

# **ASPECTS PHYSIOLOGIQUES DE LA RECUPERATION**

## **Section : Physiologie**

**Auteur : Charles-Yannick Guezennec**

**Définitions :** La période de récupération peut se définir par le temps nécessaire pour que les différents paramètres physiologiques modifiés par l'exercice rejoignent les valeurs de l'état au repos. Après avoir défini ces paramètres, nous nous proposons de décrire leur cinétique de retour aux valeurs de repos en fonction de la durée et de l'intensité de l'exercice.

Lors de l'exercice physique, l'ensemble coeur-poumon assure une fonction de transport. Le système cardio-vasculaire ajuste le débit sanguin pour maintenir un transport suffisant de l'oxygène et des substrats énergétiques vers les muscles. Cet ensemble fonctionnel assure d'une part, l'apport des composés nécessaires à la production d'énergie par le muscle. La mise en jeu du système cardio-pulmonaire se traduit par une élévation du débit ventilatoire et du débit cardiaque proportionnelle à l'intensité de l'exercice. La récupération sera conditionnée par le retour de ces paramètres aux valeurs de repos. L'analyse des résultats sur la cinétique de récupération montrent que le retour à la valeur de repos des paramètres cardio-respiratoires est un phénomène relativement rapide à l'issue d'un exercice physique même épuisant. Nous allons voir que la récupération des réserves métaboliques est beaucoup plus longue et qu'elle détermine le temps de récupération, car la récupération totale de l'exercice musculaire est surtout conditionnée par la restauration des stocks énergétiques. Les stocks énergétiques représentent les sources de carburants indispensables pour produire de l'énergie au sein des cellules musculaires lors de l'exercice physique. Les carburants principalement utilisés, sont les réserves en phosphagène musculaire, les réserves en hydrates de carbone, les réserves lipidiques et les acides aminés. Ces substrats sont utilisés différemment selon la durée et l'intensité de l'exercice musculaire. Nous allons examiner la récupération en fonction de ces paramètres. A partir de ces données nous essayeront de définir les différences entre sportifs.

## **I. EXERCICE PHYSIQUE INTENSE ET DE COURTE DUREE**

Ce domaine comprend les exercices maximaux dont la durée s'échelonne entre quelques secondes et 3 minutes. Pour des exercices d'une durée inférieure à 3 minutes, réalisés à la puissance maximale, les sources d'énergie sont essentiellement représentées par l'utilisation

des réserves en ATP et en phosphocréatine (PC), et par la mise en jeu de la glycolyse anaérobie(3). Le fait que les stocks intra musculaires de ces substrats soient limités ne permet pas de maintenir cette puissance maximale au delà de 7 à 8 sec (14). Pour des efforts plus long que cette durée de 7 à 8 sec il y a une contribution du métabolisme glycolytique et il en résulte une chute du pH musculaire. La récupération à l'issue de ces efforts sera conditionnée par la resynthèse des stocks d'ATP la métabolisation de l'acide lactique et le retour du pH musculaire aux valeurs de repos (2). Pendant l'effort la diminution du stock d'ATP est partielle car la métabolisation de la phosphocreatine tend à compléter l'ATP au fur et à mesure de son utilisation. Il en résulte une récupération très rapide de l'ATP. A l'issue d'un sprint maximal de 20 sec pratiquement 80% de la phosphocreatine est resynthétisée après 2 minutes de récupération (3). Le retour à la normale du pH musculaire est beaucoup plus long. Les exercices intenses et d'une durée supérieure à 20 secondes sont responsables d'une production très importante d'acide lactique au sein de la cellule musculaire. Un exercice de 1 minute à puissance maximale produit de très forte concentration de lactate musculaire il en résulte une baisse du pH. L'élimination de l'acide lactique et le retour du pH musculaire et sanguin à des valeurs de repos se fait sur une période de 60 à 90 minutes (12). L'entraînement dans les sports de force et de vitesse augmente l'activité des systèmes enzymatiques impliqués dans la resynthèse des réserves en phosphagènes (20). Par ailleurs l'augmentation du potentiel d'oxydation musculaire résultant de tous les types d'entraînement accélère la métabolisation du lactate et la resynthèse de phosphocreatine (13). Ainsi tous les types d'entraînement facilitent la récupération des efforts supramaximaux de courte durée.

