

STRESS OXYDANT : INFLUENCE D'UNE COMPLEMENTATION NUTRITIONNELLE EN ANTIOXYDANTSET ADAPTATION A L'EXERCICE PHYSIQUE

Abstract:

This study aims to highlight the knowledge of the state of oxidative stress, adaptation of athletes to oxidative stress and show the importance of supplementation with antioxidants for better support the health of athletes.

The first step of the study is to analyze the literature to discuss the different results of the studies consulted. For the second part, an experimental study conducted at the end of a season play. 15 consenting swimmers aged between 10 and 16 years underwent measurements of anthropometric parameters and $\dot{V}O_{2max}$ achieved by the direct method to using a maximal exercise test using the protocol of Wasserman (1987) and biochemical parameters.

The literature review focused the power of antioxidants to help against the effects of oxidative stress. The results of the experimentation revealed homogeneous BMI values and close to those of elite swimmers of the same age for the $\dot{V}O_{2max}$. The study revealed no changes in testosterone, CPK, LDH and cortisol. However, the report cortisol / testosterone increased significantly.

According to the literature, it appears that the combined effects of antioxidants can help protect the Athlete's body against oxidative stress. At the end of the sports season, it seems that young swimmers would be adapted to the state of oxidative stress.

Key words: oxidative stress, free radicals, antioxidant, $\dot{V}O_{2max}$, young swimmer.

F. Chiha^{(1),(2)}; Y. Benkara^{(1),(2)}

A. Sellami^{(1),(2)}; S. Karouche⁽³⁾

Institut des STAPS, Université Constantine 2
Abdelhamid Mehri⁽¹⁾

Laboratoire de l'expertise et d'analyse de la performance sportive « LEAPS », Université 2
Abdelhamid Mahri de Constantine⁽²⁾

Faculté des sciences de la nature et de la vie,
Université Mentouri de Constantine⁽³⁾

ملخص:

تهدف الدراسة الي اظهار المعارف الخاصة بالتوتر الأوكسدي، اظهار امكانية التكيف و تبين اهمية الاستعانة بمضادات الاكسدة للتكفل الاحسن لصحة الرياضيين. تتمثل المرحلة الاولى من الدراسة في تحليل الدراسات المختصة لمناقشة مختلف الابحاث. أجريت دراسة تجريبية خلال المرحلة الثانية من الدراسة في نهاية الموسم الرياضي أين أجري 15 سباح شاب قياسات مرفولوجية، اختبار مخبري لقياس بالطريقة المباشرة نسبة استهلاك الأوكسجين حسب طريقة *Wasserman* 1987، صاحبت الاختبار قياسات بيولوجية. سمح تحليل الابحاث باظهار قدرة مضادات الاكسدة في المساعدة ضد اثار التوتر الأوكسدي. بالنسبة للدراسة التجريبية، أظهرت النتائج قيم متجانسة لمؤشر الكتلة الجسمية و قيم عالية نسبيا لاستهلاك الأوكسجين. لم تظهر النتائج أي تغير للعناصر البيولوجية علي عكس نسبة الكرتيزول/تستسترون التي زادت معنويا. أظهر التحليل البيولوجي قدرة مضادات الاكسدة لحماية جسم الرياضي من التوتر الاكسدي. في نهاية الموسم الرياضي، تكيف السباحون الشباب مع حالة التوتر الأوكسدي.

الكلمات المفتاحية: التوتر الأوكسدي، الجذور الحرة، مضادات الاكسدة، نسبة الاستهلاك الأوكسجين، السباحون الشباب

Introduction :

L'oxygène, molécule indispensable pour la vie, peut entraîner des dommages cellulaires importants par formation de dérivés oxygénés activés communément appelés les radicaux libres. (Le processus de réduction de l'oxygène en eau dans la mitochondrie n'est toutefois parfaite car 2 à 5% de l'oxygène sont transformés en radicaux libres). Il est aujourd'hui admis que l'exercice physique se caractérise par une augmentation du volume d'oxygène consommé.

