

# DIÉTÉTIQUE ET MICRONUTRITION DES SPORTS DE FORCE

Denis RICHÉ

*Pour beaucoup de pratiquants ou d'entraîneurs exerçant dans les disciplines de force, c'est-à-dire toutes celles pour lesquelles l'entraînement en musculation constitue un paramètre essentiel de la performance (rugby, ski, sauts, lancers, haltérophilie...) l'essentiel des conseils nutritionnels à appliquer consiste à majorer l'apport protéique, et si possible sous forme de poudres, de manière à garantir des résultats optimaux. Or, le développement musculaire repose sur des processus physiologiques complexes, ne serait-ce que parce qu'il s'agit de réussir le pari de développer localement un tissu adulte à croissance achevée. La stratégie proposée vise à optimiser l'ensemble des adaptations recherchées dans le cadre de l'entraînement de force.*

## Principes et objectifs de l'entraînement

### Objectifs de cet entraînement

L'amélioration de la force, recherchée à travers tout programme dit « de musculation », entrepris aujourd'hui dans la plupart des disciplines, ne vise pas forcément à faire gagner du poids, mais plutôt à faire progresser en puissance ou en coordination. L'hypertrophie pourrait même aller à l'encontre du but recherché sur le plan compétitif, dans la mesure où l'ajout d'une masse inerte peut, dans certains sports, ralentir l'athlète [1]. Une force instantanée « insuffisante » peut constituer un facteur limitant dans de nombreuses disciplines. Il en est de même dans le cas d'une puissance trop faible. La puissance définit l'aptitude à produire sur une longue durée une force correspondant à un pourcentage élevé de la force maximale. Il est alors justifié de chercher à améliorer cette force ou cette puissance, c'est-à-dire, d'adapter le muscle à une production de forces accrues, ou appliquées plus longtemps. Pour y parvenir, il faut soumettre les fibres concernées à une sti-

mulation appropriée. En général, pour ce qui est de la force, il s'agit d'importantes tensions. Celles-ci, en créant des altérations métaboliques et structurelles intimes au cœur de la cellule contribuent, en théorie, à la synthèse de nouvelles structures protéiques contractiles au sein de la fibre. Cela passe par exemple par la sollicitation des « intégrines », ces protéines de surface, localisées sur les membranes, et qui réagissent aux déformations dues à des tensions [2]. Elles génèrent alors toute une série de réactions en cascade, aboutissant à la transcription de l'ARN messager des protéines contractiles. La cellule développera alors davantage de force.

La prise de masse ou de force au niveau musculaire est la résultante de multiples transformations, survenues à différents niveaux. Du signal nerveux à la libération coordonnée de calcium au niveau des filaments contractiles, en passant par le climat hormonal, elles font appel à de nombreux mécanismes et tous mettent en œuvre, à chaque niveau, une multitude de nutriments. C'est ce dont nous allons parler.

### Moyens mis en œuvre

La synthèse nette de protéines musculaires repose sur la coïncidence de trois facteurs qui sont la contraction musculaire, la disponibilité des acides aminés et un contexte hormonal favorable [4]. Chacun de ces éléments est crucial.

---

Service Expertise Nutrition Santé, BP 59, 66704 Argelès/mer Cedex.

Correspondance : D. Riché, à l'adresse ci-dessus.  
Email : SENSDRICHE@aol.com

### *Les modalités d'exercice*

En soumettant le muscle à de fortes tensions on parvient à en développer la force. La préoccupation des préparateurs physiques a consisté à déterminer les modalités d'entraînement les plus efficaces dans ce registre. On distingue classiquement plusieurs formes d'entraînement. D'une part, celles qui permettent la prise de masse. Dans ce contexte, la synthèse de l'ensemble des protéines tissulaires est stimulée, et pas seulement celle des unités contractiles du muscle [1]. D'autre part, celles qui favorisent l'amélioration de la force sans prise de masse. Dans ce cas-là, les synthèses protéiques se limitent aux éléments contractiles du muscle, mais ne concernent pas les tissus de soutien ni l'ensemble des protéines tissulaires. On obtiendra alors une amélioration de la force, sans prise de masse. L'orientation vers l'une ou l'autre réponse se fera en fonction du type d'entraînement réalisé [1, 3]. Ce n'est certes pas l'objectif de cet article de s'attarder sur ces aspects techniques, mais on peut néanmoins donner deux exemples connus. L'entraînement de type « force maximale » consiste par exemple à effectuer un nombre restreint de répétitions d'un geste imposant de soulever une force très proche du maxima. Si possible, le sujet cherchera à réaliser ce geste rapidement. À l'inverse, l'entraînement axé sur la « prise de masse » consiste à répéter le même geste, à vitesse lente, un grand nombre de fois. Le poids soulevé est éloigné du maxima de l'athlète. Notons que, de toute façon, à chaque fois il va s'agir d'adapter les apports nutritionnels dans le but de favoriser ces synthèses.