## **II. EXERCICE PHYSIQUE DE MOYENNE DUREE**

La définition des exercices physiques de moyenne durée correspond à un travail musculaire dont le niveau est centré autour de la puissance maximale aérobie. La durée est supérieure à 1 minute et inférieure à 1 heure. Ce type d'effort sollicite de façon prépondérante la métabolisation des substrats glucidiques (6). Pour les efforts relativement courts ce sera principalement la glycolyse anaérobie qui sera concernée, et on observera une mise en jeu progressivement croissante de l'oxydation de ces mêmes substrats avec la prolongation de l'exercice (5).

Dès que le travail musculaire intense dépasse 10 à 15 sec les muscles mettent en jeu la glycolyse anaérobie. Cette voie métabolique aboutit à la production d'acide lactique musculaire. La concentration sanguine de l'acide lactique s'élève rapidement et atteint des taux de 10 à 15 mmol.<sup>l</sup>. Mais la comparaison entre les taux plasmatiques et musculaires

atteints à la fin d'un exercice maximal indiquent qu'une partie du lactate reste dans le compartiment musculaire. La concentration musculaire de lactate mesuré à la fin d'un exercice intense par exemple un exercice sur bicyclette à 400 watts, épuisant le sujet en 3 min peut atteindre 25 à 30 mmol/kg .Le facteur limitant la poursuite d'un exercice maximal dans le domaine du métabolisme anaérobie lactique n'est pas l'épuisement du glycogène mais l'augmentation rapide de l'acidose musculaire qui bloque les voies métaboliques . La récupération sera conditionnée par la resynthèse des réserves glucidiques et la métabolisation du lactate (12). Les efforts plus prolongés, au delà de 15 minutes utilisent essentiellement le métabolisme aérobie ; les substrats glucidiques couvrent la majorité des dépenses, ils proviennent du glucose circulant, du glycogène musculaire et du glycogène hépatique. Pour les efforts inférieurs à 1 heure on n'atteint pas l'épuisement de ces réserves, cependant la récupération reste conditionnée par leur resynthèse.

La métabolisation du lactate pendant la récupération fait l'objet de nombreuses discussions. Sur un plan théorique la métabolisation du lactate formé pendant le travail musculaire intense est basé sur le principe du paiement de la dette d'oxygène. La totalité de l'énergie produite par le métabolisme anaérobie serait payé pendant la phase de récupération par le biais d'une augmentation de la consommation d'oxygène (17). Cette augmentation de la consommation d'oxygène serait due à principalement à l'oxydation du lactate, l'autre partie résultant du coût de la resynthèse des phosphagènes. La diminution du lactate sanguin après l'effort est proportionnelle à la métabolisation du lactate musculaire. Le retour du lactate sanguin est un phénomène relativement rapide de l'ordre de 30 à 60 minutes. Ainsi que nous l'avons déjà évoqué pour les efforts très court, l'amélioration du potentiel oxydatif sous l'effet de l'entraînement favorise la métabolisation du lactate dans le territoire musculaire (13). Le principal facteur limitant la récupération des efforts de moyenne durée est la vitesse de resynthèse du glycogène (13). Les travaux expérimentaux d'Hermanssen(11) montrent qu'après un effort maximal d'un heure on observe une réduction de 60 à 70 % du glycogène musculaire et que la récupération des valeurs de repos nécessite un délai d'une dizaine d'heures. La resynthèse du glycogène hépatique est sensiblement plus rapide (1,7). La nature et le volume des apports nutritionnels à l'arrêt de l'exercice conditionne la vitesse de resynthèse des réserves. Un travail récent réalisé sur des footballeurs effectuant une simulation de match indique que la resynthèse complète du glycogène musculaire nécessite 24 heures et surtout que cette vitesse de resynthèse peut être accélérée par l'augmentation de l'apport glucidique dans la ration quotidienne (23) et dans la phase de récupération. Un autre point peut être soulevé concernant les processus de récupération pour les efforts de moyenne

durée, il s'agit de la récupération active. Il a été initialement formulé que le maintien d'une activité sous maximale à l'issue d'un effort intense pouvait accélérer l'élimination du lactate et la resynthèse du glycogène. Ce procédé a fait l'objet de nombreuses discussions. Actuellement les résultats disponibles indiquent que cette méthode accélère la disparition du lactate, mais peut ralentir la resynthèse du glycogène (15).

