

INTERETS ET LIMITES DU CONTRÔLE DU LACTATE DANS L'ENTRAÎNEMENT

Dr Jean-Claude Chatard, Laboratoire de Physiologie, GIP Exercice, Faculté de Médecine de Saint-Étienne

Résumé

Les mesures de lactates sanguins constituent un moyen très pratique de contrôle de l'entraînement et des performances réalisées en compétition.

En effet, à l'entraînement, elles permettent d'identifier les intensités de travail. Jusqu'à environ 4 mM, le travail musculaire est d'abord à dominante aérobie. Au delà de 4 mM, il devient d'abord mixte, puis lorsque l'intensité est maximale il devient à dominante anaérobie. Au cours d'un cycle de travail de plusieurs mois ou semaines, les mesures de lactatémies permettent de quantifier les adaptations métaboliques: amélioration de la capacité aérobie ou endurance par un décalage du seuil d'accumulation du lactate sanguin vers la droite: amélioration de la puissance et/ou de la capacité anaérobie par l'augmentation du lactate maximal.

Les techniques d'évaluation du métabolisme des lactates sont malheureusement très nombreuses. Il a été décrit par exemple, plus d'une douzaine de façons de déterminer le seuil d'accumulation des lactates sanguins (SALS). Ces méthodes donnent chacune des résultats différents. En pratique, pour que le suivi d'un athlète soit interprétable, il faut choisir une méthode et la conserver fidèlement. Les mesures de seuil les plus couramment utilisées sont la mesure du seuil 4 mM, le calcul de la pente d'accumulation du lactate sanguin à 45° et l'intersection des droites log-log puissance ou vitesse-lactatémie. Les protocoles associent de façon très variable le nombre et la durée des paliers de mesure.

En compétition, les mesures de L max permettent d'apprécier le caractère maximal d'une prestation physique et de compléter ainsi les sensations parfois subjectives des sportifs ou de l'entraîneur. Elles permettent aussi d'apprécier la distance pour lesquels le sujet est le plus entraîné ou le mieux prédisposé. En pathologie clinique, elles permettent de quantifier l'état de fatigue d'un sujet.

Pendant la récupération la lactatémie peut rester élevée plus d'une heure. Il a été établi une relation inverse entre le niveau de la lactatémie et les performances réalisées pendant cette récupération. Les méthodes de récupération active visent toutes à faire chuter rapidement la lactatémie. Peu d'études ont cependant clairement démontré que ces méthodes permettaient de meilleures performances après la phase de récupération.

Les mesures de lactates sanguins deviennent un moyen très courant de contrôle de l'entraînement, de la récupération et des performances réalisées en compétition. Le succès de cette méthode d'évaluation tient à sa facilité d'emploi, son faible coût et à la précision des informations qu'elle fournit. A l'entraînement, elle permet d'identifier les intensités optimales de travail et les adaptations métaboliques. En compétition, elle permet de juger le caractère maximal d'un exercice. Statistiquement, pour un nageur donné, elle permet d'évaluer la meilleure performance théorique possible.

Les rapports entre la mesure des lactates sanguins et la performance sont clairement établis. Cependant, de nombreuses incertitudes persistent notamment au niveau du métabolisme des lactates. Ces incertitudes rendent l'interprétation des résultats parfois délicate.

I - Rappels physiologiques.

Le taux de lactate sanguin mesuré pendant ou après un exercice est le résultat d'une dilution dans l'organisme. Il représente la différence entre le lactate qui a été produit par les fibres musculaires et le lactate qui a été consommé localement ou dans une autre partie de l'organisme. Dans l'état actuel des connaissances, la production de lactate serait liée à l'intensité de l'exercice soit linéairement soit exponentiellement. Elle suivrait le nombre de fibres musculaires recrutées. La consommation du lactate serait également linéaire ou exponentiellement décroissante.

