

## MODIFICATIONS METABOLIQUES ET HEMORHEOLOGIQUES AU COURS D'UN EXERCICE PHYSIQUE DE LONGUE DUREE: RELATION ENTRE LA PRODUCTION DE LACTATES ET LE TRANSPORT POTENTIEL DE L'OXYGENE.

### METABOLIC AND HEMORHEOLOGICAL MODIFICATIONS DURING PHYSICAL EXERCISE OF LONG DURATION: RELATIONSHIP BETWEEN LACTATES PRODUCTION AND POTENTIAL TRANSPORT OF OXYGEN.

Ouédraogo V<sup>1</sup>., Diaw M<sup>1</sup>., Tiendrébéogo A<sup>1</sup>., Sow A.K<sup>1</sup>., Mbengue A<sup>2</sup>, Seck.A<sup>1</sup>., Ouédraogo R.A<sup>3</sup>., Sar F. B<sup>2</sup>., Cissé F<sup>1</sup>., Ndiaye.N.M<sup>1</sup>., Samb<sup>1</sup> A., Ba.A<sup>1</sup>.

---

#### Résumé

Au cours d'une activité physique de longue durée, le métabolisme aérobie constitue la principale source d'énergie. Le métabolisme aérobie s'accompagne d'une production de lactates dont l'importance dépend de l'apport en oxygène. Récemment il a été introduit un indice du transport potentiel de l'oxygène (TPO) qui est le ratio hématocrite sur viscosité sanguine. Il traduirait l'habilité du sang à transporter l'oxygène depuis les alvéoles pulmonaires jusqu'aux cellules musculaires en activité. Le but de notre étude était de rechercher une éventuelle corrélation entre la production de lactates et le transport potentiel de l'oxygène au cours d'un exercice sous maximal de longue durée chez des sportifs.

Vingt et quatre étudiants de l'Institut National Supérieur de l'Education Populaire et du Sport (INSEPS) de Dakar, de sexe masculin, de peau noire, âgés de  $25,83 \pm 1,94$  ans, pesant  $69,34 \pm 7,45$  kg avec une taille de  $1,78 \pm 0,08$  m ont participé à la présente étude. Ils ont tous réalisé un exercice rectangulaire qui consistait à un pédalage à 60% de la puissance pic (Ppic) pendant quarante minutes. Des prélèvements sanguins ont été réalisés pour la mesure de l'hématocrite (Hct), de la viscosité sanguine ( $\eta_b$ ) et la concentration plasmatique des lactates. Le rapport Hct /  $\eta_b$  a été également calculé.

La production moyenne des lactates était de  $1,62 \pm 0,93$  mmol/l. Quant à l'analyse de l'indice du transport potentiel de l'oxygène une diminution significative de 6,59 % a été observée ( $p < 0,01$ ) entre le repos et la fin de l'épreuve physique. Nous avons également noté une tendance de corrélation négative ( $r = -0,421$  et  $p = 0,082$ ) entre le TPO et la production des lactates.

La réalisation d'un exercice physique sous maximal de 40 minutes chez les jeunes sportifs induit une augmentation de la lactatémie accompagnée d'une diminution du TPO. La production des lactates au cours des exercices physiques sous maximaux de longue durée tend à être corrélée à la diminution du TPO.

**Mots clés:** lactates, transport oxygène, exercice sous maximal, sportifs.

#### Summary

In a long-term physical activity is aerobic metabolism which is used as the main source of energy. Aerobic metabolism is associated with lactate production whose importance depends on the oxygen supply. Recently introduced the index of potential transport of oxygen, which is the ratio of hematocrit on blood viscosity result in the ability of blood to carry oxygen from the alveoli to the muscle cells in activity. The aim of our study was to investigate a possible correlation between lactate production and potential transport of oxygen during submaximal exercise of long duration in athletes.

---

<sup>1</sup> Laboratoire de Physiologie et Explorations fonctionnelles. Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontologie. Université Cheikh Anta Diop. B.P. 5005, Dakar, Sénégal.

<sup>2</sup> Service Explorations Fonctionnelles. Centre Hospitalier El Hadj Ahmadou Sakhir Ndiéguène de Thiés.

