



Article scientifique

Article

2013

Published version

Open Access

This is the published version of the publication, made available in accordance with the publisher's policy.

Régulation de la balance énergétique: ajustement de l'apport alimentaire à la dépense énergétique

Melzer, Katarina; Genton Graf, Laurence; Pichard, Claude

How to cite

MELZER, Katarina, GENTON GRAF, Laurence, PICHARD, Claude. Régulation de la balance énergétique: ajustement de l'apport alimentaire à la dépense énergétique. In: Nutrition clinique et métabolisme, 2013, vol. 27, n° 3, p. 134–138. doi: 10.1016/j.nupar.2013.07.001

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:40771>

Publication DOI: [10.1016/j.nupar.2013.07.001](https://doi.org/10.1016/j.nupar.2013.07.001)

Revue générale

Régulation de la balance énergétique : ajustement de l'apport alimentaire à la dépense énergétique

Regulation of energy balance: Adjustment of food intake to energy expenditure

Katarina Melzer^{a,*}, Laurence Genton^b, Claude Pichard^b

^a Institut des sciences du sport, office fédérale du sport, 247, route Principale, 2532 Macolin, Suisse

^b Unité de nutrition, hôpitaux universitaires de Genève, Genève, Suisse

Reçu le 7 août 2012 ; reçu sous la forme révisée le 1^{er} juillet 2013 ; accepté le 2 juillet 2013

Disponible sur Internet le 7 août 2013

Résumé

Cette revue fait la synthèse de différentes études ayant analysé l'effet de l'activité physique, d'une part sur la composition corporelle, d'autre part sur l'apport énergétique ad libitum, et ainsi éclaire la corrélation entre activité physique et bilan énergétique. Une baisse du degré d'activité physique n'entraîne pas une réduction compensatoire de l'apport énergétique, ce qui se traduit par un bilan énergétique positif et la formation de réserves de graisse. À l'inverse, une activité physique intense régulière provoque une augmentation de l'apport énergétique chez les sujets très entraînés et les individus de corpulence mince. Les sujets obèses non entraînés ne modifient généralement pas leur apport énergétique lorsqu'ils sont soumis à un entraînement. Une activité physique intense régulière est une stratégie efficace pour réduire l'obésité. Nous proposons de discuter, ci-après, les recommandations en matière d'activité physique pour une perte de poids significative au plan clinique
© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Exercice ; Dépense énergétique ; Apport alimentaire ; Poids corporel

Abstract

Studies investigating the effect of exercise on body composition, as well as studies investigating the effect of exercise on ad libitum energy intake, provide insight into the association between exercise and energy balance. Reduced levels of physical activity does not exhibit a compensatory reduction of energy intake, and lead to a positive energy balance, most of which is stored as body fat. By contrast, high intensity exercise performed on regular basis increases energy intake in highly trained subjects and lean individuals. Obese untrained persons commonly do not change energy intake when exposed to exercise training. It can be concluded that regular high level of physical activity increases food intake secondary to excess body fat storage utilization, and thus serves as an effective strategy for obesity reduction. The physical activity recommendations for clinically significant weight loss are discussed herein.

© 2013 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Exercise; Energy expenditure; Dietary intake; Body weight

1. Introduction

À l'état d'équilibre, l'apport énergétique métabolisable couvre exactement la dépense énergétique. Le bilan énergétique est négatif lorsque la dépense énergétique est supérieure à l'apport énergétique et positif dans le cas inverse. L'activité physique influence la balance énergétique.

Son effet dépend de la compensation ou non de la dépense énergétique liée à l'activité physique par les prises alimentaires.

Les variations du bilan énergétique sont associées à des variations de poids et plus spécifiquement, des réserves énergétiques corporelles. Chez l'adulte en bonne santé, les réserves protéiques et glucidiques sont relativement stables et la régulation du poids corporel se fait essentiellement à travers la masse grasse (tissu adipeux) [1]. Le point correspondant à un poids et à une composition corporelle stables est par conséquent celui où l'équilibre lipidique est atteint.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : katarina.melzer@baspo.admin.ch (K. Melzer).

