

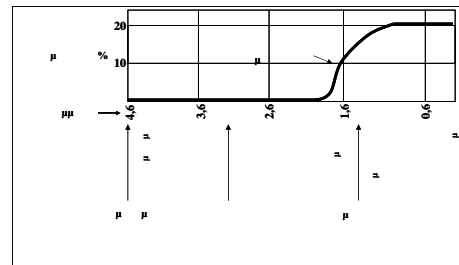
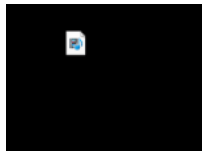
Stress

Θανάσης Τζιαμούρτας, *Ph.D.*
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Ινστιτούτο Σωματικής Απόδοσης και Αποκατάστασης

μ

- Τι είναι οξειδωτικό στρες και ελεύθερες ρίζες
- Ποιες είναι οι ελεύθερες ρίζες
- Πως δημιουργούνται οι ελεύθερες ρίζες
- Πως απομονώνονται οι ελεύθερες ρίζες
- Δείκτες οξειδωτικού στρες
- Απόκριση δεικτών οξειδωτικού σε στρες σε αερόβια άσκηση
- Απόκριση οξειδωτικού στρες σε αναερόβια άσκηση
- Ο ρόλος του σιδήρου στην παραγωγή ελευθέρων ριζών
- Πρέπει να λαμβάνονται αντιοξειδωτικές ουσίες για αύξηση της απόδοσης;

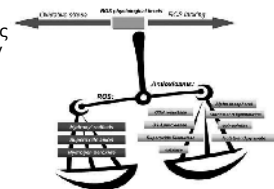
James Bond



2

- Διάφορα είδη σχιζομύκητα που ζουν σε αναερόβιο περιβάλλον πεθαίνουν όταν εκτεθούν στην παρουσία οξυγόνου.
- Ο θάνατος επήλθε σε αρουραίους που εκτέθηκαν για 3 ημέρες σε περιβάλλον με 100% οξυγόνο.
- Αυξημένη παραγωγή ελευθέρων ριζών μετά από επαναφορά διάχυσης σε καρδιακό ιστό μετά από απόφραξη αρτηρίας.

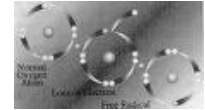
- Γενικός όρος ο οποίος αναφέρεται στην ανισορροπία μεταξύ της δημιουργίας δραστικών ειδών οξυγόνου και αζώτου και της απομάκρυνσης αυτών διαμέσου του αντιοξειδωτικού συστήματος
- Τα δραστικά είδη οξυγόνου και αζώτου είναι γνωστά και ως ελεύθερες ρίζες



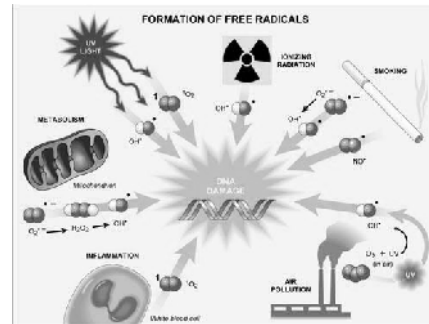
- Είναι γνωστό από τη φυσική ότι το άτομο κάθε στοιχείου αποτελείται από τον πυρήνα και τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται σε συγκεκριμένες τροχιές γύρω από αυτόν.
- Πυρήνας = πρωτόνια (+) και ηλεκτρόνια (-)



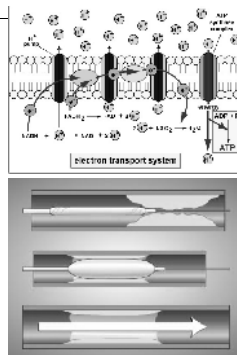
- Ουσίες οι οποίες έχουν ένα αζεωγάρωτο ηλεκτρόνιο στην εξωτερική τους στιβάδα.
- Τα αζεωγάρωτα ηλεκτρόνια είναι πολύ ασταθή και αντιδρούν πολύ εύκολα με άλλα άτομα ή μόρια. Είναι πολύ επικίνδυνα για ουσίες του σώματος, όπως τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες και το DNA.



