

Influence d'une supplémentation en vitamines sur le rendement de la locomotion après une épreuve d'ultratrail

Influence of a vitamin supplementation on locomotion gross efficiency after an ultra-trail race

C. Hausswirth^a, C. Caillaud^b, R. Lepers^c, J. Brisswalter^{d,*}

^a Laboratoire de biomécanique et de physiologie, INSEP, avenue du Tremblay, 75012 Paris, France

^b Faculté des sciences du sport, université de Montpellier-I, 34000 Montpellier, France

^c Inserm ERM 207, faculté des sciences du sport, université de Bourgogne, 21000 Dijon, France

^d Laboratoire d'ergonomie sportive et de performance, université de Toulon-Var, avenue de l'Université, BP 132, 83957 La Garde cedex, France

Résumé

Objectifs. – Le but de ce travail était d'étudier l'importance de la variation du rendement de la locomotion à la suite d'une d'épreuve d'ultratrail. Le second objectif était d'étudier l'effet sur le rendement d'une stratégie de supplémentation avant l'exercice en vitamines selon des doses et une composition correspondantes aux apports nutritionnels conseillés (ANC).

Sujets et méthodes. – Vingt-deux sujets bien entraînés en endurance ont réalisé quatre tests de mesure du rendement avant, 24, 48 et 72 heures après une épreuve de type ultra- « trail » (3000 m en montée suivis de 3000 m en descente) ainsi que quatre tests de mesure de la force maximale volontaire aux mêmes périodes. Ces sujets étaient divisés selon une méthode en double insu en deux groupes expérimentaux (avec ou sans apport nutritionnel en vitamines et micronutriments, *Isoxan Endurance*®).

Résultats. – Dans les deux groupes on a observé une diminution du rendement de la locomotion 24 et 48 heures après la course (respectivement entre le prétest et 24 heures après : $20,02 \pm 0,2$ vs $19,4 \pm 0,1$ %, $p < 0,05$) et une diminution de la force maximale volontaire immédiatement après l'épreuve. Dans ce cadre, la diminution du rendement, 24 heures après la course est significativement moins importante dans le groupe avec apport nutritionnel.

Conclusion. – Les résultats de cette étude confirment la diminution du rendement à la suite d'un exercice de longue durée observée classiquement dans la littérature. Dans notre étude, l'apport en vitamines et micronutriment est associé à une moindre diminution du rendement et de la force maximale volontaire postexercice suggérant un possible effet de cet apport sur la fonction musculaire. Des travaux ultérieurs devront tester l'effet de ce type d'apport sur une moindre altération de la fonction musculaire notamment à la suite d'exercices excentriques.

Abstract

Aim. – The purpose of this study was to study changes in gross efficiency of locomotion after a prolonged trail running race (3000 m up and 300 m down). The second purpose was to investigate the effectiveness of supplementation in vitamin on gross efficiency variability.

Materials and methods. – Twenty-two well-trained endurance runners took part in this study. They had to perform four sub maximal tests before, 24, 48 and 72 hours after the race in order to estimate gross efficiency of locomotion and a maximal contraction test in the same period. They were divided in two groups either with supplementation (*Isoxan Endurance*®) or without (placebo).

Results. – In both groups we have observed a decrease in gross efficiency 24 and 48 hours after the race (respectively before and 24 hours after: 20.02 ± 0.2 vs $19.4 \pm 0.1\%$, $P < 0.05$) and a decrease in Maximal Voluntary Force. Within this framework these alterations were significantly less important in the group with supplementation.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : brisswalter@univ-tln.fr (J. Brisswalter).

Conclusion. – Results of this study confirm the classically observed decrease in efficiency during prolonged exercise. In our study supplementation in vitamin (according to the recommended daily allowances) are associated with a less important decrease in efficiency and maximal force suggesting a possible effect of supplementation on muscular function. Further works are necessary to validate this hypothesis especially after eccentric contractions.

