

Influence of a vitamin supplementation on maximal muscular performance during a strength training program in master athletes

J. Louis, Christophe Hausswirth, François Bieuzen, Jeanick Brisswalter

► **To cite this version:**

J. Louis, Christophe Hausswirth, François Bieuzen, Jeanick Brisswalter. Influence of a vitamin supplementation on maximal muscular performance during a strength training program in master athletes. Science & Sports, Elsevier 2010, 25 (5), pp.253-259. 10.1016/j.scispo.2010.03.005 . hal-01712722

HAL Id: hal-01712722

<https://hal-insep.archives-ouvertes.fr/hal-01712722>

Submitted on 19 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Influence d'une supplémentation en vitamines sur performance musculaire maximale au cours
d'un programme d'entraînement en force chez des athlètes masters**

**Influence of a vitamin supplementation on maximal muscular performance during a strength
training program in master athletes**

J Louis¹, C. Hausswirth², F Bieuzen², J. Brisswalter¹

¹ Laboratoire Motricité Humaine Education Santé, Université de Nice, France

² Mission Recherche, Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP), Paris,
France

Adresse pour correspondance :

- Pr. J.Brisswalter, Laboratoire Motricité Humaine Education Santé, 261, Route de Grenoble, BP 3259,
06205 - Nice Cedex 03 France.

e-mail : brisswalter@unice.fr

Article publié dans : *Science & Sports, Volume 25, Issue 5, November 2010, Pages 253-259*
(doi:10.1016/j.scispo.2010.03.005)

Résumé

Objectifs.- Le but de ce travail était d'étudier l'effet d'une stratégie de supplémentation en vitamines selon des doses et une composition correspondantes aux apports nutritionnels conseillés (ANC) pendant l'entraînement sur la variation de force maximale volontaire d'athlètes masters engagés dans un programme d'entraînement en force.

Méthodes.- Vingt athlètes masters bien entraînés en endurance ont réalisé un programme d'entraînement en force des muscles extenseurs de la cuisse d'une durée de trois semaines. Avant et après la période d'entraînement, les marqueurs sanguins de l'inflammation musculaire ont été mesurés. Avant chaque séance d'entraînement la force maximale volontaire isométrique était testée. Ces sujets étaient divisés selon une méthode en double aveugle en deux groupes expérimentaux avec (groupe Ao) ou sans (groupe Pl) apport nutritionnel en vitamines et micro-nutriments, *Isoxan Force*®.

Résultats.- A la suite de la période d'entraînement, la force maximale volontaire des muscles extenseurs de la cuisse a augmenté dans les deux groupes, (+9,7% pour le groupe Ao vs. + 6,3% pour le groupe Pl). Dans le groupe supplémentation l'amélioration est supérieure à celle du groupe placebo et la récupération entre les séances est améliorée. Enfin, en fin d'entraînement une différence significative des marqueurs sanguins des dommages et de l'inflammation musculaires est relevée entre les deux groupes.

Conclusion.- Les résultats de cette étude confirment les bénéfices liés à une courte période d'entraînement en force sur la performance maximale musculaire chez des athlètes masters. Par ailleurs, l'apport micro nutritionnel pendant l'entraînement s'accompagne de dommages musculaires moins importants suggérant un effet de potentialisation des bénéfices de l'entraînement en force avec une supplémentation en vitamines et minéraux.

Mots clés : Récupération, force maximale volontaire ; vitamines, vieillissement

Abstract

Aim.- The purpose of this study was to analyze the effectiveness of supplementation in vitamin on the maximal muscular performance in master athletes during a strength training program.

Method.- Twenty well-trained master athletes took part in a three weeks strength training program and in a same time in a micro nutritional supplementation program. Before and after the training period, blood markers of muscle damages were assessed. Before each training sessions maximal voluntary isometric strength was recorded. They were divided in two groups either with supplementation (Isoxan Force ®, Ao) or without (placebo, Pl).

Results.- After the training period, knee extensor's maximal voluntary strength significantly increased (+9,7% in Ao group vs. + 6,3% in Pl group) in both groups. However, this increase was more pronounced in Ao group than in Pl group and recovery between training sessions was improved. Moreover significant difference in blood markers of muscle damages was found between groups at the end of the training program.

Conclusion.- Results of this study confirm the benefits of a short period of strength training program on maximal muscular performance in master athletes. In all subjects, strength production capacity has significantly increased after the three weeks of training. Moreover the micro nutritional supplement is associated with a lower muscle inflammation suggesting an improvement of the beneficial effect of strength training with vitamin and mineral supplementation. .

