



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



ARTICLE ORIGINAL

Suivi des troubles métaboliques induits par un ultra trail pendant 28 jours

Metabolic impact in ultra marathon runners over a 28-day post-race period

J. Sudrial^{a,*}, B. Plaisancie^a, C. Ferdynus^b, B. Guihard^a,
L. Huiart^b, X. Combes^a

^a SAMU-urgences 974, CHU Nord Réunion, 1, allée des Topazes, 97400 Saint-Denis, Réunion, France

^b Département de soutien méthodologique, hôpital universitaire de Saint-Denis, 1, allée des topazes, 97400 Saint-Denis, Réunion, France

Reçu le 23 octobre 2018 ; accepté le 13 mai 2019

Disponible sur Internet le 12 juillet 2019

MOTS CLÉS

Sélénium ;
Zinc ;
Vitamine B12 ;
Endurance

Résumé

Objectifs. — Le but de ce travail était d'évaluer l'impact métabolique d'un ultra trail durant une période de 28 jours. L'objectif principal était la mesure des variations du taux sérique de Sélénium, les objectifs secondaires étaient l'étude des variations des taux de zinc, vitamine B12, du ionogramme sanguin et des éléments marqueurs de l'inflammation durant 28 jours.

Matériels et méthode. — Nous avons mené notre étude sur des coureurs participants à un ultra trail de 170 km et près de 10 000 mètres de dénivelé positif. Cent six coureurs ont été suivis de la veille de la course jusqu'à 28 jours après la course. Des questionnaires et des échantillons de sang ont été recueillis à l'inclusion (j0), à l'arrivée de la course (j1), à j7 et j28.

Résultats. — Les modifications des différents paramètres biologiques ont été analysés en utilisant des modèles mixtes linéaires. Le niveau de sélénium a diminué de 12,7 % ($p < 0,001$) entre j0 et j1 et cette baisse a été accentuée à j7 et j28 ($p < 0,001$). Les niveaux de zinc ont diminué de 20,8 % entre j0 et j1 ($p < 0,001$), et reviennent à la normale à j7. Les taux de vitamine B12 ne diminuent pas durant tout le suivi. Le syndrome inflammatoire est présent chez 80,9 % des coureurs. Les taux de fer sérique diminuent de 8 % ($p = 0,007$) à j1 et de 32 % à j7 ($p < 0,001$).

Conclusion. — Le taux de sélénium diminue significativement après un ultra trail et ce taux reste abaissé jusqu'à 28 jours après l'arrivée. Les autres perturbations biologiques observées sont plus transitoires.

© 2019 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : sudrialj@yahoo.fr (J. Sudrial).

KEYWORDS

Selenium;
Vitamin B12;
Trail;
Zinc;
Endurance

Summary

Objectives. – The aim of this work was to assess the biologic impact of an ultra marathon race during a 28 days period. The main objective was the measurement in serum Selenium levels changes, secondary objectives were the study of in zinc, vitamin B12, blood ionogram, and marker elements of inflammation changes for 28 days.

Materials and metho. – We conducted our study in runners of a 170 km ultra marathon race with nearly 10,000 meters of elevation gain. One hundred six runners were followed from the day before the race until 28 days after the race. Questionnaires and blood samples were collected at inclusion (D0), after crossing the finish line (D1), then on D7 and D28.

Results. – The modifications of the different biological parameters were analyzed using linear mixed models. Selenium levels dropped by 12.7 % ($P < 0.001$) between D0 and D1 and dropped even further on D7 and D28 ($P < 0.001$). Serum iron levels dropped by 8 % ($P = 0.007$) on D1 and dropped by 32 % on D7 ($P < 0.001$). Zinc levels dropped by 20.8 % between D0 and D1 ($P < 0.001$), but returned to normal baseline on D7. Vitamin B12 levels did not decrease throughout the follow-up. An inflammatory syndrome was observed in 80,9 % of the runners.

Conclusion. – The selenium level decreased significantly after this ultra trail and remained low even 28 days after crossing the finish line. Other observed biological disturbances are more transient.

© 2019 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

L'ultra-marathon (UMR), ou ultra-trail, est une discipline en plein essor. Plus de 300 000 coureurs ont été inscrits à une course d'ultra trail en 2016 (International Trail Running Association 2016). Le « Grand Raid de la Réunion » (GRR) est l'une de ces courses d'ultra trail. Le GRR est une course de 170 km de long avec 10 000 mètres de dénivelé positifs, réalisée entre 24 à 67 heures. En 2013, seuls 52 % des coureurs ont pu terminer la course.