Une forme particulière d'entraînement s'est récemment développée et mérite qu'on s'y attarde, en raison des particularités qu'elle présente et de ses implications nutritionnelles. C'est celle qu'on nomme la « plyométrie » ou « entraînement de l'élasticité », « entraînement réactif » [4]. L'originalité de la plyométrie repose sur le couplage de deux processus, supposés générer une tension énorme et solliciter au maximum les éléments élastiques des fibres :

- le premier est qualifié de « positif ». Classique, il s'accomplit avec un raccourcissement des fibres. Il occasionne des contractions concentriques, ainsi nommées car au cours de leur déroulement les extrémités du muscle se rapprochent.
- Le second est qualifié de « négatif ». Il impose de résister à une charge, de freiner un mouvement. Cela s'effectue par l'intermédiaire d'une contraction « excentrique », qui mobilise les éléments élastiques.

Ces deux phases se trouvent regroupées et interviennent consécutivement au cours de mouvements complexes. Cela s'accompagne d'une importante atteinte des fibres musculaires, du moins en début de programme [5], conduisant à un remodelage ultérieur des protéines musculaires [6]. Cette forme de travail occasionne une inflammation locale, susceptible de s'étendre et de se pérenniser, associée à un stress radicalaire [7] et d'atteintes membranaires pouvant expliquer l'élévation du taux sanguin des enzymes CPK, localisés au niveau de la membrane externe [7]. On ne retrouve pas ce phénomène, du moins avec une telle ampleur, dans les autres formes de travail de la force. On note en outre, en réponse à un réflexe d'étirement déclenché lors de la réception, le recrutement d'un nombre supérieur de fibres lors du second saut. Il s'ensuit que la force et la vitesse de contraction augmentent, à condition que la fonction motrice, qui dépend de manière précise de

la présence optimale d'un certain nombre de nutriments, puisse s'exercer de manière optimale [8].

Ce type d'entraînement a plusieurs conséquences à prendre en compte lors de la mise en place du protocole nutritionnel

- La mise en réserve de glycogène, après un travail excentrique, est beaucoup plus difficile, en raison de l'atteinte membranaire, de ses conséquences sur l'activité des GLUT4, de l'inflammation-grosse consommatrice de glucose, et des altérations enzymatiques, ce qui complique le bon déroulement de la récupération [9] ce fait, la mise en réserve du glycogène, comme cela a été démontré par biopsies successives, sera beaucoup plus longue à reconstituer totalement après un travail « excentrique » [9].
- Une acidose accrue s'observe dans ce contexte, sans doute en raison des perturbations touchant les mécanismes de transport assurant l'exportation des ions H<sup>+</sup> à l'extérieur des cellules [10].