Keywords : Recovery, maximal voluntary contraction; vitamin; ageing

1. Introduction

Dans la population sportive régulièrement entraînée, les athlètes passent une plus grande proportion de leur temps à la gestion de la récupération qu'à la réalisation des séances d'entraînement. Pourtant si beaucoup d'attention a été accordée à l'étude et l'optimisation des procédures d'entraînement en revanche paradoxalement peu de travaux se sont intéressés aux stratégies de récupération. La nature de la récupération peut être classée en trois catégories: i) la récupération immédiate après un exercice épuisant ii) la récupération à court terme entre les répétitions (par exemple, entre les charges de travail) et iii) la récupération entre les séances d'entraînement. Cette dernière est particulièrement importante car une récupération complète entre les séances est essentielle à la progression des performances et permet d'éviter les surcharges d'entraînement ou le syndrome de surentraînement. [2]

Lors d'un entraînement en force, plusieurs facteurs modifient la capacité de récupération, d'une part la fatigue aigue à la suite d'un exercice ou d'une séance s'accompagne de phénomènes périphériques et de dommages musculaires qui durent plusieurs jours et qui gênent une récupération intégrale et se traduisent par une diminution progressive de la force maximale volontaire [2, 31], d'autre part, l'hypothèse d'une fatigue centrale suggère que le cerveau agit comme un mécanisme de protection pour prévenir des dommages musculaires excessifs. Ce mécanisme pourrait alors constituer le principal facteur de modulation de la performance musculaire mesurée lors de la récupération [34].

Plusieurs stratégies d'amélioration de la récupération lors d'un entraînement en force sont évoquées dans la littérature [6, 19]. Par exemple l'utilisation de techniques de cryothérapie [13], l'usage d'anti-inflammatoires [32] ou encore de massages post séances [37]. Une hypothèse explicative des dommages musculaires relie ceux-ci à la formation d'espèces réactives de l'oxygène (stress oxydatif) qui seraient la principale cause des dommages de la cellule musculaire, plutôt que les traumatismes mécaniques. Dans ce cadre, une mauvaise alimentation, ou encore le vieillissement accentuent encore ces effets délétères et contribuent à une fatigue accrue et à une mauvaise récupération [12, 28]. Ceci a conduit de nombreux auteurs à s'intéresser au rôle potentiel

des antioxydants et plus largement à une supplémentation vitaminique sur l'état du muscle à la fin d'un exercice aigu aussi bien chez le sujet jeune [18] que chez le sujet vieillissant [14]. Dans une perspective pratique d'amélioration de la performance musculaire ces études ont montré un effet positif d'une supplémentation vitaminée sur les valeurs de force maximale enregistrées 24 à 48h après un exercice épuisant [14, 18]. Les compléments micro nutritionnels sont souvent des complexes de vitamines et de minéraux (exemples : vitamines C, E, β -carotène, zinc, sélénium, magnésium, etc...) qui sont reconnus pour avoir des effets antioxydants [16]. De plus, des données scientifiques récentes indiquent que les antioxydants exogènes apparaissent comme des systèmes capables de limiter les effets délétères du stress oxydant lors des phénomènes à court terme et donc de protéger, les matériaux biologiques vis-à-vis des réactions oxydatives liées au vieillissement et à l'exercice [15, 26]. Néanmoins à notre connaissance aucun travail n'a étudié cet effet sur la récupération entre les séances.

Par ailleurs, depuis une dizaine d'années la participation aux compétitions sportives des athlètes vieillissants appelés « masters athlètes » a augmenté de façon considérable et l'étude des ces masters athlètes a été récemment utilisé dans la littérature pour étudier les mécanismes d'adaptation physiologique lors de l'exercice et plus récemment l'influence du processus de vieillissement sur ces mécanismes [22, 35]. Dans ce cadre, la lutte contre le stress oxydatif pourrait ainsi représenter l'un des objectifs de l'optimisation de la récupération entre les séances par un renforcement des défenses anti oxydantes et ceci notamment chez le sujet vieillissant pour lequel les effets négatifs du stress oxydatif peuvent être potentialisés.

Le premier objectif de ce travail est d'étudier l'effet d'un entraînement en force des muscles extenseurs de la cuisse sur la récupération musculaire d'athlètes masters. Le second objectif est d'étudier un possible effet bénéfique d'une stratégie de supplémentation en vitamines et minéraux pendant l'entraînement sur la récupération de la performance maximale musculaire au cours des séances.

2. Méthode

2.1. Population

20 athlètes masters ont participé à cette étude (tableau 1). Tous les participants de l'étude étaient entraînés en endurance et engagés régulièrement dans des compétitions sportives de type marathon ou triathlon. Tous les participants étaient exempts d'antécédents neuromusculaires qui pourraient affecter la fonction motrice. Ils ont été entièrement informés du protocole de l'étude et ont donné leur consentement écrit avant toute expérimentation. Le protocole a reçu l'accord du comité d'éthique local pour la protection des personnes.

2.2. Protocole expérimental.

Le schéma expérimental est présenté figure 1, Chaque sujet a réalisé sur une période de deux semaines avant l'entraînement des pré-tests, puis une période d'entraînement de 3 semaines et enfin des post-tests la semaine suivant la 3^{ème} semaine d'entraînement. Une évaluation de la force maximale isométrique volontaire était réalisée avant et après la période d'entraînement et avant chaque séance d'entraînement pour observer la récupération de la performance musculaire entre les séances.