Mots clés : Rendement ; Exercice de longue durée ; Vitamines ; Altération musculaire

Keywords: Gross efficiency; Long duration exercise; Vitamin; Muscle damage

1. Introduction

La dernière décennie a vu l'émergence et le développement chez des pratiquants de différents niveaux d'entraînement d'activités physiques d'endurance de très longue durée (supérieur à cinq heures) dans des profils de terrain et de dénivelés variés « ultra-trails ». Dans ce cadre, comme pour toute activité de longue durée la capacité de l'athlète à dépenser le moins d'énergie pour un même niveau de puissance fournie (rendement) est un facteur de la performance sportive [4,8]. La variation du rendement de la locomotion avec la durée de l'exercice a bien été décrite dans la littérature. Pour des exercices d'une durée supérieure à une heure, avec l'apparition de phénomènes de fatigue centrale et périphérique, une diminution du rendement est systématiquement décrite [e.g., 8]. Plusieurs facteurs impliqués sont cités comme responsables de cette altération tels que la variation de la mobilisation des substrats énergétiques, le stress thermique et la régulation des électrolytes de l'organisme, l'altération de la fonction musculaire, liés à la surcharge de travail notamment de type excentrique ou encore la modification du patron locomoteur.

La dépense énergétique importante (supérieure à 3000 kcal/j) lors de ce type d'épreuve s'accompagne de la nécessité pour l'athlète d'associer à sa préparation une stratégie d'apport énergétique exogène et de contrôler la composition alimentaire en macro- et micronutriments de ces apports [1]. Par ailleurs, dans les épreuves de type « trail » les variations de déclivité et de nature de terrain augmentent la part des contractions excentriques et les risques de microlésions musculaires. Dans ce cadre, il est à présent bien établi dans les épreuves d'endurance que l'augmentation de la consommation d'oxygène et des dommages musculaires se traduisent par l'apparition d'un stress oxydatif néfaste pour l'organisme notamment chez le sujet peu entraîné. Ainsi, des travaux récents se sont intéressés à l'influence de certaines vitamines sur ce stress oxydatif, les résultats semblent suggérer une influence positive de plusieurs vitamines (E et C) sur la capacité antioxydante et un possible effet de cette supplémentation sur l'altération musculaire lors du travail excentrique [12].

Dans ce cadre, le premier objectif de ce travail est d'observer l'importance de la variation du rendement de la locomotion lors de ce type particulier d'épreuve d'ultratrail. Le second objectif est d'étudier un possible effet bénéfique sur cette variation du rendement d'une stratégie de supplémentation avant l'exercice en vitamines selon des doses et une composition correspondantes aux apports nutritionnels conseillés (ANC) pour la population sportive [11].

2. Méthodes

2.1. Sujets

Vingt-deux sujets bien entraînés en endurance ont participé à ce travail (âge : $40 \pm 1,9$ ans, taille : $177 \pm 1,3$ cm, masse corporelle : $70,4 \pm 1$ kg). Au cours des deux mois précédant les tests, leur volume d'entraînement hebdomadaire comprenait en moyenne 76 km par semaine. Tous les sujets étaient habitués aux épreuves sur ergocycle en laboratoire. Ils ont rempli un consentement écrit après avoir été informés en détail des procédures de l'expérimentation et cette étude a été agréée par le comité d'éthique pour la protection des individus (Saint-Germain-en-Laye, France)