Néanmoins, en termes de régulation du bilan énergétique, la question cruciale n'est pas celle de la dépense ou de l'apport énergétique pris séparément mais celle de l'ajustement de l'apport alimentaire ad libitum à la dépense énergétique. Les études analysant l'effet de l'activité physique sur la composition corporelle et l'apport énergétique ad libitum donnent une idée de la corrélation qui existe entre l'activité physique et le bilan énergétique. Elles sont résumées ci-dessous.

2. Effets de la sédentarité sur les prises alimentaires

Chez les animaux et les humains, une réduction du degré d'activité physique n'est pas compensée par une réduction de l'apport énergétique [2–5]. Une réduction du degré d'activité physique (DAP = dépense énergétique totale/taux métabolique de base) de 1,8 à 1,4 sur plusieurs jours affecte sensiblement le bilan énergétique [2]. Par conséquent, une baisse de la dépense énergétique due à l'inactivité (sédentarité) ne s'accompagne pas nécessairement d'une baisse correspondante des prises alimentaires, ce qui se traduit par un bilan énergétique positif et la formation de réserves de graisse [3].

3. Effets de l'exercice sur la prise alimentaire

Une dépense énergétique accrue due à une activité physique brève ne s'accompagne pas forcément d'une augmentation de l'apport énergétique chez l'individu de corpulence mince et chez l'individu obèse, ce qui se traduit par une diminution de la masse corporelle [6–20]. Une étude a montré que la mobilisation des carburants stockés dans le sang joue un rôle dans l'inhibition de la prise alimentaire [4]. On a également constaté que l'effort s'accompagnait d'une libération accrue de glucagon qui, combiné à d'autres facteurs satiétogènes tels que la cholécystokinine, les cytokines et la sérotonine, inhibe la prise alimentaire [15,21]. Une élévation de la température, un niveau accru d'acide lactique et une augmentation du facteur de nécrose tumorale ont également été cités comme de possibles mécanismes d'inhibition de la faim sur une courte période [5]. De plus, des preuves limitées mais de plus en plus nombreuses suggèrent que le bilan glucidique est impliqué dans la régulation à court terme de la prise alimentaire (théorie glycogénostatique) : un bilan glucidique négatif serait annonciateur d'une augmentation de la prise alimentaire ad libitum [22].

Bien que ces mécanismes aient été proposés comme une explication possible de « l'effet anorexigène de l'effort », les causes de ce phénomène restent inconnues. Par ailleurs, on ne comprend pas bien non plus dans quelle mesure des variations du degré d'activité physique peuvent influencer le comportement alimentaire sur une période suffisamment longue pour affecter le bilan énergétique. Enfin, on ignore dans quelle mesure l'activité physique influence le choix des sportifs et des sujets auparavant sédentaires dans la composition de leur alimentation. La littérature ne fait pas état d'une modification mesurable de la composition du régime alimentaire en macronutriments sous l'effet de l'activité physique et aucun consensus ne se dégage au sujet de l'impact de l'activité physique — immédiat ou à long terme — sur la sélection des macronutriments [23–25].

Bien que la corrélation entre l'apport énergétique et la dépense énergétique soit faible sur le court-terme, elle devient plus forte au bout d'une ou deux semaines, voire plus [20,26]. Chez les sujets de corpulence mince dont le degré d'activité physique quotidien atteint 1,75 ou plus, on détecte des fluctuations journalières du poids corporel qui sont compensées sur des périodes de plusieurs semaines à plusieurs mois par des ajustements de la prise alimentaire et de la dépense énergétique qui assurent une stabilité remarquable des réserves énergétiques corporelles [27,28]. Même les cyclistes qui se livrent aux activités d'endurance les plus intenses, de degré 5,0 — comme le Tour de France qui dure 22 jours, fait 4000 km de long et comprend 30 cols pouvant atteindre jusqu'à 2700 m d'altitude — ont maintenu un apport énergétique correspondant à leur dépense énergétique [29,30]. Au-delà d'un degré d'activité physique de 2,2 à 2,5 pour la population générale et de 4,0 à 5,0 pour les individus très entraînés, le corps humain n'est plus capable de couvrir la dépense énergétique élevée, ce qui engendre une perte de masse grasse [29,30].