2.2.1. Protocole de supplémentation et d'entraînement

Lors de leur première visite au laboratoire, les vingt participants ont été divisés en deux groupes de force maximale isométrique similaire. L'apport en vitamines et micronutriments (*Isoxan Force*®, NHS, Rungis, France) a été randomisé selon une procédure en double aveugle constituant un groupe supplémenté (Ao) et un groupe placebo (Pl). Le traitement a débuté le jour du premier entraînement en force des sujets et s'est terminé 21 jours plus tard au cours de la dernière session de tests. La composition et les doses en *Isoxan Force*® étaient conformes aux apports nutritionnels conseillés.

Chaque sujet réalisait ensuite 9 séances d'entraînement en force (3 séances par semaine pendant 3 semaines consécutives). Chaque semaine, les 3 séances d'entraînement étaient espacées de 48h. Le protocole d'entraînement, similaire à celui proposé par Holm et al. [20], consistait en un exercice bilatéral d'extension des cuisses sur un appareil de musculation (Technogym, Gambettola,

Italie) dans une plage angulaire de travail allant de 100° à 30° (0° = jambe tendue). Au cours de chaque session d'entraînement, les sujets réalisaient 10 séries de 10 extensions (~30 s) des cuisses à 70% de leur répétition maximale (70% de 1RM). Chaque série d'exercice était suivie de 3 min de récupération passive, ramenant la durée totale de la séance d'entraînement à 31 min.

2.3. Matériel et mesures

2.3.1. Evaluation de la force maximale volontaire

Tous les sujets se sont familiarisés avec les tests d'évaluations de la force au cours de leur première visite au laboratoire. La charge maximale de travail associée à une répétition (1RM) était déterminée au cours d'un exercice d'extension de la cuisse sur le même appareil de musculation utilisé pour l'entraînement en force, selon la méthode décrite par Bishop et al. [5]. Après une période d'échauffement constituée de dix contractions sous maximales, la charge maximale de travail était déterminée en augmentant graduellement la charge jusqu'à ce que le sujet ne puisse effectuer qu'une seule extension du genou (1RM).

La force maximale volontaire isométrique (FMV) des extenseurs de la cuisse était testée sur un ergomètre isométrique de type « Biodex system 3 » (Biodex medical, Shirley, NY, Etats-Unis). Les sujets étaient assis avec le genou plié à 70° (l'angle 0° correspondait à l'extension complète de la jambe). La cheville était solidement attachée au bras de rotation de l'ergomètre. Les sujets effectuaient trois contractions maximales volontaires isométriques (5 secondes) des muscles extenseurs de la cuisse, séparées par 60 sec de récupération. La meilleure performance réalisée au cours des trois contractions déterminait la FMV (en Newton). Cette évaluation de la FMV des extenseurs de la cuisse était ensuite effectuée avant chaque séance d'entraînement en force afin de tester régulièrement les capacités de récupération musculaire des participants.

2.3.2. Evaluation des marqueurs biologiques

Au cours de la semaine précédant la période de complémentation (Pré) et d'entraînement et dans la semaine suivante (Post), des prélèvements sanguins ont été réalisés, au niveau d'une veine

dans le pli du coude de l'avant bras, à l'aide d'aiguilles épicroâniennes, dans un laboratoire habilité. Le volume de sang prélevé fut de 20 ml (3 tubes héparinés de 5 ml et un tube sec de 5 ml) à chaque session de tests. Ce volume de sang prélevé est négligeable en regard du volume sanguin total et n'altère donc pas la santé du sujet. Une fois le sang prélevé, les tubes furent mélangés par retournement, puis placés dans la glace au maximum 30 secondes avant d'être centrifugés (10 min, 3000 T/min, 4° C). Le plasma est ensuite pipeté et aliquoté dans des tubes de stockage type Ependorf par fraction de 500 µl. Puis il est congelé à -20°C puis -80°C. A partir du plasma de ces échantillons, un dosage d'un marqueur de l'inflammation musculaire (TNF α) et d'un marqueur de souffrances musculaires (CK) a été effectué.

2.4. Analyse statistique

Les données sont décrites selon la moyenne plus ou moins l'écart-type. Les effets de la période de mesure et du groupe de complémentation sur les variables mesurées ont été analysés au moyen d'une analyse de variance (ANOVA) à 2 voies (groupe X période) pour mesures répétées. Les différences significatives entre les conditions expérimentales étaient ensuite déterminées par un test post-hoc de Newman-Keuls. Le seuil de significativité était fixé $p < 0,05$.