2.2. Protocole expérimental

2.2.1. Test progressif maximal

La première épreuve réalisée par tous les sujets était un test progressif maximal de détermination de la consommation maximale d'oxygène (O_{2max}) réalisé sur ergocycle un mois avant l'épreuve d'ultratrail. Après un échauffement de six minutes à 100 W, l'intensité mécanique était augmentée de 30 W par minute, jusqu'à ce que le sujet ne puisse plus maintenir la puissance imposée. Les critères d'atteinte de O_{2max} étaient les suivants : un plateau de O_2 malgré l'augmentation de la puissance, une fréquence cardiaque (FC) supérieure à 90 % de la FC_{max} théorique et un quotient respiratoire (QR) supérieur à 1,15 [5]. À partir des valeurs de débit ventilatoire (E), de consommation d'oxygène (O_2) et de production de dioxyde de carbone (CO_2) le seuil ventilatoire (SV) était déterminé selon la méthode décrite par Wasserman et al. (1973) [14]. Lors de cette première épreuve les sujets étaient également familiarisés à un test d'évaluation de la force maximale isométrique des membres inférieurs (FMIV). Lors de ce test l'angle de flexion du genou était fixé à 100 degrés. Chaque contraction maximale était maintenue deux à trois secondes.

2.2.2. Protocole de supplémentation

À la suite du premier test, les sujets ont été divisés en deux groupes d'aptitude aérobie identique et l'apport en vitamines et micronutriments (*Isoxan Endurance*®, NHS, Rungis, France) a été randomisé selon une procédure en double insu avec un groupe supplémenté (Iso) et un groupe placebo (Pla). Le traitement a débuté 21 jours avant l'épreuve et a pris fin deux jours après la fin de la course. La composition et les doses en

Isoxan Endurance® étaient conformes aux apports nutritionnels conseillés pour les sportifs.

2.2.3. Tests sous-maximaux d'évaluation du rendement de la locomotion

Le rendement de la locomotion a été évalué lors d'un exercice de pédalage de six minutes sur ergocycle réalisé à une intensité de 100 W (inférieure au seuil ventilatoire pour l'ensemble des sujets) suivi de dix minutes à l'intensité correspondante au seuil ventilatoire. Ces tests ont été réalisés au cours de quatre sessions expérimentales respectivement avant (préexercice), puis 24, 48 et 72 heures après la course (post-24, post-48, post-72). Dix minutes après chaque session, les sujets réalisaient un test de FMVI.

2.2.4. Description de la course

La course a eu lieu à La Plagne sur un parcours totalisant 3000 m de dénivelé positif suivi de 3000 m de dénivelé négatif. Les temps moyens réalisés par les sujets lors de cette course étaient de six heures 34 ± 49 minutes soit une vitesse moyenne de 8,4 km/h.

2.3. Matériel et mesures

2.3.1. Mesure des paramètres ventilatoires et gazeux

La fréquence cardiaque était enregistrée en continu pendant la course grâce à un cardiofréquence-mètre (POLAR vantage, Finlande). Pendant les épreuves sur ergocycle, la consommation d'oxygène (O₂), la fréquence cardiaque (FC) ainsi que les paramètres respiratoires (débit ventilatoire :E, fréquence respiratoire : FR) étaient enregistrés en continu par un système d'analyse télémétrique de type Cosmed K4b² (Rome, Italie) validé par Mc Laughlin et al. (2001) [9]. Pour chaque paramètre, une valeur de la moyenne et de l'écart-type étaient calculées entre la troisième et la dixième minute d'exercice.

Le rendement mécanique global du cyclisme (en pourcentage) était calculée comme le rapport entre le travail mécanique accompli par minute et l'énergie métabolique dépensée par minute [3].

2.3.2. Cadence de pédalage

Toutes les épreuves de cyclisme se déroulaient sur un ergocycle à résistance électromagnétique de type SRM (Jülich, Welldorf, Allemagne). Cet ergocycle pouvait s'ajuster précisément à leurs caractéristiques anthropométriques grâce à un réglage horizontal et vertical de la selle et du cintre. Son mode de fonctionnement permettait la production d'une puissance constante indépendamment de la cadence de pédalage naturellement adoptée par les sujets [6,7]. La cadence de pédalage (rév/min) était enregistrée en continu pendant toute la durée des épreuves.

