

Silvio Folli
Winlab® nutrition sportive, Sion

Nutrition appliquée à la performance sportive

Résumé

Le but de cette revue est d'identifier les besoins en nutriments des populations d'athlètes impliquées dans les différentes disciplines sportives regroupées par commodité en trois catégories: a) les sports à haute intensité et de courte durée, b) les sports intermittents et c) les sports d'intensité plus modérée et de plus longue durée. Quel que soit le sport que pratique un athlète, une alimentation dite équilibrée se doit d'apporter tous les nutriments en quantités adéquates afin d'assurer la récupération, la performance physique et le maintien de la santé de l'athlète. L'importance de l'apport hydrique et des hydrates de carbone en relation avec la performance physique est clairement démontrée; par conséquent les athlètes doivent adopter une stratégie alimentaire permettant d'assurer l'équilibre hydrique et la restauration rapide des réserves de glycogène sans pour autant négliger l'équilibre alimentaire qui passe par la diversité de choix d'aliments à hautes densités nutritives. Les recommandations générales mentionnées dans cette revue s'appliquent à différentes populations d'athlètes prises au sens large du terme. L'application de recommandations spécifiques à des athlètes doit faire l'objet d'une analyse individuelle.

Summary

The aim of this review is to identify nutritional demands among populations of athletes practising different sports, which are divided into three categories for simplification: a) sports of high intensity and short duration, b) intermittent sports and c) sports of more moderate intensity and longer duration. Regardless of the sport performed by an athlete, a nutrition considered balanced must include all nutrients in adequate quantities in order to ensure recuperation, physical performance and maintenance of health. The importance of the fluid intake and of carbohydrates in regard to physical performance is clearly demonstrated. Thus, athletes must adopt an alimentary strategy capable of providing a fluid equilibrium and a rapid restoration of glycogen reserves, without neglecting nutritional balance which results from a diverse choice of aliments high in nutritional density. The general recommendations quoted in this review apply to different populations of athletes, in a broad sense. The application of these recommendations to specific athletes must be the subject of an individual analysis.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 47 (2), 94-100, 1999

La nutrition est l'étude de l'ensemble des processus d'absorption et de transformation de la nourriture par notre organisme et de sa relation avec la santé. L'ensemble de ces processus permet l'utilisation des macro et micronutriments nécessaires à la formation d'énergie, à la construction et à la réparation des tissus, au maintien du squelette et à la régulation des processus physiologiques de l'organisme. C'est la raison pour laquelle l'identification des nutriments essentiels a fait (et fait encore) l'objet de nombreuses études afin d'établir des recommandations publiques en matière d'apports nutritionnels journaliers. Ces apports nutritionnels recommandés (AJR) s'appliquent à la population sédentaire générale et ne sont pas forcément appropriés aux besoins des athlètes. Bien qu'il serait actuellement difficile, sur la base des données scientifiques disponibles, d'établir des AJR spécifiques aux athlètes, il convient de souligner que ces derniers ont un besoin urgent de recommandations générales en matière d'apports nutritionnels journaliers, non seulement dans le but d'optimiser la performance physique, mais aussi pour réduire les risques d'accidents liés à la pratique intensive du sport. En conséquence, les études de nutrition appliquée à la performance physique ont aussi pour tâche d'établir des recommandations générales en matière d'apports nutritionnels journaliers destinés aux athlètes.

Nombreux sont les facteurs contribuant à augmenter la performance physique. Parmi ceux-ci, la nutrition n'est certes pas la composante la plus importante, si on la compare à d'autres facteurs tels que la génétique, l'entraînement et la résistance mentale de l'athlète. Cependant la nutrition ne devrait pas être négligée, car tout athlète est probablement conscient que ce qui différencie une place sur le podium de celle qui ne l'est pas, se limite le plus souvent à un écart de quelques dixièmes et parfois centièmes de secondes.

Il est certain qu'une alimentation équilibrée contribuera à réduire la fatigue et à favoriser la récupération de l'athlète, facteurs déterminants dans la qualité de l'accomplissement de ses entraînements. D'autre part, l'utilisation d'hydrates de carbone en quantités adéquates contribuera également à optimiser les réserves énergétiques de l'athlète en vue d'une compétition, ce qui peut faire la

différence entre une première et une seconde place, aussi bien pour des sports de haute intensité et de courte durée que pour des activités d'intensité plus modérée et de durée plus longue. Finalement, la nutrition est essentielle au maintien de la santé de l'athlète et contribuera probablement à prolonger sa carrière sportive.

D'une part, cette revue a pour but principal de déterminer quels sont les besoins hydriques et nutritionnels des athlètes engagés dans différentes sortes d'activités physiques, qui, par commodité, ont été regroupées en trois catégories: a) à haute intensité et de courte durée, b) intermittentes, c'est-à-dire principalement les sports d'équipes, c) à intensité modérée et de plus longue durée. D'autre part, les manipulations diététiques, visant à favoriser la performance physique et les situations dans lesquelles ce type d'approche nutritionnel sont pertinentes, seront brièvement discutées.

Besoins énergétiques des athlètes

Les besoins énergétiques appropriés pour un athlète peuvent se définir comme ceux qui mènent à un équilibre entre l'absorption calorique et la dépense calorique de sorte que le maintien de la santé et la performance physique soient garantis. Toute restriction calorique excessive pour maintenir une ligne fine et une composition corporelle recherchée, ainsi que tout excès calorique important afin d'augmenter la masse corporelle, en relation avec l'optimisation de la performance, peuvent s'avérer contre-performants et non dénués de risques pour la santé.

Afin de maintenir un poids stable, l'absorption énergétique doit contrebalancer la somme des dépenses énergétiques, à savoir: l'énergie indispensable au maintien des fonctions vitales de l'organisme au repos (métabolisme basal), celle liée à la thermogénèse induite par l'apport des aliments (thermogénèse postprandiale) et finalement celle nécessaire à l'accomplissement de l'activité physique. L'énergie dépensée au repos est proportionnelle à la masse maigre de l'athlète et peut être estimée à l'aide d'équations qui tiennent compte du poids, de la taille et de l'âge de l'individu,

lorsqu'on ne connaît pas la masse maigre de l'athlète. La thermogénèse postprandiale représente approximativement 10% de l'apport calorique total quotidien et dépend de la composition en macronutriments des aliments consommés. L'énergie nécessaire à l'accomplissement de l'activité physique est sans aucun doute la composante énergétique la plus variable chez l'athlète car elle dépend de l'intensité, de la durée et du type d'effort accompli. Par conséquent, les besoins énergétiques quotidiens des athlètes sont très variables et dépendent principalement de la taille et de l'activité physique de l'athlète. En outre, ces besoins énergétiques fluctuent quotidiennement en fonction de la dépense énergétique liée à l'activité physique de l'athlète, dont l'intensité et la durée sont variables. Sans l'utilisation de techniques sophistiquées, seule une estimation de la dépense énergétique peut être au mieux effectuée. Quelles que soient les méthodes utilisées pour évaluer les besoins en énergie d'un athlète, c'est finalement l'appétit de ce dernier qui déterminera l'absorption calorique. Les variations de la masse corporelle détermineront si l'apport énergétique est approprié ou ne l'est pas et permettront également de prévenir et de détecter une éventuelle déshydratation de l'athlète.

