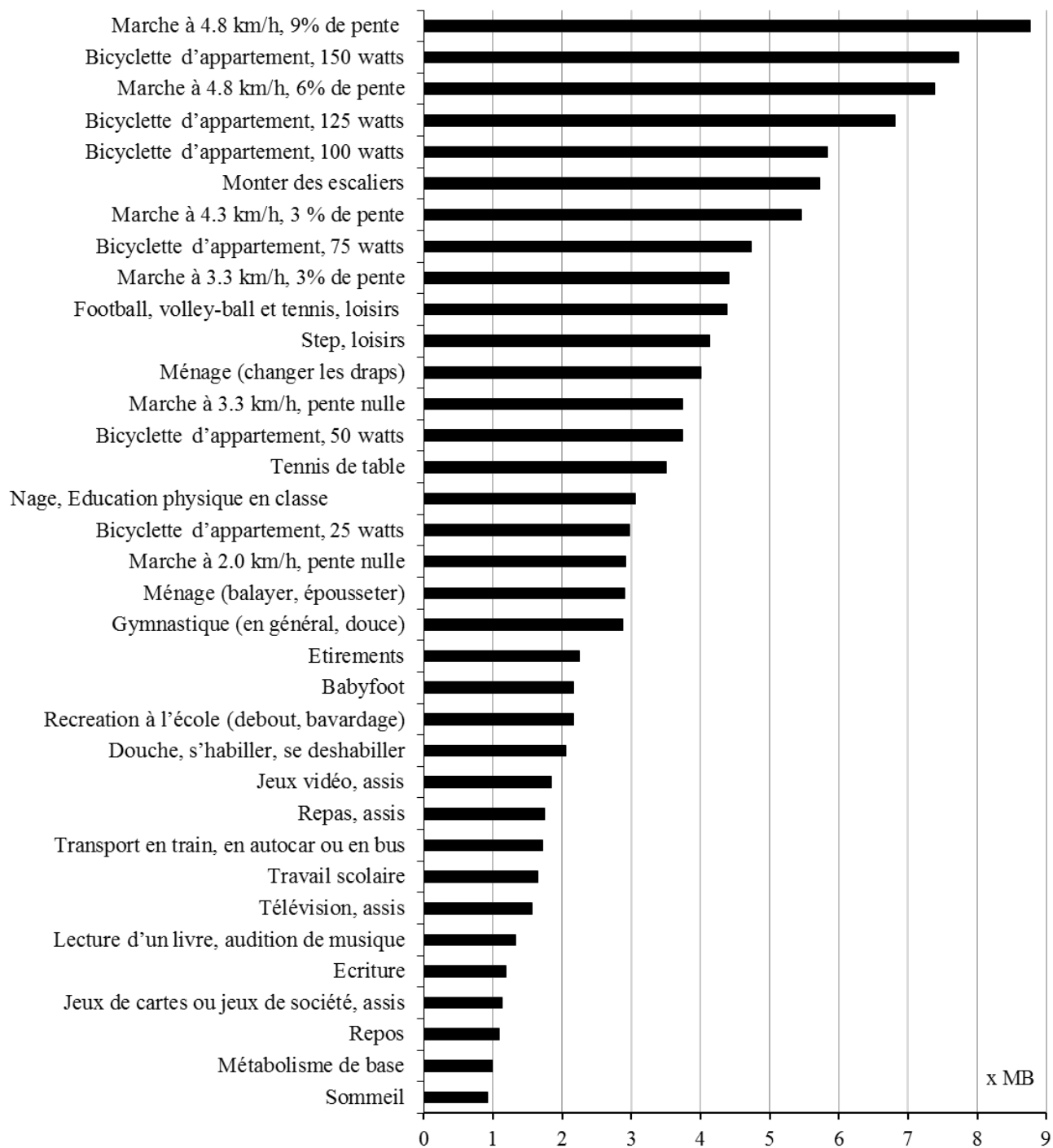
Les professionnels qui prennent en charge les enfants et les adolescents obèses ont besoin d'informations sur le type, le coût énergétique et la durée de leurs activités physiques habituelles pour donner des conseils diététiques et prescrire des recommandations personnalisées pour leurs activités physiques.

En pratique clinique le questionnaire d'activités est la méthode la plus communément utilisée pour évaluer le niveau d'activité physique des individus (30). A partir de ces informations on peut convertir les diverses activités en dépense énergétique journalière à l'aide d'une méthode factorielle et d'équivalents métaboliques (MET) préalablement établis (31). Il faut noter cependant que les valeurs de ce Compendium d'activités (cette banque de données) ont été obtenues principalement au cours d'études réalisées avec des adultes minces. Les auteurs ont défini le MET comme étant le rapport entre l'activité métabolique pendant une activité et l'activité métabolique de référence, au repos, égale à 1.0 kcal / kg / h.

Plusieurs études (2, 32, 33) ont montré que chez des adolescents obèses le coût énergétique de la marche à 3.5 km / h était en moyenne supérieur de 16 % à celui prédit en MET (31). De plus, pour toutes les activités physiques, y compris la marche et les mouvements corporels, prises en compte dans ces études, les dépenses énergétiques étaient en moyenne supérieures de 15 à 35 % à celles prédites en MET (31).

Ces données soulignent l'intérêt de l'utilisation des valeurs de rapport d'activité physique appropriées aux diverses activités pour évaluer la dépense énergétique journalière d'adolescents obèses par la méthode factorielle. Le rapport d'activité physique (RAP) est le rapport entre dépense énergétique (kcal / min) pendant une activité et le métabolisme de base (kcal / min). Ces valeurs de RAP (2, 32, 33) permettent d'évaluer avec plus de précision la dépense énergétique journalière d'adolescents obèses quand on utilise la méthode factorielle (Fig 5).

Figure 5. Rapports d'activité physique (RAP, valeurs tirées des publications 2, 32, 33) correspondant à diverses activités sédentaires ou physiques d'adolescents obèses. Toutes les valeurs sont les moyennes \pm les écarts-types. RAP = Dépense énergétique (kcal / min) pendant une activité / Métabolisme de base (kcal / min).