### **III. EXERCICE PHYSIQUE DE LONGUE DUREE**

Ils correspondent aux exercices physiques de plus d'une heure. Leur limite supérieure est mal définie dans la mesure où de plus en plus de sportifs essaient de repousser les limites de l'endurance humaine. Actuellement on peut citer le cas de compétitions sur des distances de 250 km en course à pied (type 24h).

Les facteurs limitants de la performance sont l'épuisement des réserves glycogéniques qui survient entre 90 et 120 min à 75% du  $VO_2$ max. Il existe une relation entre l'épuisement du glycogène et la diminution de la capacité à produire un exercice physique de niveau élevé. Cependant, il est possible de poursuivre un exercice alors que le glycogène est épuisé, les meilleurs coureurs de très longues distances (100 km) pouvant maintenir un niveau de travail se situant entre 50 et 55 % du  $VO_2$  max pendant 7 à 8 heures. Notons que ce niveau de travail correspond au débit maximal de la lipolyse. Dans cette situation, la disponibilité en glycogène n'est pas le facteur limitant la poursuite d'un effort de très longue durée. La lipolyse et la néoglucogenèse hépatique prenant le relais.

La libération de glucose hépatique augmente progressivement au cours de l'exercice musculaire et lors d'un exercice intense, le débit peut être de 4 à 5 fois supérieur au débit de repos. 20 g de glycogène par heure sont utilisés par kilogramme de foie lors d'un exercice à 70 % du  $VO_2$  max.

Dans la mesure où la concentration moyenne de glycogène hépatique se situe à 50 g.kg<sup>-1</sup> chez l'homme, ce type d'exercice conduit à l'épuisement du glycogène hépatique en deux heures. L'utilisation de substrat néoglucogénique tel que le lactate, le glycérol ou les acides aminés fournissent le minimum de glucose nécessaire pendant l'effort.

#### **III-1 Récupération des stocks glycogéniques :**

La resynthèse des stocks glycogéniques après les efforts de longue durée dépend de deux facteurs principaux qui sont d'une part la disponibilité en substrats glucidiques d'origine alimentaire et d'autre part l'activité des systèmes de transport du glucose et des enzymes de la glycogénosynthèse. La vitesse de récupération est considérablement affectée par la variation

de ces paramètres. L'activité des voies métaboliques de synthèse est influencée par l'entraînement. Il a été largement démontré que l'entraînement augmente la vitesse et la capacité de transport des systèmes qui assurent le transport transmembranaire du glucose du secteur circulant vers l'intérieur des cellules musculaires, augmentent la sensibilité à l'insuline et l'activité des enzymes clés de la glycogénosynthèse. Il en résulte que les sujets bien entraînés ont une période de récupération des stocks de glycogène musculaire plus rapide. Cet avantage ne semble pas se reproduire pour la resynthèse du glycogène hépatique qui semble beaucoup plus dépendante des apports alimentaires en aliments glucidiques. Ces différents éléments indiquent que la vitesse de resynthèse du glycogène peut varier en fonction de chaque sujet, les résultats expérimentaux s'accordent pour une valeur moyenne de resynthèse autour de 5 à 6 mmol de glycogène par Kg de muscle et par heure, ce qui représente après épuisement de réserves une resynthèse de 4% des stocks initiaux par heure de récupération. Après un effort de longue durée il faut donc un minimum de 24 heures pour récupérer les stocks de glycogène de départ, cette durée peut aller jusqu'à 48 heures.

### **III-2 Rôle des substrats lipidiques :**

La capacité de mobilisation et d'utilisation des acides gras libres circulants AGL est nécessaire lors de l'exercice physique de longue durée. L'augmentation de leur libération en début d'exercice permet une épargne des réserves de glucose et de glycogène musculaire et hépatique. Lorsque l'exercice se prolonge, ils remplacent les substrats glucidiques dans le métabolisme musculaire. Ainsi le pourcentage de l'énergie fournie par l'oxydation des lipides augmente en fonction de la durée de l'effort. Il a été calculé que 30 % des réserves lipidiques musculaires étaient épuisées après une course de 30 km et plus de 50 % après une distance de 100 km, cependant ces durées entament à peine les réserves adipocytaires. Les sources de lipides permettant de fournir les AGL sont les triglycérides circulants et surtout les réserves adipocytaires. Dans la mesure où les réserves lipidiques adipocytaires de l'adulte sain sont importantes et représentent un stock moyen de 140.000 Kcal aucun type d'exercice musculaire ne peut les diminuer sérieusement. Ceci indique que la reconstitution des lipides mobilisés pendant l'effort n'est pas un facteur limitant la récupération. Cependant il a été émis l'hypothèse qu'une mobilisation précoce des substrats lipidiques pendant l'exercice musculaire peut épargner le glycogène musculaire et ainsi raccourcir le délai de récupération. Ce phénomène se produit chez les sportifs entraînés en endurance.