Les athlètes engagés dans des efforts quotidiens de haute intensité et de courte durée (par exemple, sprint, power lifting, haltérophilie, sports de lancer...) ont des besoins énergétiques élevés, principalement sous la forme d'hydrates de carbone, afin d'assurer la récupération de leur réserve en glycogène musculaire et d'épargner dans une certaine mesure le catabolisme protidique lié à la pratique de ce type de discipline sportive [1].

L'énergie dépensée dans les activités physiques intermittentes (c'est-à-dire des sports d'équipe comme par exemple le football ou le hockey sur glace...) varie considérablement en fonction du genre de discipline sportive, de la position de l'athlète au sein de l'équipe, de l'intensité et de la durée de l'épreuve; par conséquent les besoins énergétiques de ces athlètes sont très variables [2].

Finalement, les athlètes impliqués dans des activités d'intensité plus modérée mais de plus longue durée (par exemple les sports d'endurance tels que cyclisme, marathon, ou d'ultra-endurance, comme le duathlon ou le triathlon...) nécessitent un large apport calorique quotidien afin de compenser leur dépense énergétique élevée. Tout manquement à cette exigence se soldera probablement par une perte de la masse pondérale, ce qui peut être contre-performant chez des athlètes dont la masse corporelle est déjà adaptée à ce type d'effort [3]. Un entraînement quotidien effectif de deux heures et plus produit une dépense calorique importante qu'il est parfois difficile d'équilibrer pour ce type d'athlète par un apport calorique adéquat qui nécessiterait l'absorption de larges volumes de nourriture. Dans ce cas, l'alternative consistant à effectuer des snacks dans la journée et/ou à recourir à une boisson riche en énergie mais dense sur le plan nutritif, comme un mélange d'hydrates de carbone contenant vitamines et minéraux, peut s'avérer utile.

On rencontre également des disciplines sportives où l'apport calorique est volontairement réduit pour maintenir une ligne corporelle fine, un poids léger (par exemple le patinage artistique, la gymnastique artistique, la danse classique...) ou pour pouvoir participer à des compétitions dans une catégorie plus légère (par exemple, la lutte, la boxe, le bodybuilding, spécialement en période pré-compétitive). Dans ce cas, une évaluation raisonnable de la perte de poids, ainsi qu'une alimentation équilibrée garantissant le maintien de la santé de l'athlète doivent être soigneusement considérées. Le déficit calorique engendré par la pratique d'un régime équilibré ne devrait pas entraîner une réduction pondérale de plus d'un demi à un kilo par semaine afin de minimiser la perte de masse maigre et permettre à l'athlète de s'entraîner dans des conditions adéquates [4].

À l'opposé, certains athlètes cherchent volontairement à augmenter leur masse corporelle par un apport calorique supérieur à leur dépense énergétique. Dans ce cas, il est nécessaire d'adapter le volume d'entraînement afin d'éviter de larges excès alimentaires auxquels l'athlète n'est pas adapté. Le gain en masse maigre devrait se limiter à 0.5-0.7 kg par semaine [5] à l'aide d'un entraînement de résistance approprié. Il faut cependant remarquer qu'une masse corporelle plus importante, même au risque d'une prise de masse

grasse, est considérée comme un avantage dans certaines disciplines sportives (par exemple, sports de lancer, power lifting, haltérophilie...) comme en témoigne la morphologie des athlètes impliqués dans ces activités physiques.

Besoins liquidiens des athlètes

Les pertes hydriques occasionnées par la transpiration et l'urine sont très variables d'un athlète à l'autre et déterminent généralement les besoins hydriques de l'athlète. Divers facteurs influencent les pertes hydriques de l'athlète: ses prédispositions génétiques à transpirer, son niveau d'adaptation à l'effort, son acclimatation aux conditions de l'environnement, ses vêtements, l'intensité à laquelle il s'entraîne. Durant l'effort, l'apport hydrique ne compense pas les pertes hydriques occasionnées par la transpiration [6], ce qui entraîne une déshydratation qui peut compromettre la performance. Même une légère déshydratation peut contribuer à diminuer la performance [7]. Afin de prévenir cette situation, il est recommandé aux athlètes d'absorber au moins 500 ml de liquide (eau, jus de fruit, boissons d'effort) 2 heures avant le début de l'activité physique. Ce délai permettra à l'athlète d'uriner et de vérifier ainsi s'il est convenablement hydraté. Une urine foncée accompagnée d'un petit volume excrété signifiera probablement que l'athlète n'est pas encore suffisamment hydraté [8]. Toute recommandation quantitative en matière d'apport hydrique pour un athlète spécifique est délicate car le taux de transpiration des athlètes varie considérablement. Par conséquent, il est important d'estimer ce taux en quantifiant soigneusement l'apport liquidien de l'athlète pendant l'effort et en pesant ce dernier avant et après divers entraînements effectués dans différentes conditions environnementales. En fonction des résultats obtenus, on pourra alors encourager l'athlète à boire afin de lui assurer un maintien adéquat de l'équilibre hydrique.