Un $\dot{V}O_{2max}$ élevé permet des entraînements plus intensifs et une meilleure récupération. Les valeurs extrêmes de $\dot{V}O_{2max}$ se situent entre 20 et 95 ml/Kg/min, soit, 1,5 à 6,5 l/min. Murase et al, [1] dans leur étude, rapportent la moyenne de 65 ml/Kg/min de la $\dot{V}O_{2max}$ dans un groupe de juniors (14,7 ans), alors que chez l'homme normal de 20 à 30 ans, la $\dot{V}O_{2max}$ atteint 50 ml/Kg/min selon Flandrois et al 1982.[2]

Ce volume élevé d'oxygène consommé va engendrer une augmentation concomitante de la production de radicaux libres. L'exercice d'intensité élevée et de longue durée peut alors s'apparenter à un véritable « stress » ayant des conséquences métaboliques importantes qui portent atteinte aux structures cellulaires.

Le stress oxydatif étant la conséquence d'un excès de radicaux libres agressifs par rapport aux antioxydants protecteurs. Balance négative entre la production de molécules toxiques (radicaux libres) et nos défenses anti-oxydantes. L'organisme se protège en produisant des anticorps qui peuvent être aisément mesurés dans un échantillon sanguin. [3]

Les recherches scientifiques ont montré qu'un entraînement intense déprime les protections antioxydantes dans tout le reste du corps. Le stress oxydatif va avoir des répercussions négatives sur l'état physique général, rendant l'organisme sensible aux infections[4]. Alors que d'autres travaux scientifiques ont révélé que d'une manière générale, un exercice physique modéré induit une adaptation au stress oxydatif qui se marque par une augmentation des défenses antioxydantes (enzymes, vitamine E...) tandis qu'un effort musculaire plus intense peut entraîner une consommation des antioxydants[5,6]. D'autres travaux ont confirmé que les apports nutritionnels riches en antioxydants aident le sportif à s'adapter au stress oxydatif[7,8].

Objectifs:

- Cette étude a pour but de mettre en évidence les connaissances relatives à l'état du stress oxydatif: ses différents indicateurs, les différentes substances oxydantes et l'importance de son évaluation dans la prise en charge de la santé des sportifs...
- A l'instar des adaptations de l'organisme induites par l'effort physique, de mettre en évidence l'adaptation des sportifs au stress oxydant.
- De montrer l'importance d'une complémentation en antioxydants pour une meilleure prise en charge de la santé des sportifs.

I. Définitions des concepts :

Le métabolisme cellulaire normal de l'oxygène produit de manière continue de faibles quantités de dérivés réactifs de l'oxygène. Dans certaines situations, cette production augmente fortement, entraînant **un stress oxydatif** que l'on définit comme une balance négative entre : la production de molécules

toxiques (radicaux libres) et nos défenses anti-oxydantes. En raison de leur capacité à endommager presque tous les types de molécules dans l'organisme (protéines, lipides, sucres, et même l'ADN). Cette agression de nos cellules est une des causes essentielles de notre vieillissement. En quelque sorte *nous vieillissons parce que nous nous oxydons...* Les dérivés réactifs de l'oxygène ont été impliqués dans un très grand nombre de pathologies, tant aiguës que chroniques. [9]

1. Radicaux libres :dérivés instables et toxiques de l'oxygène qui réagissent et dégradent l'ADN, les lipides, les protéines. Augmentés par certaines situations: stress, tabac, alcoolisme, surpoids, exercice physique mal géré, etc...

1.1. Principales sources des radicaux libres

- ✓ **Physique** : UV, radiations ionisantes.
- ✓ **Chimique** : polluants, drogues, médicaments, pesticides.
- ✓ **Biologique** : virus, bactéries, réactions immunologiques, fuite des électrons. [5]

2. Les défenses antioxydantes: les antioxydants peuvent être définis comme toute substance qui, présente à faible concentration par rapport au substrat oxydable, est capable de ralentir ou d'inhiber l'oxydation de ce substrat. Cette définition fonctionnelle s'applique à un grand nombre de substances, comprenant des enzymes aux propriétés catalytiques spécifiques, mais aussi de petites molécules hydro- ou liposolubles. Cette grande variété physico-chimique autorise la présence d'antioxydants dans tous les compartiments de l'organisme, qu'ils soient intracellulaires, membranaires ou extracellulaires. Indépendamment de leur localisation, les antioxydants peuvent agir à deux niveaux : en prévenant la formation de radicaux libres oxygénés (*antioxydants primaires*) ou en épurant les radicaux libres oxygénés (*antioxydants secondaires*) [6,8].