<sup>3</sup> UER de Biologie Humaine, Faculté des Sciences de la Santé (FSS), Université d'Abomey-Calavi (UAC). BP 188, cotonou, Bénin. **Correspondant** : Dr DIAW Mor, Laboratoire de Physiologie et Explorations fonctionnelles. Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontologie. Université Cheikh Anta Diop. E-mail : [romdiaw@gmail.com](mailto:romdiaw@gmail.com); Portable : 00221776724849

A total of twenty four students from the High National Institute of Popular Education and Sport (INSEPS) in Dakar, male, black, aged  $25.83 \pm 1.94$  years, weighing  $69.34 \pm 7.45$  kg with a height of  $1.78 \pm 0.08$  m participated in this study. They are all made a rectangular exercise which involved pedaling at 60% of the P<sub>pic</sub> for forty minutes during which samples for measurement of hematocrit, blood viscosity and plasma lactate were performed at different times.

The mean rate of production of lactate was  $1.62 \pm 0.93$  mmol / l. The variation of the index of potential transport of oxygen between the rest and the fortieth minute effort was 0.6096, a significant decrease of 6.59% with  $p < 0.01$ . There was a tendency to negative correlation between these two parameters with  $r = -0.421$  and  $p = 0.082$ .

Lactate production is low during submaximal exercise long term and index of potential transport of oxygen is also reduced during exercise with a tendency to a negative correlation between these two parameters.

**Keywords:** lactates, oxygen transport, submaximal exercise, athletes.

## I. Introduction

La réalisation de toute activité physique de longue durée utilise comme principale source d'énergie le métabolisme aérobie Kenefick, et al ; O'Brien et al [1; 2]. En effet, le métabolisme aérobie est entièrement dépendant d'un apport suffisant en oxygène. L'apport d'oxygène est assuré par le système cardio-respiratoire dont le système respiratoire pour l'approvisionnement de l'organisme en oxygène et le système cardio-circulatoire pour le transport de cet oxygène depuis les alvéoles pulmonaires jusqu'aux cellules musculaires en activité Mole et al ; Mcallister et al ; Gayeski et al [3 ; 4 ; 5]. Le métabolisme aérobie s'accompagne ainsi d'une production de lactate (déchet du principal substrat énergétique, le glucose) dont l'importance dépend en grande partie du type, de l'intensité et de la durée de l'effort O'Brien et al [2].

Il est clairement établi dans la littérature que l'accumulation de lactates est moindre en cas d'effort prolongé. Cette accumulation basse de lactates est liée au fait qu'au cours d'une activité prolongée, une partie des lactates produits est recirculée vers le foie, le cerveau et le myocarde connu sous le nom de l'effet shuttle (navette) Brooks et al ; Gladden et al ; Moxnes et al ; Hurley et al ; Gladden et al [6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10]. Ces lactates recirculés sont utilisés à des fins énergétiques par ces différents organes.

Récemment il a été proposé un indice de transport potentiel de l'oxygène (qui est en fait le ratio hématocrite/viscosité sanguine) qui traduirait la capacité qu'a le sang à transporter l'oxygène depuis les alvéoles pulmonaires pour le livrer aux cellules musculaires en activité Tripette et al ; Alexy et al [11 ; 12].

L'augmentation de la production de lactates a lieu en cas d'apport insuffisant en oxygène nécessaire pour les réactions de phosphorylations oxydatives au niveau des

chaines respiratoires des mitochondries. Ainsi le but de notre présente étude est de rechercher une éventuelle corrélation entre la production de lactates et l'indice de transport potentiel de l'oxygène au cours d'un exercice sous maximal chez des sportifs.

## II. Matériels et Méthodes

### 1. Sujets et protocole

L'étude s'est déroulée au mois de janvier 2009 au service du Laboratoire de Physiologie et d'Explorations Fonctionnelles de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie (FMPOS) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD). Vingt et quatre étudiants de l'Institut National Supérieur de l'Education Populaire et du Sport (INSEPS) de Dakar ont participé à la présente étude après avoir signé une fiche de consentement éclairé. Ils étaient des sportifs s'entraînant en moyenne 10 heures par semaines et tous des sujets sains (homozygote AA) avec les caractéristiques anthropométriques suivants : sexe masculin, peau noire, âgés de  $25,83 \pm 1,94$  ans, pesant  $69,34 \pm 7,45$  kg, pour une taille de  $1,78 \pm 0,08$  m ; et une  $VO_2max$  moyenne de  $31,060 \pm 5,614$  ml/kg/mn.