La pratique de certains sports d'équipe (par exemple le football) nécessite une attention particulière au maintien de l'équilibre hydrique, car l'apport liquidien se limite à la mi-temps du match. Nombreux sont les athlètes pratiquant des sports de haute intensité et de courte durée qui pensent que l'apport liquidien est moins important dans ce type de situation. Il faut souligner que bien que la déshydratation impliquée lors d'un 400 mètres soit faible, ces épreuves se déroulent souvent dans un environnement chaud et sont répétées un certain nombre de fois au cours d'une même journée provoquant une abondante transpiration. Il n'y a donc aucun doute que le maintien de l'équilibre hydrique est également bénéfique pour ce type de discipline sportive. Dans la pratique de sports à intensité modérée et de plus longue durée, les études ont démontré qu'une déshydratation contribuait à diminuer la performance physique, contrairement au maintien de l'équilibre hydrique [9]. Des sports tels que le cyclisme et le triathlon, comparativement à la course à pied, permettent d'absorber une plus grande quantité liquidienne durant l'effort. Quelle que soit la catégorie de discipline sportive pratiquée, il est important de recommander aux athlètes de s'entraîner à boire durant l'effort. Bien que quelques études récemment publiées suggèrent que l'absorption d'une boisson contenant des hydrates de carbone pourrait également être bénéfique pour les disciplines sportives de courte durée, ce type de pratique n'est généralement pas recommandé lors d'activités physiques dont la durée est inférieure à 90 minutes, contrairement à des efforts de plus longue durée. Il est clairement démontré que lors d'activités physiques dont la durée est supérieure à 90 minutes, l'absorption, pendant l'effort, d'une boisson contenant une quantité appropriée d'hydrates de carbone permet de différer la venue de la fatigue de 30 à 45 minutes grâce au maintien du taux de glucose sanguin dans la phase terminale de l'accomplissement de l'effort. La quantité d'hydrates de carbone par litre de solution dépendra principalement des conditions climatiques, de l'intensité et de la durée de l'épreuve. En se basant sur le taux de glucose perfusé à des athlètes pendant l'effort afin d'optimiser leur approvisionnement énergétique dans la phase tardive de l'accomplissement de l'exercice, il a été démontré qu'une quantité approximativement égale à 1 g de glucose exogène

par minute d'effort constitue la limite supérieure à laquelle le muscle peut oxyder le glucose. On peut donc théoriquement estimer qu'une quantité de l'ordre de 50 à 60 g d'hydrates de carbone absorbés par heure d'effort est suffisante et adéquate. Cependant, les athlètes devront également tenir compte du fait que la concentration en hydrates de carbone contenus dans une boisson est inversement proportionnelle à sa vidange gastrique, ce qui constitue un facteur déterminant en fonction des conditions climatiques et de l'intensité à laquelle les athlètes s'entraîneront. De manière générale, par temps chaud et humide, la concentration en hydrates de carbone ne devrait pas dépasser 3 à 5% par litre de solution, afin de privilégier l'hydratation de l'athlète. Par temps sec et frais, la concentration d'hydrates de carbone devrait se situer entre 5 et 8% par litre de solution, afin de favoriser l'apport énergétique. En ce qui concerne le type d'hydrates de carbone à utiliser dans sa boisson d'effort, il est conseillé de limiter ou d'éviter l'apport en fructose, dont l'absorption et le métabolisme sont lents, ce qui n'est pas favorable à la performance et peut augmenter les risques de troubles gastro-intestinaux [10]. D'autre part, des évidences scientifiques font remarquer que le seul électrolyte qui devrait être ajouté à des boissons d'effort est le sodium, généralement utilisé sous la forme de chlorure de sodium. Il a été démontré que le sodium est le minéral le plus abondamment excrété dans la sueur, ce qui n'est pas surprenant puisqu'il est également le minéral le plus concentré au niveau du liquide extracellulaire. D'autre part, le sodium a, théoriquement, l'avantage de stimuler l'absorption du glucose et de l'eau au niveau du petit intestin et contribue donc au maintien du volume liquidien extracellulaire. La quantité à ajouter en chlorure de sodium se limitera à la quantité maximum requise afin de ne pas ressentir le goût du sel, car il est important que la boisson soit appréciée par l'athlète pour qu'il s'hydrate convenablement [11]. Il est recommandé aux athlètes de boire au minimum 200 à 250 ml de liquide contenant approximativement 30 à 60 g d'hydrates de carbone par litre de solution toutes les 15 à 20 minutes dès le départ de l'épreuve afin de bénéficier pleinement des avantages liés à l'utilisation d'une boisson pendant l'effort [12].

Quelle que soit la nature de l'activité sportive pratiquée, tous les moyens visant à assurer une hydratation adéquate de l'athlète durant le déroulement d'une épreuve compétitive doivent être mis en œuvre.

Besoins glucidiques des athlètes

Les hydrates de carbone sont considérés comme le type de macronutriments le plus important dans l'alimentation des athlètes car ils constituent l'unique source d'énergie pouvant soutenir une activité musculaire intense sur une période relativement prolongée. Le fait de privilégier un apport adéquat en hydrates de carbone est basé sur la constatation que les réserves de glycogène musculaire et hépatique sont faibles comparativement aux réserves de triglycérides. Il est admis que les réserves de glycogène musculaire sont épuisées après 2 à 3 heures d'un exercice continu effectué à une intensité de l'ordre de 60 à 80% de la VO_2 max. Il faut cependant souligner que la répétition d'une activité intensive de courte durée peut épuiser les réserves de glycogène en l'espace de 15 à 30 minutes seulement. Compte tenu de l'activité physique considérable effectuée quotidiennement par de nombreux athlètes, ces derniers sont fréquemment sous-alimentés en hydrates de carbone, avec comme conséquence majeure, des difficultés dans l'accomplissement de leur entraînement et dans l'obtention de performances [13].

Lors de l'accomplissement d'activités physiques dont la durée est supérieure à 2 heures, ce sont d'abord les réserves de glycogène musculaire qui seront mobilisées. A mesure que ces dernières diminuent, le glucose sanguin circulant devient la principale source d'hydrates de carbone pour les muscles en activité. L'apport en glucose sanguin est assuré par la glycogénolyse hépatique, la gluconéogenèse et l'apport d'hydrates de carbone exogène sous forme solide et/ou liquide. Quand la concentration en glucose sanguin atteint une valeur inférieure au niveau physiologique et que le glycogène musculaire est épuisé, la fatigue survient [14]. L'ab-

sorption d'hydrates de carbone, avant, pendant et après l'exercice, a pour but essentiel de maximaliser la quantité de glucose disponible pour l'activité musculaire dans la phase tardive de l'accomplissement de l'effort et de ralentir ainsi la venue de la fatigue.