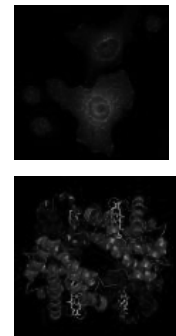
- Ανιόν υπεροξειδίου ή superoxide radical (O_2^-).
- Υπεροξειδίο του υδρογόνου ή hydrogen peroxide (H_2O_2), το οποίο παράγεται από το ανιόν του υπεροξειδίου.
- Ρίζες υδροξυλίου ή hydroxyl radical (OH^*). Δημιουργείται από τη διάσπαση του H_2O_2 , το οποίο αν διασπαστεί στη μέση δίνει δύο ρίζες υδροξυλίου.
- Ρίζες νιτρικού οξέος ή nitric oxide (NO^*) (J. Karlsson, 1997).



1. Αποβολή των ηλεκτρονίων της αναπνευστικής αλυσίδας στο επίπεδο των κυτοχρωμάτων. Μία ποσότητα 2-5% του O_2 το οποίο προσλαμβάνουμε δεν ανάγεται σε νερό αλλά δημιουργεί ελεύθερες ρίζες. Κυτοχρώματα
2. Μεταβολή στην αιματική ροή των μυών και στην απελευθέρωση O_2 , (underperfusion - reperfusion). Εμφράγματα



3. Ουδετερόφιλα και μακροφάγα κατά την καταστροφή «βλαβερών» ουσιών του οργανισμού (oxidative burst).
4. Οξειδωση αιμοσφαιρίνης, μυοσφαιρίνης και κατεχολαμινών



- Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες η παρουσία των ελευθέρων ριζών κρίνεται απαραίτητη για την επιβίωση του κυττάρου (ωρίμανση και την κινητικότητα του κυττάρου, αποβολή τοξικών προϊόντων, διαδικασία της γονιμοποίησης).
- Ακόμα παίζουν σημαντικό ρόλο στην άμυνα του οργανισμού εναντίον της εισβολής παρασίτων και ιών και στην αντιμετώπιση των καρκινικών κυττάρων

- Πάθογεια μη συγκεκριμένων αλλαγών της κανονικής λειτουργίας του οργανισμού που τελικά οδηγούν στην αντικανονική κυτταρική λειτουργία, γρηγορότερο ρυθμό γήρανσης και τελικώς στον θάνατο.
- Ισορροπία μεταξύ του καλού και του κακού ρόλου των ελευθέρων ριζών

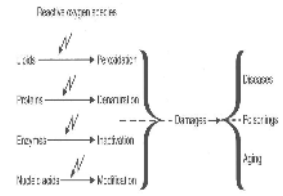
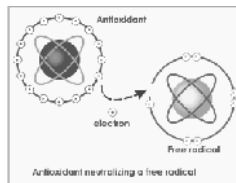


Figure 1.1. Balance of free radicals in oxidative stress.

- Μηχανισμός για την αντιμετώπιση των ελευθέρων ριζών
- Ενζυμικό σύστημα και μη-ενζυμικό σύστημα



μ

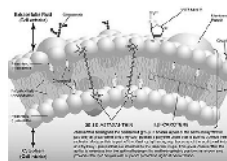
μ

- Δισμουτάση του υπεροξειδίου (SOD)
 $2 O_2^- + 2 H^+ \xrightarrow{SOD} H_2O_2 + O_2$
- Καταλάση
 $2 H_2O_2 \xrightarrow{CAT} 2 H_2O + O_2$
- Υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (GPX)
 $H_2O_2 + 2 GSH \xrightarrow{GPX} GSSG + 2 H_2O$

μ

μ

- Βιταμίνη E
- Βιταμίνη C
- Βιταμίνη A ή ρετινόλη
- Συνένζυμο Q10
- Πρωτείνες θερμικού σοκ
- Φερριτίνη
- Αλβουμίνη
- Χολερυθρίνη
- Σερουλοπλασμίνη
- Φλαβονοειδή
- Ουρικό οξύ
- Θειόλες (γλουταθειόνη)