2.4. Analyse statistique

Pour chaque variable, la valeur moyenne et l'écart-type étaient calculés. L'effet de la période de mesure et du groupe

Tableau 1
Valeurs des paramètres mesurés avant et après la course d'ultra « trail »

	Pré-	Post-24	Post-48	Post-72
Rendement en pourcentage	20,02 ± 0,2	19,4 ± 0,1*	19,63 ± 0,4*	19,9 ± 0,1
Débit ventilatoire en l. min ⁻¹	79,7 ± 9	85,6 ± 13*	89 ± 12*	82,3 ± 6*
Cadence en rpm	86 ± 10	80,7 ± 9*	84 ± 14	88 ± 8

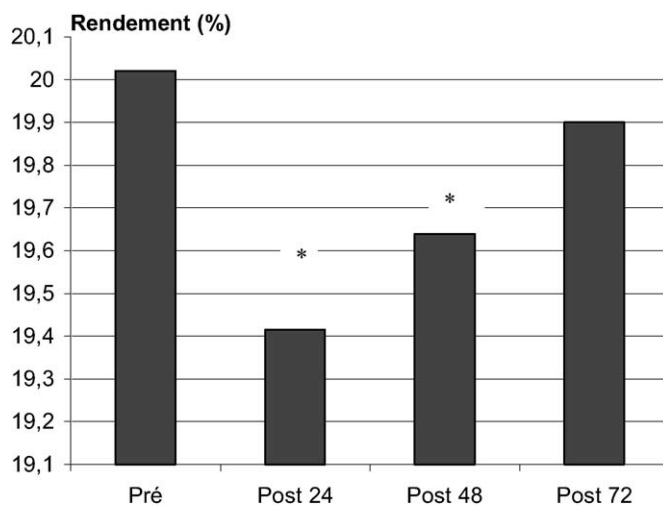
Les différences avec les valeurs de pré-course sont significatives : pour $p < 0,05$.

de supplémentation sur l'ensemble des variables mesurées était analysé par une analyse de variance (Manova) à deux facteurs. Pour cette analyse les valeurs étaient exprimées en fonction de la valeur enregistrée au préexercice. Puis les différences entre les conditions expérimentales étaient déterminées par un test posthoc de type Newman-Keuls. Le seuil de signification était fixé à $p < 0,05$.

3. Résultats

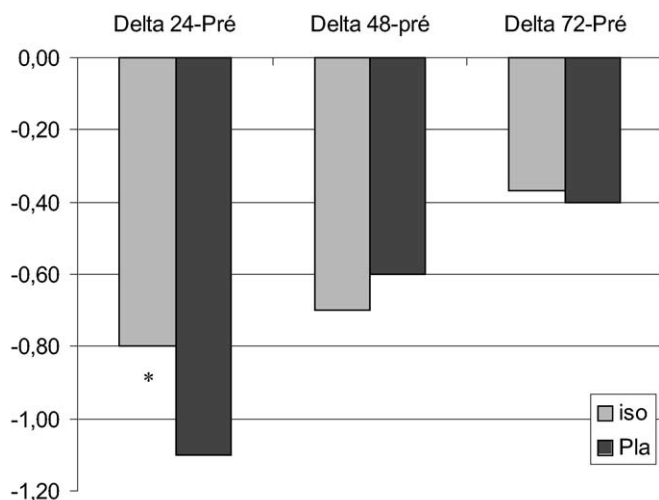
3.1. Rendement de la locomotion

Les valeurs de rendement, de ventilation et de cadence de pédalage sont présentées Tableau 1. Chez tous les sujets, on observe une diminution du rendement de la locomotion et une augmentation de la ventilation 24 et 48 heures après la course. En revanche, aucune différence significative n'est observée entre les valeurs de rendement mesurées préexercice et 72 heures après la course (Fig. 1). Enfin, une diminution significative de la cadence de pédalage est observée 24 heures après la course. Lorsque l'on compare les deux groupes expérimentaux la diminution du rendement (Delta rendement) est significativement moindre dans le groupe supplémente (Iso) comparé au groupe placebo (Pla) 24 heures après la course (Fig. 2).