Après l'effort, le taux de resynthèse en glycogène musculaire est équivalent à 5% par heure de la perte totale en glycogène engendrée par l'activité physique. Par conséquent, il faudra environ 20 heures pour restaurer les réserves musculaires de glycogène, et ce, à condition d'avoir une alimentation riche en hydrates de carbone. Il est recommandé aux athlètes d'absorber 8 à 10 g d'hydrates de carbone par kilo de poids de corps par jour afin de restaurer et maintenir les réserves de glycogène musculaire. Cette quantité correspond à la consommation quotidienne d'environ 500 à 600 g d'hydrates de carbone pour un athlète pesant 70 kilos. En ce qui concerne le type d'hydrates de carbone à absorber pour optimiser la resynthèse de glycogène musculaire après l'exercice, les études démontrent que les sucres (simples ou complexes) à index glycémique élevé ou intermédiaire sont favorables, contrairement à ceux à index glycémique bas. Les aliments à index glycémique élevé sont ceux dont le contenu en hydrates de carbone rentrent rapidement dans la circulation sanguine et provoquent un pic de glucose et d'insuline. Les pommes de terre, les céréales, le pain, le riz blanc et les pâtes sont par exemple des aliments qui stimulent favorablement la resynthèse en glycogène, c'est la raison pour laquelle ils devraient être absorbés rapidement après l'exercice. Il est cependant bien connu qu'immédiatement après un effort intensif, les athlètes n'ont généralement pas ou peu d'appétit. Dès lors, l'utilisation de boissons contenant du glucose ou des maltodextrines est une solution pratique. Ces recommandations sont particulièrement utiles si le laps de temps jusqu'à la prochaine séance d'entraînement est court [13].

Bien qu'il soit largement admis que les athlètes doivent absorber des hydrates de carbone le jour précédant la compétition, la prise d'hydrates de carbone à ingérer durant les heures juste avant l'épreuve a parfois été considérée comme étant nuisible à la performance. De récentes recherches indiquent que tel n'est pas le cas. En fait, l'ingestion d'hydrates de carbone avant l'exercice a montré une amélioration de la performance à condition que les athlètes absorbent au minimum 200 g d'hydrates de carbone, 3 à 4 heures avant l'épreuve. Le contenu du repas devrait être pauvre en protéines, en graisses et en fibres, et ne pas provoquer de troubles gastro-intestinaux [13].

Les athlètes pratiquant des sports d'équipe dépendent également des réserves de glycogène afin de pourvoir aux besoins énergétiques requis par les mouvements rapides et explosifs auxquels on assiste dans des sports tels que le football et le hockey sur glace par exemple. Plusieurs études ont montré un bénéfice, en terme de performance physique, à consommer des hydrates de carbone avant et pendant la pratique de ce type de sport [15, 16].

Les athlètes impliqués dans des sports de haute intensité et de courte durée consomment probablement pas assez d'hydrates de carbone compte tenu de l'intensité avec laquelle ils s'entraînent. Il a été démontré chez des sprinters que la prise d'hydrates de carbone en quantité adéquate, après un entraînement d'une durée de 90 minutes contenant une série de sprints, permettait à ceux-ci de maintenir leur niveau de performance le lendemain [17]. Les résultats d'études récentes indiquent que la performance peut être améliorée dans des épreuves de haute intensité et de courte durée (< 1 heure) par l'absorption d'hydrates de carbone avant et pendant l'effort [18], cependant ces recherches doivent être confirmées avant l'adoption de recommandations générales.

Les athlètes pratiquant des activités physiques d'intensité modérée et de longue durée (endurance) doivent prêter attention au fait d'absorber suffisamment d'hydrates de carbone après l'effort, spécialement si le laps de temps de récupération jusqu'à la session d'exercice suivante est court. Il a été démontré que le taux de resynthèse de glycogène suivant ce type d'activité physique était considérablement plus lent qu'après des efforts plus intenses et de courte durée [19]. Diverses raisons peuvent contribuer à expliquer cette différence dans la restauration du taux de glycogène lors d'effort d'endurance: d'une part, le taux de glucose et d'insuline

sont moins élevés, et d'autre part, l'activité de la glycogène synthétase est réduite dans les fibres musculaires lentes.

Durant ce type d'activité physique, les athlètes ont la possibilité d'absorber des hydrates de carbone sous forme solide et/ou liquide. Les réponses métaboliques [20] et les bénéfices en terme de performance [21] sont les mêmes quelle que soit la forme sous laquelle les hydrates de carbone sont absorbés; cependant, la forme liquide a l'avantage de contribuer au maintien de l'équilibre hydrique de l'athlète. Afin de mettre toutes les chances de leur côté, les athlètes devront trouver le meilleur compromis pour d'une part assurer un apport hydrique adéquat et d'autre part faire face à leur besoin énergétique. Le fait d'absorber trop d'hydrates de carbone sous forme solide ou liquide ralentira la vidange gastrique, ce qui peut être défavorable si les conditions climatiques tendent à déshydrater l'athlète [11].

Besoins lipidiques des athlètes

Parmi les graisses alimentaires et sur la base de leurs structures chimiques, on distingue principalement les graisses saturées et les graisses insaturées. Les graisses saturées se subdivisent en deux sous-classes distinctes, les acides gras saturés à longues chaînes et les acides gras saturés à chaînes moyennes. Parmi les graisses dites saturées, on distingue également deux sous-classes, les acides gras monoinsaturés, dont le chef de file est l'acide oléique, et les acides gras polyinsaturés. Ces derniers se divisent en acides gras polyinsaturés oméga 6, dont le chef de file est l'acide linoléique, et en acides gras polyinsaturés oméga 3 dont le chef de file est l'acide alpha-linolénique.

Les acides gras saturés à longues chaînes

A l'opposé des réserves limitées de glycogène, les réserves d'acides gras saturés à longues chaînes stockés sous forme de triglycérides principalement dans les adipocytes sont pratiquement illimitées. A titre d'exemple, la pratique de la course à pied à une intensité de l'ordre de 65% de la capacité aérobie maximum correspond à une dépense calorique de 300 à 500 kilocalories par heure. Or, les réserves de triglycérides stockés dans notre organisme sont estimées à plusieurs dizaines de milliers de kilocalories. Par conséquent, tout athlète d'endurance a une réserve d'énergie, sous forme de graisses, suffisante pour plusieurs courses de marathon, et ce, à condition qu'il n'utilise que des graisses comme combustible énergétique. Bien que nous stockions une énorme quantité d'énergie sous forme de graisses, leur contribution, en tant que combustible énergétique disponible durant un effort, est limitée par la relative