Plusieurs études suggèrent que l'augmentation du degré d'activité physique est moins bien couverte par l'augmentation correspondante de l'apport énergétique chez l'individu obèse que chez le sujet de corpulence mince [24,31]. Les résultats montrent les effets significatifs d'une activité physique intense sur la masse grasse corporelle en l'absence de prescription d'une modification du régime alimentaire. Celle-ci se traduit par une perte progressive de masse grasse liée à la forte dépense énergétique et ce, aussi bien chez l'homme que chez la femme [6].

Une hypothèse avancée pour expliquer que, chez le sujet obèse, l'apport énergétique n'augmente pas en fonction de la dépense énergétique induite par l'activité physique, est que celui-ci a des réserves énergétiques excédentaires stockées sous forme de tissu adipeux [7]. Outre qu'il permet de stocker les graisses, le tissu adipeux est aussi formé de tissus spécialisés capables de produire de la chaleur (tissus adipeux bruns) et de produire ou de libérer un grand nombre d'adipocytokines [8]. Chez l'individu de poids normal, les adipocytokines garantissent l'homéostasie du glucose et le métabolisme des lipides mais chez l'individu obèse, leur production dérégulée s'accompagne d'une altération des voies métaboliques, de pathologies vasculaires, et de processus inflammatoires. Par conséquent, le tissu adipeux joue un rôle actif dans le bilan énergétique et l'adaptation de l'apport énergétique aux modifications de la dépense énergétique induite par l'effort peut dépendre de la quantité de masse grasse. Il est probable que chez l'individu obèse, la masse grasse fait office de réserve énergétique [9] et que l'ajustement de l'apport énergétique aux différents degrés d'effort ne débute pas avant que les réserves énergétiques excédentaires ne soient épuisées et que l'homéostasie énergétique ne soit menacée.

En conclusion, le sportif très entraîné et l'individu de corpulence mince adaptent leur apport énergétique à la dépense énergétique élevée induite par l'effort au bout d'environ une ou deux semaines, tandis que le sujet obèse non entraîné ne modifie généralement pas son apport énergétique lorsqu'il est soumis à un entraînement intensif. On peut en conclure qu'une activité physique intense régulière n'entraîne pas d'augmentation de la prise alimentaire avant que les réserves de graisse excédentaires

n'aient été utilisées. D'autres études devraient analyser plus en détail les effets d'une activité physique intense sur la prise alimentaire ad libitum chez l'individu de corpulence mince et chez le sujet obèse.

4. Utilisation des substrats énergétique lors d'un exercice

Les glucides (glycogène musculaire et glucose plasmatique) et les lipides (acides gras du plasma et triglycérides intramusculaires [TGIM]) sont les principales sources d'énergie en cas d'effort. Leur contribution à la dépense énergétique dépend largement de l'intensité et de la durée d'utilisation du substrat.

À jeun, lors d'un exercice de faible intensité (25 % de la consommation maximale d'oxygène [$VO_2\text{max}$]) tel que marcher à 4 ou 5 km/h, le besoin énergétique est essentiellement couvert par l'oxydation des acides gras dont plus de 85 % proviennent du plasma [10]. À cette intensité, le taux d'apparition des acides gras dans le plasma est très similaire au taux d'oxydation des acides gras (à savoir lipolyse des adipocytes) (environ 26 $\mu\text{mol/kg}$ par minute). Le taux d'oxydation des acides gras est déterminé d'après les mesures directes du taux d'apparition du glycérol (Ra glycérol) qui est un indice de lipolyse, défini par $3 \times \text{Ra glycérol}$ car la lipolyse d'un triglycéride libère trois acides gras et une molécule de glycérol.