L'UMR conduit à un syndrome inflammatoire avec production d'interleukine-6 [1] associée à une augmentation de la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) [2]. La synthèse de ces facteurs pro-oxydants est directement liée à la consommation d'oxygène lors des exercices aérobies [3]. Un des mécanismes de protection vis-à-vis de l'agression oxydante dépend de la glutathion peroxydase qui est une enzyme dont la synthèse dépend des concentrations sanguines de sélénium [4]. La carence en sélénium est bien connue dans les syndromes septiques graves [4–7]. Des taux plasmatiques très faibles de sélénium ont en effet été rapportés chez des patients septiques qui sont atteints d'un syndrome inflammatoire majeur biologique [7]. Le syndrome inflammatoire biologique est également observé chez les coureurs de longue distance [1]. Par analogie au syndrome inflammatoire observé dans les états septiques graves, une carence en sélénium pourrait accompagner l'état inflammatoire qui est souvent observé chez les coureurs de très longue distance.

Notre hypothèse de travail principale était que les coureurs d'ultra-marathon pouvaient présenter des carences significatives en vitamines et oligoélément, notamment en sélénium, et que ces carences pouvaient se prolonger après la course.

Notre objectif était donc de mesurer l'évolution de paramètres biologiques chez ces coureurs sur une période de 28 jours après le GRR. Le suivi des taux de sélénium a été défini comme l'objectif principal de l'étude. Le suivi des autres marqueurs, zinc, vitamine B12, créatine phosphokinase (CPK), fer sérique, ferritine, hémogramme et les différents ions, était l'objectif secondaire.

2. Méthode

2.1. Schéma de l'étude

Nous avons mené une étude de cohorte prospective sur des coureurs vivant à La Réunion et ayant participé à l'ultra trail GRR. Les participants ont été inclus la veille du GRR et suivis pendant les 28 jours suivants la course.

2.2. Participants

Les participants éligibles étaient des coureurs adultes vivant sur l'île La Réunion qui se sont inscrits au GRR. Pour s'inscrire à la course, les participants devaient fournir un certificat médical. L'annonce de la réalisation d'une étude a été publiée dans les médias locaux et sur le site Web du GRR huit mois avant la course. Tous les coureurs inscrits vivant à La Réunion ont reçu une lettre d'information les invitant à participer à l'étude sur la base du volontariat. Une sélection aléatoire a été faite parmi les coureurs qui se sont portés volontaires pour participer afin d'obtenir le nombre nécessaire de participants. Les coureurs sélectionnés ont été inclus la veille du GRR au moment du retrait des dossards. Une information complète leur a été fournie et un consentement éclairé a été signé par tous les participants.

2.3. Collecte de données

Des échantillons de sang ont été prélevés et des questionnaires ont été remplis à l'inclusion (valeur de base, j0), j1 (à l'arrivée du GRR), j7 et j28 (7 et 28 jours après le début de la course). Des échantillons de sang ont été prélevés sur le site de départ (j0) et sur le site d'arrivée (j1), stockés à 20 °Celsius, puis analysés au laboratoire du centre hospitalier de référence. Les participants ont été invités à se rendre au centre hospitalier à j7 et j28, où le personnel médical était présent pour recueillir des données et des échantillons de sang.

Nous avons utilisé des questionnaires pour recueillir des informations sur les caractéristiques sociodémographiques de base, les antécédents médicaux, les habitudes d'entraînement et l'utilisation de compléments alimentaires. Nous avons enregistré si les participants avaient terminé le GRR, ainsi que le temps de course des participants.

À chaque étape, nous avons mesuré les concentrations sanguines de sélénium, de zinc, de vitamine B12, de créatine phosphokinase (CPK), de fer, de ferritine sérique, de sodium, de potassium, de chlore, de créatinine et un hémogramme. Tous les échantillons de sang ont été analysés de manière centralisée dans le laboratoire de l'hôpital universitaire de La Réunion.