Evaluation de la dépense énergétique journalière

La dépense énergétique journalière est souvent évaluée à partir des enquêtes alimentaires ou des rappels de consommation des sujets au cours des dernières semaines (26). Les activités indiquées sont caractérisées par leurs fréquences, leurs durées et leurs intensités. La dépense énergétique journalière se calcule à l'aide de la relation [3], suivante:

$$DEJ = \sum_1^N (MB \cdot RAP \cdot \text{durée})$$

Dans laquelle N correspond au nombre d'activités ; le métabolisme de base (Relations 1 et 2) est exprimé en kcal par minute, la durée en minutes et le rapport d'activité physique (RAP) (Tableau 1) est un nombre sans dimension.

A titre d'exemple, un garçon obèse de 14 ans, mesurant 1.62 m et pesant 93 kg a un métabolisme de base évalué à 1.46 kcal / min, Equation 1). S'il dort pendant 540 minutes (RAP : 0.93), s'habille pendant 60 minutes (RAP: 2.05), mange pendant 120 minutes (RAP: 1.75), consacre 420 minutes à des activités scolaires (RAP :1.65), regarde la télévision pendant 180 minutes (RAP: 1.57), marche pendant 60 minutes (RAP: 5.46) et fait de la bicyclette pendant 60 minutes (RAP: 3.75), sa dépense énergétique journalière peut être évaluée à 3441 kcal.

COUTS MECANIQUES DE LA MARCHE ET DE LA COURSE

Chez des sujets normo-pondéraux

Il a été suggéré que lorsqu'ils sont debout ou lorsqu'ils marchent, les enfants obèses ressentent un coût mécanique plus important que les enfants normo-pondéraux. En particulier ils subissent une surcharge pondérale qui peut les prédisposer à des types de démarche pathologiques.

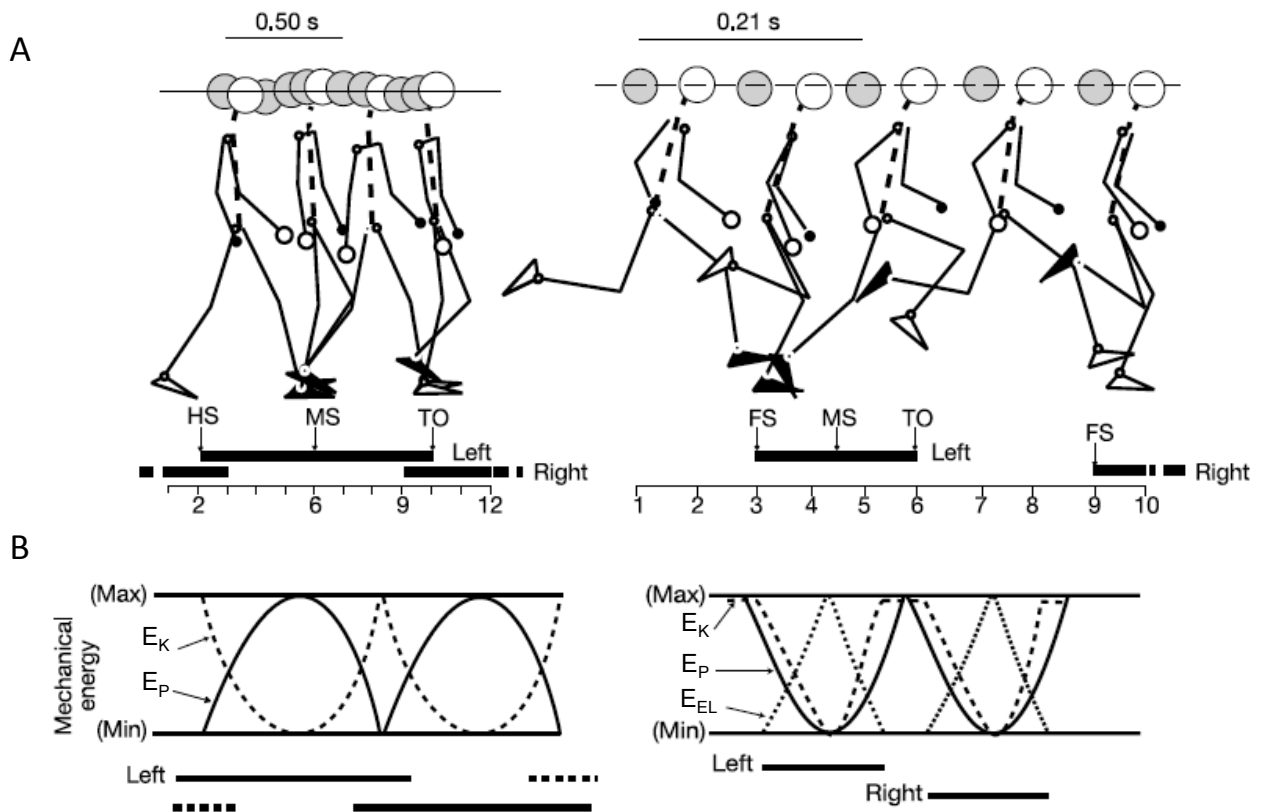
Généralement la locomotion des humains se caractérise par deux allures principales, la marche et la course. Les caractéristiques de ces deux modes de déplacement sont les mêmes : chaque pas présente une phase d'appui et une phase d'oscillation qui diffèrent à la marche et à la course. Le rythme des événements du cycle est différent : la phase d'appui est plus longue à la marche qu'à la course, tandis que la phase d'oscillation est plus courte. Pendant la marche au moins un pied est posé au sol, tandis qu'à la course il y a une période pendant laquelle les deux pieds sont en l'air ; de plus, l'amplitude des contractions des muscles fléchisseurs et des muscles extenseurs des jambes est différente pendant les deux phases pour la marche et la course.