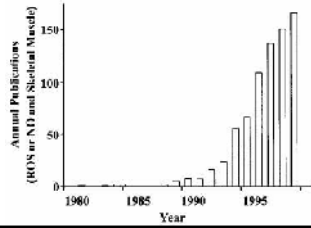
μ

1. μ
2. (TBARS)
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
7. μ (GSH)
8. μ (GSSG)
9. GSH/GSSG
- 10.
- 11.
- 12.
13. Electron Spin Resonance (ESR)
14. μ C
15. μ

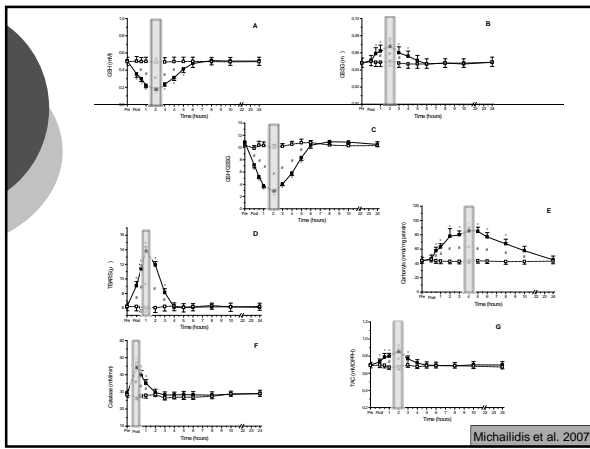


Fig. 1. Steps of free radical formation (Dallman 1996)

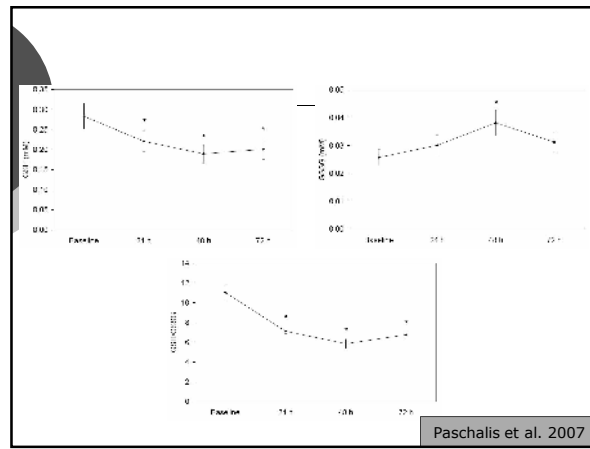
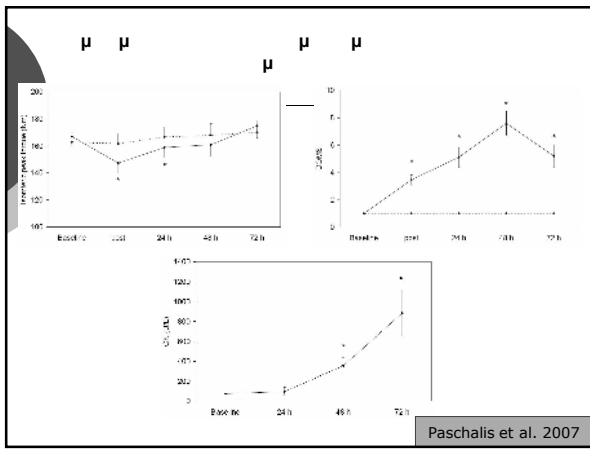
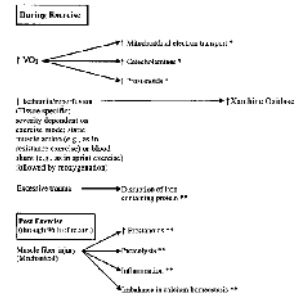
- ο Το 1982 αναφέρθηκε για πρώτη φορά ότι ελεύθερες ρίζες εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της άσκησης (Davies et al. 1982)



μ μ :