faible disponibilité de ces graisses pour être mobilisées, transportées, utilisées et oxydées par les muscles en activité. C'est la raison pour laquelle l'oxydation des acides gras saturés à longues chaînes contribue seulement à 25% de l'énergie totale requise pour une activité physique effectuée à 85% de la VO_2 max. En fait, l'énorme quantité de graisses stockées chez l'homme et chez certains autres mammifères a principalement pour but d'assurer la survie de l'espèce en période de famine. Les graisses, sous forme d'acides gras saturés à longues chaînes circulant dans le plasma, représentent la principale source d'énergie à disposition des muscles pour des activités physiques de basse intensité (< 50% VO_2 max.). Un entraînement d'endurance approprié permet d'augmenter la capacité métabolique des muscles à utiliser les graisses comme combustible énergétique durant l'effort [22, 23]. Le rôle des graisses en tant qu'aide ergogénique a été longtemps ignoré. Cependant, des études récentes ont démontré qu'une alimentation enrichie en graisses n'a aucun effet bénéfique sur la performance et contribue même à diminuer la performance, comparativement à une alimentation riche en hydrates de carbone [23]. En dépit de ces résultats, certains individus dont Sears [24], préconisent un apport en graisses élevé au détriment des hydrates de carbone, en argumentant que ce genre de manipulation en macronutriments (30% d'hydrates de carbone, 30% de protéines, 40% de graisses) provoque des modifications hormonales favorables à une augmentation de l'oxydation des graisses pendant l'effort. Bien que l'augmentation de l'oxydation

des graisses soit bien établie en terme de réponse à un entraînement aérobie approprié, il n'y a aucune évidence scientifique qui démontre que la manipulation du contenu en macronutriments dans l'alimentation peut avoir un effet similaire [25]. En conséquence, il est impérativement recommandé aux athlètes de maintenir les hydrates de carbone comme leur principale source de macronutriments et de ne pas adopter des régimes sans fondement scientifique.

L'apport en graisses chez les athlètes est rarement un problème, car dans la majorité des cas, ces derniers ingèrent trop de graisses dans leur alimentation. Cependant, l'exception existe dans certains sports tels que la danse, la gymnastique artistique, le patinage artistique, la lutte et le bodybuilding, spécialement en période pré-compétitive. D'une manière générale, l'apport total quotidien en graisses devrait se situer à environ 20%–25% de l'apport calorique total quotidien ou à environ 1 g de graisse par kilo de poids de corps par jour. En effet, il convient d'éviter une mal absorption des vitamines liposolubles par un apport de graisses insuffisant. En outre, une étude publiée récemment suggère qu'un apport qualitatif et quantitatif de graisses est essentiel au maintien du taux de sécrétion de testostérone [26]. En tenant compte de ces résultats, les auteurs recommandent d'absorber autant de graisse saturée que de graisse monoinsaturée. Les graisses polyinsaturées ingérées devraient constituer le tiers de l'apport défini en graisses saturées ou monoinsaturées [26]. Bien qu'intéressantes, ces recherches doivent encore être confirmées avant l'adoption de recommandations générales. Quel que soit le type de sport pratiqué, y compris les sports d'ultra-endurance où le métabolisme des graisses est grandement augmenté, le fait d'avoir des réserves de graisses pratiquement illimitées ne nécessite aucun supplément de graisses saturées à longues chaînes, ni dans l'alimentation de l'athlète, ni durant l'effort [27]. Contrairement aux acides gras saturés à longues chaînes, les acides gras polyinsaturés oméga 3 et les acides gras saturés à chaînes moyennes, de par leurs propriétés métaboliques et physiologiques, sont probablement plus intéressants dans le but d'améliorer la performance physique.

Les acides gras saturés à chaînes moyennes

Les triglycérides à chaînes moyennes se trouvent principalement dans le lait humain, l'huile de noix de coco et l'huile de cœur de palmier. Ils sont composés d'acides gras saturés ayant des chaînes d'une longueur de l'ordre de 6 à 12 carbones [28]. Les triglycérides à chaînes moyennes sont utilisés depuis plus de trente ans comme constituants énergétiques en nutrition entérale et sont dépourvus d'effets indésirables. Ils possèdent des propriétés physiologiques uniques qui sont à l'origine de l'intérêt qu'on commence à leur porter en tant qu'aide ergogénique dans la pratique de certains sports, principalement d'endurance et d'ultra-endurance. Contrairement aux acides gras saturés à longues chaînes, les triglycérides à chaînes moyennes sont rapidement absorbés et représentent une source d'énergie directement disponible pour l'organisme [28]. Une étude a montré que la vidange gastrique de solutions équicaloriques constituées de différents mélanges d'hydrates de carbone et de triglycérides à chaînes moyennes est plus rapide par comparaison à celle d'une solution ne contenant que des hydrates de carbone [29]. Par conséquent, les triglycérides à chaînes moyennes ne ralentissent pas la vidange gastrique contrairement aux triglycérides à chaînes longues, probablement dû aux faits qu'ils ont une meilleure solubilité aqueuse et absorption intestinale qui entraînent une diminution du rétro-contrôle gastro-duodéal [29]. L'oxydation des triglycérides à chaînes moyennes est, d'un point de vue métabolique, plus proche de l'oxydation du glucose que de celle des acides gras saturés à longues chaînes [28]. Les triglycérides à chaînes moyennes semblent favoriser la mobilisation des acides gras saturés à longues chaînes [30, 31] et ne se stockent pas facilement sous forme de réserve de graisses dans l'organisme, contrairement aux acides gras saturés à longues chaînes [30, 32]. D'autre part, les triglycérides à chaînes moyennes ont permis dans certaines situations de diminuer la perte de masse maigre [33]. De plus, ils ont l'avantage de ne pas être athérogènes et sont considérés comme étant les acides gras les plus stables connus. En conséquence, il est logique de penser que dans un proche avenir les triglycérides à chaînes

moyennes pourraient probablement constituer une source d'énergie intéressante pour des athlètes principalement engagés dans des sports d'endurance et d'ultra-endurance.