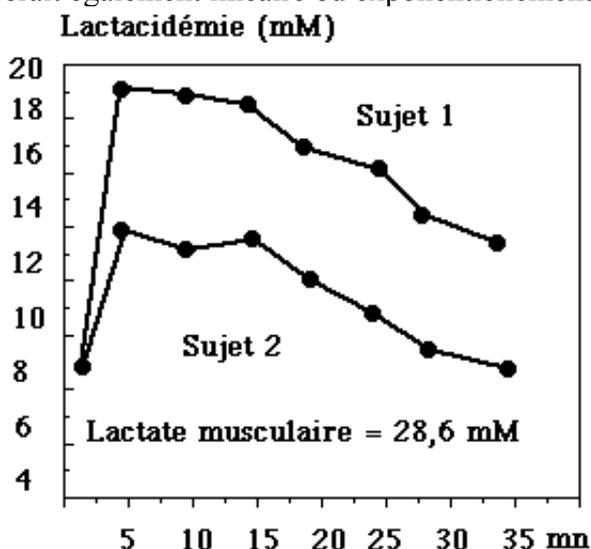


figure 1 : Evolution de la lactatémie de deux coureurs à pied ayant eu le même lactate musculaire après un exercice maximal de 30 s (épreuve de Wingate) d'après Denis et coll. données non publiées.

En effet, certains territoires vasculaires consommateurs de lactates comme le foie ou les territoires splanchniques sont moins irrigués lorsque l'intensité de l'exercice augmente limitant ainsi la disparition du lactate sanguin.

En pratique, l'équilibre entre production et consommation de lactate explique qu'il est tout à fait impossible d'interpréter à partir d'un prélèvement sanguin périphérique la réalité musculaire locale du métabolisme des lactates. La figure 1 compare deux athlètes de niveau international ayant atteint le même lactate musculaire (28 mM) après un exercice maximal d'une durée de 30s. Les

lactates sanguins mesurés en périphérie sont très différents, atteignant au maximum 20 mM pour le coureur de sprint contre 12 mM au coureur de demi-fond. Cette décroissance des lactates est directement liée à l'importance du réseau vasculaire et à $\dot{V}O_2\max$. La consommation de lactate est plus élevée chez les sportifs à haut niveau de consommation d'oxygène.

Il est malgré tout possible d'interpréter pour un même individu l'augmentation d'un lactate sanguin entre deux périodes d'entraînement. Elle correspond soit à une mise en jeu supplémentaire du métabolisme anaérobie soit à une diminution de la consommation du lactate par une baisse de $\dot{V}O_2\max$ (désentraînement absolu ou relatif comme dans la phase d'affûtage).

La valeur des lactates sanguins dépend également du temps de diffusion de la molécule lui-même lié au nombre de barrières cellulaires à franchir et à la quantité de transporteur cellulaire disponible. Au delà de 4 mM ce transporteur serait rapidement saturé expliquant en grande partie le mécanisme d'accumulation du lactate sanguin (SALS). L'application pratique concerne les prélèvements sanguins réalisés à l'entraînement et utilisés pour définir l'intensité relative de l'exercice. Ainsi, un exercice peut être essentiellement anaérobie et pour autant ne pas correspondre à une lactatémie très élevée (exemple d'un 50 m nage libre nagé à vitesse maximale en 26 s avec une lactatémie de 7 mM). En revanche lorsqu'un lactate est élevé il est toujours le signe d'une anaérobiose et d'une production élevée de lactate associée ou non à une faible consommation d'oxygène. La recherche d'un seuil d'accumulation du lactate sanguin doit donc comporter des paliers relativement longs (> à 4 mn) pour qu'ils aient une signification métabolique. Des paliers plus courts, même s'ils n'apportent pas de réels renseignements énergétiques, pourront cependant toujours être comparés entre eux.

II - Lactates sanguins et entraînement.

Il existe de nombreuses méthodes d'évaluation de l'entraînement à partir des lactates sanguins. Ces méthodes recherchent toute la valeur du seuil d'accumulation du lactate sanguin (SALS). De nombreuses études ont en effet montré que cette valeur était directement liée aux performances de longue durée. Cependant, les méthodes de détermination du SALS sont très variables d'une étude à l'autre. Il en a été décrit environ une quinzaine. Les plus utilisées sont la mesure du seuil à 4 mM, le calcul de la pente d'accumulation du lactate sanguin à 45° et l'intersection des droites log-log puissance-lactatémie ou vitesse-lactatémie. Au delà des problèmes de définition du seuil, il existe également des problèmes liés au type de protocoles utilisés, très nombreux. Ils associent de façon variable le nombre et la durée des paliers de chaque mesure. Les résultats varient d'un protocole à l'autre. Ainsi, les puissances ou vitesses du SALS sont plus lentes lorsque la durée des exercices est plus longue (Fig. 2).