Les différences avec les valeurs de pré-course sont significatives : * pour $p < 0,05$

Fig. 1. Variation du rendement de la locomotion après la course d'ultra-trail.



Delta Rendement (différence entre deux périodes de mesure en %)

Les différences entre les deux groupes sont significatives : * pour $p < .05$

Fig. 2. Comparaison de la variation du rendement (delta rendement) entre les deux groupes expérimentaux (Iso vs Pla).

3.2. Force maximale volontaire

Les valeurs de force maximale volontaires diminuent de façon significative après la course dans les deux groupes (respectivement pour Iso et Pla : $-36,5 \pm 3 \%$ et $-36,9 \pm 2 \%$). Une corrélation significative est observée entre la diminution du rendement et celle de la force maximale isométrique ($r = 0,978$, $p < 0,05$). Dans ce cadre les valeurs de FMVI du groupe Iso retournent à des valeurs de repos plus rapidement que dans le groupe Pla.

4. Discussion

Le premier résultat important de cette étude est l'altération du rendement de la locomotion observée 24 et 48 heures après une épreuve de longue durée de type ultratrail. Ces résultats correspondent à ceux classiquement observés dans la littérature depuis une dizaine d'année. [2]. Plusieurs facteurs explicatifs sont avancés pour expliquer cette variation : d'une part une modification de l'utilisation des substrats avec une métabolisation accrue de substrats lipidiques, d'autre part l'effet du stress thermique et de la déshydratation associée et enfin une altération des propriétés contractiles notamment dans le cadre d'exercices mettant en jeu une part importante de travail excentrique. Dans notre travail d'une durée moyenne de six heures 34 ± 49 minutes, la moitié de l'épreuve se déroulait en descente, nous aurions pu ainsi émettre l'hypothèse d'une altération plus importante du rendement comparée à des épreuves de durée inférieure et se déroulant en terrain plat. Paradoxalement, nous observons une altération moindre (environ 3 %) que celles observées dans la littérature (de 5-7 %), (pour revue, [8]). Plusieurs facteurs méthodologiques peuvent expliquer cette différence, en particulier le niveau d'intensité de l'exercice qui correspond ici environ à 40 % de VO_{2max} , par exemple la place du premier test de mesure du rendement situé 24 heures

après la course alors que dans les autres études il est mesuré immédiatement après. Par ailleurs, dans ce travail nous n'observons aucune variation du quotient respiratoire entre le test préexercice et celui postcourse. Dans ce cadre nous pouvons émettre l'hypothèse selon laquelle la diminution du rendement observée ici est principalement liée à un effet résiduel d'altération des propriétés contractiles du muscle qui disparaît dans notre étude 72 heures après l'épreuve. La réalisation d'un exercice physique immédiatement après une course de ce type reste difficile ou impossible à étudier dans des conditions réelles de course, aussi les travaux ultérieurs devront essayer d'analyser les effets de la modification des propriétés contractiles à la suite du travail excentrique sur le rendement immédiatement après l'exercice.