2.1 Les enzymes antioxydantes:

- Superoxydedismutase (SOD)
- Catalase
- Glutathion peroxydase (Gpx)

2.2. Les antioxydants non enzymatiques : sont des micronutriments exogènes apportés par l'alimentation ou des constituants endogènes. On distingue les antioxydants hydrosolubles comme *le glutathion*, l'acide ascorbique (*vitamine C*), l'acide urique, l'albumine et les antioxydants liposolubles : l'alpha tocophérol (*vitamine E*), l'*ubiquinone*(CoQ10), *les caroténoïdes*. Il est important de souligner que la protection antioxydante ne peut se résumer à un seul antioxydant mais est, au contraire, la résultante d'une synergie d'action. [7]

2.3. Marqueurs du stress oxydatif : Vitamine C, β -carotène, α -tocophérol, Rapport vitC/ α -tocophérol, acide urique, α -tocophérol/cholestérol, glutathion réduit /glutathion oxydé, glutathion peroxyase (GPx), Superoxydedismutase (SOD), sélénium (Se), cuivre (Cu), zinc (Zn), rapport Cu/Zn, Myeloperoxydase (MPO), fer sérique, ferritine, transferrine. Il existe d'autres marqueurs qui peuvent refléter l'état du stress oxydatif comme: la créatinine phospho kinase(CPK),la lactate-déshydrogénase (LDH),testostérone, cortisol.[8]

2. L'exercice physique

Plusieurs études ont montré qu'un exercice musculaire intense induit l'apparition d'un stress oxydant non négligeable. Ceci s'explique principalement par l'augmentation de la consommation de l'oxygène durant l'effort physique, ce qui entraîne secondairement une formation accrue d'EOA (*espèces oxygénées activées*) au niveau des mitochondries des cellules musculaires. De plus, l'exercice intense engendre une hyperthermie musculaire responsable d'un découplage mitochondrial, ce qui a également pour effet d'augmenter la production d'EOA.[9]

Grâce à la technique de la résonance paramagnétique électronique (RPE), Des étudesont mis en évidence directement la formation de radicaux libres d'origine lipidique dans le sang de volontaires venant de terminer un effort maximal sur bicyclette ergométrique. Cette étude confirmait de manière indiscutable des observations antérieures montrant que l'exercice musculaire chez l'homme s'accompagne d'une augmentation des marqueurs de peroxydation lipidique. En réponse à la formation de LDL (*lipoprotéine de basse densité*) oxydées, l'organisme se protège en produisant des anticorps qui peuvent être aisément mesurés dans un échantillon sanguin. Chez des sportifs, on a ainsi trouvé des titres en anticorps contre les LDL oxydées pouvant atteindre 10 fois la valeur normale. Si des EOA sont bien produites au cours d'un effort physique, il est logique de penser qu'il y aura des modifications au niveau des défenses antioxydantes. Beaucoup d'auteurs se sont intéressés au glutathion (GSH), un tripeptide qui agit comme antioxydant direct mais aussi comme substrat de la glutathion peroxydase (GPx), un système enzymatique de détoxification des peroxydes lipidiques. Dans le sang total, un exercice submaximal prolongé (90 minutes) diminue la concentration en GSH de 60% tandis que son produit oxydé (GSSG) augmente de 100%. L'augmentation du rapport GSH/(GSH+GSSG) signe indiscutablement la présence d'un stress oxydant. [10]

3. complémentation nutritionnelle en antioxydants :

Plusieurs études ont examiné les effets d'une complémentation nutritionnelle en antioxydant sur l'organisme du sportif. Rokitski et al etKaikkonen et al[11-12] ontmontré que 15 mg par jours de vitamine E,qui correspond à 22 IU selon les « ApportsNutritionnels Conseillés », etde vitamine C (200 mg) pendant