Les acides gras polyinsaturés oméga 3

Les acides gras polyinsaturés oméga 3 possèdent une longue chaîne de carbone dont le troisième depuis la fin a une double liaison chimique. Ils peuvent influencer la performance physique car ils interviennent dans la formation d'hormones (eicosanoïdes) qui exercent une action sur diverses composantes liées à l'exercice. Il est physiologiquement reconnu que les acides oméga 3, via la formation de certaines prostaglandines, peuvent influencer l'acheminement de l'oxygène et des substrats énergétiques dans les tissus, car ils contribuent à diminuer la viscosité du sang, à augmenter la vasodilatation des capillaires et à améliorer la déformabilité des érythrocytes. En outre, ils exercent une action anti-inflammatoire qui peut contribuer à raccourcir le temps de récupération des athlètes après un effort soutenu. Ces propriétés peuvent en partie s'expliquer par le fait que les acides gras oméga 3 rentrent en compétition enzymatique avec les acides gras oméga 6 qui sont à l'origine de la formation de prostaglandines pro-inflammatoires et pro-aggrégantes plaquettaires [34–36]. Plusieurs études ont démontré que la supplémentation en acides gras oméga 3 a une action bénéfique sur la performance physique [37]. En se basant sur les propriétés physiologiques des acides gras oméga 3, on ne peut qu'encourager les athlètes à consommer plus de poissons gras (saumon, flétan etc.) qui sont riches en acides gras oméga 3. Cette recommandation est particulièrement valable sous nos latitudes où la consommation en acides gras oméga 3 est souvent insuffisante et résulte en des rapports oméga 6 versus oméga 3 de l'ordre de 10 à 50, alors qu'un rapport de 4 à 6 est considéré comme raisonnable [38].

Besoins protidiques des athlètes

Les protéines sont essentielles à la vie. Elles exercent les mêmes fonctions dans l'alimentation des athlètes que dans celle des individus sédentaires. Elles sont nécessaires au maintien du squelette, au transport d'autres nutriments, à la formation des hormones, des anticorps, des cytokines, des récepteurs membranaires cellulaires ainsi qu'au maintien de la pression oncotique essentielle à l'homéostasie des compartiments liquidiens. Elles représentent environ 15% du poids de corps humain et sont principalement localisées au niveau des muscles. De plus, elles peuvent contribuer à fournir de l'énergie dans certaines situations. Bien qu'il existe beaucoup de protéines différentes, chacune d'elles est constituée d'acides aminés. Notre organisme peut synthétiser des protéines à partir d'acides aminés, cependant il n'est pas capable de synthétiser tous les acides aminés. Ceux qui ne peuvent pas l'être sont qualifiés d'acides aminés nutritionnellement indispensables ou essentiels et nécessitent donc un apport alimentaire. Seuls les aliments issus du règne animal contiennent des protéines dont la séquence en acides aminés indispensables est complète. Les aliments provenant du règne végétal, à l'exception du soja, doivent être associés afin de remplir cette condition. En conséquence, les végétariens doivent soigneusement prendre garde à ces considérations afin de s'assurer d'un apport protidique adéquat [39].

L'énorme intérêt suscité par les protéines chez les athlètes provient de la croyance traditionnelle que l'ingestion de viande augmente la masse musculaire et par conséquent la performance. Les deux questions les plus souvent débattues sont: 1) de déterminer si un apport élevé en protéines est bénéfique pour la performance physique en général et 2) si cet apport supplémentaire peut contribuer à favoriser le développement de la masse musculaire, l'augmentation de la force et de la puissance.

Il est reconnu que dans la phase terminale de l'accomplissement de l'effort d'endurance, les protéines contribuent à fournir de l'énergie. Cependant, la quantité de protéines utilisées dans cette situation est limitée à 5–10% de l'énergie totale requise [40]. Ce pourcentage peut doubler lorsque l'apport d'énergie ou d'hydrates

de carbone de l'athlète est inadéquat. Dans ce cas, le catabolisme protidique et l'oxydation d'acides aminés ainsi que la néoglucogénèse sont augmentés [25, 41, 42]. En situation normale, les protéines constituent une source d'énergie mineure pour les muscles en activité. A l'heure actuelle, les recherches sont encore insuffisantes pour déterminer si un apport protidique élevé est bénéfique à la performance d'endurance. Cependant, certaines études indiquent que les athlètes pratiquant ce type de disciplines sportives auraient des besoins protidiques plus élevés que ceux impliqués dans des sports de résistance [43, 44]. Les résultats obtenus suggèrent que les besoins en protéines sont 50%–100% plus élevés que les apports protidiques journaliers recommandés (AJR) [45, 46], qui sont de l'ordre de 0.8–1.2 g par kilo de poids de corps par jour. Ces AJR en provenance de différents pays émanent d'un certain nombre de comités d'experts en nutrition qui se basent principalement sur l'équilibre azoté (apport d'azote soustrait de l'excrétion d'azote) d'individus essentiellement sédentaires. Il est donc recommandé aux athlètes d'endurance de consommer approximativement 1.2–1.5 g de protéines par kilo de poids de corps par jour afin de maintenir un métabolisme azoté positif.

L'énorme quantité d'énergie dépensée et les dommages musculaires répétés par la pratique de ce type d'activité physique expliqueraient les besoins protidiques élevés de ces athlètes comparativement aux AJR [47, 48].

Les athlètes engagés dans des sports à haute intensité et courte durée (weightlifting, bodybuilding, lancer, sprint...) ont souvent une alimentation axée sur l'apport en protéines. La principale raison expliquant cette pratique diététique est la recherche d'une hypertrophie musculaire, dont le but est d'augmenter la force et la puissance, clef du succès dans ce genre de sport. En dépit du fait que plusieurs études ont été entreprises pour démontrer une association positive entre la force ou le développement musculaire et un apport protidique élevé, les résultats obtenus sont conflictuels [49, 50]. Il a cependant été démontré que la pratique de ce type d'activité physique nécessite également un apport protidique supérieur aux AJR [50–53]. En se basant sur ces études, il est recommandé à ces athlètes d'absorber 1.4 à 1.8 g de protéines par kilo de poids de corps par jour, mais de ne pas dépasser un ordre de grandeur estimé à 2.0 g de protéines par kilo de poids par jour. En effet, aucun bénéfice n'a pu être démontré en terme d'augmentation de la synthèse totale protidique à des doses supérieures à 2.0 g de protéines par kilo de poids de corps par jour. En outre, les protéines/acides aminés n'ayant pas de forme de stockage (au sens strict du terme) dans l'organisme, il est démontré que tout excès protidique supérieur à 2 g/kg/j entraîne l'oxydation des acides aminés et provoque une augmentation de l'excrétion de l'urée [43, 52, 53]. Par son effet osmotique, le surplus d'urée, excrétée par les reins, occasionnera une augmentation du volume urinaire, ce qui peut contribuer ultérieurement à déshydrater l'athlète. Compte tenu de ces considérations, les athlètes ne devraient pas consommer à long terme plus de 2 g de protéines par kilo de poids de corps par jour.