Lactatémie

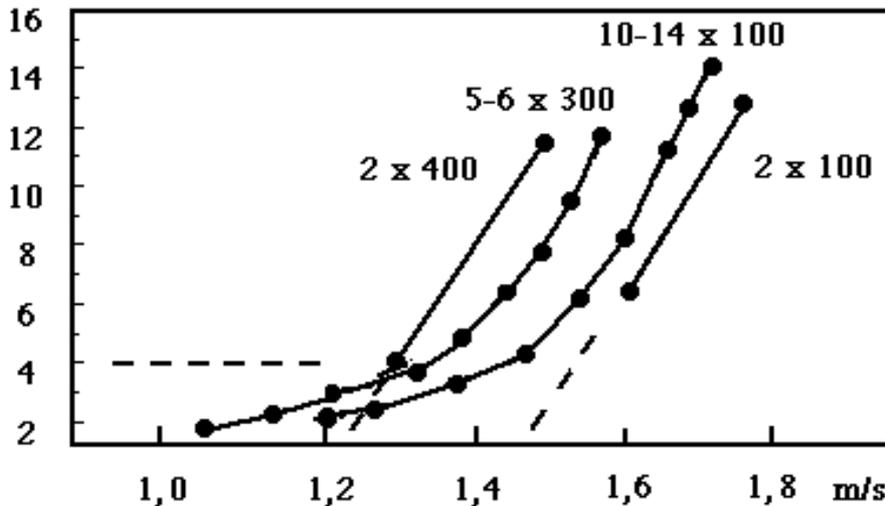


figure 2 : Mesure de la lactatémie en fonction du type de séries réalisées en natation. D'après Keskinen et coll. 1989.

Study of blood lactate tests in swimming. *Int. J. Sports Med.*, 10, 197-201.

Le repos ou au contraire la fatigue, l'alimentation riche ou pauvre en hydrate de carbone affectent également la relation puissance-lactatémie tout comme ils affectent la performance. Toutefois, lorsque la relation puissance-lactatémie est calculée à partir de la relation log-log, la puissance calculée du SALS reste la même (Fig. 3).

La comparaison des mesures effectuées tout au long d'une saison d'entraînement nécessite donc le choix d'un protocole toujours identique. La périodicité des mesures dépend de ce que l'entraîneur ou le sportif recherche. Ainsi, lorsqu'on recherche l'effet d'un cycle d'entraînement il suffit d'effectuer les mesures en début et en fin du cycle qu'il soit de plusieurs semaines ou de plusieurs mois.

Lactatémie (log)

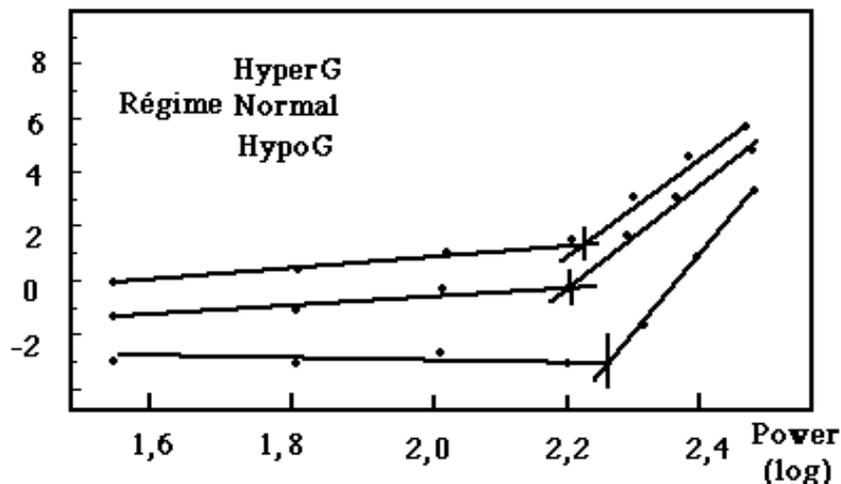


figure 3 : transformation Log-Log de la relation lactatémie puissance en fonction d'une alimentation normale (cercles), faible (carrés), ou riche (triangles) en hydrates de carbone. D'après Mc Lellen et coll. 1989. The relationship between the ventilation and lactate thresholds following normal, low, high carbohydrate diets. *Eur J Appl Physiol*, 59: 568-576.