Anaerobic Exercise • 249



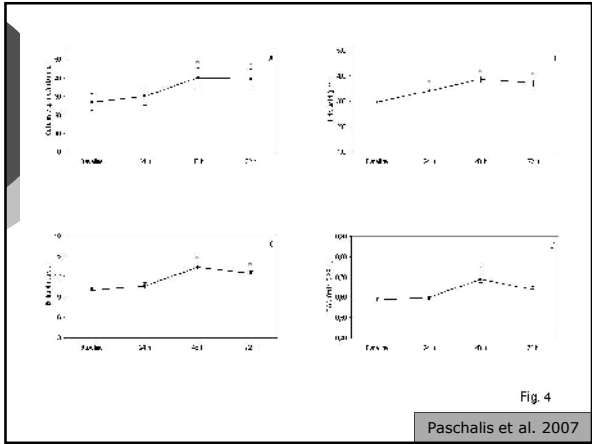
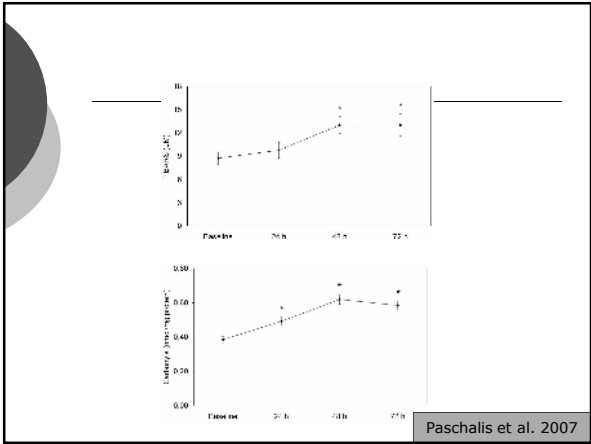
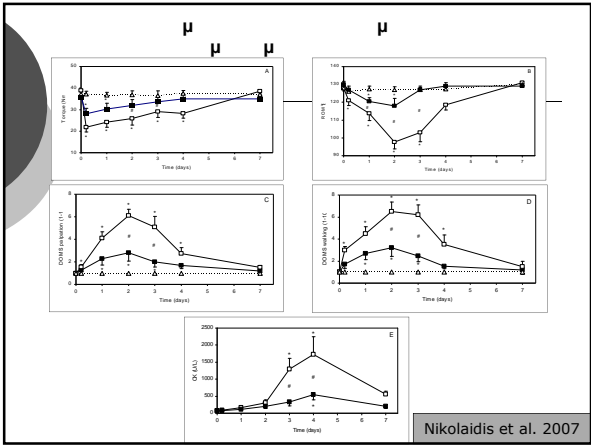
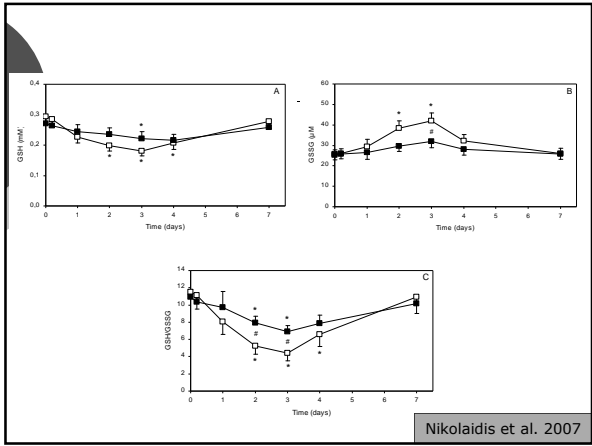