### *Le contexte hormonal*

Il n'y a qu'une vingtaine d'années que les physiologistes essaient de caractériser les réponses hormonales à l'entraînement de force, celles-ci étant combinées à des processus d'adaptation nerveuse. Celles-ci, en général, se mettent en place rapidement, notamment chez les débutants, et précède le phénomène d'hypertrophie [11-15]. Il est aujourd'hui admis qu'un exercice de force, ou qu'un programme d'entraînement de musculation peuvent affecter le statut de nombreuses hormones. L'insuline, le cortisol, les androgènes et l'hormone de croissance sont plus particulièrement concernés par la réponse à l'entraînement. Chez la plupart des sportifs de haut niveau, la réflexion relative aux programmes de prise de masse ne portent que sur les modalités de l'entraînement de musculation, et négligent l'influence possible d'autres types de travail, surtout lorsque le nombre d'heures consacrées à l'entraînement devient conséquent. Or, il existe des interférences notables. On sait ainsi que toute charge de travail un peu lourde, ou tout travail d'endurance un peu trop important, favorisent l'élévation de la cortisolémie [16]. L'élévation de cette hormone crée un climat catabolique globalement défavorable à une réponse telle que celle attendue, à savoir une prise de masse. Par ailleurs, il est fréquent, notamment dans le rugby, de pratiquer l'entraînement biquotidien, avec par exemple une séance de musculation le matin et une consacrée au jeu ou à la course l'après-midi, ou inversement. Or, une récente étude a montré que, chez des athlètes commençant à développer un état de surmenage chronique, et soumis à un protocole d'entraînement biquotidien, la réponse endocrine à la 2<sup>e</sup> session de la journée est perturbée. On relève ainsi chez eux de moindres pics hormonaux en réponse à la deuxième session de la journée [17]. À l'inverse, chez ceux qualifiés de « bons répondeurs », la réponse hormonale consécutive à la deuxième séance de la journée reste comparable à la première., relativement à ce qui est observé chez les « bons répondeurs » à l'entraînement [24]. *Il peut ainsi être plus difficile de gagner de la masse en consacrant trois séances par semaine sur 12 à la musculation, plutôt qu'en y dédiant deux sessions hebdomadaires sur quatre. Quoiqu'il en soit, toute tentative sur l'optimisation des apports nutritionnels doit donc s'accompagner d'une réflexion sur la stratégie d'entraînement idoine à proposer.*

En outre, les taux de ces hormones fluctuent également beaucoup en fonction du statut nutritionnel et des apports alimentaires réalisés en cours d'activité et en récupération [18].

#### *Le contexte nutritionnel*

Il ne s'agit pas seulement d'assurer un apport protéique supplémentaire ni de considérer uniquement les besoins énergétiques supplémentaires liés au travail musculaire accompli. Nous intégrons à l'accompagnement diététique et micronutritionnel de ces disciplines tout ce qui a trait aux relations entre la nutrition, les fonctions endocrines, membranaires, nerveuses, enzymatiques qui participent à l'adaptation à l'exercice de force [19]. C'est ce que nous allons maintenant développer brièvement, avant de décrire les protocoles d'accompagnement proposés aux sportifs.

### **Les besoins nutritionnels et micronutritionnels**

#### **Les macronutriments**

##### *Les glucides*

À l'inverse des disciplines d'endurance, on ne rencontre pas, habituellement, d'épisodes d'hypoglycémie dans le cadre des sports de force [20]. Pour autant, il est admis que le glycogène participe de manière importante à la couverture des besoins énergétiques dans certaines formes de travail utilisées en musculation, et que l'apport de glucides en cours d'activité permettait de prolonger davantage les séances et, par conséquent, de soulever une charge totale plus lourde, ce qui peut contribuer à la progression de l'athlète [21]. Pour ces raisons, on recommande un apport glucidique minimal de l'ordre de 6 g/kg.j, apport à moduler en fonction de la quantité d'entraînement fournie et du type de séance réalisée. Ainsi, en cas d'exercice de type « excentrique », une majoration peut s'envisager [18, 19, 22].

Cet apport glucidique présente un autre avantage, celui d'intervenir comme modulateur des paramètres hormonaux. Il agit d'abord sur l'insuline. Cette hormone est très importante dans l'optique d'un gain de masse maigre. En effet, elle favorise l'entrée du glucose et des acides aminés dans les cellules (notamment celles du muscle), mais en outre elle stimule la synthèse protéique et inhibe le catabolisme protéique [23]. On comprend que son élévation en fin d'activité puisse accélérer la reformation du glycogène, utilisé lors des séances ultérieures, mais également contribuer à une synthèse protéique optimisée [18]. Des travaux ont ainsi établi que la combinaison d'un entraînement de force et d'un aliment liquide associant des glucides et des protéines, selon un ratio de l'ordre de 3 g de glucides pour un gramme de protéines, favorisait l'anabolisme [23, 24].