Les changements d'énergie mécanique (c'est-à-dire le travail) pour maintenir l'allure ont été très étudiés parce qu'ils influent sur la dépense énergétique métabolique. Le travail total est défini comme la somme du travail interne et du travail externe ($W_{TOT} = W_{INT} + W_{EXT}$). Le travail externe (W_{EXT}) est le travail effectué pour soulever et accélérer le déplacement du centre de gravité de la personne dans son environnement, tandis que le travail interne (W_{INT}) est le travail lié à l'accélération des segments corporels (principalement les membres) par rapport au centre de gravité de la personne (34,35). Le travail interne tend à augmenter avec la vitesse (34), la fréquence des pas ou des foulées (35), la masse des segments et le cycle du travail (36) ; il représente de 25 à 40 % du travail total de locomotion chez les humains.

Le rapport entre le travail total (W_{TOT}) et la dépense énergétique (DE) indique le rendement η de la marche ou de la course ($\eta = 100 \times W_{TOT} / DE$). W_{TOT} et DE doivent être exprimés dans les mêmes unités (J, J/m ou J/m/kg) ; c'est pourquoi le rendement est une mesure sans dimension, exprimée en pourcentage (34). Chez des adolescents normo-pondéraux le rendement η est passé de 15 à 21 % quand la vitesse de marche a augmenté de 0.75 à 1.50 m/s (21).

Bien que la locomotion pédestre soit le résultat des actions coordonnées de douzaines de muscles (dont beaucoup sont bi-articulaires) qui exercent des forces par l'intermédiaire des tendons et mettent en mouvement une multitude d'os et de segments corporels, chaque allure peut être décrite par un modèle qui aide à comprendre la mécanique générale du déplacement sur le sol. Plus précisément, pour chaque allure le modèle explique les interactions entre les trois types fondamentaux d'énergie liés aux déplacements du centre de gravité de la personne, c'est-à-dire, l'énergie potentielle (E_P , $m \cdot g \cdot h$), l'énergie cinétique (E_K , $0.5 m \cdot v^2$) et l'énergie élastique (E_{EL}), expressions dans lesquelles g est l'accélération de la pesanteur ($9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), m est la masse corporelle (37), h est la coordonnée verticale au-dessus d'un niveau de référence arbitraire (m) et v est la vitesse (m/s) de déplacement du centre de gravité. Le travail externe peut être exprimé ainsi : $W_{EXT} = \Delta E_P + \Delta E_K$

Figure 6: Comparaison des mécanismes de la marche et de la course (modifié à partir des données de Bramble and Lieberman (38)).



A. Cinématiques de la marche (figure de gauche) et de la course (figure de droite). Pendant la marche le centre de gravité est le plus bas près de l'orteil (TO) et le plus haut à mi-distance (MS) quand la jambe est relativement tendue. Pendant la course la tête et le centre de gravité sont les plus hauts pendant la phase de suspension et les plus bas à mi-distance (MS), quand la hanche, le genou et la cheville sont fléchis ; le tronc est aussi plus incliné et le coude est plus fléchi.

B. Différences biomécaniques entre les allures de locomotion de l'homme. Pendant la marche un mécanisme de pendule inversé convertit l'énergie cinétique (E_K) en énergie potentielle gravitationnelle (E_P) entre le soulèvement du talon (HS) et l'appui du talon (MS); l'échange d'énergie est inversé entre les positions MS et TO. Pendant la course un mécanisme de ressort synchronise les variations de l'énergie

potentielle (E_P) et de l'énergie cinétique (E_K), qui diminuent simultanément entre FS et MS. Les tendons et les ligaments des jambes convertissent partiellement ces diminutions d'énergie potentielle et d'énergie cinétique en énergie élastique (E_{EL}) pendant la première moitié de la longueur du pas. Cette énergie élastique est ensuite restituée par rétraction entre MS et TO.

La marche a été classiquement décrite comme un pendule inversé (Fig. 6) (39)). Dans ces modèles l'énergie potentielle (E_P) et l'énergie cinétique (E_K) s'échangent continuellement, engendrant une énergie mécanique totale ($TE = E_P + E_K$) qui présente une variation inférieure à celles des deux composantes prises séparément. Ce mécanisme minimise la quantité d'énergie nette nécessaire pour faire avancer le système en mouvement. La récupération d'énergie est un paramètre qui permet de quantifier la capacité d'épargner de l'énergie mécanique par un dispositif de type pendulaire. Alors que dans un pendule idéal l'échange d'énergie est total (la récupération d'énergie est de 100 %), le déplacement du centre de gravité du corps pendant la marche ressemble à celui d'un pendule inversé (40) ; les pertes d'énergie sont liées aux différences par rapport à un pendule idéal et au passage d'un balancement au suivant (35). La récupération d'énergie est relativement faible (jusqu'à 60 %) et dépend de la longueur des pas (41) et de la vitesse de marche (42). Bien que la littérature récente ait suggéré une certaine contribution de l'énergie élastique (E_{EL}) au mécanisme de la marche par le stockage puis la restitution d'énergie élastique par le tendon d'Achille (43) et peut-être par la courbure de la voûte plantaire (44), le modèle pendulaire explique encore la plus grande partie des échanges d'énergie qui se produisent au cours d'un pas.

Contrairement à la marche, pendant la course l'énergie potentielle (E_P) et l'énergie cinétique (E_K) varient en phase au cours de la foulée, de sorte qu'il n'y a pas d'échange d'énergie entre E_P et E_K lors du contact au sol. Dans la course l'énergie élastique (E_{EL}) joue un rôle essentiel dans l'échange d'énergie avec $E_P + E_K$. Une partie de l'énergie mécanique totale (TE) du système pendant la phase de suspension est transformée en énergie élastique (E_{EL}) au cours de la première moitié de la phase de contact avec le sol, par l'intermédiaire de l'extension des tendons. Pendant la deuxième moitié de cette phase de contact une part conséquente de l'énergie stockée est restituée au système par la rétraction des tendons, au cours de la préparation de la foulée suivante.

Alors que le travail externe (WEXT) donne une évaluation fiable du travail mécanique réalisé par les muscles pendant la marche, les valeurs obtenues pendant la course surestiment le travail musculaire en raison de l'impossibilité de tenir compte de l'énergie élastique (E_{EL}). En fait, une partie de la diminution et de l'augmentation de l'énergie mécanique totale (TE) pendant la course ne résulte pas des contractions excentriques et concentriques des muscles mais respectivement de l'extension et de la rétraction des tendons.