Pendant toute la durée du protocole, les sujets ne devaient pratiquer aucune autre activité physique et sportive. Chaque sujet a réalisé un exercice incrémental sur cycloergomètre (Monark, Ergomedic 874E, Toulouse) pour déterminer la puissance pic (Ppic) et l'aptitude physique. Une semaine après, chaque sujet a réalisé cette fois-ci un exercice rectangulaire de 40 mn à 60% de la Ppic en condition non hydratée :

#### - Exercice incrémental

Le protocole d'effort utilisé est le suivant : après une période de repos, les sujets commençaient à pédaler à 60 watts pendant 3 min. Une fois l'échauffement terminé, l'intensité est augmentée de 30 watts par minute jusqu'à ce que la Ppic soit atteinte. Puis, les sujets récupéraient pendant 3

minutes avant de pouvoir descendre du cyclo-ergomètre.

La Ppic obtenu était utilisée pour calculer la  $VO_2\text{max}$  selon la formule suivante :  $VO_2\text{max (l/mn)} = 0,012 \times P\text{pic} - 0,099$ . Le but de cet exercice était de déterminer la puissance maximale aérobie de nos sujets pour la réalisation de l'exercice rectangulaire.

#### - Exercice rectangulaire

Ce type de test consistait à un pédalage sur ergocycle à 60% de la Ppic pendant quarante (40) minutes. Des prélèvements sanguins pour l'étude des paramètres hémo-rhéologiques ont été faits après la pose d'un cathéter veineux dans une veine superficielle de l'avant bras. La pose d'un cathéter veineux permet d'éviter la répétition de ponctions veineuses lors d'un protocole d'effort qui serait trop gênante pour les personnes. Un robinet trois voies a été fixé au cathéter afin de permettre son rinçage avec une seringue contenant un mélange d'héparine et de liquide physiologique. Les prélèvements ont été effectués au repos, à l'arrêt de l'effort (40 mn) puis pendant la récupération (+ 2 heures). Un prélèvement sanguin a été également effectué 24 heures après l'arrêt de l'effort par ponction veineuse (+ 1 jour). Les tubes de sang utilisés étaient des tubes héparinés ou EDTA de 5 ml. La lactatémie plasmatique a été également mesurée au repos puis à la cinquième minute durant la récupération.

## 2. Mesure des paramètres

L'étude des paramètres hémo-rhéologiques a été réalisée au Laboratoire de Physiologie de Dakar. Une quantité de 3 ml de sang a été nécessaire pour la mesure des différents paramètres hémo-rhéologiques aux différents temps d'exercice et de récupération. Un viscosimètre cône-plan (Brookfield DVII+), utilisé avec les cônes CPE40 et CPE42, a permis de mesurer la viscosité sanguine à la vitesse de cisaillement de  $225 \text{ s}^{-1}$ .

L'hématocrite a été mesuré par la méthode de micro-centrifugation à la vitesse de 1000 g à  $25^\circ\text{C}$  pendant 5 minutes grâce à une micro-centrifugeuse (Jouan-Hema-C, Saint Herblain).

Les valeurs de viscosité sanguine déterminée à vitesse de cisaillement élevée et d'hématocrite ont été ensuite utilisées pour calculer l'indice du transport potentiel de l'oxygène (TPO) selon la formule suivante :  $\text{TPO} = \text{hématocrite} / \text{viscosité sanguine}$  Tripette et al [11].

La production de lactates a été mesurée par la différentielle de la lactatémie plasmatique de repos et celle de la cinquième minute durant la récupération.

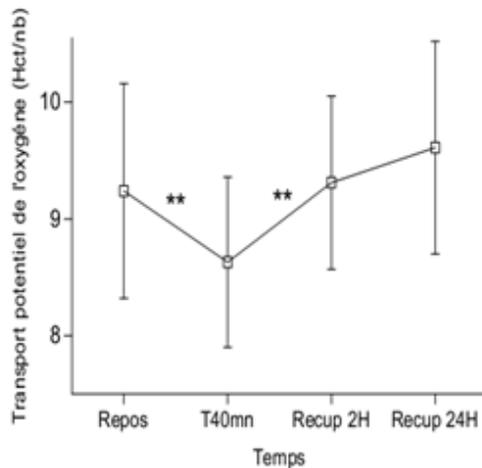
## 3. Analyse des données

Les moyennes  $\pm$  écarts types ont été calculés pour les variables quantitatives. Une analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour les mesures répétées pour comparer les moyennes aux différents temps de mesure. Des tests de corrélation ont également été réalisés. Le logiciel SPSS version 16.0 a été utilisé et le seuil de significativité a été fixé à  $p < 0,05$ .