04 semaines chez des sujets entraînés a réduit la diminution de créatine kinase après un marathon. Kanter et al [13] ont rapporté qu'un mélange d'antioxydants de 10 mg de β -carotène, 1,000 mg de vitamine C, et 800 IU de vitamine E ingérée pendant 08 semaines favorise le maintien du taux de glutathion et diminue l'élévation de CK observée après un exercice sur tapis roulant effectuée à 65 % du $\dot{V}O_{2max}$. Mastaloudis et al [14] suggèrent que la production de peroxydation lipidique, après un ultramarathon de 50 km, est accompagnée d'une augmentation de la disparition de la vitamine E chez 11 athlètes. Plus récemment, Mastaloudis et al [15] ont étudié les effets de 1000 mg de vitamine C et de 300 mg de vitamine E sur un groupe de 22 coureurs pendant un ultra-marathon de 50 km. Il semble que le traitement ait réduit la peroxydation lipidique mais n'a pas empêché l'augmentation considérable des marqueurs de l'inflammation en réponse à l'effort physique. Goldfarb et al [16] ont montré qu'une complémentation de 400 IU de vitamine E, de 1 g de vitamine C, et de 90 mg de sélénium par jour pendant 14 jours avant et 2 jours après un exercice excentrique des fléchisseurs du coude a atténué l'élévation des protéines de stress. Par conséquent, il apparaît au vu de la littérature, que des sources diététiques d'antioxydant exogène telles que la vitamine E et la vitamine C peuvent réduire la peroxydation des lipides. Dans ce contexte, la vitamine C pourrait agir en combinaison avec le glutathion par exemple afin de protéger les structures essentielles des cellules comme le réticulum sarcoplasmique contre l'attaque radicale de l'oxygène au niveau de sa surface membranaire [17-18]. Jakeman et al [19] ont étudié, chez 24 jeunes sujets physiquement actifs, les effets de 400 mg de vitamine E et de 400 mg de vitamine C pendant 21 jours avant et 7 jours après un exercice excentrique de 60 minutes sur la fonction contractile du muscle squelettique. Ils en ont conclu que la vitamine C a eu un effet protecteur contre les dommages musculaires induits par l'exercice excentrique. Les nombreuses contradictions de la littérature font que beaucoup d'interrogations demeurent encore en ce qui concerne d'éventuel effet bénéfique des complémentations nutritionnelles en antioxydants sur les dommages musculaires liés à l'exercice et sur la récupération de la fonction contractile du muscle [17]. Toutefois, l'étude de Bloomer et al [20] suggère qu'une complémentation en antioxydants peut réduire l'activité de CK et diminuer les douleurs musculaires après un exercice excentrique. Cette diminution des douleurs musculaires pourrait favoriser la récupération de la fonction contractile du muscle [20]. Si une complémentation en antioxydant semble augmenter les défenses antioxydantes, aucun effet n'a pu être observé sur les taux de créatine kinase et les concentrations de myoglobines [17]. En revanche, quelques rares travaux comme ceux de Gauché et al [21] concluent qu'une complémentation nutritionnelle en antioxydants puisse favoriser la récupération neuromusculaire après un ultra-marathon de 55 km en montagne même si celle-ci n'a pas semblé

avoir atténué la perte de force maximale isométrique volontaire juste après la course.

Durant les play-offs de basket, une équipe de chercheurs a évalué le statut de stress oxydant de joueurs évoluant au plus haut de la compétition espagnole. Dès le début, les joueurs ont été divisés en un groupe placebo (n = 9) et en un groupe recevant chaque jour 1g de vitamine C combiné à 600µg d'α-tocophérol et 32µg de β-carotène (n = 9). Entre les deux groupes, le type d'alimentation ne présentait aucune différence. Dans le groupe placebo, les taux de vitamine C ont diminué en moyenne de 70% à l'issue du mois de compétition. Chez certains joueurs, des valeurs aussi basses que 2,5µg/mL ont été observées, ce qui correspond à un état de déficience sévère. Dans le groupe traité, aucune variation en vitamine C n'a été observée par rapport aux valeurs observées en début d'étude. Par contre, la concentration des deux autres antioxydants a augmenté significativement. Il est très intéressant de noter que l'administration du complexe d'antioxydants a permis de réduire de manière significative l'apparition du stress oxydant. Cette étude montre bien que l'alimentation seule ne semble pas suffire à apporter suffisamment lors de l'exercice intense. Des apports complémentaires sont nécessaires. [22]