Influence de l'obésité sur le coût mécanique de la marche et de la course

La distribution de la masse corporelle est différente chez les individus obèses et chez les individus minces ; la taille des cuisses est généralement beaucoup plus augmentée que celle du reste du corps. Le travail externe de marche était plus élevé chez les individus obèses, mais après ajustement pour les différences de poids corporel le travail externe n'était pas significativement différent entre les adolescents obèses et les adolescents minces (contrairement au fait que la dépense énergétique était supérieure chez les adolescents obèses). Par suite, le rendement énergétique (η) était en moyenne inférieur de 23 % chez les adolescents obèses par rapport aux adolescents minces ; la différence passait de 30 à 20 % lorsque la vitesse de marche augmentait (21).

Le type mécanique de marche est différent entre adolescents obèses et adolescents minces; en particulier les obèses présentent un déplacement médio-latéral plus important du centre de gravité, en raison d'une

largeur des pas supérieure, particulièrement aux vitesses les plus faibles, probablement en raison d'une stabilité posturale réduite. Dans cette étude ce phénomène n'a pas entraîné d'augmentation du travail externe (W_{EXT}). Le coût énergétique supérieur de la marche chez les sujets obèses peut s'expliquer en partie par le coût supérieur de transition pas à pas (c'est-à-dire le travail interne qui se produit pendant la double phase de contact au sol), dû au déplacement latéral.

Gushue *et al.* (45) ont suggéré que les enfants en surpoids ont une cinématique des genoux altérée, en raison de moments plus élevés pour l'adduction maximale des genoux (moments supérieurs de 73 à 100 % à ceux des enfants minces). Les auteurs ont suggéré que l'adaptation à cette démarche pouvait augmenter la répartition des masses à la partie inférieure des jambes et contribuer au développement de déformations de type varus/valgus et de lésions ostéo-arthritiques. Cette suggestion a été confortée par Davids *et al.* (46) qui ont démontré que les modifications dynamiques de la démarche observées chez les enfants obèses provoquaient des compressions dans le compartiment médian du genou. Une charge importante à travers le compartiment tibio-fémoral est considérée comme jouant un rôle important dans la pathogenèse des lésions articulaires et de l'ostéo-arthrite du genou (47, 48, 49, 50). De même, les forces agissant sur les hanches et une réduction de l'angle d'antéversion du col fémoral peuvent conduire au glissement de la partie épiphysaire de la tête fémorale (51, 52). On peut raisonnablement affirmer qu'un excès d'adiposité augmente le coût énergétique des mouvements et peut contribuer à la diminution du rendement biomécanique et à l'instabilité posturale. McGraw *et al.* (2000) et Colne *et al.* (20, 53) ont montré que les enfants et les adolescents obèses passaient significativement plus de temps que les sujets minces dans la phase de double appui. L'obésité a aussi été liée à un balancement postural plus important et à une cadence de marche inférieure à celle des sujets minces. L'instabilité dans le plan médio-latéral est corrigée par des réactions qui se produisent principalement autour de la hanche et stabilisent le corps (20). Ces réponses peuvent réduire la vitesse de progression (Colne *et al.*, 20, 53).

De plus, le travail externe (W_{EXT}), le coût énergétique net et le rendement énergétique (η) de la course d'adolescents et d'adultes obèses ou minces courant à la vitesse de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, étaient indépendants de la masse corporelle (Toboga *et al.*, 2012). Les tissus élastiques des sujets obèses semblent s'adapter (par exemple par épaissement) à l'augmentation de la masse corporelle, maintenant ainsi leur capacité à stocker de l'énergie élastique au même niveau que les sujets minces, au moins à la vitesse de $2.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Effets de la réduction de l'obésité sur le coût mécanique de la marche

Dans l'étude de Peyrot *et al.* (2012), après 3 mois d'un programme multidisciplinaire de réduction pondérale, les adolescents obèses avaient perdu en moyenne 6 % de leur poids, 10 % de leur masse grasse sans changement significatif de leur masse maigre (54). Le coût métabolique net de la marche à la vitesse de $1.25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ avait diminué, en relation avec les paramètres biomécaniques de la marche : la longueur des pas avait augmenté de 3.5 % ; le balancement latéral des jambes et la variation de l'énergie cinétique médio-latérale avaient diminué de 18 % et la variation de l'énergie potentielle de 6 %. Par suite, le coût énergétique net de la marche, ajusté pour la diminution de masse corporelle, avait diminué de 9 %, tandis que le travail externe (W_{EXT}) n'avait pas varié significativement.

La diminution du coût énergétique net de la marche, après perte de poids, était corrélée avec les réductions de poids corporel, de masse grasse et de pourcentage de masse gynoïde, mais non avec le déplacement latéral des jambes. Le principal déterminant était la réduction du poids corporel, qui entraînait une réduction du travail des muscles des jambes pour soulever et accélérer le déplacement du centre de gravité, ainsi que pour supporter le poids et maintenir l'équilibre du corps (55) pendant la marche.

En effet, puisque les déplacements verticaux permettent un échange de type pendulaire'' entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique, les sujets qui avaient perdu du poids pouvaient réduire l'énergie potentielle disponible (donc les mouvements verticaux) en raison de la réduction de la diminution des fluctuations médio-latérales de l'énergie cinétique. La diminution du coût énergétique net de la marche est également liée à la réduction de la masse grasse dans la région gynoïde, indépendamment de la diminution de la masse grasse corporelle totale (55). Des réductions des moments des hanches et des genoux ont aussi été observées à la suite des interventions de chirurgie bariatrique (chirurgie de l'amaigrissement) (56).