Une autre hormone dont le taux et l'action peuvent être modulés par les glucides est le cortisol. Ses rôles sont les suivants : a) assurer le maintien de la glycémie (éventuellement en faisant appel à la néoglucogénèse, dont certains substrats sont des acides aminés), b) réduire les processus inflammatoires, c) convertir des acides aminés en glucides, d) stimuler les enzymes protéolytiques,

e) inhiber la synthèse protéique et f) accroître la dégradation des protéines. Ceci explique qu'on le considère davantage comme une hormone du catabolisme que comme un acteur clef de l'adaptation au stress [17]. Pour ces différentes raisons, une diminution de la masse des protéines contractiles du muscle et de la force est souvent associée à une hypercortisolémie chronique [24]. Il est reconnu que l'ingestion de glucides en cours d'effort peut inhiber la sécrétion de cortisol destinée à assurer le maintien de la glycémie. La prise de boisson énergétique au cours des séances de musculation s'accompagne d'un pic de cortisolémie beaucoup moins prononcé, ce qui est crucial dans l'optique de l'obtention d'un climat hormonal favorable à la prise de masse [25]. En outre, cette chute du cortisol participe favorablement au maintien des défenses immunitaires et au bon déroulement des processus de réparation, en partie inflammatoires, qui surviennent après des séances de musculation excentrique [18]. Enfin, la prise de glucides (combinés à des protéines, selon un ratio 1 : 1), juste après un effort sollicitant les qualités de force favorise le taux circulant d'hormone de croissance [26], phénomène dont l'impact à long terme reste débattu mais qui, à court terme, participe sans aucun doute au « climat » anabolique global.

On ne peut donc que regretter la tendance très largement répandue qui consiste à consommer de l'eau ou des protéines en cours de séance, mais beaucoup plus rarement des boissons énergétiques !

##### *Les protéines*

###### Aspect quantitatif

Alors que la réhydratation et la restauration des réserves de glycogène entamées à l'effort nécessitent un apport d'eau et de glucides en rapport avec les quantités perdues, un raisonnement semblable ne convient pas aux besoins en protéines pour la récupération [5]. Si les apports en glucides sont adéquats, la part des protéines oxydées à des fins énergétiques, et plus particulièrement la part des acides aminés « ramifiés » [26], n'est pas quantitativement importante. Par contre, elles font l'objet d'un remodelage constant, résultat de diverses synthèses et dégradation, dans le cadre desquelles l'exercice intervient, notamment chez le débutant [27]. Chez le néophyte, des travaux démontrent que les besoins protéiques sont temporairement augmentés de 100 %, passant de 1,3 à 2,6 g/kg/j, sans que cette augmentation ne s'accompagne pour autant d'une prise de masse. La progression alors observée résulte d'un meilleur recrutement des fibres musculaires. Passé ce premier stade, le *turn over* reste plus rapide que chez le sédentaire [28], et un consensus existe pour recommander un apport protéique de l'ordre de 1,5 à 2 g/kg/j chez ceux qui pratiquent la musculation plusieurs fois par semaine.

L'interaction entre l'apport nutritionnel et le statut hormonal se retrouve là aussi ; un exercice de résistance effectué à jeun produit dans les heures qui suivent un bilan azoté négatif [29], alors que chez un athlète nourri, de préférence avec un apport respectant un ratio glucides/protéides de l'ordre de 3/1, le bilan protéique devient positif [30]. Les acides aminés par eux-mêmes, indépendamment de leur action modulée par les hormones anabolisantes, semblent favoriser l'initiation de la synthèse protéique, en dehors de tout stimulus lié à l'entraînement [42]. C'est ce qui a sans doute justifié l'adoption de rations hyperprotéinées chez les adeptes des sports de force.

Les acides aminés ramifiés, en particulier la leucine, pourraient favoriser un gain protéique en récupération, d'une part en tant que substrats, d'autre part comme facteur de régulation [26]. De récents travaux, dont un où 8 g de « ramifiés » ont été apportés après l'effort (comparativement à un placebo), ont montré qu'ils avaient joué un rôle d'épargne sur les protéines, conduisant à un bilan azoté favorable [30, 31].

#### Aspect chronologique

Une considération émerge comme importante, c'est celle du moment où la prise de protéines supplémentaire est réalisée par rapport à l'exercice. L'étude de Levenhagen, évoquée ci-dessus [30], a montré que l'ingestion d'un mélange de protéines et de glucides juste après l'effort est plus efficace que si on attend trois heures pour assurer cet apport. Un autre travail, plus ancien, a montré que la synthèse protéique, dans les fibres musculaires sollicitées, est fortement augmentée 4 h après l'exercice, comparativement à la situation de repos ou à celle relevée 24 heures plus tard [32]. Le couplage d'un apport réalisé avant puis après la séance semble intéressant ; une récente étude, ayant consisté à fournir 20 g d'acides aminés essentiels 20 minutes avant puis 20 minutes après chaque séance d'un entraînement composé de force et d'endurance sur une période de six semaines, a amélioré le gain de force et la vitesse de course de six jeunes femmes en comparaison avec un placebo [33]. Cet effet est optimisé dans le cas d'une association, en post-effort, avec des glucides, de façon à jouer sur les paramètres hormonaux [23, 24].