Fig. 4

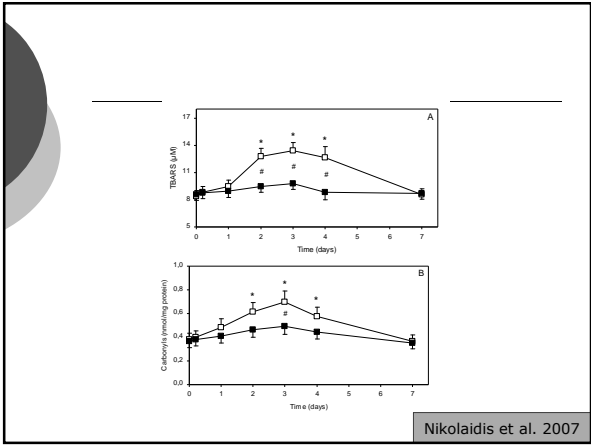
Paschalis et al. 2007



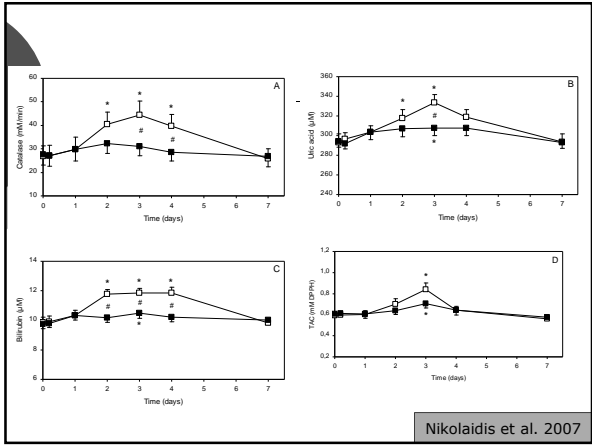
Nikolaidis et al. 2007



Nikolaidis et al. 2007



Nikolaidis et al. 2007



Nikolaidis et al. 2007

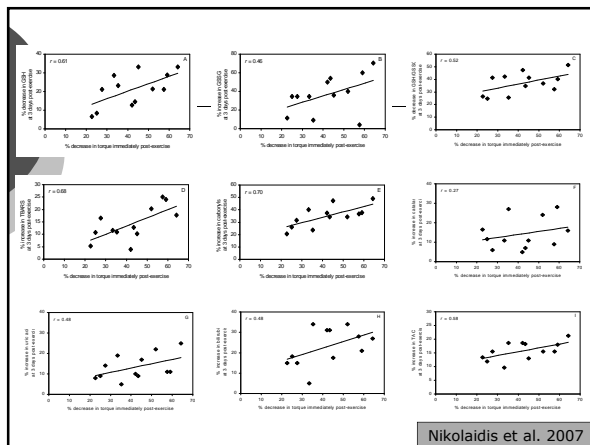
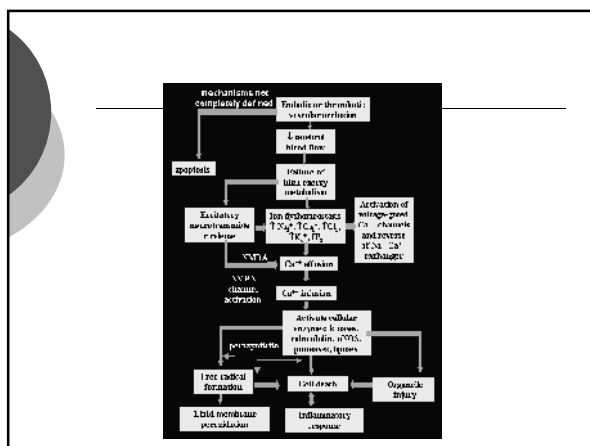


TABLE 2. Incremental or decremental AUC per day in muscle damage and oxidative stress indices after bout 1 and bout 2 of eccentric exercise (mean \pm SD).

	Incremental or decremental AUC per day		
	Bout 1	Bout 2	Effect size
Isometric torque (Nm)	-11.9 \pm 2.3	-1.7 \pm 0.4	-7.6
ROM ($^{\circ}$)	-10.4 \pm 2.7	-3.6 \pm 1.0	-5.7
DOMS palpation (1-10)	2.2 \pm 0.7	0.8 \pm 0.2	+5.1
DOMS walking (1-10)	2.8 \pm 0.8	1.0 \pm 0.2	+5.6
CK (U/L)	703 \pm 199	216 \pm 87	-3.4
GSH (mM)	-0.067 \pm 0.023	-0.035 \pm 0.012	-1.8
GSSG (μ M)	6.6 \pm 2.4	2.8 \pm 1.1	+2.2
GSH/GSSG	-3.9 \pm 1.1	-2.2 \pm 0.8	-1.8
TBARS (μ M)	2.73 \pm 0.93	0.45 \pm 0.14	+4.3
Carbonyls (nmol/mg protein)	0.148 \pm 0.018	0.060 \pm 0.008	+6.8
Catalase (mM/min)	8.3 \pm 2.8	1.6 \pm 0.5	+4.1
Uric acid (μ M)	18.1 \pm 3.8	8.6 \pm 1.6	+5.5
Bilirubin (μ M)	1.2 \pm 0.5	0.4 \pm 0.1	+4.0
TAC (mM DPPH)	0.060 \pm 0.018	0.021 \pm 0.009	+2.0