APPLICATIONS PRATIQUES

Un faible pourcentage de masse grasse et un profil cardiovasculaire plus sain sont associés à une bonne forme physique et cardio-respiratoire pendant l'enfance et l'adolescence (57, 58), tandis qu'un excès de masse grasse pendant l'enfance s'accompagne d'un mauvais profil lipidique (59). Les revues des données disponibles indiquent que l'augmentation des activités physiques et la diminution des activités sédentaires protègent contre l'excès de poids pendant l'enfance et l'adolescence.

Au plan de la santé publique il faut mettre l'accent sur la prévention de l'excès de poids et le regain de poids après une réduction pondérale (61, 62). L'activité physique est considérée comme un facteur majeur du contrôle de la surcharge pondérale ou de l'obésité. L'importance et l'amplitude des effets bénéfiques de l'activité physique diffèrent selon l'objectif considéré. L'activité physique apparaît essentielle pour maintenir le poids corporel après une perte de poids due à une restriction énergétique, plutôt que pour la perte de poids elle-même. Elle est également importante pour la préservation de la masse maigre pendant une perte de poids. L'activité physique a des effets bénéfiques sur la forme physique et sur la réduction des pathologies liées à l'obésité, tels que les maladies cardiovasculaires et le diabète. La plupart des données suggère que le volume total plutôt que l'intensité des activités est important pour le contrôle du poids corporel.

Quantité d'activité physique nécessaire pour prévenir l'obésité

Il n'existe pas de consensus général sur la quantité d'activité physique nécessaire pour prévenir l'excès de poids à l'échelle d'une population. La difficulté réside dans l'ajustement de la dépense d'énergie alors que les aliments à disposition sont abondants et le niveau de dépense d'énergie en règle générale bas (61, 62). Le Département Américain de la Santé et des Services sociaux (Physical Activity Guidelines for Americans (63)) a recommandé en 2008 que les enfants et les adolescents aient des activités physiques pendant au moins 60 minutes tous les jours ou la plupart des jours, activités comprenant :

Des activités aérobies : la plus grande partie des 60 minutes (ou plus) par jour devrait être consacrée à des activités physiques aérobies d'intensité modérée ou élevée, comme la course, des sauts, le saut à la corde, la nage, la danse, le cyclisme ... et devrait inclure des activités physiques d'intensité élevée au moins trois jours par semaine. Les activités aérobies augmentent les capacités cardio-pulmonaires.

Du renforcement musculaire : Dans les 60 minutes d'activité physique journalière les enfants et les adolescents devraient avoir des activités physiques de renforcement musculaire au moins trois jours par semaine. Elles peuvent être non structurées et correspondre à des jeux disponibles dans les installations des parcs de jeux, grimper aux arbres, lutte de traction de corde. Ces activités peuvent aussi être structurées, et consister à soulever des poids ou travailler avec des extenseurs.

Du renforcement osseux : Les enfants et les adolescents devraient consacrer une partie de ces 60 minutes d'activités physiques à des activités de renforcement osseux pendant au moins 3 jours par semaine pour favoriser la croissance et la résistance des os. La force nécessaire est généralement produite par le contact avec le sol. La course, le saut à la corde, le basketball, le tennis et la marelle sont tous des exemples d'activités de renforcement osseux.

Il est important d'encourager les jeunes à participer à des activités physiques variées, amusantes et adaptées à leur âge.

Quantité d'activité physique nécessaire pour perdre du poids

La quantité d'activité physique nécessaire pour perdre du poids dépend de la différence entre l'énergie ingérée et la dépense énergétique. On peut évaluer l'apport énergétique souhaitable pour les enfants et les adolescents obèses à 1.2 ou 1.3 fois le métabolisme de base (32), tandis que la dépense énergétique peut être calculée comme indiqué précédemment. On peut également faire les suggestions suivantes :

Exercices d'endurance

Fréquence : Combiner et cumuler pendant au moins 60 minutes par jour des activités physiques d'intensité modérée en séquences d'au moins 15 minutes chacune et au moins 20 à 30 minutes d'activités physiques d'intensité élevée.

Intensité : Sur une échelle de 1 à 10, 10 correspondant à l'épuisement physique, choisir le niveau 5 à 6 pour l'intensité modérée et le niveau 7 à 8 pour l'intensité élevée. Il a été montré chez des adolescents que l'oxydation des graisses est maximale au cours d'une activité physique d'intensité modérée, comme la marche à 5 km/h, correspondant à 50 % de V'O₂max et 65 % de FC max, soit environ 130 bpm (29). Cependant des périodes de 30 à 60 secondes d'activité intense, à 100 % de V'O₂max améliorent aussi la puissance aérobie (64).

Durée : Cumuler au moins 45 minutes d'activités physiques d'intensité modérée en périodes d'au moins 15 minutes chacune

Type : Tout type d'activité qui n'impose pas de contrainte orthopédique excessive ; la marche et la course sont les types d'activité les plus courants. Les exercices sur ergocycle (bicyclette d'appartement) présentent des avantages pour les sujets qui supportent mal leur poids excessif.

Renforcement musculaire

Fréquence : Au moins 2 jours par semaine

Intensité : Entre une intensité modérée (5 à 6) et une intensité élevée (7 à 8 sur une échelle de 0 à 10).

Type : Programme d'entraînement progressif de musculation ou gymnastique rythmique (8 à 10 exercices de 8 à 12 répétitions chacun, impliquant les principaux groupes de muscles), ou grimper d'escaliers, ou tout autre exercice de renforcement qui mobilise les principaux groupes de muscles

Souplesse

Fréquence : Au moins 4 jours par semaine.

Intensité : Modérée (5 à 6 sur une échelle de 0 à 10)

Type : Tous types d'activités qui entretiennent ou augmentent la souplesse, à l'aide d'étirements prolongés de chacun des principaux groupes de muscles, et utiliser des exercices statiques plutôt que des mouvements balistiques.

La progression des activités doit être personnalisée et adaptée à la compliance et aux préférences de chacun. Une attitude prudente peut être nécessaire pour les enfants et les adolescents obèses non entraînés et présentant des capacités physiques limitées. S'ils souhaitent améliorer leur forme physique les enfants et les adolescents obèses doivent dépasser les quantités minimales d'activités physiques recommandées.