Récemment, on a évalué l'effet de l'apport en antioxydants chez 10 sujets bien entraînés ayant réalisé une randonnée dans l'Himalaya (4 jours entre 2800 et 3600 m, 10 jours entre 3600 et 4500 m, puis redescende à 2000 m en trois jours). Dès le début de l'expédition, 5 sujets ont pris chaque jour un complément en antioxydants composé de 90mg de vitamine C, 15mg de vitamine E, 800µg de vitamine A, 100µg de sélénium et 15mg de zinc tandis que les 5 autres volontaires recevaient un placebo. L'alimentation était la même pour chaque individu durant toute la durée de l'expédition. Le groupe placebo a subi un stress oxydant ainsi que le montrent les diminutions non négligeables en vitamine C, vitamine E et sélénium. Une adaptation au stress est également mise en évidence avec l'augmentation des enzymes antioxydantes SOD et GPx. Enfin, une augmentation des peroxydes lipidiques confirme bien la présence d'un stress oxydant. Dans le groupe traité, aucune diminution de la concentration en vitamines C et E n'a été notée. Le sélénium est augmenté tandis que la SOD a augmenté de manière plus importante que dans le groupe placebo. Pendant cette randonnée la préservation, voire l'amélioration, du statut antioxydant par le complexe utilisé s'est traduite par l'absence d'augmentation des taux de peroxydes lipidiques. [23]

II. Adaptation au stress oxydant :

Une étude est réalisée au laboratoire des STAPS à l'université de Constantine pour évaluer l'état du stress oxydant et de mettre en évidence l'éventuelle adaptation au stress oxydant, des nageurs, induit par les charges d'entraînement cumulatives tout le long d'une saison sportive. 15 nageurs âgés entre 10 et 16 ans ont consenti à participer à l'étude. Les sujets s'entraînaient 8 à 10 heures

d'entraînement par semaine en plus de la compétition. Ils avaient les caractéristiques suivantes :

Tableau 1 : caractéristiques des sujets de l'étude selon les stades pubertaires

Stades pubertaires	variables	Nombre	Mesures	
			moyenne	Ecart type
Stade 1	Age	6	11.38	±0.91
	Poids		38.36	±8.65
	Taille		146.04	±6.40
Stade 2	Age	4	13.39	±1.50
	Poids		51.25	±8.57
	Taille		162.50	±9.69
Stade 3	Age	3	15.65	±0.67
	Poids		60.60	±3.51
	Taille		173.70	±6.78
Stade 4	Age	2	16.76	±1.36
	Poids		70.00	±5.60
	Taille		179.88	±2.59

Les sujets et leurs entraîneurs ont été informés des objectifs, du protocole expérimental et des risques potentiels de l'étude. Ils ont signé un consentement écrit.

Tous les sujets ont subi les mesures:

- des paramètres anthropométriques (le poids corporel, la taille, l'indice de masse corporel).
- Du $\dot{V}O_2\text{max}$: réalisée par la méthode directe à l'aide d'une épreuve d'effort maximale en utilisant le protocole de *Wasserman (1987)*[24]
- des paramètres biochimiques:des prélèvements sont réalisés au laboratoire des STAPS.

L'échantillon sanguin est centrifugé (3000 tours/min), le sérum récupéré est dosé au laboratoire de biochimie. Les paramètres dosés sont : CPK (*créatinephospho-kinase*), LDH (*lipoprotéine de haute densité*), cortisol, testostérone. Le dosage est réalisé grâce à un automate architecte qui contient les réactifs.L'étude est réalisée à la fin de la saison sportive.