2.4. Analyses statistiques

Nous avons estimé le nombre de sujets nécessaires a priori en se basant sur l'hypothèse d'une diminution du taux de sélénium sanguin de 8 % entre l'inclusion et j28. Le nombre de sujets nécessaires a été fixé à 90 patients afin de garantir une puissance statistique de 80 %. Ce nombre a été majoré de 30 % pour tenir compte d'éventuels perdus de vue au cours du suivi. Une imputation des données manquantes a été réalisée selon la méthode décrite par Little et Rubin [8]. Les variables quantitatives ont été décrites en termes de moyenne et d'écart type ou de médiane et d'intervalle interquartile. Les variables qualitatives ont été décrites en termes de fréquences et de pourcentages.

Les comparaisons bivariées de variables quantitatives ont été réalisées à l'aide des tests de Student ou de Mann-Whitney selon les conditions d'applications. Les comparaisons bivariées de variables qualitatives ont été réalisées à l'aide du test du Chi² ou du test exact de Fisher en fonction des conditions d'applications. L'évolution des paramètres biologiques a été évaluée à l'aide de modèles linéaires mixtes ajustés sur le temps et le sexe. Toutes les hypothèses ont été testées de façon bilatérale, au seuil alpha de 5 %. Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant SAS 9.4 (SAS Institute, Cary Inc.).

2.5. Déclaration éthique

Tous les participants ont fourni un consentement éclairé écrit pour participer à l'étude. L'étude a été approuvée par un comité d'éthique français connu sous le nom de « Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest Outre-Mer III » (Num : 2014-A00661-46) et a été enregistré dans Clinical Trials (NCT02275429).

3. Résultats

Les participants éligibles se composaient de 1368 coureurs adultes vivant à La Réunion et inscrits au GRR. Parmi ceux-ci, 172 ont contacté l'équipe de recherche pour participer à l'étude. Nous avons sélectionné au hasard un échantillon de 115 sujets de ce groupe. Sur les individus sélectionnés, 2 n'ont pas participé au GRR, 6 ont participé à la course mais n'ont pas assisté à la session de recrutement et 1 a été enregistré sous 2 numéros différents. L'échantillon final comprenait 106 participants.

Les caractéristiques des coureurs sont présentées dans le [Tableau 1](#). À noter que seuls 14,1 % des coureurs ont pris des compléments protéiques avant, pendant ou après la course et aucun n'avait de supplémentation en fer ou en sélénium.

Le [Tableau 2](#) illustre l'évolution des concentrations sanguines de sélénium au cours de la période d'étude de 28 jours. Entre le taux de base (j0) et j1, on note une diminution significative des taux de sélénium. De j1 à j7, les niveaux de sélénium continuent à diminuer et à j28, les concentrations sanguines de sélénium sont encore significativement plus basses qu'à j0 ([Fig. 1 et 2](#)).

L'évolution des autres paramètres biologiques est présentée dans le [Tableau 2](#). Les niveaux de CPK atteignent leur maximum à j1, et diminuent rapidement par la suite. À j7 et j28, ils ne sont pas significativement différents de la ligne de base (j0). Les concentrations sanguines de zinc diminuent à j1 et reviennent à la normale dès j7 ([Fig. 1 et 2](#)). Les taux sanguins de vitamine B12 ne sont pas significativement différents de la valeur initiale à j1. Les taux de vitamine B12 augmentent après j1 et atteignent un pic à j7. Les taux de ferritine suivent l'évolution des CPK entre j0 et j1 et diminuent ensuite sans différence significative entre j7 et j28 par rapport à j0. Le fer sérique diminue à j1 et continue de diminuer à j7. Ce taux remonte à j28 tout en restant inférieur au taux de base (j0).

4. Discussion

Nos résultats montrent que les coureurs de l'UMR présentent une diminution significative des taux sélénium dès la fin de la course. Cette carence se majore durant le mois après la course. Notre étude est la première à décrire ce type d'impact de l'exercice de longue durée sur le métabolisme du sélénium.

4.1. Sélénium

Le sélénium a été choisi car c'est un élément clé dans la synthèse des antioxydants. Le sélénium diminue lors des syndromes inflammatoires, il est par ailleurs éliminé par les pertes sudorales. Lors d'un UMR les pertes cutanées sont de 1 à 1,9 litre par heure [9] et le syndrome inflammatoire est constant [1]. Il n'est donc pas surprenant de voir ce taux abaissé après les courses. En revanche, la persistance de cette carence en sélénium un mois après la course sans syndrome inflammatoire associé n'était pas connue ni attendue. Dans les syndromes inflammatoires majeurs, tels que ceux observés chez les patients atteints de sepsis sévères ou de brûlures graves, la supplémentation en sélénium semble améliorer le pronostic [4–6]. Notre étude ne répond pas à cette question mais nos résultats pourraient servir de base à la conception d'études interventionnelles visant à évaluer l'impact d'une supplémentation en sélénium sur la performance des coureurs d'ultra trail.