### **III-3 Effets de l'exercice musculaire sur le métabolisme des protéines et des acides aminés :**

Il a été démontré que l'exercice prolongé induit une négativation de la balance azotée (18). La négativation de la balance azotée résulte de l'action de 3 facteurs :

- l'oxydation des acides aminés :

La transamination qui produit de l'alanine est à la base du cycle alanine-glucose (22). Cette voie métabolique permet de maintenir l'homéostasie glucidique aux dépens du catabolisme protéidique. Une autre transamination, celle du glutamate en glutamine, se produit pendant l'exercice physique musculaire. Il en résulte une production de glutamine par le muscle. La contribution des aminoacides oxydés dans le métabolisme énergétique de l'exercice physique prolongé serait de 5 à 10 % de la production totale d'énergie.

- la dégradation protéique :

Le second facteur susceptible d'intervenir sur la balance azotée est lié à une destruction des protéines cellulaires pendant l'exercice musculaire. Les données histologiques mettent en évidence une lyse cellulaire sous l'effet d'exercice musculaire de longue durée. Ce phénomène associé à une élévation sanguine importante de constituants intracellulaires, créatine kinase (CK), myoglobine suggère l'existence d'une dégradation des protéines de structure cellulaire.

- le cycle des purines nucléotides :

Le dernier facteur que nous pouvons envisager dépend du cycle des purines nucléotides. Sous l'effet de la contraction musculaire, l'hydrolyse rapide de l'ATP augmente considérablement la production d'ADP, une partie de l'ADP sera hydrolysée en AMP. Le rôle de ce cycle des purines nucléotides semble particulièrement important lorsque la resynthèse d'ATP par les voies glycolytiques est insuffisante, ce qui se produit lors de l'épuisement des réserves glycogéniques. L'existence de ce mécanisme expliquerait l'augmentation considérable de la production d'azote lorsque le muscle est pauvre en glycogène.

#### **Récupération des paramètres du métabolisme protéique :**

La conséquence principale de la mise en jeu du métabolisme protéique lors de l'exercice musculaire est une augmentation de la production d'azote qui se traduit par une augmentation de l'ammoniogenèse. L'ammoniaque ainsi formée est toxique et représente un des acteurs de la fatigue. Les processus de récupération vont devoir éliminer cet excès d'ammoniaque. Ce processus de détoxification sera principalement hépatique par le biais de l'uréogénèse. Ces voies métaboliques participent aussi au surcroît de consommation d'oxygène de la phase de

récupération. Les processus d'élimination de l'azote pendant la phase de récupération sont facilités par l'apport d'aliments glucidiques. Il a été démontré que l'apport de glucose par voie orale augmente l'élimination de l'azote par la formation de glutamine et d'alanine.

L'autre point important de la récupération protéique est la resynthèse des protéines mobilisées pendant l'effort (18). Le niveau des synthèses protéiques suit une courbe biphasique à l'arrêt de l'exercice avec une diminution des synthèses protéiques dans l'heure qui suit l'arrêt et une augmentation au delà. Le suivi de l'évolution des marqueurs de la rhabdomyolyse des efforts très prolongés indiquent que la récupération des lésions structurales nécessite plusieurs jours jusqu'à plusieurs semaines (9). Ce point est probablement le facteur critique qui conditionne le temps de récupération des efforts très prolongés (21).