Résultats :

Ils comportent les résultats des paramètres anthropométriques, du $\dot{V}O_2\text{max}$ et les résultats des paramètres biologiques. Ils sont présentés comme suit:

Tableau n°1 : variations des paramètres anthropométriques des nageurs

paramètres	Moyenne (x)	Ecart type (S)
Poids corporel (Kg)	52,4	14,87
Taille (cm)	158,96	13,95
IMC (indice de masse corporelle)	19,57	2,73

Tableau n°2: résultats du $\dot{V}O_{2max}$

paramètre	Moyenne (x)	Ecart type (S)
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/Kg/min)	48,75	3,14

$\dot{V}O_{2max}$: consommation maximale d'oxygène

Tableau n°3: résultats des paramètres biologiques

paramètres	Résultats (Moyenne ± écart type)	Valeurs usuelles(théoriques)
CPK (UI/l)	177,26 ± 15,42	Entre 30 et 200
LDH (UI/l)	438,36 ± 42,26	220 - 440
Testostérone (mg/dl)	6,13 ± 1,66	1.56 - 8.77
Cortisol (g/dl)	13,98 ± 2,54	4.0-20
R: cortisol/testostérone	2,37 ± 0,48	2.28

CPK: CreatininePhospho Kinase; LDH: Lactate Déshydrogénase.

Discussion des résultats:

Malgré l'absence de forts indicateurs de l'état du stress oxydant tels que les enzymes, les vitamines, le rapport Zinc / Cuivre..., le recours aux paramètres biologiques LDH, Cortisol, CPK et Testostérone, reste une bonne alternative pour évaluer le stress oxydatif (Ebbeling et al 1990) [25], Stauber et al 1990) [26]. L'absence d'un groupe témoin représenté par des sujets sédentaire de même âge pourrait représenter un biais méthodologique. La comparaison des paramètres biochimiques aux valeurs théoriques des laboratoires a pour but d'atténuer ces insuffisances.

De nombreuses études ont essayé d'étudier l'efficacité d'une combinaison de plusieurs antioxydants en tant que complément. La revue de ces travaux a permis de mettre l'accent sur le pouvoir de ces substances à aider contre les effets du stress oxydant. Les résultats de l'IMC sont restés homogènes et témoigneraient d'une bonne aptitude physique. Ces résultats semblent être liés à une régularité et systématisation de l'entraînement reçu par les jeunes nageurs. Les résultats du $\dot{V}O_{2max}$ révèlent des valeurs proches de celles des nageurs de haut niveau âgés de 10 à 25 ans comprises entre 50 et 70 ml/Kg/min selon Willmore et Costill [27]. Ces résultats relativement élevés du $\dot{V}O_{2max}$ semblent être liés aux charges cumulatives d'entraînement subies par les athlètes tout au long de la saison sportive. L'étude n'a pas révélé des modifications de la testostérone, de la CPK, du LDH et du cortisol. Ces résultats montrent une adaptation des jeunes nageurs au stress oxydant généré par l'entraînement sportif qu'ils subissent continuellement. En revanche, le rapport cortisol/testostérone a augmenté significativement, comparés avec les valeurs théoriques ce qui pourrait révéler un certain état de fatigue qui a caractérisé les jeunes nageurs à la fin de la saison sportive.

Conclusion :

La présente étude a pour but de mettre en évidence les connaissances relatives au stress oxydatif, d'évaluer l'adaptation des sportifs au stress oxydant et de montrer l'importance d'une complémentation en antioxydants pour une meilleure prise en charge des sportifs.

La revue de la littérature a permis de mettre en évidence le concours de la complémentation nutritionnelle dans la diminution de l'état du stress oxydatif. Il apparaît que les effets combinés d'antioxydants peuvent aider à protéger l'organisme du sportif contre les effets potentiellement nocifs des radicaux libres oxygénés. Les résultats de l'expérimentation ont révélé que la pratique de la natation est traduite par une augmentation du rapport cortisol/testostérone. Les concentrations de la testostérone, du CPK, du LDH et du cortisol n'ont pas changé significativement en comparaison aux valeurs théoriques. Pendant l'entraînement, la répétition des stimuli va provoquer des adaptations des systèmes de défense en permettant une augmentation de la capacité de résistance à une production accrue de radicaux libres sans pour autant modifier l'activité des enzymes anti-oxydantes.