Quantité d'activité physique nécessaire pour prévenir la reprise de poids

Bien qu'il n'existe pas de consensus sur la quantité d'activité physique nécessaire pour prévenir la reprise de poids, tout indique que les enfants et les adolescents ont besoin d'au moins 60 minutes d'activités physiques, voire d'activité intense par jour pour prévenir la reprise de poids (65-66). Cette activité peut être effectuée par courtes périodes au cours de la journée. Engager les enfants dans des activités physiques de plus d'une heure en allant à l'école à pied ou à bicyclette, suggérer des activités qui impliquent les parents ou des amis et encourager même de petites quantités d'activités physiques, d'intensité modérée à forte. Encourager en particulier les activités agréables et de jeu. De même, éviter la sédentarité reste un moyen simple d'augmenter l'activité physique.

CONCLUSION

La dépense énergétique journalière, le métabolisme de base et les dépenses énergétiques correspondant aux diverses activités sédentaires et physiques sont significativement plus élevées chez les adolescents obèses que chez les adolescents minces, mais aucune de ces dépenses, excepté la dépense pour la marche, n'est significativement différente après ajustement pour les différences de masse maigre et de masse grasse.

Le type de marche diffère du point de vue mécanistique entre les adolescents obèses et leurs homologues minces. En particulier le déplacement médio-latéral du centre de gravité est plus important et il s'accompagne de pas plus larges, en particulier aux vitesses de marche les plus faibles, en raison d'une stabilité posturale réduite. Le coût énergétique supérieur de la marche chez les sujets obèses peut s'expliquer en partie par le coût accru de la transition pas à pas (c'est-à-dire le travail interne pendant la double phase de contact avec le sol), lié à l'accroissement de la largeur du pas. L'augmentation des coûts énergétiques et la charge pondérale plus importante sur les articulations peuvent prédisposer le système musculo-squelettique des enfants et des adolescents obèses à des lésions et à un développement anormal. De plus, ces facteurs peuvent réduire l'intérêt ou le goût de l'enfant pour l'activité physique.

Les enfants obèses passent plus de temps à des activités physiques légères mais beaucoup moins de temps à des activités modérées ou sportives que les enfants normo-pondéraux. Les études ont montré que les dépenses énergétiques correspondant aux activités sportives n'étaient pas significativement différentes entre sujets obèses et sujets minces, ce qui indique que les sujets obèses réalisaient des activités moins intenses. Ainsi, les dépenses énergétiques des sujets obèses correspondant à des activités physiques modérées ou sportives représentaient respectivement seulement 20 et 25 % de celles des sujets minces.

Un programme multidisciplinaire de réduction pondérale a de nombreux effets bénéfiques mais entraîne une réduction des dépenses énergétiques pendant le sommeil et les activités sédentaires. Ces diminutions ne résultent pas seulement des réductions de la masse grasse et de la masse maigre, mais probablement aussi de réductions de la taille et de l'activité métabolique des organes, liées au déficit énergétique. Ces phénomènes expliquent les fréquentes reprises de masse grasse et de poids. C'est pourquoi il est essentiel que les adolescents post-obèses suivent scrupuleusement les recommandations diététiques et pratiquent quotidiennement des activités physiques modérées pour conserver les bienfaits du programme de

réduction pondérale. De plus, il est recommandé de leur prescrire des activités physiques plaisantes et adaptées à leur âge, qui favorisent l'oxydation des graisses. De telles activités peuvent être mieux acceptées dans le cadre d'une cohorte et peuvent améliorer l'adhésion au protocole d'activité physique. Des études montrent que chez des adolescents obèses l'oxydation des graisses est maximale lors d'exercices physiques correspondant à 41% de $\dot{V}O_2\text{max}$, soit 58% de FC max. Enfin, pour des intensités d'exercice entraînant des dépenses énergétiques semblables, la marche favorise davantage l'utilisation des graisses que les exercices sur ergocycle, bien que la marche soit au début inconfortable pour les adolescents atteints d'obésité sévère.

Bibliographie

1. Warwick PM, Busby R. Influence of mild cold on 24 h energy expenditure in 'normally' clothed adults. *Br J Nutr* 1990; **63**: 481-488.
2. Lazzer S, Boirie Y, Bitar A, Montaurier C, Vernet J, Meyer M, et al. Assessment of energy expenditure associated with physical activities in free-living obese and nonobese adolescents. *Am J Clin Nutr* 2003; **78**: 471-479.
3. Elia M. Organ and Tissue Contribution to Metabolic Rate. In: Kinney MJ, Tucker HN (eds). *Energy Metabolism: Tissue Determinants and Cellular Corollaries*. Raven Press: New York, 1992, pp 61-79.
4. Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, Wang Z, Krasnow N, Pi-Sunyer FX, et al. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. *Am J Physiol* 1998; **275**: E249-258.
5. Goran MI, Kaskoun M, Johnson R. Determinants of resting energy expenditure in young children. *J Pediatr* 1994; **125**: 362-367.
6. Molnar D, Schutz Y. The effect of obesity, age, puberty and gender on resting metabolic rate in children and adolescents. *Eur J Pediatr* 1997; **156**: 376-381.
7. Simoneau JA, Bouchard C. Human variation in skeletal muscle fiber-type proportion and enzyme activities. *Am J Physiol* 1989; **257**: E567-572.
8. Simat BM, Mayrand RR, From AH, Morley JE, Billington C, Fullerton DS, et al. Is the erythrocyte sodium pump altered in human obesity? *J Clin Endocrinol Metab* 1983; **56**: 925-929.
9. Ferraro R, Lillioja S, Fontvieille AM, Rising R, Bogardus C, Ravussin E. Lower sedentary metabolic rate in women compared with men. *J Clin Invest* 1992; **90**: 780-784.
10. Lazzer S, Agosti F, De Col A, Mornati D, Sartorio A. Comparison of predictive equations for resting energy expenditure in severely obese Caucasian children and adolescents. *J Endocrinol Invest* 2007; **30**: 313-317.
11. Lazzer S, Agosti F, De Col A, Sartorio A. Development and cross-validation of prediction equations for estimating resting energy expenditure in severely obese Caucasian children and adolescents. *Br J Nutr* 2006; **96**: 973-979.
12. Heymsfield SB, Gallagher D, Wang Z. Body Composition Modeling: Application to Exploration of the Resting Energy Expenditure Fat-free Mass Relationship. *Ann NY Acad Sci* 2000; **904**: 290-297.
13. Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Carnegie Institute of Washington: Washington, DC, 1919.
14. WHO. Human energy requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, 2001.
15. Raben A, Agerholm-Larsen L, Flint A, Holst JJ, Astrup A. Meals with similar energy densities but rich in protein, fat, carbohydrate, or alcohol have different effects on energy expenditure and substrate metabolism but not on appetite and energy intake. *Am J Clin Nutr* 2003; **77**: 91-100.
16. Prentice AM, Lucas A, Vasquez-Velasquez L, Davies PS, Whitehead RG. Are current dietary guidelines for young children a prescription for overfeeding? *Lancet* 1988; **2**: 1066-1069.
17. Shew SB, Jaksic T. The metabolic needs of critically ill children and neonates. *Semin Pediatr Surg* 1999; **8**: 131-139.
18. Goran MI, Hunter G, Nagy TR, Johnson R. Physical activity related energy expenditure and fat mass in young children. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1997; **21**: 171-178.
19. Browning RC, Kram R. Effects of obesity on the biomechanics of walking at different speeds. *Med Sci Sports Exerc* 2007; **39**: 1632-1641.
20. McGraw B, McClenaghan BA, Williams HG, Dickerson J, Ward DS. Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; **81**: 484-489.
21. Peyrot N, Thivel D, Isacco L, Morin JB, Duche P, Belli A. Do mechanical gait parameters explain the higher metabolic cost of walking in obese adolescents? *J Appl Physiol (1985)* 2009; **106**: 1763-1770.