3. Résultats

3.1. La force maximale volontaire isométrique

La figure 2 présente l'évolution de la production de force au cours des 3 semaines d'entraînement en force. A la fin des trois semaines d'entraînement, la FMV a augmenté dans les deux groupes mais avec une augmentation significativement supérieure dans le groupe Ao comparé au groupe Pl. (respectivement pour Ao vs. Pl : +9,7% vs. 6,3%). Dans les deux groupes la variation de force est similaire au cours des semaines avec une diminution significative à la fin de la première semaine et une augmentation significative observée à la fin de la 3^{ème} semaine. La figure 3 représente la récupération entre les séances pour chaque semaine (moyenne des valeurs de force : séance 2 vs. séance 1 et séance 3 vs. séance 2), La récupération inter-séance est plus rapide dans le groupe Ao. En

effet à partir de la seconde semaine la récupération inter-séance est positive pour le groupe Ao, alors qu'elle ne devient positive pour le groupe Pl qu'à la fin de la 3^{ème} semaine.

3.2. Evolution des marqueurs biologiques

Les résultats indiquent un effet combiné de l'entraînement et de la supplémentation sur les valeurs de CPK dans le plasma. Les concentrations plasmatiques de CPK diminuent pour le groupe Ao (-34%) entre les conditions pré et post entraînement, alors qu'elles augmentent pour le groupe Pl (+58,5%). Par ailleurs, la concentration de Tnf- α augmente de manière significative après l'entraînement uniquement pour le groupe Pl (figure 4)

4. Discussion

L'objectif de cette étude était d'analyser l'effet d'une complémentation micro nutritionnelle sur la récupération d'athlètes masters au cours d'un entraînement en force de trois semaines consécutives. Les résultats principaux indiquent un gain de force significatif à la suite de l'entraînement pour tous les participants de l'étude. Par ailleurs un effet significatif de la supplémentation en vitamines est observé sur l'amélioration de la force. Enfin une différence significative des marqueurs des dommages musculaires est observée entre les deux groupes à la fin de la période d'entraînement.

4.1. La capacité de production de force

Le premier objectif de ce travail était d'étudier les capacités de récupération musculaire à partir des mesures de FMV avant chaque séance d'entraînement. De manière générale, tous les participants ont augmenté leur FMV (+9,7% pour le groupe Ao vs. + 6,3% pour le group Pl) entre les conditions pré et post entraînement, avec une amélioration légèrement mais significativement supérieure dans le groupe supplémentation. (Fig. 2). De manière similaire, des augmentations de force de ont été rapportées dans la littérature à la suite des 4 premières semaines d'un entraînement en force des muscles quadriceps [7, 17, 20]. Une augmentation significative de force après seulement quelques semaines d'entraînement serait principalement associée à des adaptations nerveuses, permettant un

meilleur recrutement des unités motrices des fibres musculaires (i.e. augmentation du recrutement spatial et temporel des fibres), ainsi qu'à une meilleure coordination des différents muscles participant à la production de force [23]. Cependant, certaines études ont montré que des changements au niveau des tissus musculaires peuvent également intervenir dans les heures suivant l'entraînement, tels qu'une augmentation des synthèses protéiques, amorçant une augmentation de taille des fibres de type II [8, 24]. Dans notre étude, la capacité de production de force a d'abord baissé au cours de la première semaine d'entraînement puis la FMV a augmenté de façon graduelle du cours des deux dernières semaines d'entraînement, dans les deux groupes. L'effet positif de la supplémentation sur la récupération inter-séances et sur l'amélioration de la force en fin d'entraînement peut être comparé aux résultats de l'étude de Hausswirth et al. [18] indiquant une récupération plus rapide après un exercice épuisant lorsque les sujets sont supplémentés. Dans cette étude les auteurs avaient observé une récupération complète des capacités de force maximale 48h après un exercice épuisant dans le groupe supplémenté alors que cette récupération était moindre dans le groupe Placébo. A notre connaissance aucune étude n'a étudié les effets d'un apport en vitamines et nutriments sur la récupération à long terme lors d'un entraînement en force. Néanmoins, il est classiquement rapporté dans la littérature une altération de la fibre musculaire lors d'exercice de force avec une composante excentrique associée à une perte de force [14, 15]. La diminution de la force peut atteindre des valeurs de 50% et le retour à des valeurs normales perdure plusieurs jours après l'exercice [15]. Plusieurs facteurs explicatifs semblent impliqués dans cette altération musculaire notamment la production de radicaux libres ou stress oxydatif liés aux micro lésions musculaires induites par l'exercice notamment excentrique [4]. Dans ce cadre il a été proposé une action bénéfique d'un apport en vitamines (notamment C et E) sur ce stress oxydatif. Nous pouvons donc suggérer que la supplémentation en vitamines et minéraux améliore la récupération entre les séances et ainsi potentialise l'effet de l'entraînement en force.