Consensus et conclusion

En se basant sur les évidences scientifiques, il est certain que la nutrition influence significativement la performance athlétique. Une alimentation adéquate, tant sur le plan qualitatif que quantitatif, avant, pendant et après un effort, contribue à favoriser la performance physique.

L'apport énergétique total doit être approprié afin de couvrir la dépense énergétique occasionnée par l'entraînement. Le maintien de l'équilibre énergétique peut être suivi par le contrôle du poids de corps de l'athlète, par une estimation de sa composition corporelle et de son apport en nourriture. Dans la situation où il est nécessaire de diminuer ou d'augmenter le poids de corps de l'athlète, ce processus devrait s'effectuer graduellement et non pas immédiatement avant une compétition.

Un apport hydrique adéquat est essentiel afin d'éviter la déshydratation et peut contribuer à améliorer la performance durant des efforts de longues durées, spécialement dans des situations envi-

ronnementales où l'athlète transpire abondamment. La solution utilisée pendant l'effort peut contenir des hydrates de carbone, cependant la concentration de ces derniers sera dictée en fonction des conditions climatiques, de l'intensité et de la durée de l'effort. Dans le but d'optimiser l'alimentation des athlètes engagés dans différentes disciplines sportives, les hydrates de carbone sont incontestablement le macronutriment le plus important en relation avec la récupération et l'augmentation de la performance sportive et devraient constituer les 55 à 65% de l'apport total en énergie. Dans les événements sportifs de haute intensité et de courte durée, ainsi que dans ceux d'intensité plus modérée mais de plus longue durée, la performance est généralement limitée par la disponibilité des hydrates de carbone. Une alimentation riche en hydrates de carbone contribuera à optimiser les réserves en glycogène et à améliorer la performance sportive. La quantité en hydrates de carbone à absorber variera en fonction de la nature et de la durée de l'activité physique. D'un point de vue quotidien, l'apport en hydrates de carbone devrait être établi en fonction des besoins énergétiques de l'athlète et non pas seulement sur la base d'une quantité fixée en g par kilo de poids de corps par jour.

La consommation en graisses totales ne devrait théoriquement pas être supérieure à 30% de l'apport énergétique total, car l'organisme est capable de mobiliser ses larges réserves de triglycérides, et ce, d'autant plus efficacement que l'athlète est adapté à l'effort qu'il effectue. Cependant, si un athlète ne rencontre aucun problème au niveau de la récupération, de la composition corporelle, du maintien du poids de corps et de la performance physique, et ce, même si son apport en graisses est supérieur à 30% de l'apport énergétique total, il n'y a pas de raison majeure de lui imposer une alimentation plus riche en hydrates de carbone, car cet athlète oxyde probablement ces graisses lors de l'accomplissement quotidien de son activité physique.

Les besoins en protéines sont plus élevés chez les athlètes pratiquant des activités physiques que chez des individus sédentaires. Cependant, la plupart des athlètes ayant un mode d'alimentation mixte consomment déjà une quantité protéidique adéquate car leurs apports en énergie sont augmentés en fonction de leur activité physique. Par conséquent, à l'exception de certaines situations (période d'amaigrissement, apport calorique inadéquat, athlète strictement végétarien...), une supplémentation protéidique n'est généralement et probablement pas nécessaire. L'apport protéidique devrait se situer à approximativement 15% de l'apport énergétique total et ne devrait pas dépasser une quantité de l'ordre de 2 g par kilo de poids de corps par jour.

Au moment où le monde du sport est secoué par les scandales liés à l'utilisation de substances prohibées par le C.I.O, il est navrant de constater que d'autres domaines en relation avec la performance sportive sont souvent négligés, et même parfois ignorés, par les athlètes et leur entourage (entraîneurs, etc.). Il est urgent que ces derniers aient la possibilité de suivre une formation adéquate qui tienne compte de tous les domaines en relation avec la performance, dont la nutrition fait incontestablement partie.

Adresse pour la correspondance:

Dr Silvio Folli (Ph. D), Pharma Futura S.A., CH-1950 Sion, tél. 041 27 203 52 66, Fax 041 27 203 52 64.