Au contraire, en période d'affûtage, qui dure en général 3 semaines, la baisse de l'endurance aérobie peut être recherchée chaque semaine, ce qui autorise un ajustement instantané de la quantité et de la qualité de l'entraînement. Si le suivi physiologique vise uniquement à rechercher la valeur du SALS, l'épreuve n'a pas besoin d'être réalisée à vitesse maximale. Il suffit qu'elle comporte plusieurs paliers (au moins 4) suffisamment longs (3 à 4 mn) et lents (dont 3 en dessous du seuil) pour être valide. Dans le cas contraire où l'épreuve a pour but de rechercher qu'elle est la vitesse maximale et le lactate maximal du moment, le dernier palier est réalisé à vitesse maximale. La comparaison de la vitesse et du lactate maximal permet de rencontrer 4 situations selon que vitesses et lactates évoluent dans le même sens ou en sens contraire. (1) Si la vitesse est plus élevée, et que (a) le lactate est plus bas, cela signifie que l'aptitude aérobie a été améliorée, (b) le lactate est plus élevé, cela signifie (b1) que le nageur a plus forcé lors du test, (b2) ou que l'aptitude à produire du lactate a été améliorée, (b3) ou qu'une légère baisse de l'aptitude aérobie a été compensée par une augmentation de l'aptitude anaérobie. (2) Si la vitesse est moins élevée, et que (a) le lactate est plus bas. Cela signifie que l'aptitude aérobie a peut être été améliorée mais que le nageur est fatigué ou non motivé par un exercice maximal, (b) le lactate est plus élevé, cela signifie que le nageur a plus forcé mais qu'il est désentraîné et que l'aptitude aérobie a diminuée.

III - Lactates sanguins et compétition

En compétition, le problème est souvent de savoir si la prestation d'un nageur est maximale ou non. L'information est essentielle pour l'entraîneur et le nageur. La mesure de la concentration maximale de l'acide lactique sanguin (L max) après l'exercice remplit cette fonction.

Les prélèvements de lactate sanguin sont en général effectués au bout du doigt à la première et/ou à la troisième ou cinquième minute qui suivent l'exercice par micro prélèvement (20µl, ce qui correspond à une grosse goutte de sang). Les nouvelles techniques autorisent une conservation du sang à température ambiante pendant au moins 15 jours sans altération des résultats. Cette possibilité permet également l'envoi des échantillons par la poste à n'importe quel laboratoire d'analyse. La précision de la méthode est de l'ordre de 0,2 mM pour une déviation standard.

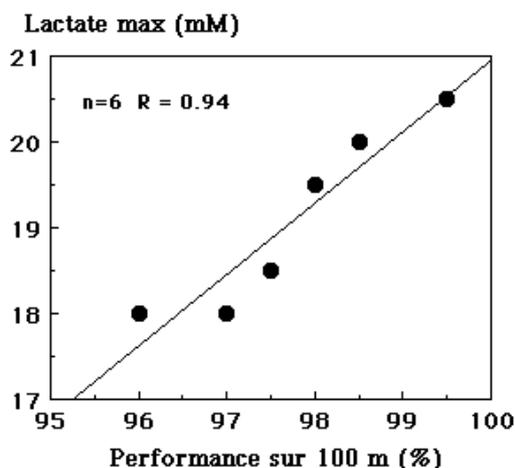


figure 4 : Relation entre la performance exprimée en pourcentage et la lactatémie maximale d'un nageur au cours de même trimestre.

L max dépend de nombreux facteurs parmi lesquels le niveau de la performance (Fig. 4). Plus la performance est élevée plus L max est élevé. De nombreuses études ont montrées que L max et performance maximale sont le plus souvent associés. Cela signifie que si un nageur réalise une performance qu'elle soit la meilleure ou non, avec un L max inférieur aux valeurs habituelles, il peut statistiquement prétendre à une performance supérieure le jour où il atteindra ou dépassera ce L max. Dans certaines études, il a été démontré qu'avec le temps cet événement à toutes les chances d'arriver. L max est également intéressant pour comparer les performances d'un même nageur dans des styles de course différents (Tableau 1).