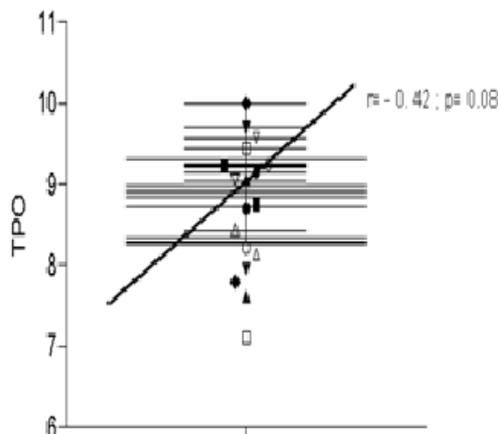
## III. Résultats

Le taux moyen de production (variation) de lactates était de  $1,62 \pm 0,93 \text{ mmol/l}$  avec des extrêmes de 0,63 et 4,67 mmol/l.

La *figure 1* montre la cinétique de l'indice du transport potentiel de l'oxygène aux différents temps de prélèvement. La variation de l'indice du transport potentiel de l'oxygène entre le repos et la fin de l'effort était de 0,6096 soit une diminution significative de 6,59 % avec  $p < 0,01$ . Egalement, au cours de la récupération nous avons objectivé une amélioration de cet indice de transport potentiel de l'oxygène.



**Figure 1:** montre la cinétique de l'indice du transport potentiel de l'oxygène aux différents temps de prélèvement. \*\* différence significative entre le repos et la quarantième minute et également entre la quarantième minute et la récupération (2h) avec  $p < 0,01$ .



**La figure 2** objective une tendance à une corrélation négative entre la production de lactates et l'indice du transport potentiel de l'oxygène avec  $r = -0,421$  et  $p = 0,082$ .

#### IV. Discussion

La réalisation d'un exercice physique sous maximal de longue durée chez des sportifs s'accompagne d'une production de lactates ainsi qu'une modification des paramètres hémorhéologiques.

Le taux moyen de production de lactates chez nos sujets (à 60% de leur  $VO_{2max}$ ) était de  $1,62 \pm 0,93$  mmol/l. Notre résultat corrobore ceux de Pilegaard et al [13] en 1995 et Juel et al en 2004 [14] avec

respectivement  $1,5$  et  $1,5 \pm 0,2$  mmol/l ; mais il était légèrement inférieur à celui de Macrae et al en 1992 [15] qui retrouvait  $2,89 \pm 0,1$  mmol/l. Cette différence pourrait s'expliquer par la différence de la durée du protocole qui était plus longue chez nos sujets (40 minutes vs 20 minutes). Ainsi, une partie des lactates produits par les muscles en activité a eu le temps d'être recirculée vers le foie, le myocarde et le cerveau où il sera utilisé pour produire de l'ATP Brooks et al ; Gladden et al ; Moxnes et al ; Hurley et al ; Gladden et al [6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10] ce qui diminuerait le taux de lactate circulant dans le plasma. Le taux de production de lactates par nos sujets était bas (car inférieur à 4 mmol/l qui correspond au seuil anaérobie) ce qui est conforme à leur état de sujets bien entraînés (plus de 10 heures d'entraînement par semaine) car l'entraînement réduit de manière significative la production de lactates. Ainsi au cours d'un exercice sous maximal de longue durée, les lactates produits sont réutilisés comme source d'énergie par les muscles en activité ce qui retarde l'apparition d'une fatigue Harmer et al [16]. D'autres auteurs comme Kinderman et al [17] et Ba et al [18] retrouvaient au cours d'un exercice maximal (sprint de 200, 400 et 1500 m) un taux de production de lactates élevé avec respectivement 20 mmol/l et  $13,63 \pm 1,29$  mmol/l. Ce taux élevé au cours d'un exercice maximal par rapport à ce qui est retrouvé au cours d'un exercice sous maximal pourrait en partie être dû à la différence du métabolisme énergétique mis en jeu : métabolisme aérobie pour l'exercice sous maximal et métabolisme anaérobie lactique pour l'exercice maximal. En effet l'utilisation du métabolisme anaérobie comme source d'énergie s'accompagnerait d'une production importante de lactates Lacour et al [19]. Egalement, au cours de l'exercice maximal la reconversion des lactates en énergie (ATP) par le foie est très minime ce qui contribue à l'augmentation de sa concentration dans le plasma Nielsen et al [20].