Il semble que les jeunes nageurs, à la fin de la saison sportive, se seraient adaptés avec l'état du stress oxydatif.

Nous recommandons la présence au sein du staff médical des équipes, surtout celles du haut niveau, d'un diététicien pour assurer une alimentation équilibrée aux athlètes et par conséquent l'apport continu en substances anti-oxydantes. Nous recommandons aussi le recours au bilan biologique comportant les différents marqueurs du stress oxydatif au minimum une fois par an pour une

meilleure prise en charge de la santé des sportifs. (**exemple 1**). Les différents questionnaires pourraient être un bon moyen de connaître le niveau du stress oxydatif (**exemple 2**).

Exemple 1 : B N O X : un exemple de bilan sanguin qui évalue le niveau du stress oxydatif, apprécie les causes, et oriente la prise en charge en objectivant d'éventuelles carences, ou des déséquilibres. Il mesure la quantité de radicaux libres **FORT** et pouvoir Anti-oxydant **FORD**: (Deux tests, pour un diagnostic complet du stress oxydatif ! par simple piqure au bout du doigt).

✓ **Test FORD** (Free Oxygen Radicals Defence), les antioxydants mesurés sont les protéines plasmatiques (albumine), vitamine C, Trolox (Analogue de la Vitamine E soluble dans l'eau), glutathion. Valeurs de références: 1.07-1.53 mmol/l Trolox.

✓ **Test FORT** (Free Oxygen Radicals Test) détection des radicaux libres, dosage des hydroperoxydes (ROOH). Expression des résultats: mmol/l H₂O₂ or Unité FORT (unité conventionnelle). 1 unité FORT = 7.6 µmol/l (ou 0.26 mg/l) of H₂O₂. Valeur de référence: jusqu'à 310 unités FORT correspondant à 2.3 mmol/l H₂O₂.

Exemple 2 : le questionnaire d'évaluation du Stress Oxydant : Elaboré par le Dr Pierre Mantel directeur de l'Osato Research Institute (O.R.I.) [28].

Ce test est basé sur un ensemble de publications scientifiques mettant en évidence les facteurs épidémiologiques intervenant dans la génération de radicaux libres dans l'organisme. L'intérêt de ce test réside dans le calcul qui additionne et évalue les différents critères qui pourront être source de stress oxydant.

Références bibliographiques

1. **Georges Cazorla, Luc Leger et Jean François Marini** (1984): les épreuves d'effort en physiologie, in travaux de recherche en EPS : évaluation de la valeur physique » Vol 7, 95-115.
2. **Ingjer. F** (1992): Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross country skiers, a longitudinal study » J. Sport. Scien. 49-63.
3. **Freddly Pirnay** (1992): mesurer l'endurance ; Revue. Educ. Phys; Vol 32: 3-10.
4. **Beckman. KB, Aymaen. BS** (1993): the free radicals in disease processe: a compilation of cause and consequence; freeRadic Res Commun, 19: 141-158.
5. **Matsuo. M**: age related alteration in antioxidant defense, in: Yu BP ed Free Radic in Aging, Florida CRC Press, 143-182