Lorsque l'intensité de l'effort atteint un niveau modéré (65 % $VO_2\text{max}$), l'utilisation des acides gras plasmatiques diminue tandis que l'oxydation des TGIM augmente. À ce niveau, les acides gras plasmatiques et les TGIM contribuent à parts égales à l'oxydation totale des graisses. Bien que l'oxydation totale des graisses soit à son maximum à ce niveau d'exercice (> 40 $\mu\text{mol/kg}$ par minute), les graisses ne peuvent pas être oxydées à des taux suffisamment élevés pour fournir toute l'énergie requise. Par conséquent, environ la moitié de l'énergie totale est tirée simultanément de l'oxydation des glucides (glycogène musculaire et glucose sanguin) [11].

Lors d'exercices d'intensité élevée (85 % de $VO_2\text{max}$), le taux d'oxydation des acides gras du plasma est abaissé en dessous de 65 % du $VO_2\text{max}$ et les TGIM deviennent la principale source d'acides gras pour l'oxydation. Les TGIM libèrent des acides gras directement dans le cytosol du muscle en activité, ce qui en évitant un transfert à travers la membrane du plasma musculaire, en fait une source d'énergie potentielle très intéressante. Pour ce qui est des acides gras à longue chaîne, ils se retrouvent pris dans le tissu adipeux au fur et à mesure que l'intensité de l'exercice augmente, probablement parce que la production d'albumine est insuffisante pour les transporter du tissu adipeux vers la circulation systémique [12]. On ne peut exclure que durant les exercices de forte intensité, la concentration de carnitine libre (qui transporte les acides gras à longue chaîne vers les mitochondries de sorte qu'ils puissent être oxydés) baisse jusqu'à une valeur qui pourrait limiter l'activité de la carnitine palmitoyltransférase et réduire l'oxydation des acides gras à longue chaîne [13]. L'oxydation des acides gras à chaîne moyenne (à savoir essentiellement ceux qui contiennent huit à dix atomes de carbone) semble être moins inhibée car ils sont transportés vers la mitochondrie à l'aide d'un complexe

enzymatique différent (carnitine octanoyltransférase). Par conséquent, une partie des acides gras à chaîne moyenne peut traverser librement la membrane mitochondriale [14].

La disponibilité des acides gras plasmatiques baisse, même si le taux de lipolyse adipocytaire reste élevé. Lorsque l'intensité de l'exercice atteint 85 % $VO_2\text{max}$, l'oxydation des lipides baisse en valeur absolue (de > 40 à 30 $\mu\text{mol/kg}$ par minute) et plus de deux tiers des besoins énergétiques sont couverts par l'oxydation des glucides. L'avantage du métabolisme des glucides lors d'un exercice de forte intensité tient à sa capacité de produire de l'énergie deux fois plus rapidement que celui des acides gras [15]. Ces données ont été collectées chez des sujets entraînés à l'endurance à jeun depuis dix à 12 heures et après un exercice de 30 minutes.

L'ingestion d'un repas glucidique avant ou durant l'exercice améliore l'utilisation des glucides et l'endurance. Il s'avère qu'un repas riche en glucides avant un exercice fait augmenter le glycogène musculaire, baisser la mobilisation des acides gras et augmenter la performance sportive [16,17]. L'amélioration des performances suite à l'ingestion de glucides résulte du maintien du taux de glucose sanguin à la fin de l'exercice. En particulier, comparativement aux aliments à faible indice glycémique (IG), les aliments qui ont un IG élevé se sont révélés aptes à prolonger l'endurance lors d'exercices intenses en induisant moins d'hyperglycémie et d'hyperinsulinémie post-prandiale, à abaisser les niveaux de lactate plasmatique avant et durant l'effort, et à maintenir le glucose plasmatique et les acides gras à des niveaux plus élevés durant l'exercice [18–20].