#### **III-4 Mise en jeu du métabolisme hydroélectrolytique et récupération (sudation-perte d'eau et réhydratation)**

Il se produit pendant l'exercice musculaire une perte d'eau et d'électrolytes qui résulte principalement de la contrainte thermique. Le débit sudoral est pratiquement le seul moyen pour évacuer la production de chaleur résultant du métabolisme. Le muscle squelettique fonctionne comme une machine thermique il transforme de l'énergie biochimique en travail mécanique et en chaleur. L'évaporation de 1 litre de sueur à la surface de la peau permet d'évacuer 580 Kcal. . Le débit sudoral dépend bien sûr des conditions climatiques et de l'intensité de l'exercice, mais aussi du niveau d'entraînement, et de l'acclimatation du sujet. Dans des conditions contrainte thermique importante, il atteint une valeur maximale qui varie de 1.5 à 2l/h, mais des débits beaucoup plus importants ont pu être décrits pouvant atteindre 4l/h. Ce débit sudoral est responsable d'une perte hydrique qui sera prévisible en connaissant le niveau de travail musculaire et l'ambiance thermique. L'exercice physique prolongé est donc à l'origine d'une déperdition hydrique qui est fonction entre autre, de la puissance du travail réalisé, et des conditions thermiques ambiantes, si cette perte hydrique est supérieure à 3% du poids corporel, elle entraîne une altération importante des performances. Dans la mesure où la sueur contient de nombreux électrolytes une perte de ces éléments est associée à la sudation il en résulte une diminution du stock total de certains électrolytes comme le Na ou le K, les pertes sudorales en Fer peuvent aussi être importantes. Mais dans la mesure où la sueur est moins concentrée que le plasma pour les électrolytes la perte sudorale réalise une hypovolémie avec une hyperosmolarité. Lors d'exercices de courte durée, les excrétions sudorale et urinaire modifient peu les volumes liquidiens. Par contre, le travail musculaire intense conduit à une accumulation de potassium

plasmatique et à une hémococoncentration liée à un transfert de sodium et d'eau vers les espaces interstitiels. L'augmentation de la kaliémie est un des facteurs de la fatigue musculaire, le retour à la normale de ce paramètre est étroitement corrélé avec l'évolution de l'acidose. Les exercices de plus longue durée conduisent à des pertes sudorales non négligeables dont l'intensité sera fonction des paramètres d'ambiance le niveau des pertes va dépendre de l'apport de boisson de réhydratation pendant l'effort, de telle sorte que la récupération va être conditionnée à la fois par l'apport de liquides pendant et après l'effort. Le problème majeur posé par la réhydratation pendant et après l'exercice musculaire est celui de la vitesse avec laquelle les pertes sudorales seront remplacées. La vitesse de remplacement des liquides de l'organisme dépend à la fois

- du volume des apports liquidiens,
- de la vitesse de vidange gastrique,
- et du niveau d'absorption intestinale des fluides.

la vitesse de vidange gastrique va essentiellement dépendre de l'osmolarité des boissons ingérées. 80 % des volumes d'eau ingérés sont entièrement résorbés 1 heure après l'ingestion. Un plan rigoureux de réhydratation doit être observé à l'arrêt de l'exercice afin de compléter rapidement les pertes. Dans ce cas la perte hydrique peut être compensée plus rapidement que les pertes énergétiques et sa restauration n'est pas un facteur limitant la récupération. Cependant la récupération des pertes en minéraux et électrolytes peut être plus longue, voire même incomplète dans le cas du fer. Le médecin devra être particulièrement attentif aux apports dans l'alimentation de ces éléments dans la période de récupération.

## **CONCLUSIONS ET ASPECTS PRATIQUES DE LA RECUPERATION**

La vitesse de la récupération est essentiellement dominée par la resynthèse des stocks énergétiques. La durée de cette récupération va dépendre du type d'effort. Pour des efforts de courte durée la resynthèse ces réserves est de l'ordre de l'heure. Pour des efforts de moyenne durée qui sollicitent l'utilisation du métabolisme aérobie et donc des substrats glucidiques la rapidité de la récupération sera accélérée par l'ingestion d'aliment glucidique, les sujets bien entraînés sont aussi capables d'accélérer la resynthèse des stocks de glycogène. La durée de récupération est de l'ordre de la journée . Pour des efforts très prolongés leurs effets sur les paramètres du métabolisme protéique et les conséquences sur les structures musculaires imposent une récupération prolongée. Quel que soit le niveau d'entraînement les efforts épuisant de plusieurs heures imposent une récupération de l'ordre de la semaine. La question se pose donc des épreuves sportives de longue durée par étapes, du type des épreuves

cyclistes. Dans ce type de situation on observe une augmentation progressive de la fatigue qui correspond à une récupération incomplète entre chaque étape. Les différences de capacité de récupération entre sportifs résulte du niveau d'entraînement. Les processus d'adaptation à l'entraînement augmentent l'activité de tout les systèmes impliqués dans la métabolisation et la resynthèse des réserves. Donc pour un même niveau de travail musculaire les sujets les plus entraînés récupèrent plus vite, cependant comme leurs capacité sont plus élevées ils fournissent des efforts maximaux beaucoup plus important. Ceci amène à prendre en considération un fait majeur, après une compétition ou chaque sportif produit sa performance maximale le temps de récupération sera en moyenne identique pour tous quel que soit son niveau.