Le second résultat intéressant de ce travail est l'effet significatif et bénéfique d'une supplémentation en vitamines et micronutriments sur l'altération du rendement et sur celle de la force maximale volontaire après l'épreuve. À notre connaissance, il n'a été effectué aucune étude concernant les effets d'un apport en vitamines et micronutriments sur les aspects métaboliques de la locomotion, la majeure partie des travaux ayant étudié les effets de cet apport sur la fonction musculaire [e.g. 13]. À ce jour les résultats restent encore peu clairs. Néanmoins, il est classiquement rapporté dans la littérature une altération de la fibre musculaire lors d'exercice excentriques associée à une perte de force [e.g. 7]. La diminution de la force peut atteindre des valeurs de 50 % et le retour à des valeurs normales perdure plusieurs jours après l'exercice [10]. Plusieurs facteurs explicatifs semblent impliqués dans cette altération musculaire lors de l'exercice prolongé notamment la production de radicaux libres ou stress oxydatif liés, d'une part à une consommation d'oxygène importante, d'autre part aux micro-lésions musculaires induites par l'exercice notamment excentrique [pour revue, 1]. Dans ce cadre, il a été proposé une action bénéfique d'un apport en vitamines (notamment C et E) sur ce stress oxydatif. À ce jour, bien que les résultats expérimentaux ayant tenté de valider ces hypothèses restent encore contradictoires, et malgré les conditions de notre étude en situation réelle qui nous limitait à une approche descriptive nous pouvons émettre l'hypothèse selon laquelle chez les sujets du groupe ayant pris un apport en vitamines, la moindre altération de la fonction musculaire a permis également de minimiser la diminution du rendement de la locomotion.

5. Conclusion

Les résultats de cette étude confirment et précisent les résultats présentés dans la littérature sur la diminution du rendement à la suite d'un exercice de longue durée. Un résultat intéressant de ce travail est la relation significative entre la diminution de la force maximale volontaire observée après l'étude et celle du rendement de la locomotion. Dans le cadre de cette étude descriptive nous observons un effet d'un apport en vitamines et micronutriments sur cette relation. Des travaux ultérieurs portant sur la nature de cet effet, notamment en prenant en compte un possible effet sur le stress oxydatif sont nécessaires pour

préciser l'intérêt d'un apport en vitamines sur l'adaptation physiologique dans ce type d'épreuve.

Remerciements

Cette étude a bénéficié du support des laboratoires NHS (Rungis, France). Nous remercions également les docteurs P. Le Van, J.M. Vallier, E. Jousselein, ainsi que C. Bernard pour leur aide lors de la réalisation de ce projet.

Références

- [1] Bigard X, Guezennec Y. In: Nutrition du sportif. Paris: Masson editor; 2003. p. 109-45.
- [2] Brisswalter J, Hausswirth C. In: Énergie et performance. Paris: Armand Colin editor; 2003. p. 64-72.
- [3] Chavarren J, Calbet JAL. Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1999;80:555-63.
- [4] Di Prampero PE. Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 1981;89:143-223.
- [5] Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1292-301.
- [6] Jones SM, Passfield L. The dynamic calibration of bicycle power measuring cranks. In: Haake SJ, editor. *The engineering of sport*. Oxford: Blackwell Science; 1998. p. 265-74.
- [7] Jones DA, Newham DJ, Round JM, Tolfree SE. Experimental human muscle damage: morphological changes in relation with other indices of damage. *J Physiol* 1986;435-48.
- [8] Hausswirth C, Brisswalter J. Le coût énergétique de la course de durée prolongée : étude des paramètres d'influence. *Sci Sports* 1999;14:59-70.
- [9] McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Bassett Jr. DR, Ainsworth BE. Validation of the Cosmed K4 b2 portable metabolic system. *Int J Sports Med* 2001;22:280-4.
- [10] Mackey AL, Donnelly AE, Turpeenniemi-Hujanen T, Roper HP. Skeletal muscle collagen contents in humans following high force eccentric contractions. *J Appl Physiol* 2004;77:1439-44.
- [11] Martin A. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, Tec et Doc editor, 3^e édition, 2001.
- [12] Maxwell SRJ, Jakeman P, Thompson H, Leguen C, Thorpe GHG. Changes in plasma antioxidant status during eccentric exercise and the effect of vitamin supplementation. *Free Rad Res Comms* 1993;19:191-202.
- [13] Shafat A, Butler P, Jensen RL, Donnelly AE. Effects of dietary supplementation with vitamins C and E on muscle function during and after eccentric contractions in humans. *Eur J Appl Physiol* 2004;196-202.
- [14] Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973;35:236-43.