4.2. Zinc

Le zinc est un autre oligo-élément essentiel aux mécanismes d'oxydoréduction. C'est un cofacteur clé de la superoxyde dismutase, une enzyme antioxydante [10] et une carence importante en zinc peut conduire à des pathologies graves [11,12]. De même, Khaled et al. avaient montré que l'hypozincémie pouvait diminuer les capacités aérobie et augmentait la production d'acide lactique, d'où son importance dans la physiologie du sportif de part son effet ergogénique [13]. Certaines études ont montré que les taux plasmatiques de zinc diminuent au cours d'exercices répétés ou prolongés [10,14]. Nos résultats confirment ces données, l'UMR entraînant une déplétion importante de

Tableau 1 Caractéristiques, habitudes de courses et paramètres biologiques à j0 des 106 coureurs du Grand Raid de la Réunion 2014.

	Tous (n = 106)	Hommes (n = 86)	Femmes (n = 20)
<i>Caractéristiques des coureurs</i>			
Sex-ratio, n (%)			
Hommes	86 (81,1 %)		
Femmes	20 (18,9 %)		
Âge, moy (SD)	43,6 (9,6)	44,3 (9,7)	40,4 (8,8)
Poids en kg, moy (SD)	68,7 (9,5)	71,3 (8,3)	57,7 (5,6)
Taille en mètres, moy (SD)	1,7 (0,08)	1,8 (0,08)	1,6 (0,05)
IMC, moy (SD)	22,7 (2,2)	23,0 (2,2)	21,4 (1,7)
<i>Habitudes de courses</i>			
Entraînement en club	45 (43,3 %)	30 (35,3 %)	15 (78,9 %)
Entraînement spécifique			
Fractionné	81 (77,1 %)	63 (74,1 %)	18 (90,0 %)
Renforcement musculaire	79 (75,2 %)	61 (71,8 %)	18 (90,0 %)
Entraînement d'endurance	100 (94,3 %)	80 (93,0 %)	20 (100 %)
Nombre d'entraînement, n (%)			
≤ 5 par semaine	87 (82,1 %)	70 (81,4 %)	17 (85,0 %)
> 5 par semaine	19 (17,9 %)	16 (18,6 %)	3 (15,0 %)
Expérience en trail, n (%)			
≤ 3 ans	33 (31,1 %)	26 (30,2 %)	7 (35,0 %)
> 3 ans	73 (68,9 %)	60 (69,8 %)	13 (65,0 %)
<i>Grand Raid 2014</i>			
Temps de course, moy (SD)	31,8 (17,2)	31,8 (17,5)	31,7 (16,4)
Course finie, n (%)	38 (35,8 %)	31 (36,0 %)	7 (35,0 %)
<i>Paramètres biologiques à j0</i>			
Selenium en µg/L, moy (SD)	102,1 (11,5)	103,0 (12,0)	98,2 (8,4)
Zinc en µmol/L, moy (SD)	12,5 (1,8)	12,8 (1,8)	11,4 (1,4)
Vitamine B12 en pmol/L, moy (SD)	338,9 (126,5)	333,1 (122,7)	363,8 (142,5)
Fer en µmol/L, moy (SD)	19,0 (4,8)	19,3 (4,8)	17,9 (4,8)
Ferritine en µg/L, moy (SD)	158,3 (109,9)	181,4 (108,5)	59,0 (36,2)
Sodium en mmol/L, moy (SD)	142,6 (2,0)	142,8 (2,1)	141,8 (1,5)
Potassium en mmol/L, moy (SD)	3,5 (0,2)	3,5 (0,2)	3,6 (0,3)
CPK en UI/L, moy (SD)	160,4 (124,7)	168,7 (131,1)	124,9 (85,9)
Myoglobine en ng/mL, moy (SD)	17,5 (24,0)	20,3 (25,1)	5,6 (13,8)
Creatinine en µmol, moy (SD)	92,2 (12,3)	94,9 (11,4)	80,5 (8,2)
Leucocytes en 10 000/mm ³ , moy (SD)	7,2 (1,5)	7,2 (1,5)	7,1 (1,4)
Neutrophiles, moy (SD)	4,0 (1,2)	4,0 (1,2)	3,8 (1,0)