4.2. Les marqueurs des dommages musculaires

Les analyses de sang réalisées avant et après la période d'entraînement et de complémentation permettent d'apprécier l'étendue des dommages et de l'inflammation musculaires engendrés par l'entraînement pour les deux groupes de participants. Nos résultats indiquent une augmentation significative des valeurs de CPK après la période d'entraînement, uniquement pour le groupe Pl alors qu'elle diminue pour le groupe Ao (Fig. 4). Les entraînements intensifs en force sont susceptibles de générer des microlésions par étirements excessifs des unités contractiles des fibres musculaires (i.e. sarcomères) provoquant un efflux de liquides du milieu intracellulaire vers le milieu extracellulaire [11]. A la suite de ces contraintes mécaniques imposées aux fibres, certains constituants des fibres musculaires telles que les enzymes musculaires (CPK) sortent des cellules pour se retrouver dans le plasma [10]. Le dosage de l'activité plasmatique de cette enzyme nous renseigne ainsi sur l'importance des dommages subis par les structures musculaires. Dans notre étude, les résultats suggèrent un effet protecteur du supplément en vitamines contre les dommages musculaires. Ce résultat est confirmé par le dosage d'une cytokine pro-inflammatoire (Tnf- α) qui montre une augmentation significative (+87%) de la réponse inflammatoire à la suite de l'entraînement pour le groupe Pl alors que la variation est moindre pour le groupe Ao (+14,3%). La libération de ces cytokines indique ainsi l'existence d'une inflammation, et va faciliter la régulation et la migration des neutrophiles et ensuite des monocytes (i.e. les défenses immunitaires) vers les zones lésées [30]. Par ailleurs, une présence massive persistante de cytokines pro-inflammatoires quelques jours après l'exercice pourrait aussi suggérer un état de surentraînement, limitant les réactions immunitaires et la libération de cytokines anti-inflammatoires [3]. Enfin, les dommages musculaires peuvent être accentués par une libération massive de radicaux libres pendant et après l'exercice. [11, 27]. Dans notre étude, nous pouvons ainsi suggérer un effet bénéfique du complexe d'anti-oxydants sur le processus inflammatoire au niveau musculaire.

5. Conclusion

A travers cette étude, nous avons tenté d'analyser la récupération inter séances au cours d'un programme d'entraînement en force réalisé par des athlètes masters pour qui l'effet de l'âge peut ralentir le processus de récupération. En parallèle, nous avons testé l'effet possible d'une stratégie de

complémentation micro nutritionnelle sur la récupération des capacités musculaires. Les résultats de cette étude indiquent un effet bénéfique de l'entraînement sur la capacité de production de force pour tous les participants. En outre, les participants complémentés ont présenté moins de dommages musculaires à l'issu de leur entraînement, suggérant ainsi un effet bénéfique du complément micro nutritionnel sur la récupération musculaire.

Remerciements Cette étude a bénéficié du support des laboratoires NHS (Rungis , France). Nous remercions également le docteur P. Le Van, pour son aide lors de la réalisation de ce projet.

Références

1. Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Med.* 2005;35(10):865-98.
2. Barnett A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Med.* 2006;36(9):781-96.
3. Bigard AX. Lésions musculaires induites par l'exercice et surentraînement. *Science et Sports.* 2001;16:204-15.
4. Bigard X, Guezennec Y. Nutrition du sportif in Masson editor, Paris, 2003 . P 109-145.
5. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT, McEniery M, Carey MF. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(6):886-91.
6. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery from training: a brief review. *J Strength Cond Res.* 2008;22:1015-24.
7. Cannon RJ, Cafarelli E. Neuromuscular adaptations to training. *J Appl Physiol.* 1987;63(6):2396-402.
8. Chesley A, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Smith K. Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1992;73(4):1383-8.
9. Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness : treatment strategies and performance factors. *Sports Med.* 2003;33(2):145-64.
10. Clarkson PM, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(5):512-20.
11. Close GL, Kayani A, Vasilaki A, McArdle A. Skeletal muscle damage with exercise and aging. *Sports Med.* 2005;35(5):413-27.
12. Davis JM, Alderson NL, Welsh RS. Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *Am J Clin Nutr.* 2000;72(2 Suppl):573S-8S.