6. **Morel. Y, Barouki. R** (1999):repression of gene expression by oxidative stress»Bioch. J, 342: 481-96.
7. **Rahmen. I, Biswas. SK, Kode. A** (2006): oxidant and antioxydant balance in the airways and irway diseases; Eur. J. Pharmac, 553, 22-39,
8. **ChristelleKoechlin-Ramonatxo** (2006): oxygen, stress oxydant supplémentationsantioxydantes ou un aspectdiffèrent de la nutrition dans les maladies respiratoires » Nutrition clinique et métabolisme ; 20, 65.
9. **Rodriguez. FA**: maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers; J. Sports. Med. Phys.
10. **J. Pincemil** (2001): évaluation de l'état du stress oxydatif chez les footballeurs ; Science et Sports;16:168-70.
11. **Rokitzi. L, Logemann. E, Sagredos. A.N, Murphy. M, Wetzel-roth. WetKEUL. J**(1994b) :Lipid peroxidation and antioxidative vitamins under extreme endurance stress. ActaPhysiologicaScandinavia ;151, 149-158.
12. **Kaikkonen. J, Kosonen. L, Nyyssonen. K, Porkkala-saratho. E, Salonen. R, Korpela. H etSalonen. J.T** (1998): Effects of combined coenzyme Q10 and d-alpha-tocopheryl; acetate supplementation on exercise-induced lipid peroxidation and muscular damage : A placebo-controlled double-blind study in marathon runners. Free Radical Research;29, 85-92.
13. **Kanter. M.M, Nolte.L.A. et Holloszy.J.O** (1993): Effects of an antioxidant vitamin mixture on lipid peroxidation at rest and postexercise. Journal of Applied Physiology;74, 965-969.
14. **Mastaloudis. A, Leonard. S.W, etTraber. M.G** (2001): Oxidative stress in athletes during extreme endurance exercise. Free radical biology & medicine; 31; 911-922.
15. **Mastaloudis. A, Morrow-Hopkins. J.D, Devaraj. D.W etTraber.M.G** (2004):Antioxidant supplementation prevents exercise-induced lipid peroxidation, but not inflammation, in ultramarathon runners. Free radical biology medicine; 36, 1329-1341.
16. **Goldfarb. A.H, Bloomer. R.J, etMckenzie. M.J** (2005): Combined antioxidant treatment effects on blood oxidative stress after eccentric exercise. Medicine science in sports exercise; 37, 234-239.
17. **Gauchet. É, Hausswirth. C** (2006): Stress oxydant, complémentation nutritionnelleen antioxydants et exercice ; Science & Motricité n° 58.
18. **Mcbride. J.M. &Kraemer. W.J** (1998): Effect of resistance exercise on free radical production. Medicine science in sports exercise; 30; 67-72.
19. **Jakeman. P& Maxwell.S** (1993): effect of antioxidant vitamin supplementation on muscle function after eccentric exercise. European Journal of Applied Physiology; 67, 426-430.

20. **Bloomer. R.J, Goldfarb. A.H, Mckenzie, M.J, You. T& Nguyen.L** (2004) :Effects of antioxidant therapy in women exposed to eccentric exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*; 14, p. 377-88.
21. **Gauché. E, Lepers. R, Rabita. G, Lévèque.Brisswalter. J.M.J. &Hausswirth.C** (2005):Effets positifs d'une complémentation nutritionnelle en antioxydantssur la récupération neuromusculaire après une course à pied de 55 km en montagne. XIe Congrès International de l'Association des Chercheurs en Acti-vités Physiques et Sportives, Paris.
22. **Thompson. D, Williams, Garcia-roves. C,McgregorP,Mcardle. S.J&Jackson.M.J** (2003):Post-exercise vitamin C supplementation and recovery from demanding exercise. *European Journal of Applied Physiology*; 89; 393-400.
23. **Gilchrest . BA, Bohr. VA** (1997): aging processes, DNA damage, and repair ;*Fased. J* 11, 322-30,
24. **Wasserman. K, Hansen. JE, Sue. DY, Wipp. BJ** (1996): principles of exercise and interpretation; Philadelphia, Lea et Febriger.
25. **Ebbelin. C.B,&Clarkson.P.M** (1990):Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*; 60; 26-31.
26. **Stauber. W.T, Clarkson, Fritz. P.M& Evans. W.J** (1990): extracellular matrix disruption and pain after eccentric muscle action. *Journal of Applied Physiology*; 69; 868-874.
27. **Willmore. JH et David L. Costill (2006)**: Physiologie du sport et de l'exercice. Edition DeBoeck ; 3ème édition ; 222.
28. **OSATO Research Institute** : Clinique de Genolier, 1272 Genolier Suisse, www.osato-ori.com. Distributeur France : Pharm'up laboratoires ; 385, rue Lavoisier 38330 Montbonnot St-Martin ; France.