zinc chez les coureurs immédiatement après la course. Les pertes de zinc pendant l'exercice augmentent en raison de pertes sudorales plus importantes, estimées entre 1 L/h et 1,9 L/h pendant l'exercice, selon l'intensité de l'activité physique [9]. Selon une étude menée sur des sujets jeunes et en bonne santé [15], la concentration de zinc dans la sueur est d'environ 5,5 µmol/L. Dans une autre étude, cette concentration varie selon le site d'échantillonnage, passant de 6,4 µmol/L (thorax) à 12,7 µmol/L (abdomen) [16]. La perte de zinc par la sueur au cours d'un UMR, associée à l'utilisation du zinc pour la synthèse d'enzymes antioxydantes, pourrait expliquer la réduction marquée observée en fin de course. Néanmoins, les valeurs de zinc plasmatique reviennent à la normale 7 jours après l'arrivée.

4.3. Autres paramètres biologiques

Plusieurs éléments peuvent contribuer à l'anémie chez les athlètes après une activité physique prolongée [17,18]. L'un

de ces éléments est la carence en vitamine B12. Dans notre population étudiée, aucun cas d'anémie n'a été trouvé et les taux de vitamine B12 n'ont pas varié significativement entre j0 et j1. À l'inverse le taux en vitamine B12 étaient plus élevé à j7 et j28 qu'il ne l'était avant la course sans qu'aucune cause ne puisse l'expliquer.

L'exercice d'endurance est connu pour augmenter les pertes de fer [19]. Les mécanismes sont multiples, augmentation des pertes de fer par la sueur, mais aussi par l'urine [20,21]. Cependant, la perte de fer par la sueur diminue entre 60 et 90 minutes après l'exercice [22]. Une activité physique intense et prolongée augmente le risque de saignement gastro-intestinal et l'hémolyse rapportée lors des efforts physiques [19] majorent ces pertes en fer. Nous retrouvons les mêmes résultats dans notre travail (−18,9 % à j1) mais plus étonnamment, ce taux continue à diminuer de 20,8 % entre j1 et j7, il revient à un taux de départ à j28. Le coureur d'UMR majore donc sa déplétion en fer sérieuse jusqu'à j7 avant de rétablir un taux normal un mois après sa course.

Tableau 2 Évolution des taux de Sélénium, CPK, Zinc, vitamine B12, Ferritine sérique et fer sérique entre j0 (départ) et j28 chez 106 coureurs du Grand Raid de la Réunion 2014.

	j0	j1	j7	j28
<i>Selenium en $\mu\text{g/L}$, moy (SD)</i>	102,1 (11,5)	89,1 (12,7)	86,6 (11,8)	86,0 (10,9)
Variation en % vs j0		−12,7 %	−15,2 %	−15,8 %
(p-value)		(< 0,0001)	(< 0,0001)	(< 0,0001)
Variation en % vs j1			−2,8 %	−3,5 %
(p-value)			(0,04)	(0,04)
Variation en % vs j7				−0,70 %
(p-value)				(0,92)
<i>CPK en UI/L, moy (SD)</i>	160,4 (124,7)	10612,0 (21807,8)	352,0 (494,6)	204,8 (232,6)
Variation en % vs j0		+6515,0 %	119,5 %	27,7 %
(p-value)		(< 0,0001)	(0,89)	(0,97)
Variation en % vs j1			−96,7 %	−98,1 %
(p-value)			(< 0,0001)	(< 0,0001)
Variation en % vs j7				−41,2 %
(p-value)				(0,99)
<i>Zinc en $\mu\text{mol/L}$, moy (SD)</i>	12,5 (1,8)	9,9 (2,1)	12,8 (2,3)	13,1 (1,8)
Variation en % vs j0		−20,8 %	+2,4 %	+4,8 %
(p-value)		(< 0,0001)	(0,04)	(0,0003)
Variation en % vs j1			29,3 %	32,3 %
(p-value)			(< 0,0001)	(< 0,0001)
Variation en % vs j7				2,3 %
(p-value)				(0,49)
<i>Vitamin B12 en pmol/mL, moy (SD)</i>	338,9 (126,5)	331,9 (130,7)	366,3 (136,7)	359,6 (134,0)
Variation en % vs j0		−2,1 %	8,1 %	6,1 %
(p-value)		(0,41)	(< 0,0001)	(< 0,0001)
Variation en % vs j1			+10,4 %	+8,3 %
(p-value)			(< 0,0001)	(0,0005)
Variation en % vs j7				−1,8 %
(p-value)				(0,89)
<i>Serum ferritine en $\mu\text{g/L}$, moy (SD)</i>	158,3 (109,9)	213,8 (145,1)	171,0 (129,9)	160,7 (126,5)
Variation en % vs J0		+35,0 %	+8,0 %	+1,5 %
(p-value)		(< 0,0001)	(0,11)	(0,94)
Variation en % vs j1			−20,0 %	−24,8 %
(p-value)			(0,0007)	(< 0,0001)
Variation en % vs j7				−6,0 %
(p-value)				(0,39)
<i>Iron level in $\mu\text{mol/L}$, moy (SD)</i>	19,0 (4,8)	15,4 (9,9)	12,2 (3,8)	18,3 (5,6)
Variation en % vs j0		−18,9 %	−35,8 %	−3,7 %
(p-value)		(0,007)	(< 0,0001)	(0,72)
Variation en % vs j1			−20,8 %	+18,8 %
(p-value)			(0,04)	(0,02)
Variation en % vs j7				+50,0 %
(p-value)				(< 0,0001)