L'indice du transport potentiel de l'oxygène au repos était de  $9,246 \pm 0,920$ . Mais à la fin de l'épreuve d'effort on notait une baisse de 6,59%. Nos résultats corroborent ceux de Alexy et al en 2006 [12] et Nemeth et al en 2009 [21] qui ont mis en évidence une diminution linéaire du ratio hémocrite/viscosité sanguine. D'autres auteurs comme Tripette et al en 2009 [11] avaient trouvé une corrélation positive entre la vitesse de cisaillement et le ratio hémocrite/viscosité sanguine. Dans notre étude la viscosité sanguine a été mesurée à une seule vitesse de cisaillement ce qui ne nous permet pas de mettre en évidence cette corrélation. Au cours de l'effort on notait chez nos sujets à la fin de l'effort une augmentation de 1,54% de l'hémocrite contre 8,53% pour la viscosité sanguine par rapport à leurs valeurs de repos. La relation hémocrite-viscosité sanguine est complexe. En effet une augmentation de l'hémocrite inférieure à 45% s'accompagne d'une augmentation linéaire de la viscosité sanguine. Par contre au-delà de ce seuil on observe une augmentation exponentielle de la viscosité sanguine Baskurt et al [22]. C'est cette relation exponentielle qui explique la baisse de l'indice du transport potentiel de l'oxygène chez nos sujets au cours de l'effort. Cette baisse du ratio hémocrite/viscosité sanguine traduirait une gêne du transport de l'oxygène par le sang au cours d'une activité physique et ainsi une baisse de la performance.

Nous avons noté une tendance à une corrélation négative entre la production de lactates et l'indice du transport potentiel de l'oxygène avec  $r = -0,421$  et  $p = 0,082$ . Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la production de lactates, déchet du principal substrat énergétique (le glucose) est moindre en cas d'apport suffisant en oxygène. Nous n'avons pas pu retrouver cette corrélation dans la littérature compte tenu de la rareté des travaux portant sur l'indice du transport potentiel de l'oxygène. Ainsi, il s'avère nécessaire de réaliser dans

le futur d'autres études sur la cinétique de la production de lactates et de l'indice du transport potentiel de l'oxygène au cours de l'effort afin de mieux appréhender la relation entre l'indice du transport potentiel de l'oxygène et la production de lactates.

## V. Conclusion

Notre étude reconforte ce qui est décrit dans la littérature concernant l'effet shuttle ou de la navette de la lactatémie au cours d'un exercice sous maximal de longue durée. Ainsi nous avons pu mettre en évidence une production basse des lactates chez nos sujets. Cette production basse s'explique en partie par la réutilisation des lactates comme source d'énergie par les cellules musculaires en activité ce qui retarderait la survenue d'une fatigue. Quant à l'indice du transport potentiel de l'oxygène elle est basse au maximum de l'effort ce qui traduirait une pénibilité à poursuivre l'effort. Ce pendant, une amélioration de cet indice de transport potentiel de l'oxygène a été noté à la récupération qui pourrait être en rapport avec l'excès de consommation d'oxygène post exercice. Nous avons objectivé une tendance à une corrélation négative entre la production de lactates et l'indice du transport potentiel de l'oxygène au maximum de l'effort. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la production de lactates en plus de dépendre du type et de la durée d'effort dépend aussi de l'apport en oxygène aux cellules musculaires en activité. Pour bien mettre en évidence cette corrélation, d'autres études dans le futur prenant en compte la vélocité et la clairance de la production de lactates ainsi que de la cinétique de l'indice du transport potentiel de l'oxygène seront nécessaires.