On peut obtenir une amélioration supplémentaire de la performance sportive en prenant un repas glucidique avant l'effort, puis des glucides durant l'exercice. Le taux d'oxydation des glucides ingérés peut atteindre jusqu'à 1 g/min (taux d'oxydation apparemment maximal de ce substrat exogène) [21], augmentant par conséquent la performance durant un exercice prolongé. L'ingestion d'une grande quantité de triacylglycérols à chaîne moyenne (comme stratégie pour accroître les acides gras plasmatiques) avant l'exercice et/ou de glucides durant l'exercice n'affecte pas significativement les taux de glucides totaux ni l'oxydation des graisses et n'a pas d'effet positif sur les performances [23,32,33].

5. L'activité physique réduit l'obésité

Nombreux sont ceux qui ont tendance à considérer l'activité physique comme une méthode plutôt inefficace pour réduire l'obésité. Or, un examen approfondi de la plupart des études qui tendent vers cette conclusion montre qu'elles présentent des insuffisances qui brouillent l'interprétation. C'est ainsi que dans la plupart d'entre elles, l'apport énergétique et la dépense énergétique n'ont jamais été contrôlés ni mesurés individuellement avec exactitude [24]. Surtout, la majorité des études qui s'intéressent à l'influence de l'activité physique sur la perte de poids font intervenir des degrés d'activité physique relativement faibles. Bien que dans ces études, la dépense énergétique moyenne induite par l'activité physique oscille entre 500 et 5000 kcal par semaine, dans 75 % des cas, la dépense énergétique liée à l'exercice est inférieure à 1800 kcal

Tableau 1

Recommandations de dépense énergétique par l'activité physique pour prévenir la prise pondérale.

Référence	Recommandation	Équivalence en termes d'activité physique
OMS	DAP = 1,75	–
IASO	DAP = 1,7	45 à 60 min d'APM/jour pour l'homme comme pour la femme
IOM	DAP = 1,6 à 1,7	60 min d'APM/jour pour l'homme comme pour la femme
ACSM	–	> 250 min d'APM/semaine pour l'homme comme pour la femme
Schoeller et al., 1997	–	80 min d'APM/jour ou 35 min d'ES pour la femme

OMS : Organisation mondiale de la santé ; IASO : Association internationale pour l'étude de l'obésité ; IOM : Institut de médecine des États-Unis ; ACSM : American College of Sports Medicine ; DAP : degré d'activité physique ; APM : activité physique modérée ; ES : effort soutenu.

par semaine [25]. Par conséquent, si le but est d'utiliser la seule activité physique comme stratégie pour réduire l'obésité, il serait préférable que la dépense énergétique liée à l'activité physique atteigne au moins 3000 à 3500 kcal par semaine, soit 45 à 60 minutes d'activité physique d'intensité modérée ($\sim 60\%$ de $VO_2\text{max}$ ou 70% de la fréquence cardiaque maximale [FCM]) presque tous les jours [25].

En 2009, l'American College of Sports Medicine a publié une prise de position sur les stratégies d'intervention appropriées en matière d'activité physique pour provoquer une perte de poids sans reprise de poids subséquente chez l'adulte [26]. Selon ses conclusions, une activité physique d'intensité modérée — entre 150 et 250 minutes par semaine — empêche la prise de poids et au-delà (> 250 minutes par semaine), elle engendre une perte de poids significative au plan clinique. La musculation n'accroît pas la perte de poids mais peut augmenter la masse maigre et la perte de masse grasse tout en réduisant le risque pour la santé. D'autres recommandations visent à agir sur la dépense énergétique par le biais de l'activité physique afin de prévenir la prise de poids corporelle chez l'adulte et sont présentées dans le Tableau 1.