Inversement, nous avons observé une augmentation des taux sériques de ferritine, contrairement à ce que Dickson et al. avaient trouvé dans leur étude [23]. Les taux de ferritine sérique ont augmenté significativement entre j0 et j1 (+ 35 %). La présence d'un syndrome inflammatoire pendant 5 à 9 jours, que G. Millet avait déjà observé dans son étude de l'UMR du Mont Blanc, pourrait expliquer ces résultats [1]. Dans notre étude, 80,9 % des coureurs avaient un syndrome inflammatoire en fin de course et ce syndrome était toujours présent chez 16 % des coureurs à J7.

La présence d'une rhabdomyolyse, révélée par des taux très élevés de CPK, avait déjà été décrite [1]. Nos résultats

confirment ces données, car la rhabdomyolyse était significative chez tous les coureurs. Bien que cette lyse musculaire ait été décrite auparavant, aucun effet sérieux sur la fonction rénale n'a été observé chez les coureurs que nous avons étudiés. Enfin, aucune modification des ions sanguins n'a été détectée dans notre travail, que ce soit à j1, j7 ou j28. Ces résultats diffèrent de ceux de plusieurs autres études qui ont observé une hyponatrémie chez les marathoniens [24,25]. Cette différence peut s'expliquer par la différence d'hydratation entre les coureurs de l'UMR et les coureurs de marathon. En effet, la plupart des coureurs dans notre étude ont déclaré consommer des boissons isotoniques, alors que les marathoniens ont tendance à consommer de