Références

- Anderson D.E., Sharp R.L.: Effects of muscle glycogen depletion on protein catabolism during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22: 59, 1990.
- Ekblom B.: Applied physiology of soccer. *Sports Med.*, 3: 50, 1986.
- Pate R.R., Branch J.D.: Training for endurance sport. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24: 340, 1992.
- Medicine A.C.o.S.: Position stand: weight loss in wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28, 1996.
- Williams M.H.: Nutritional Aspects of Human Physical and Athletic Performance. 399, 1985.
- Noakes T.D., Adams B.A., Myburgh K.H., Greeff C., Lotz T., Nathan M.: The danger of an inadequate water intake during prolonged exercise. A novel concept revisited. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57: 210, 1988.
- Walsh R.M., Noakes T.D., Hawley J.A., Dennis S.C.: Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int. J. Sports Med.*, 15: 392, 1994.
- Medicine A.C.o.S.: Position stand on exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28, 1996.
- Armstrong L.E., Costill D.L., Fink W.J.: Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17: 456, 1985.
- Murray R., Paul G.L., Seifert J.G., Eddy D.E., Halaby G.A.: The effects of glucose, fructose, and sucrose ingestion during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21: 275, 1989.
- Maughan R.J.: Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise, in *Food, Nutrition and Sports Performance*, C. Williams, J.T. Devlin Eds., E. and F.N. Spon, London, 147, 1992.
- Coyle E.F.: Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery, in *Food, Nutrition and Sports Performance*, C. Williams and J.T. Devlin Eds., E. and F.N. Spon, London, 34, 1992.
- Falli S.: Hydrates de carbone et performance sportive. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»*, 44: 63, 1996.
- Coyle E.F., Coggan A.R., Hemmert M.K., Ivy J.L.: Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol.*, 61: 165, 1986.
- Simard J.: Effects of carbohydrate intake before and during an ice hockey game on blood and muscle energy substrates. *Res. Quart. Exerc. Sport*, 59: 144, 1988.
- Leat P.B., Jacobs I.: Effect of glucose polymer ingestion on glycogen depletion during a soccer match. *Can. J. Sport Sci.*, 14: 112, 1989.
- Nevill M.E., Williams C., Roper D., Slater C., Nevill A.M.: Effect of diet on performance during recovery from intermittent sprint exercise. *J. Sports Sci.*, 11: 119, 1993.
- Lambert C.P., Flynn M.G., Boone J.B., Michaud T.J., Rodriguez-Zayas J.: Effects of carbohydrate feeding on multiple-bout resistance exercise. *J. Appl. Sports Sci. Res.*, 5: 192, 1991.
- Pascoe D.D., Gladden L.B.: Muscle glycogen resynthesis after short term, high intensity exercise and resistance exercise. *Sports Med.*, 21: 98, 1996.
- Mason W.L., McConell G., Hargreaves M.: Carbohydrate ingestion during exercise: liquid vs solid feedings. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25: 966, 1993.
- Lugo M., Sherman W.M., Wimer G.S., Garleb K.: Metabolic responses when different forms of carbohydrate energy are consumed during cycling. *Int. J. Sports Nutr.*, 3: 398, 1993.
- Hurley B.F., Nemeth P.M., Martin W.H.d., Hagberg J.M., Dalsky G.P., Holloszy J.O.: Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. *J. Appl. Physiol.*, 60: 562, 1986.
- Nagel F.J., Bassett D.R.: Energy Metabolism in Exercise and Training, in *Nutrition in Exercise and Sports* (ed. 2), I. Wolinsky and J.F. Hickson Eds., CRC Press, Boca raton, FL, 139, 1994.
- Sears B., Lawren B.: The Zone. 311, 1995.
- Sherman W.M., Leenders N.: Fat loading: the next magic Bullet? *Int. J. Sports Nutr.*, 5, 1995.
- Volek J.S., Kraemer W.J., Bush J.A., Incledon T., Boetes M.: Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *J. Appl. Physiol.*, 82 (1): 49, 1997.
- Bjorntorp P.: Importance of fat as support nutrient for energy: metabolism of athletes. *J. Sports Sci.*, 9, 1991.
- Bach A.C., Babayan V.K.: Medium-chain triglycerides: an update. *Am. J. Clin. Nutr.*, 36: 950, 1982.
- Beckers E.J., Jeukendrup A.E., Brouns F., Wagenmakers A.J., Saris, W.H.: Gastric emptying of carbohydrate - medium chain triglyceride suspensions at rest. *Int. J. Sports Med.*, 13: 581, 1992.
- Geliebter A., Torbay N., Bracco E.F., Hashim S.A., Van Itallie T.B.: Overfeeding with medium-chain triglyceride diet results in diminished deposition of fat. *Am. J. Clin. Nutr.*, 37: 1, 1983.
- Scalfi L., Coltorti A., Contaldo F.: Postprandial thermogenesis in lean and obese subjects after meals supplemented with medium-chain and long-chain triglycerides. *Am. J. Clin. Nutr.*, 53: 1130, 1991.
- Baba N., Bracco E.F., Hashim, S.A.: Enhanced thermogenesis and diminished deposition of fat in response to overfeeding with diet

- containing medium chain triglyceride. *Am. J. Clin. Nutr.*, 35: 678, 1982.
- 33 *Dias V.C., Fung E., Snyder F.F., Carter R.J., Parsons H.G.*: Effects of medium-chain triglyceride feeding on energy balance in adult humans. *Metabolism*, 39: 887, 1990.
- 34 *Marcus A.J.*: The eicosanoids in biology and medicine. *J. Lipid Res.*, 25: 1511, 1984.
- 35 *Simopoulos A.P.*: Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development (see comments). *Am. J. Clin. Nutr.*, 54: 438, 1991.
- 36 *Nordoy A.*: Is there a rational use for n-3 fatty acids (fish oils) in clinical medicine? *Drugs*, 42: 331, 1991.
- 37 *Brilla L.R., Landerholm T.E.*: Effect of fish oil supplementation and exercise on serum lipids and aerobic fitness. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 30: 173, 1990.
- 38 *Gerster, H.*: The use of n-3 PUFAs (Fish Oil) in Enteral Nutrition. *Internat. J. Nutr. Res.*, 65: 3, 1995.
- 39 *Lemon P.W.R.*: Effect of exercise on protein requirements, in *Food, Nutrition and Sports Performance*, C. Williams and J. T. Devlin Eds., E. and F.N. Spon, London, 64, 1992.
- 40 *Lemon P.W., Mullin J.P.*: Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 48: 624, 1980.
- 41 *Felig P.*: Amino acid metabolism in exercise. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 301: 56, 1977.
- 42 *Knapiak J., Meredith C., Jones B., Fielding R., Young V., Evans W.*: Leucine metabolism during fasting and exercise. *J. Appl. Physiol.*, 70: 43, 1991.
- 43 *Tarnopolsky M.A., MacDougall J.D., Atkinson S.A.*: Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *J. Appl. Physiol.*, 64: 187, 1988.
- 44 *Friedman J.E., Lemon P.W.*: Effect of chronic endurance exercise on retention of dietary protein. *Int. J. Sports Med.*, 10: 118, 1989.
- 45 *Lemon P.W., Proctor D.N.*: Protein intake and athletic performance. *Sports Med.*, 12: 313, 1991.
- 46 *Dohm G.L.*: Protein nutrition for the athlete. *Clin. Sports Med.*, 3: 595, 1985.
- 47 *Fielding R.A., Meredith C.N., O'Reilly K.P., Frontera W.R., Cannon J.G., Evans W.J.*: Enhanced protein breakdown after eccentric exercise in young and older men. *J. Appl. Physiol.*, 71: 674, 1991.
- 48 *Evans W.J., Meredith C.N., Cannon J.G., Dinarello C.A., Frontera W.R., Hughes V.A., Jones B.H., Knuttgen H.G.*: Metabolic changes following eccentric exercise in trained and untrained men. *J. Appl. Physiol.*, 61: 1864, 1986.
- 49 *Frontera W.R., Meredith C.N., O'Reilly K.P., Knuttgen H.G., Evans W.J.*: Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J. Appl. Physiol.*, 64: 1038, 1988.
- 50 *Lemon P.W., Tarnopolsky M.A., MacDougall J.D., Atkinson S.A.*: Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J. Appl. Physiol.*, 73: 767, 1992.
- 51 *Celejowa I., Homa M.*: Food intake, nitrogen and energy balance in Polish weight lifters, during a training camp. *Nutr. Metab.*, 12: 259, 1970.
- 52 *Young V.R., Bier D.M., Pellett P.L.*: A theoretical basis for increasing current estimates of the amino acid requirements in adult man, with experimental support (see comments). *Am. J. Clin. Nutr.*, 50: 80, 1989.
- 53 *Tarnopolsky M.A., Atkinson S.A., MacDougall J.D., Chesley A., Phillips S., Swartz H.P.*: Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J. Appl. Physiol.*, 73: 1986, 1992.