Spécialité	Temps	L max
100 m Dos	56,98	20
100 m Papillon	56,64	13,3
100 m Nage libre	51,02	17

Tableau 1. Performances et lactatémies maximales mesurées après un 100-m chez F.Sch., en dos, papillon et nage libre au cours d'un même week-end.
Les différences permettent d'apprécier les différentes aptitudes du jour.

D'autres facteurs influencent L max. L'entraînement spécifique à la force musculaire, correspondant à des intensités élevées et un repos important, augmente le niveau de L max tout comme la durée de l'exercice. En dessous de 1 mn et au dessus de 15 mn d'exercice, L max est souvent plus faible que pour les durées intermédiaires. Entre 2 et 10 mn, L max dépend de la course pour laquelle le nageur est le plus spécialisé. Ainsi, un nageur spécialisé sur 200 m atteindra probablement son L max sur cette distance, alors qu'un nageur de 400 m atteindra son L max sur 400 m. Les L max sont également d'excellents indicateurs de la tolérance à l'entraînement.

Date	Performance	L max
Hiver 83	9 mn 03	16,3
Eté 83	8 mn 58	10,6
fév-84	9 mn 00	6,7
mar-84	8 mn 50	14,3

Tableau 2. Performances et L max mesurées après un 800-m nage libre chez C.R.
En Février 1984, la chute du L max a coïncidé avec un état de fatigue intense.

Le Tableau 2 montre que l'amélioration d'une performance ne correspond pas nécessairement à un nouveau L max. Un L max élevé n'est souvent symptomatique que d'un bon état de fraîcheur. La baisse du L max associée à une baisse de la performance signe souvent une intolérance individuelle liée à la forme de l'entraînement proposé ou au sportif lui-même, déplétion en glycogène, anémie liée au surentraînement ou à une anomalie du métabolisme du fer.

IV - Exemple pratique.

Les résultats des L max de T. Fahrner, recordman olympique du 400 m nage libre en 1984, sont présentés comme une illustration des données précédentes dans le tableau 3. Au cours de l'hiver 83-84 (tableau 3a) le L max le plus élevé a été mesuré sur 400 m (17,6 mM). La valeur la plus élevée sur 200 m est très proche (17,3 mM). Sur 400 m la meilleure performance est associée au meilleur L max, ce n'est pas le cas en revanche, sur 200 m. Les meilleurs L max ont été mesurés lors des courses où la motivation était la plus forte (sur 200 m qualification aux championnats d'Europe, sur 400 m lutte contre Salnikov le recordman du monde de 400 m).

	Bassin de 25 m		Bassin de 50 m		
	déc-83	fév-84	mar-84	jun-84	J.O.
200 m L max	1 mn 48,8 17,3	1 mn 48,4 15	1 mn 52,1 13,1	1 mn 50,5 14,8	1 mn 49,6 ?
400 m L max	3 mn 54,3 14,4	3 mn 48,4 17,6	3 mn 55,7 13,1	3 mn 52,8 14,2	3 mn 50,8 ?

Tableau 3. Résultats des L max de Thomas Fahrner, recordman Olympique du 400 m nage libre au cours de la saison 1983-84

En 1984, sur 100 m le L max de T.F. était de 12,8 mM. Ce qui est très inférieur aux L max mesurés sur 200 et 400 m. L'entraînement a pu largement modifier ces données. Ainsi, en Mars 86 un L max de 17,2 mM a pu être mesuré sur 100 yards. Avant 1984 T.F. n'avait jamais pratiqué de musculation alors qu'après 1984, il y a consacré une grande partie de son entraînement. En revanche sur 500 yards le L max n'a atteint au maximum que 14,9 mM. Cela était en accord d'une part avec son type d'entraînement qui était moins dur sur les longues distances et d'autre part avec différentes études scientifiques qui ont montré que les entraînements à haute intensité augmentent les valeurs de L max. Après avoir continué ce type d'entraînement jusqu'en été 1986, T.F. a réalisé sa meilleure performance sur 100 m, moins de 50 s, avec 20 mM de L max.

En résumé, les mesures de L max après les compétitions permettent de juger le caractère maximal d'une prestation physique et de compléter ainsi les sensations parfois subjectives des sportifs. Elles permettent aussi d'apprécier la distance et le style pour lesquels le nageur est le plus entraîné ou le mieux prédisposé. Quelques idées simples peuvent être énoncées.