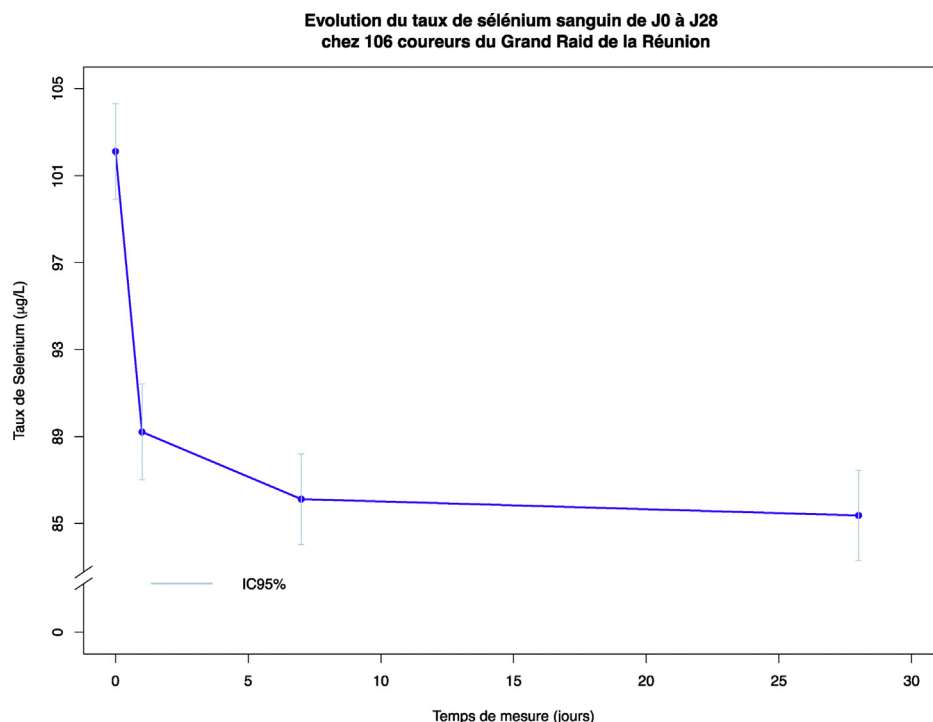


Figure 1 Évolution du taux de sélénium sanguin de j0 à j28 chez 106 coureurs du Grand Raid de la Réunion.

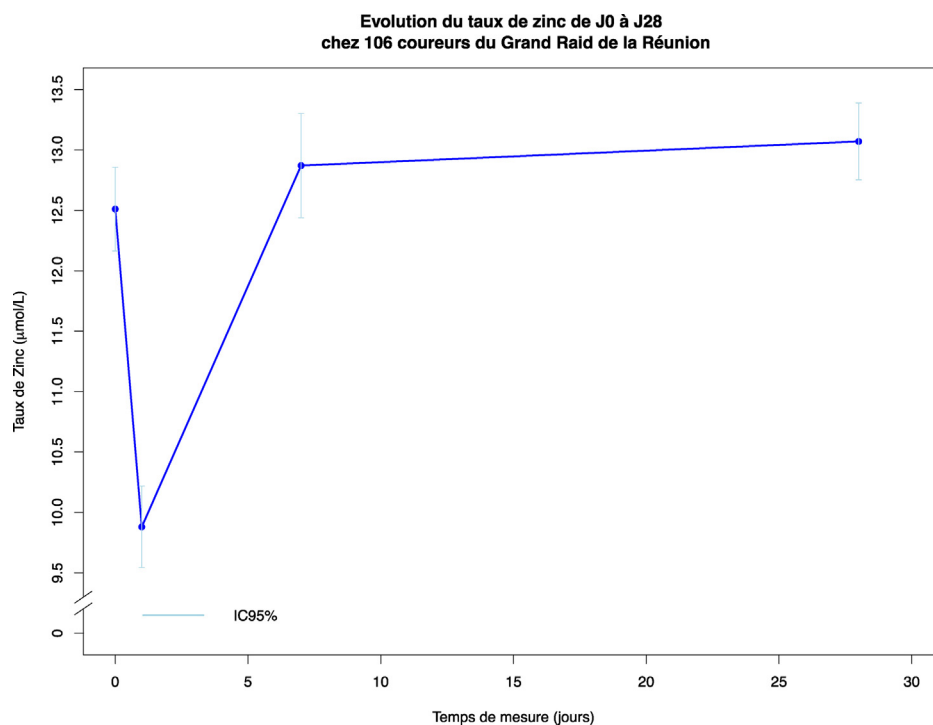


Figure 2 Évolution du taux de zinc de j0 à j28 chez 106 coureurs du Grand Raid de la Réunion.

l'eau pure, principale cause d'hyponatrémie dans ce cadre [24].

5. Conclusion

L'UMR a des impacts métaboliques chez les coureurs induits par l'inflammation et l'utilisation des mécanismes d'oxydo