Saris et al. ont conclu que le poids est régulé par l'activité physique jusqu'à un seuil estimé à environ $1,8 \times$ dépense énergétique de repos (DER). Les hommes physiquement actifs ($> 1,75 \times$ DER) avaient un indice de masse corporelle inférieur à celui de leurs homologues dont la dépense énergétique était plus faible. Les femmes ayant des antécédents d'obésité et dont l'activité était supérieure à $1,75 \times$ DER sont généralement parvenues à maintenir leur baisse de poids tandis que la moitié des femmes moins actives ont pris du poids [27]. Saris et al. ont conclu que malgré des données définitives fragmentaires, un niveau d'activité physique de 1,7 à 1,8 était nécessaire pour prévenir le surpoids ou l'obésité [28].

Des études récentes ont montré que l'oxydation des graisses durant un exercice pouvait être influencée par le type d'exercice réalisé. Les taux d'oxydation maximale des graisses s'avèrent significativement plus élevés lors d'une course à pied que lors d'un effort de même intensité à vélo [29,30]. Les femmes oxydent davantage les graisses autour de 40% du $VO_2\text{max}$ [31,34], bien que cette différence selon le genre ne semble pas effective à des intensités plus élevées [31]. L'oxydation des graisses s'avère également plus élevée lors des exercices combinant travail aérobie et entraînement à la résistance. Un entraînement alternant exercices aérobie et exercices de résistance à haute intensité fait augmenter l'utilisation des graisses lors des

exercices aérobie comparativement à un entraînement exclusivement centré sur le travail aérobie ou à un entraînement alternant exercices aérobie et exercices de résistance à faible intensité.

6. Conclusion

En termes de régulation du bilan énergétique, la question cruciale n'est pas celle de la dépense ou de l'apport énergétique pris séparément mais de l'ajustement de l'apport alimentaire ad libitum à la dépense énergétique. L'analyse des présentes conclusions montre qu'une dépense énergétique accrue due à une activité physique brève n'augmente pas automatiquement l'apport énergétique ad libitum chez l'individu de corpulence mince et chez l'individu obèse. Leur corrélation devient plus forte au bout d'environ une à deux semaines ou plus chez le sujet de corpulence mince. Le sujet obèse non entraîné ne modifie généralement pas son apport énergétique lorsqu'il est soumis à un entraînement. Il est probable que la masse grasse fait office de réservoir d'énergie et que l'apport énergétique visant à compenser la modification du degré d'activité physique ne commence pas à agir avant que les réserves énergétiques excédentaires ne soient épuisées et que l'homéostasie énergétique ne soit compromise. Sous contrôle, l'activité physique seule est une méthode possible de réduction de l'obésité. Une activité physique d'intensité modérée régulière (> 250 minutes par semaine) a entraîné une perte de poids significative au plan clinique.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Références

- [1] Jequier E, Tappy L. Regulation of body weight in humans. *Physiol Rev* 1999;79(2):451–80.
- [2] Stubbs RJ, Hughes DA, Johnstone AM, Horgan GW, King N, Blundell JE. A decrease in physical activity affects appetite, energy, and nutrient balance in lean men feeding ad libitum. *Am J Clin Nutr* 2004;79(1):62–9.
- [3] Ballor DL, Keesey RE. A meta-analysis of the factors affecting exercise-induced changes in body mass, fat mass and fat-free mass in males and females. *Int J Obes* 1991;15(11):717–26.
- [4] Scheurink AJ, Ammar AA, Benthem B, van Dijk G, Sodersten PA. Exercise and the regulation of energy intake. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1999;23(Suppl. 3):S1–6.