Lorsqu'un lactate est élevé cela signifie:

1. Que l'intensité de l'exercice a été maximale
2. Que le nageur est apte au sprint
3. et ou que $\dot{V}O_2\max$ est faible (vérifier en le mesurant)

Lorsqu'un lactate est plus faible qu'attendu cela signifie que le nageur n'a pas forcé soit :

- parce qu'il n'a pas voulu (victoire sans opposition ou qualification assurée)
- parce qu'il n'a pas pu : affûtage ou entraînement anaérobie ou technique de nage insuffisants, fatigue musculaire.

Lorsqu'un lactate max est inférieur à 10 mM, cela peut être normal si la course est d'une durée inférieure à 40 s, cela est anormal au delà, il faut contrôler systématiquement l'état de fatigue.

Ne jamais oublier que l'erreur est humaine...tant au niveau du prélèvement que de la lecture. Il faut donc toujours chercher à recouper et vérifier les informations provenant du sportif, de l'entraîneur, du médecin.

V - Bibliographie.

1. Bishop P Martino M. (1993) Blood lactate measurement in recovery as an adjunct to training. *Sports Med* 16: 5-13.
2. Brooks G (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 17: 22-31.
3. Brooks GA (1986) The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 18: 360-368.
4. Chatard JC Paulin, M., Laccour, J.R. (1987) Intérêt de la mesure de la lactatémie après les compétitions: application au suivi du recordman olympique du 400m nage libre 1984 T. Fahrner. *Revue des Sciences et techniques des Activités Physiques et Sportives* 8: 17-21.
5. Costill DL (1992) Lactate metabolism for swimming. E & FN Spon, London, 3-11
6. Davis J (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 17: 6-18.
7. Francaux M Jacqmin P., Michotte de Welle, J., Sturbois, X. (1995) A study of lactate metabolism without tracer during passive and active postexercise recovery in humans. *Eur J Appl Physiol* 72 : 58-66.
8. Fréminet A Megas, P. (1993) Le métabolisme du lactate: données élémentaires et variations sur le thème. *Science & Sports* 8: 137-162.
9. Geysant A, Dormois D, Barthélémy JC, Lacour JR (1985) Lactate determination with the lactate analyser LA 640: a critical study. *Scand J Clin Lab Invest* 45: 145-149.
10. Hautier CA Wouassi, D., Arzac L.M., Bitanga, E., Thiriet P., Lacour, J.R. (1994) Relationships between postcompetition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races. *Eur J Appl Physiol* 68: 508-513.
11. Karlsson J Jacobs, I. (1982) Onset of blood lactate accumulation during muscular exercise as a threshold concept. *Int J Sports Med* 3: 190-201.
12. Keskinen KL Komi, P.V., Rusko H. (1989) A comparative study of blood lactate tests in swimming. *Int J Sports Med* 10: 197-201.
13. Londeree BR (1986) The use of laboratory test results with long distance runners. *Sports Med* 3: 201-213.
14. Maassen N Busse, M.W. (1989) The relationship between acid and work load: a measure for endurance capacity or an indicator of carbohydrate deficiency ? *Eur J Appl Physiol* 58: 728-737.
15. Maglisho EW (1985) Some observation on the anaerobic threshold concept of training. *NZJ of Sports Medicine* 13: 95-104.
16. McLellan G G.C. (1989) The relationship between yhe ventilation and lactate thresholds following normal, low and high carbohydrate diets. *Eur J Appl Physiol* 58: 568-576.
17. Medbø JI, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM (1988) Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O2 deficit. *J Appl Physiol* 64: 50-60.
18. Medbø JI, Tabata I (1989) Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* 67: 1881-1886.

19. Medbø JJ, Burgers S (1990) Effect of training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* 22: 501-507.
20. Medbø JJ, Tabata I (1993) Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol* 75: 1654-1660.
21. Medbø JJ (1993) Glycogen breakdown and lactate accumulation during high-intensity cycling. *Acta Physiol Scand* 149: 85-89.
22. Sawka MN, Knowlton, R.G., Miles, D.S., Critz J.B. (1979) Post-competition blood lactate concentrations in collegiate swimmers. *Eur J Appl Physiol* 41: 93-99.