#### Les lipides

On pense habituellement que les lipides ne contribuent pas de façon majeure à la couverture des besoins énergétiques liés à un travail de force. La faible diminution des réserves de triglycérides musculaires à l'effort en atteste [34]. Cependant, lors de la période de récupération consécutive à un travail de force, *a fortiori* lorsqu'il s'est situé dans un registre de « force maximale » [5], conduit à une augmentation de la contribution des lipides à la dépense énergétique de repos, qui peut persister plus de 20 heures après la fin de la session [35]. Ceci peut expliquer que certaines formes d'entraînement de la force puissent conduire à une perte de masse grasse.

On a vu par ailleurs que certaines formes d'entraînement de la force (notamment le travail excentrique) ou la réalisation d'un lourd programme de musculation dans un contexte d'entraînement intense peuvent s'accompagner de perturbations immunitaires et inflammatoires pouvant se révéler préjudiciables pour les athlètes. Compte tenu de leurs interventions comme régulateurs de l'immunité et de l'inflammation et comme modulateurs des gènes de la lipolyse, les acides gras essentiels de la lignée « oméga 3 » ont été proposés dans ce contexte [36].

#### Les micronutriments

L'ensemble des enzymes impliqués dans la contraction musculaire sont dépendants de la présence de cofacteurs. Les plus souvent en jeu sont le magnésium et le zinc, ce qui peut expliquer que des déficits en ces éléments puissent être associés à une diminution de la force [37]. En outre, la vitamine B6 participe au métabolisme azoté, à la fois dans le cadre des réactions d'anabolisme que dans celles du catabolisme [26]. Dans un contexte où les apports protéiques sont majorés, une optimisation des apports en

vitamine B6 doit être assurée. La législation des produits de l'effort s'inscrit d'ailleurs dans cette logique.

Un autre élément beaucoup étudié est le chrome, cofacteur-clef de l'insuline, dont on a vu le rôle central dans l'orientation du métabolisme et la réponse métabolique au travail de force [37]. Mais en dehors du contexte de déficit établi individuellement (ce qui reste difficile à affirmer a priori), la complémentation systématique des populations sportives ne donne pas de résultat tangible [38].

Enfin, l'agression radicalaire observée dans certains types d'exercice, notamment ceux faisant appel à des contractions « excentriques », sollicite les défenses anti-oxydantes. Les éléments protecteurs sont principalement fournis par les végétaux frais, souvent négligés chez les adeptes des sports de force. En l'absence d'une protection optimale, les membranes sont fragilisées, les processus de synthèse affectés, et les bénéfices attendus ne se retrouvent plus forcément [7, 19]. Enfin, cet apport accru de végétaux frais permettra d'assurer le maintien de l'équilibre acide-base [39], souvent perturbé en raison de l'intervention importante des processus anaérobies lorsque les masses musculaires compriment les vaisseaux et les veines, ou lorsque les contractions excentriques perturbent l'exportation des ions H<sup>+</sup> [10].

Enfin, un statut hydrique optimal devra être assuré. En effet, toutes les hormones à action anabolisante exercent leur action dans un contexte d'hydratation cellulaire optimale et, inversement, lorsque la cellule renferme moins d'eau, les signaux cellulaires favorisent le déclenchement des processus cataboliques [40].

### Protocole diététique et micronutritionnel

On choisira de privilégier la prise de mélange de peptides et de glucides, en récupération, plutôt que de boissons associant protéines laitières et glucides, de façon à ne pas exposer l'organisme à un surcroît d'antigènes alimentaires [41], à la suite de l'augmentation de la perméabilité intestinale liée à l'exercice [41].