22. Lazzer S. Variations longitudinales du métabolisme énergétique d'adolescents obèses sévères pendant et après une cure de réduction pondérale. *Thèse* 2003.
23. Zwiauer KF, Mueller T, Widhalm K. Resting metabolic rate in obese children before, during and after weight loss. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1992; **16**: 11-16.
24. Barbeau P, Gutin B, Litaker M, Owens S, Riggs S, Okuyama T. Correlates of individual differences in body-composition changes resulting from physical training in obese children. *Am J Clin Nutr* 1999; **69**: 705-711.
25. Gutin B, Barbeau P, Owens S, Lemmon CR, Bauman M, Allison J, et al. Effects of exercise intensity on cardiovascular fitness, total body composition, and visceral adiposity of obese adolescents. *Am J Clin Nutr* 2002; **75**: 818-826.
26. Lazzer S, Boirie Y, Montaurier C, Vernet J, Meyer M, Vermorel M. A weight reduction program preserves fat-free mass but not metabolic rate in obese adolescents. *Obes Res* 2004; **12**: 233-240.
27. Lazzer S, Meyer M, Derumeaux H, Boirie Y, Vermorel M. [Longitudinal changes in body composition and basal metabolic rate in institutionalized or domiciled obese adolescents]. *Arch Pediatr* 2005; **12**: 1349-1357.
28. Lazzer S, Busti C, Agosti F, De Col A, Pozzo R, Sartorio A. Optimizing fat oxidation through exercise in severely obese Caucasian adolescents. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2007; **67**: 582-588.
29. Lafortuna CL, Lazzer S, Agosti F, Busti C, Galli R, Mazzilli G, et al. Metabolic responses to submaximal treadmill walking and cycle ergometer pedalling in obese adolescents. *Scand J Med Sci Sports* 2010; **20**: 630-637.
30. Baecke JA, Burema J, Frijters JE. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. *Am J Clin Nutr* 1982; **36**: 936-942.
31. Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 2000; **32**: S498-504.
32. Lazzer S, Boirie Y, Poissonnier C, Petit I, Duche P, Taillardat M, et al. Longitudinal changes in activity patterns, physical capacities, energy expenditure, and body composition in severely obese adolescents during a multidisciplinary weight-reduction program. *Int J Obes (Lond)* 2005; **29**: 37-46.
33. Lazzer S, Busti C, Galli R, Boniello S, Agosti F, Lafortuna C, et al. Physical activity ratios for various commonly performed sedentary and physical activities in obese adolescents. *J Endocrinol Invest* 2009; **32**: 79-82.
34. Cavagna GA, Kaneko M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. *J Physiol* 1977; **268**: 467--481.
35. Minetti AE, Saibene F. Mechanical work rate minimization and freely chosen stride frequency of human walking: a mathematical model. *J Exp Biol* 1992; **170**: 19-34.
36. Minetti AE. A model equation for the prediction of mechanical internal work of terrestrial locomotion. *J Biomech* 1998; **31**: 463-468.
37. Zimmet P, KG MMA, Serrano Rios M. [A new international diabetes federation worldwide definition of the metabolic syndrome: the rationale and the results]. *Rev Esp Cardiol* 2005; **58**: 1371-1376.
38. Bramble DM, Lieberman DE. Endurance running and the evolution of Homo. *Nature* 2004; **432**: 345-352.
39. Margaria R (ed) Biomechanics and energetics of muscular exercise. Clarendon Press: Oxford, 1976.
40. Cavagna GA, Margaria R. Mechanics of walking. *J Appl Physiol* 1966; **21**: 271-278.
41. Minetti AE, Capelli C, Zamparo P, di Prampero PE, Saibene F. Effects of stride frequency on mechanical power and energy expenditure of walking. *Med Sci Sports Exerc* 1995; **27**: 1194-1202.
42. Cavagna GA, Thys H, Zamboni A. The sources of external work in level walking and running. *J Physiol* 1976; **262**: 639-657.
43. Fukunaga T, Kubo K, Kawakami Y, Fukashiro S, Kanehisa H, Maganaris CN. In vivo behaviour of human muscle tendon during walking. *Proc Biol Sci* 2001; **268**: 229-233.