- [5] King NA, Tremblay A, Blundell JE. Effects of exercise on appetite control: implications for energy balance. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(8):1076–89.
- [6] Elder SJ, Roberts SB. The effects of exercise on food intake and body fatness: a summary of published studies. *Nutr Rev* 2007;65(1):1–19.
- [7] Woo R, Garrow JS, Pi-Sunyer FX. Effect of exercise on spontaneous calorie intake in obesity. *Am J Clin Nutr* 1982;36(3):470–7.
- [8] Klaus S. Adipose tissue as a regulator of energy balance. *Curr Drug Targets* 2004;5(3):241–50.
- [9] Blundell JE, Stubbs RJ, Hughes DA, Whybrow S, King NA. Cross talk between physical activity and appetite control: does physical activity stimulate appetite? *Proc Nutr Soc* 2003;62(3):651–61.
- [10] van Baak MA. Physical activity and energy balance. *Public Health Nutr* 1999;2(3A):335–9.
- [11] Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993;265(3 Pt 1):E380–91.
- [12] Hodgetts V, Coppack SW, Frayn KN, Hockaday TD. Factors controlling fat mobilization from human subcutaneous adipose tissue during exercise. *J Appl Physiol* 1991;71(2):445–51.
- [13] van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol* 2001;536(Pt 1):295–304.
- [14] Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition* 2004;20(7–8):716–27.
- [15] McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Essentials of Exercise Physiology*. Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins; 2000.
- [16] Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Lowe RC, Walters TJ. Substrate usage during prolonged exercise following a preexercise meal. *J Appl Physiol* 1985;59(2):429–33.
- [17] Hargreaves M, Hawley JA, Jeukendrup A. Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: effects on metabolism and performance. *J Sports Sci* 2004;22(1):31–8.
- [18] Thomas DE, Brotherhood JR, Brand JC. Carbohydrate feeding before exercise: effect of glycemic index. *Int J Sports Med* 1991;12(2):180–6.
- [19] Thomas DE, Brotherhood JR, Miller JB. Plasma glucose levels after prolonged strenuous exercise correlate inversely with glycemic response to food consumed before exercise. *Int J Sport Nutr* 1994;4(4):361–73.
- [20] Wu CL, Nicholas C, Williams C, Took A, Hardy L. The influence of high-carbohydrate meals with different glycaemic indices on substrate utilisation during subsequent exercise. *Br J Nutr* 2003;90(6):1049–56.
- [21] Wagenmakers AJ, Brouns F, Saris WH, Halliday D. Oxidation rates of orally ingested carbohydrates during prolonged exercise in men. *J Appl Physiol* 1993;75(6):2774–80.
- [22] Hopkins M, Jeukendrup A, King NA, Blundell JE. The relationship between substrate metabolism, exercise and appetite control: does glycogen availability influence the motivation to eat, energy intake or food choice? *Sports Med* 2011;41(6):507–21.
- [23] Jeukendrup AE, Thielen JJ, Wagenmakers AJ, Brouns F, Saris WH. Effect of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion during exercise on substrate utilization and subsequent cycling performance. *Am J Clin Nutr* 1998;67(3):397–404.
- [24] Ross R, Freeman JA, Janssen I. Exercise alone is an effective strategy for reducing obesity and related comorbidities. *Exerc Sport Sci Rev* 2000;28(4):165–70.
- [25] Ross R, Janssen I. Physical activity, total and regional obesity: dose-response considerations. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(6 Suppl.):S521–7.
- [26] Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK, et al. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(2):459–71.
- [27] Schoeller DA, Shay K, Kushner RF. How much physical activity is needed to minimize weight gain in previously obese women? *Am J Clin Nutr* 1997;66(3):551–6.
- [28] Saris WH, Blair SN, van Baak MA, 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(2):101–14.
- [29] Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism* 2003;52(6):747–52.
- [30] Knechtle B, Muller G, Willmann F, Kotteck K, Eser P, Knecht H. Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. *Int J Sports Med* 2004;25(1):38–44.
- [31] Kang J, Hoffman JR, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Falvo M, Wendell M. Effect of exercise intensity on fat utilization in males and females. *Res Sports Med* 2007;15(3):175–88.
- [32] Goedecke JH, Clark VR, Noakes TD, Lambert EV. The effects of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion on ultra-endurance exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2005;15(1):15–27.
- [33] Horowitz JF, Mora-Rodriguez R, Byerley LO, Coyle EF. Preexercise medium-chain triglyceride ingestion does not alter muscle glycogen use during exercise. *J Appl Physiol* 2000;88(1):219–25.
- [34] Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol* 2005;98(1):160–7.