réduction. Certaines carences comme le sélénium, sont encore observées jusqu'à un mois après la course. Ces observations pourraient servir de base de réflexion pour concevoir des études interventionnelles afin de déterminer si la supplémentation en sélénium notamment pourrait avoir un impact sur la performance et la récupération lors d'une course de très longue durée.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Gergelé L, Bohe J, Feasson L, Robach P, Morel J, Auboyer C, et al. Du sport extrême à la réanimation. *Reanimation* 2010;19(5):416–22.
- [2] Hurtado-Nedelec M, Dang PMC, Monteiro RC, Benna J, El, Gougerot-Pocidal MA. Physiologie des polynucléaires neutrophiles humains. *Rev Francoph des Lab* 2014;2014(462):25–38.
- [3] Petibois C, Cazorla G, Délérès G, Gin H. *Rev Med Interne* 2001;22(8):723–36.
- [4] Angstwurm MW, Engelmann L, Zimmermann T, Lehmann C, Spes CH, Abel P, et al. Selenium in Intensive Care (SIC): results of a prospective randomized, placebo-controlled, multiple-center study in patients with severe systemic inflammatory response syndrome, sepsis, and septic shock. *Crit Care Med* 2007;35(1):118–26.
- [5] Alhazzani W, Jacobi J, Sindi A, Hartog C, Reinhart K, Kokkoris S, et al. The effect of selenium therapy on mortality in patients with sepsis syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care Med* 2013;41(6):1555–64.
- [6] Berger MM, Spertini F, Shenkin A, Reymond MJ, Schindler C, Tappy L, et al. Clinical, immune and metabolic effects of trace element supplements in burns: a double-blind placebo-controlled trial. *Clin Nutr* 1996;15(2):94–6.
- [7] Forceville X, Vitoux D, Gauzit R, Combes A, Lahilaire P, Chappuis P. Selenium, systemic immune response syndrome, sepsis, and outcome in critically ill patients. *Crit Care Med* 1998;26(9):1536–44.
- [8] Little R, Rubin DB. Statistical analysis with missing data. John Wiley Sons Hoboken NJ; 2002, p.408.
- [9] Holmes N, Miller V, Bates G, Zheo. The effect of exercise intensity on sweat rate and sweat sodium loss in well trained athletes. *J Sci Med Sport* 2011;14(Suppl 1):e112.
- [10] Finaud J, Lac G, Filaire E. Oxidative stress: relationship with exercise and training. *Sport Med* 2006;36(4):327–58.
- [11] Cordova A, Alvarez-Mon M. Behaviour of zinc in physical exercise: a special reference to immunity and fatigue. *Neurosci Biobehav Rev* 1995;19(3):439–45.
- [12] Prasad AS. Zinc deficiency. *BMJ* 2003;326(7386):409–10.
- [13] Khaled S, Brun JF, Micalliel JP, Bardet L, Cassanas G, Monnier JF, et al. Serum zinc and blood rheology in sportsmen (football players). *Clin Hemorheol Microcirc* 1997;17(1):47–58.
- [14] Khaled S, Brun JF, Bardet L, Cassanas G. Importance physiologique du zinc dans l'activité physique. *Sci Sport* 1997;12:179–91.
- [15] Omokhodion FO, Howard JM. Trace elements in the sweat of acclimatized persons. *Clin Chim Acta* 1994;231(1):23–8.
- [16] Aruoma OI, Reilly T, MacLaren D, Halliwell B. Iron, copper and zinc concentrations in human sweat and plasma; the effect of exercise. *Clin Chim Acta* 1988;177(1):81–7.
- [17] Péré A, Rivière D, Harant I, Garrigues M. Sport et carence en fer. *Sci Sport* 1991;6:1–14.
- [18] Shaskey DJ, Green GA. Sports haematology. *Sports Med* 2000;29(1):27–38.
- [19] Reinke S, Taylor WR, Duda GN, Von Haehling S, Reinke P, Volk HD, et al. Absolute and functional iron deficiency in professional athletes during training and recovery. *Int J Cardiol* 2012;156(2):186–91.
- [20] Brune M, Magnusson B, Persson H, Hallberg L. Iron losses in sweat. *Am J Clin Nutr* 1986;43(3):438–43.
- [21] Paulev PE, Jordal R, Pedersen NS. Dermal excretion of iron in intensely training athletes. *Clin Chim Acta* 1983;127(1):19–27.
- [22] DeRuisseau KC, Cheuvront SN, Haymes EM, Sharp RG. Sweat iron and zinc losses during prolonged exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2002;12(4):428–37.
- [23] Dickson D, Wilkinson R, Noakes T. Effects of ultra-marathon training and racing on hematologic parameters and serum ferritin levels in well-trained athletes. *Int J Sports Med* 1982;03(02):111–7.
- [24] Almond CSD, Shin AY, Fortescue EB, Mannix RC, Wypij D, Binstadt BA, et al. Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *N Engl J Med* 2005;352(15):1550–6.
- [25] Hew TDTD, Chorley JN, Cianca JC, Divine JG. The incidence, risk factors, and clinical manifestations of hyponatremia in marathon runners. *Clin J Sport Med* 2003;13:41.