44. Ker RF, Bennett MB, Bibby SR, Kester RC, Alexander RM. The spring in the arch of the human foot. *Nature* 1987; **325**: 147-149.
45. Gushue DL, Houck J, Lerner AL. Effects of childhood obesity on three-dimensional knee joint biomechanics during walking. *J Pediatr Orthop* 2005; **25**: 763-768.
46. Davids JR, Huskamp M, Bagley AM. A dynamic biomechanical analysis of the etiology of adolescent tibia vara. *J Pediatr Orthop* 1996; **16**: 461-468.
47. Hurwitz DE, Ryals AB, Case JP, Block JA, Andriacchi TP. The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain. *J Orthop Res* 2002; **20**: 101-107.
48. Kaufman KR, Hughes C, Morrey BF, Morrey M, An KN. Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis. *J Biomech* 2001; **34**: 907-915.
49. Hurwitz DE, Sumner DR, Andriacchi TP, Sugar DA. Dynamic knee loads during gait predict proximal tibial bone distribution. *J Biomech* 1998; **31**: 423-430.
50. Sharma L, Hurwitz DE, Thonar EJ, Sum JA, Lenz ME, Dunlop DD, et al. Knee adduction moment, serum hyaluronan level, and disease severity in medial tibiofemoral osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 1998; **41**: 1233-1240.
51. Gelberman RH, Cohen MS, Shaw BA, Kasser JR, Griffin PP, Wilkinson RH. The association of femoral retroversion with slipped capital femoral epiphysis. *J Bone Joint Surg Am* 1986; **68**: 1000-1007.
52. Uglow MG, Clarke NM. The management of slipped capital femoral epiphysis. *J Bone Joint Surg Br* 2004; **86**: 631-635.
53. Colne P, Frelut ML, Peres G, Thoumie P. Postural control in obese adolescents assessed by limits of stability and gait initiation. *Gait Posture* 2008; **28**: 164-169.
54. Peyrot N, Morin JB, Thivel D, Isacco L, Taillardat M, Belli A, et al. Mechanical work and metabolic cost of walking after weight loss in obese adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 2010; **42**: 1914-1922.
55. Peyrot N, Thivel D, Isacco L, Morin JB, Belli A, Duche P. Why does walking economy improve after weight loss in obese adolescents? *Med Sci Sports Exerc* 2012; **44**: 659-665.
56. Vartiainen P, Bragge T, Lyytinen T, Hakkarainen M, Karjalainen PA, Arokoski JP. Kinematic and kinetic changes in obese gait in bariatric surgery-induced weight loss. *J Biomech* 2012; **45**: 1769-1774.
57. Brage S, Wedderkopp N, Ekelund U, Franks PW, Wareham NJ, Andersen LB, et al. Features of the metabolic syndrome are associated with objectively measured physical activity and fitness in Danish children: the European Youth Heart Study (EYHS). *Diabetes Care* 2004; **27**: 2141-2148.
58. Ruiz JR, Ortega FB, Rizzo NS, Villa I, Hurtig-Wennlof A, Oja L, et al. High cardiovascular fitness is associated with low metabolic risk score in children: the European Youth Heart Study. *Pediatr Res* 2007; **61**: 350-355.
59. Gutin B, Yin Z, Humphries MC, Bassali R, Le NA, Daniels S, et al. Relations of body fatness and cardiovascular fitness to lipid profile in black and white adolescents. *Pediatr Res* 2005; **58**: 78-82.
60. Must A, Tybor DJ. Physical activity and sedentary behavior: a review of longitudinal studies of weight and adiposity in youth. *Int J Obes (Lond)* 2005; **29 Suppl 2**: S84-96.
61. Fulton JE, Garg M, Galuska DA, Rattay KT, Caspersen CJ. Public health and clinical recommendations for physical activity and physical fitness: special focus on overweight youth. *Sports Med* 2004; **34**: 581-599.
62. Hill JO, Wyatt HR. Role of physical activity in preventing and treating obesity. *J Appl Physiol (1985)* 2005; **99**: 765-770.
63. Services USDoHaH. Physical Activity Guidelines for Americans 2008.
64. Corte de Araujo AC, Roschel H, Picanco AR, do Prado DM, Villares SM, de Sa Pinto AL, et al. Similar health benefits of endurance and high-intensity interval training in obese children. *PLoS One* 2012; **7**: e42747.
65. Fogelholm M, Kukkonen-Harjula K. Does physical activity prevent weight gain--a systematic review. *Obes Rev* 2000; **1**: 95-111.

66. Saris WH, Blair SN, van Baak MA, Eaton SB, Davies PS, Di Pietro L, et al. How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 2003; **4**: 101-114.

~ Les Auteurs ~

Stefano Lazzer



Département des Sciences Médicales et Biologiques, Université de Udine, Italie

Grace O'Malley



Département de Physiothérapie, Servie d'Obésité Infantile, Hôpital Universitaire Infantile, Temple Street, Dublin, Irlande

Michel Vermorel



Unité de Recherches sur les Métabolismes Energétique et Lipidique, INRA Theix, Saint-Genès Champanelle, Centre de Recherches en Nutrition Humaine d'Auvergne, France

~ **Comment utiliser cet article** ~

Vous êtes autorisé(e) à utiliser, partager et copier cet article en le citant comme suit :

Lazzer S, O'Malley G, Vermorel M (2017). Coûts métabolique et mécanique des activités sédentaires et des activités physiques des enfants et des adolescents obèses. Dans M.L. Frelut (Ed.), Le livre électronique (eBook) de l'ECOG sur l'obésité des enfants et des adolescents. Téléchargé sur ebook.ecog-obesity.eu.

Assurez-vous également de donner de créditer de façon appropriée ce contenu lors de son utilisation. Visitez ebook.ecog-obesity.eu/fr/conditions-utilisation/sommaire/ pour plus d'informations.

~ **Mot final** ~

Merci pour votre intérêt dans cet article. Si vous pensez que cela que quelqu'un d'autre peut être intéressé n'hésitez pas à le partager ! Enfin rendez-vous sur ebook.ecog-obesity.eu pour découvrir d'autres articles.