13. Eston R, Peters D. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci.* 1999;17(3):231-8.
14. Gauche E, Hausswirth C, Bieuzen F, Lepers R, Rabita J, Brisswalter J. Vitamin and mineral complex supplementation on maximal voluntary contraction decrease and biological markers following an eccentric exercise in elderly active people. *Science et Sports.* 2007;22:201-9.
15. Gauche E, Lepers R, Rabita G, Leveque JM, Bishop D, Brisswalter J, et al. Vitamin and mineral supplementation and neuromuscular recovery after a running race. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(12):2110-7.
16. Goldfarb AH, Bloomer RJ, McKenzie MJ. Combined antioxidant treatment effects on blood oxidative stress after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(2):234-9.
17. Griffin L, Cafarelli E. Resistance training: Cortical, spinal, and motor unit adaptations. *Can J Appl Physiol.* 2005;30(3):328-40.
18. Hausswirth C, Caillaud C, Lepers R, Brisswalter J. Influence of a vitamin supplementation on locomotion gross efficiency after an ultra-trail race. *Science et Sports.* 2006;21:8-12.
19. Hausswirth C, Bieuzen F, Barbiche E, Brisswalter J. Réponses physiologiques liées à une immersion en eau froide et à une cryostimulation-cryothérapie en corps entier : effets sur la récupération après un exercice musculaire, *Science et Sports.* 2010, in press
20. Holm L, Reitelseder S, Pedersen TG, Doessing S, Petersen SG, Flyvbjerg A, Andersen JL, Aagaard P, Kjaer M. Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *J Appl Physiol.* 2008;105(5):1454-61.
21. Kraemer WJ, Bush JA, Wickham RB, Denegar CR, Gomez AL, Gotshalk LA, et al. Influence of compression therapy on symptoms following soft tissue injury from maximal eccentric exercise. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(6):282-90.
22. Louis J, Hausswirth, C, Bieuzen F, Brisswalter J Muscle strength and metabolism in master athletes.. *Int J Sports Med.* 2009; 30, 754-9
23. Macaluso A, De Vito G. Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(4):450-72.

24. MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Chesley A, Atkinson SA. Changes in muscle protein synthesis following heavy resistance exercise in humans: a pilot study. *Acta Physiol Scand.* 1992;146(3):403-4.
25. Martin V, Millet GY, Lattier G, Perrod L. Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(11):1907-15.
26. Mastaloudis A, Morrow JD, Hopkins DW, Devaraj S, Traber MG. Antioxidant supplementation prevents exercise-induced lipid peroxidation, but not inflammation, in ultramarathon runners. *Free Radic Biol Med.* 2005, 15;36(10):1329-41.
27. McGinley C, Shafat A, Donnelly AE. Does Antioxidant Vitamin Supplementation Protect against Muscle Damage? *Sports Med.* 2009;39(12):1011-32.
28. Nielsen P, Nachtigall D. Iron supplementation in athletes. Current recommendations. *Sports Med.* 1998;26(4):207-16.
29. Nieman DC, Henson DA, Smith LL, Utter AC, Vinci DM, Davis JM, et al. Cytokine changes after a marathon race. *J Appl Physiol.* 2001;91(1):109-14.
30. Reid MB, Li YP. Cytokines and oxidative signalling in skeletal muscle. *Acta Physiol Scand.* 2001;171(3):225-32.
31. Sayers SP, Clarkson PM. Force recovery after eccentric exercise in males and females. *Eur J Appl Physiol.* 2001;84(1-2):122-6.
32. Semark A, Noakes TD, St Clair Gibson A, Lambert MI. The effect of a prophylactic dose of flurbiprofen on muscle soreness and sprinting performance in trained subjects. *J Sports Sci.* 1999, 17(3):197-203.
33. Shrier I. Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clin J Sport Med.* 2004 14(5):267-73.
34. St Clair Gibson A, Lambert ML, Noakes TD. Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Med.* 2001;31(9):637-50.
35. Sultana, F., Brisswalter, J., Lepers, R., Hausswirth, C., Bernard, T. Effects of age and gender on Olympic triathlon performances, *Science et Sports*, 2008, 23: 130-5.

36. Warren GL, Lowe DA, Armstrong RB. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med.* 1999 27(1):43-59.
37. Weerapong P, Hume PA, Kolt GS. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med.* 2005;35(3):235-56.