### **Références bibliographiques :**

- 1-BERGSTROM J., HERMANSEN L., HULTMAN E., SALTIN B.** Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.* 1967; 71 : 140-15
- 2-BIGARD X., GUEZENNEC C.Y.** Fatigue périphérique, lactate musculaire et Ph intracellulaire . *Sciences et Sports.* 1993, 8 : 193-204
- 3-BOGDANIS GC, NEVILL ME, LAKOMY HKA BOOBIS LH** Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 sec of maximal sprint exercise in humans *Acta Physiol Scand* 1998 163 261-272).
- 4-BROOKS GA., BRAUNER KE., CASSENS RG.,** Glycogen synthesis and metabolism of lactic acid after exercise. *Am. J. Physiol.* 1973 224: 1162-1166
- 5-CERETELLI P.** Energy source for muscular exercise *Int. J. Sports Med.* 1992, 13 : S 106-110
- 6-FELIG P., WAHREN J.** Fuel homeostasis in exercise. *New Engl. J. Med.* 1981, 293 : 1978-1981
- 7-GALASSETI P., GIBBONS FK., HAMILTON., BROOKS D., CHERRINGTON AD., WASSERMAN DH.** Enhanced muscle glucose uptake facilitates nitrogen efflux from exercised muscle. *J. Appl. Physiol.* 1998 84: 1952-1959
- 8-GUEZENNEC C.Y.** Oxidation rates, complex carbohydrates and exercise. *Sports Med.* 1995, 95 : 365-372.
- 9-GUEZENNEC C.Y.** Données récentes sur l'influence de l'exercice physique sur le métabolisme protéique : implications nutritionnelles et rôle des hormones. *Sciences et Sports.* 1989, 4 : 281-291.
- 10-GUEZENNEC C.Y.** Role of lipids on endurance capacity in man. *Int. J. Sport Med.* 1992, 13 : S114-118
- 11-GREENHAFF P.L., GLEESON M., WHITING P. H., MAUGHAN R.J.** Dietary composition and acid base status : limiting factors in the performance of maximal exercise in man. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1987; 56 : 444-50.
- 12-HERMANSSEN L., VAAGE O.** Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise. *Am. J. Physiol.* 1984; 223: 422-429
- 13- JANSSON E., DUDLEY A., NORMAN B., TESCH PA.** Relationship of recovery from intense exercise to the oxidative potential of skeletal muscle. *Acta Physiol Scand.* 1990 139 147-152

**14-MARGARIA R.** Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise. Clarendon Press Oxford 1976

**15-PETERS FUTRE EM., NOAKES TD., RAINE RI., TERBLANCHE SE.** Muscle glucogen repletion during active post exercise recovery Am. J. Physiol. 1987 253: 305-311

**16-PIEHL K.** Time course for refilling of glycogen stores in human muscle fibres following exercise-induced glycogen depletion. Acta Physiol. Scand. 1974 90, 297-302.

**17-PIIPERJ., SPILLER P.** Repayment of O<sub>2</sub> debt and resynthesis of high-energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. J. Appl. Physiol. 1970 28, 657-62

**18-POORTMANS J.** Protein turnover and amino acids oxidation during and after exercise. In: Physiological chemistry of training and detraining (Marconnet, poortmans and Hermanssen eds) Kareger Basel pp 130-147 1984

**19-SÅHLIN K., HARRIRS R.C. and HULTMAN E.** Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 1979 39, 551-558.

**20-TESCH PA.** Acute and long term metabolic changes conséquent to heavy resistance exercise. In: Muscular function in exercise and training. Marconnet and Komi Eds. Medicine and sport science. Karger Basel. 1987 48-67

**21-VIRU A.** Adaptations in sport training. CRC Press. 1995 310 pp

**22-WAHREN J., FELIG P., HENDLER R., AHLBORG G.** Glucose and amino acid Metabolism during recovery after exercise. J. Appl. Physiol. 1973 34, 838-845.

**23-ZEHNDER M., RICO-SANZ J., KÜHNE G., BOUTELLIER U.** Resynthesis of muscle glycogen after soccer specific performance examined by <sup>13</sup>C magnetic resonance spectroscopy in elite players. Eur. J. Appl. Physiol. 2001 84: 443-447