## **VI. Références**

- [1] Kenefick R.W., Mattern C.O., Mahood N.V., Quinn T.J. Physiological variables at lactate threshold under-represent cycling time-trial intensity. *J Sports Med Phys Fitness* 42: 396-402, 2002.
- [2] O'Brien M.J., Viguie C.A., Mazzeo R.S., Brooks G.A. Carbohydrate dependence during marathon running. *Med Sci Sports Exerc* 25: 1009-1017, 1993.
- [3] Mole P., Chung Y., Tran T., Sailasuta N., Hurd R and Jue T. Myoglobin desaturation with exercise intensity in human gastrocnemius muscle. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 1999, 277: 173-180.
- [4] Mcallister R.M and Terjung R.L. Acute inhibition of respiratory capacity of muscle reduces peak oxygen consumption. *American Journal of Physiology.* 1990, 259, C889–896.
- [5] Gayeski T.E.J., Connett R.J and Honig C.R. Minimum intracellular PO<sub>2</sub> for maximum cytochrome turnover in red muscle in situ. *Am.J.Physiol.* 252 (Heart Circ. Physiol. 21): H906-H915, 1987.
- [6] Brooks G.A. The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sport Exerc*, 18: 360-368, 1986.
- [7] Gladden L.B. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol*, 558: 5-30, 2004.
- [8] Moxnes and Sandbakk. The kinetics of lactate production and removal during whole-body exercise. *Theoretical Biology and Medical Modelling* 2012, 9:7.
- [9] Hurley B.F., Hagberg J.M., Allen W.K., Seals D.R., Young J.C., Cuddihee R.W., Holloszy J.O. Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *J Appl Physiol.* 1984 May; 56(5):1260-4.
- [10] Gladden L.B. Is there an intracellular lactate shuttle in skeletal muscle? *J Physiol* 582:899, 2007.
- [11] Tripette J., Alexy T., Hardy-Dessources M.D., Mougenel D., Beltan E., Chalabi T., Chout R., Etienne-Julan M., Hue O., Meiselman HJ., Connes P. Red blood cell aggregation, aggregate strength and oxygen transport potential of blood are abnormal in both homozygous sickle cell anemia and sickle-hemoglobin C disease. *Haematologica.* 2009 Aug; 94(8): 1060-5.
- [12] Alexy T., Pais E., Armstrong J.K., Meiselman H.J., Johnson C.S., Fisher T.C. Rheologic behavior of sickle and normal red blood cell mixtures in sickle plasma: implications for transfusion therapy. *Transfusion.* 2006 Jun; 46 (6): 912-8.
- [13] Pilegaard H., Bangsbo J., Henningsen P., Juel C., and Richter EA. Effect of blood flow on muscle lactate release studied in perfused rat hindlimb. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 269: E1044–E1051, 1995.
- [14] Juel C., Christina K., Jens J.N., Peter K., Magni M., and Jens B. Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H release from human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 286: E245–E251, 2004.

- [15] Macrae., Holden S.H., Steven C.Dennis., Andrew N.Bosch., and Timothy D. Noakes. Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *J.Appl. Physiol.* 72(5): 649-1656,1992.
- [16] Harmer A.R., McKenna M.J., Sutton J.R., Snow R.J., Ruell P.A., Booth J., et al. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Phy-siol* 2000; 89:1793-803.
- [17] Kinderman., Keul. Lactate acidosis with different forms of sports activity. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences* 2: 177, 1977.
- [18] Ba A., Diop M., Fall A., Gati Ouonkoye R., Sar F.B., Cissé F. Déterminants de la lactatémie après course sur 200 m et 400 m plats chez des athlètes africains spécialisés dans ces deux distances. *Sci sports* (2012), doi:10.1016/j.scispo.2011.07.006.
- [19] Lacour J.R., Bouvat E., Barthelemy J.C. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61: 172-176, 1990.
- [20] Nielsen H.B., Febbraio M.A., Ott P., Krstrup P., Secher N.H. Hepatic lactate uptake versus leg lactate output during exercise in humans. *J Appl Physiol* 103: 1227-1233, 2007.
- [21] Nemeth N., Alexy T., Furka A., Baskurt O.K., Meiselman H.J., Furka I., Miko I. Inter-species differences in hematocrit to blood viscosity ratio. *Biorheology.* 2009; 46(2):155-65.
- [22] Baskurt O.K. Pathophysiological significance of blood rheology. *Turk J Med Sci* 33: 347-355, 2003.