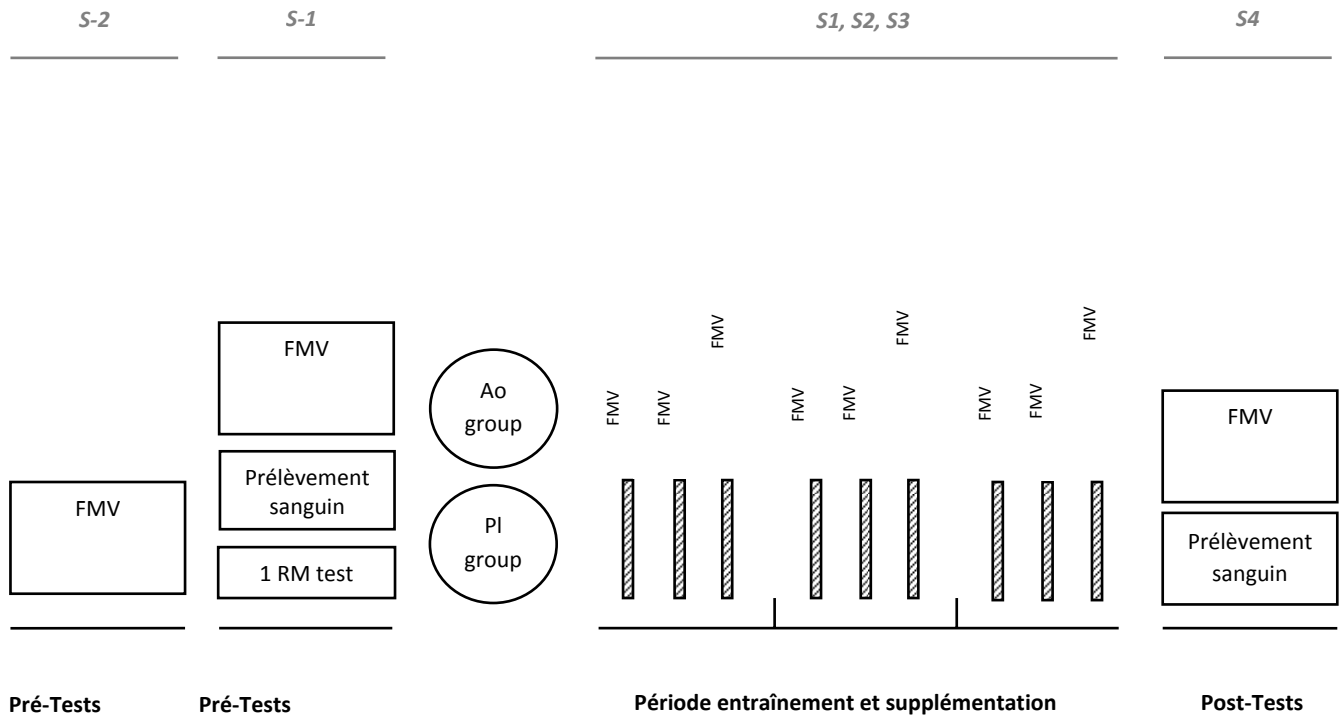
Tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des participants

	Ao	PI
Nombre	10	10
Age (ans)	50,8 ± 6,5	47,7 ± 6,3
Taille (cm)	175,2 ± 10,1	177,0 ± 6,2
Masse corporelle (kg)	70,1 ± 10,7	71,1 ± 5
Masse grasse (%)	19,8 ± 5,7	19,8 ± 4,8
1RM (kg)	95,5 ± 18	94,5 ± 16,1
Entraînement /semaine (h)	8,3 ± 3,8	8,0 ± 2,3
Années de pratique (ans)	17,5 ± 6,3	15,0 ± 6,2