Voici, inspiré d'un programme proposé à un athlète de 70 kg, un exemple de journée consacrée à la musculation (2 heures le matin) et où les besoins en glucides sont satisfaits :

#### Matin :

Fruit, fruits secs, 1 verre de jus de fruit  
3 tranches de pain complet + miel ou beurre  
1 laitage + 50 à 60 g de céréales ou 150 g de gâteau de riz ou de semoule  
1 œuf ou 1 tranche de jambon ou 1 tranche de bacon.  
Ce repas sera idéalement terminé deux heures avant le début de la séance.

#### Séance :

150 ml de boisson énergétique tous les quarts d'heure.

#### Dès la fin de la séance :

Boisson enrichie en peptides riches en « ramifiés », jus de fruit, fruits secs, banane, yaourts à boire.

#### Midi :

Crudités + avocat ou noix (huile de colza et citron)  
+ levure de bière et germe de blé.  
300 g de riz, pâtes semoule, etc.

150 g de protéines : fruits de mer, poisson maigre, poisson gras, foie (1 fois par semaine, pour l'apport en fer réalisé), volaille ou poisson

Légumes verts à volonté

1 laitage bien toléré

*Après-midi :*

Une ou deux barres de céréales

Fruits frais, secs et oléagineux- Un dessert soja ou boisson énergétique à base de peptides riches en « ramifiés »

*Souper :*

Salade ou légumes verts cuits (huile de colza, citron, levure de bière, germe de blé)

300 g à 400 g de pâtes, riz, semoule ou pommes de terre

1 portion moindre de protéines : par exemple une tranche de jambon, 1 oeuf ou recette à base d'oeuf ou environ 80 g de thon en salade, ou quenelles ou tofu ou pizza ou tarte salée

Légumes verts

Yaourt ou fromage ou fromage blanc ou flan maison ou dessert soja

Pain à volonté

## Bibliographie

- [1] Goldberg A.L., Etlinger J.D. & Coll. – Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med. Sci. Sports*, 1975, **7(4)**, 248-61.
- [2] Carson J.A., Wei L. – Integrin signalling's potential for mediating gene expression in hypertrophy skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.*, 2000, **88**, 337-43.
- [3] Sale D., Mc Dougall D. – Specificity in strength training : A review for the coach and athlete. *Can. J. Appl. Sport Sci.*, 1981, **6 (2)**, 87-92.
- [4] Friden J., Seger J. & Coll – Adaptative response in human skeletal muscle subjected to prolonged eccentric training. *Int. J. Sports Med.*, 1983, **4**, 177-83.
- [5] Reichsmann F., Scordillis S.P. *et al.* – Muscle protein changes following eccentric exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1991, **62**, 245-50.
- [6] Klapinska B., Kempa K. & Coll – Evaluation of antibodies against oxidized LDL (OLAB) and blood antioxidant status in professional soccer players. *Int. J. Sports Med.*, 2005, **26 (1)** : 71-8.
- [7] Clarkson P.M., Sayers S.P. – Etiology of exercise-induced muscle damage. *Can J. Appl. Physiol.*, 1999, **24** : 234-48.
- [8] Highbie E.J., Cureton K.J. & Coll – Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J. Appl. Physiol.*, 1996, **81 (5)** : 2173-81.
- [9] Doyle J.A., Sherman W.M. & Coll – Effects of eccentric and concentric exercise on muscle glycogen replenishment. *J. Appl. Physiol.*, 1993, **74 (4)** : 1848-55.
- [10] Yeung E.W., Bourreau J.P. & Coll – Effect of eccentric contraction-induced injury on force and intracellular pH in rat skeletal muscles. *J. Appl. Physiol.*, 2002, **92** : 93-9.
- [11] Häkkinen K., Komi P. & Coll – Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand. J. Sports Sci.*, 1981, **3 (2)** : 50-8.
- [12] Komi P.V. – Training of muscle strength and power : interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. *Int. J. Sports Med.*, 1986, **7** : 10-5.
- [13] Sale D.G. – Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1988, **20 (5)** : S 135-45.
- [14] Rutherford D.O.M., Jones D.A. – The role of learning and co-ordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1986, **55** : 100-5.
- [15] Busso T., Häkkinen K. & Coll – Hormonal adaptations and modelled responses in elite weight lifters during 6 weeks of training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1992, **64** : 381-6.
- [16] Seene T., Viru A. – Short communication – The catabolic effect of glucocorticoids on different types of skeletal muscle fibers and its dependence upon muscle activity and interaction with anabolic steroids. *J. Steroid Biochem.*, 1982, **16** : 349-52.
- [17] Meeusen R., Piacentini M.F. & Coll – Hormonal responses in athletes : the use of a two bout exercise protocol to detect subtle differences in (over) training status. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2004, **91** : 140-6.
- [18] Conley M.M.S., Stone M.H. – Carbohydrate ingestion/supplementation for resistance exercise and training. *Sports Med.*, 1996, **21 (1)** : 7-17.
- [19] Chos D., Riche D. – 2001 « *Diététique et micronutrition du sportif* », Vigot Ed.
- [20] Roberts R.A., Pearson D.R. & Coll – Muscle glycogenolysis during different intensities of weight-resistance exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1991, **70 (4)** : 1700-6.
- [21] Neuffer P.D., Costill D.L. & Coll – Improvements in exercise performance : effects of carbohydrate feedings and diet. *J. Appl. Physiol.*, 1987, **62 (3)** : 983-8.
- [22] Kleiner S., Greenwood-Robinson M. – « *Alimentation muscle* », 1999, Vigot Ed.
- [23] Zadawski K.M., Yaspelkis B.B. & Coll – Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1992, **72** : 1854-9.
- [24] Fahey T.D., Hoffman K. & Coll – The effects of intermittent liquid meal feeding on selected hormones and substrates during intense weight training. *Int. J. Sports Nutr.*, 1993, **3**, 67-75.
- [25] Mitchell J.B., Costill D.L. & Coll – Influence of carbohydrate ingestion on counter regulatory hormones during prolonged exercise. *Int. J. Sports Med.*, 1990, **11** : 33-6.
- [26] Kreider R.B., Miriel V. & Coll – Amino acid supplementation and exercise performance. Analysis of the proposed ergogenic value. *Sports Med.*, 1993, **16 (3)** : 190-209.
- [27] Lemon P.W.R., Tarnopolsky M.A. & Coll – Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J. Appl. Physiol.*, 1992, **73 (2)** : 767-75.
- [28] Phillips S.M., Tipton K.D. & Coll – Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am. J. Physiol.*, 1999, **276 (39)** : E 118-24.
- [29] Phillips S.M.M., Tipton K.D. & Coll – Mixed muscle synthesis and breakdown after resistance training in humans. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 1997, **273** : E 99- 1007.
- [30] Levenhagen D.K., Carr C. & Coll – Post exercise protein intake enhances whole-body and leg protein accretion in humans. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2002, **34**, 828-37.
- [31] Blomstrand E., Saltin B. – BCAA intake affects protein metabolism in muscle after but not during exercise in humans. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2001, **281** : E 365-74.
- [32] Chesley A., Mc Dougall J.D. & Coll – Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1992, **73 (4)** : 1383-8.
- [33] Antonio J., Sanders M.S. & Coll – Effects of exercise training and amino acid supplementation on body composition and physical performance in untrained women. *Nutrition*, 2000, **16** : 1043-6.
- [34] Essen-Gustavsson B., Tesch P.A. – Glycogen and triglyceride utilization in relation to muscle metabolism characteris-

- tics in men performing heavy-resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1990, **61** : 5-10.
- [35] Mc Millan J.L., Stone M.H. & Coll. – 20-hour physiological responses to a single weight-training session. *J. Strength Cond. Res.*, 1993, **7 (1)** : 9-21.
- [36] Venkatraman J.T., Pendergast D.R. – Effect of dietary intake on immune function in athletes. *Sports Med.*, 2002, **32 (5)** : 323-37.
- [37] Riche D. – Les déficits en magnésium et le sport. *Sci & Sports*, 1989, **4** : 41-52.
- [38] Riche D. – Minéraux et oligoéléments dans la pratique sportive. *Sci. Sports*, 1996, **11** : 211-22.
- [39] Remer T. & Coll. – The potential renal acid load. *J. Am. Diet. Ass.*, 1995, **96** : 791-7.
- [40] Haüssinger D., Roth E. & Coll. – Cellular hydration state : an important determinant of protein catabolism in health and disease. *Lancet*, 1993, **341** : 1330-2.
- [41] Riche D. – Hyperperméabilité intestinale chez le sportif. Mécanismes, conséquences et prise en charge nutritionnelle. *NAFAS*, 2004, **2 (3)** : 17-29.