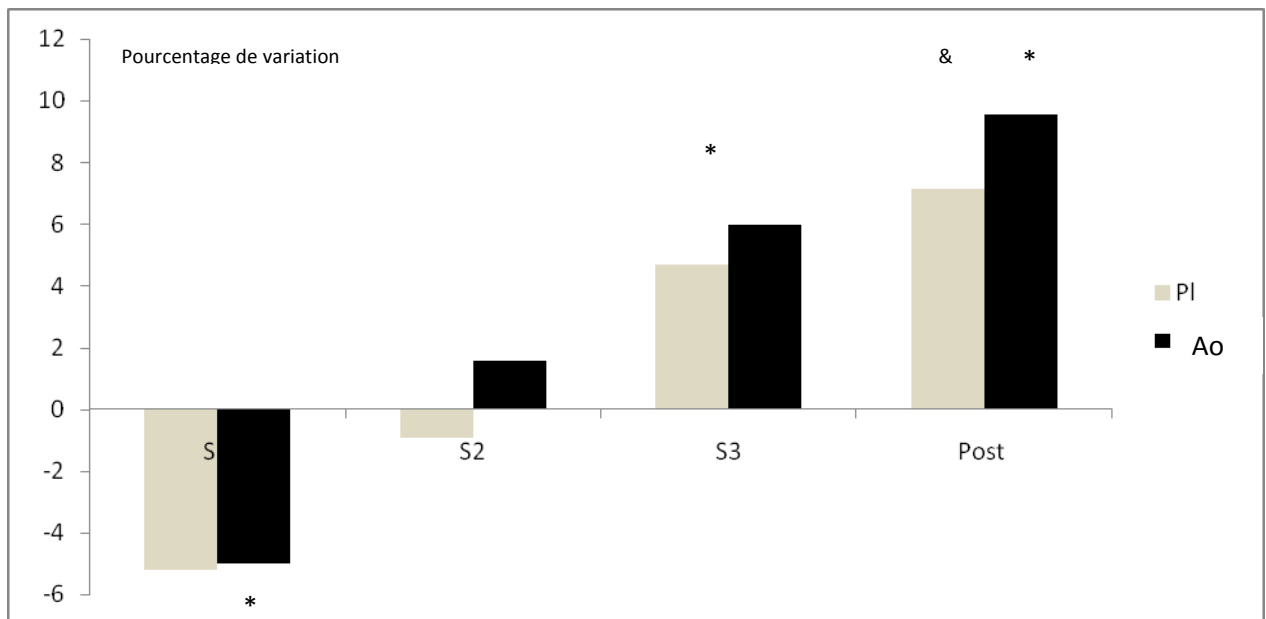
Figures

Fig.1. Représentation schématique du protocole expérimental



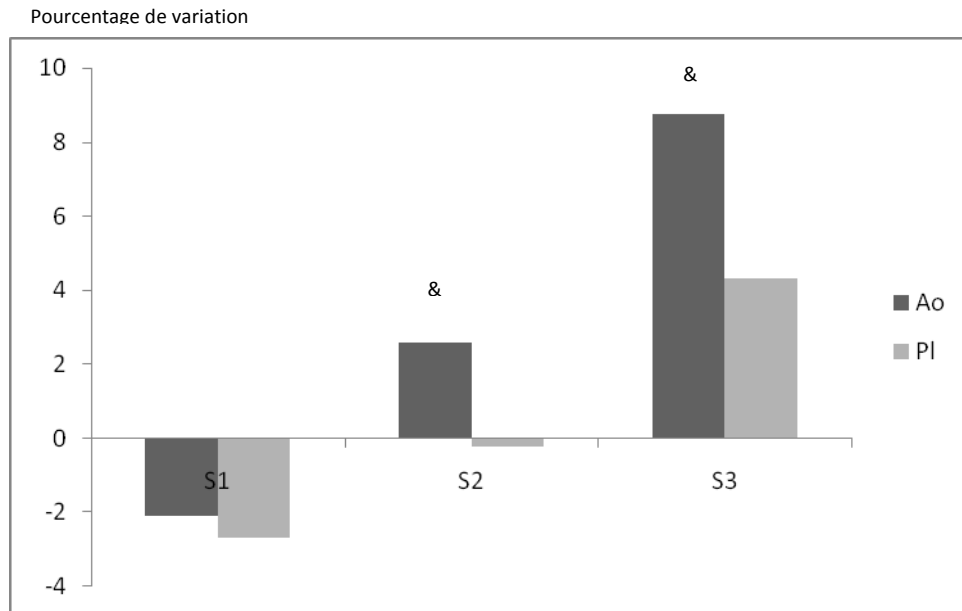
FMV Force maximale isométrique volontaire; VO_{2max} consommation maximale en O_2 ; Ao supplementation ; PI, Placebo.

Fig.2. Evolution de la force maximale volontaire isométrique des muscles extenseurs de la cuisse (exprimée en pourcentage du pré test) à la fin de chaque semaine d'entraînement chez les deux groupes de sujets (Ao vs. Pl).



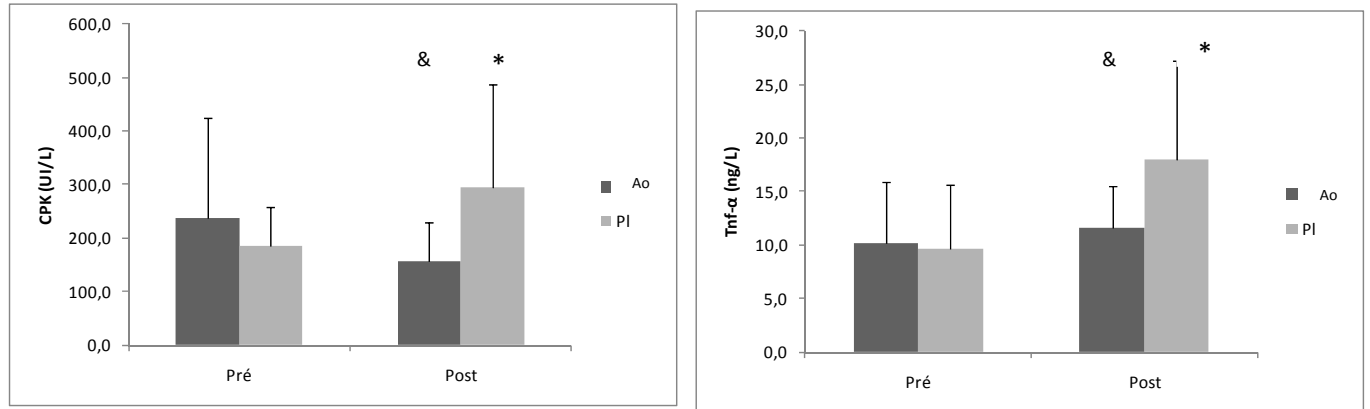
* différence significative par rapport au pré test ; & différence significative entre les deux groupes.
($p < 0,05$)

Fig.3. Evolution de la force maximale volontaire isométrique des muscles extenseurs de la cuisse (exprimée en pourcentage de la première séance de chaque semaine) entre les séances d'entraînement d'une même semaine chez les deux groupes de sujets (Ao vs. Pl).



& différence significative entre les deux groupes. ($p < 0,05$)

Fig.4. Concentrations plasmatiques en CPK (à gauche) et Tnf- α (à droite) avant et après la période d'entraînement en force chez les deux groupes de sujets (Ao vs. PI).



* significativement différent de la condition Pré. & différence significative entre les deux groupes.

($p < 0,05$)