Values between bout 1 and bout 2 in all parameters are significantly different ($P < 0.05$)

Nikolaidis et al. 2007



- o Το 15% απορροφάται
- o Σίδηρος αίμης vs σίδηρος μη-αίμης
 - Ο σίδηρος αίμης που βρίσκεται σε ζωικά προϊόντα απορροφάται πιο εύκολα από το σίδηρο μη-αίμης
- o Δισθενής vs Τρισθενούς σιδήρου
 - Ο δισθενής σίδηρος απορροφάται πιο εύκολα από τον τρισθενή σίδηρο

- o Ο σίδηρος είναι το πιο άφθονο ιχνοστοιχείο που υπάρχει στη φύση
- o Η κύρια λειτουργία του σιδήρου συνδέεται με τη μεταφορά οξυγόνου στο αίμα και τη μεταφορά ηλεκτρονίων σε σχέση με την παραγωγή ενέργειας στην αναπνευστική αλυσίδα
- o Σχετίζεται με τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων, την παραγωγή και απομόνωση ελευθέρων ριζών, τη λειτουργία ορμονών και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος

- o Εστέρες οξαλοξικού οξέος (σπανάκι)
- o Άλατα φυτικού οξέος (δημητριακά)
- o Τανίνες (τσάι)
- o Φαινυλικά άλατα (φυτικές τροφές)
- o Αλκαλικά διαλύματα
- o Δημιουργούν ιζήματα αδιάλυτου σιδήρου

+

- Βιταμίνη C
- Φρουκτόζη
- Κιτρικό οξύ
- Όξινα διαλύματα
- Χαμηλή [Fe] οδηγεί σε αυξημένη απορρόφηση
- Αυξημένη [Fe] στον οργανισμό δε σημαίνει και μικρότερη απορρόφηση. Συνεχής αυξημένη πρόσληψη μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση

- Η απορρόφηση είναι μικρή από τα υγιή άτομα (5-10%) και μεγαλύτερη από τα άτομα με έλλειψη (10-20%)
- Είδος τροφής (κρέας μέχρι 25%, γάλα-λαχανικά μέχρι 5%)
- Συμπληρωματικότητα απορρόφησης από τροφές (βιταμίνη C)

- Υπάρχουν αρκετές επιδημιολογικές έρευνες οι οποίες υποδεικνύουν πως υπάρχει αρκετά μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των αυξημένων επιπέδων σιδήρου και της συχνότητας καρδιαγγειακών ασθενειών (de Valk & Marx 1999).
- Πιθανή συσχέτιση μεταξύ του σιδήρου και της οξειδωσης της χαμηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη λιποπρωτεΐνη

- Η αιμοχρωμάτωση είναι μία γενετική ασθένεια της οποίας ένας στους δέκα ανθρώπους μπορεί να έχει το γονίδιο για τη συγκεκριμένη ασθένεια.
- Χαρακτηρίζεται από την υπερβολική αποθήκευση σιδήρου η οποία στο τέλος οδηγεί σε ασθένειες όπως η αρθρίτιδα, η κίρρωση του ήπατος, καρκίνος του ήπατος, διαβήτης και καρδιακή ανεπάρκεια

- Τα συμπτώματα τα οποία σχετίζονται με την αιμοχρωμάτωση εμφανίζονται συνήθως στους μεσήλικες, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να αναπτυχθούν τα προβλήματα νωρίτερα.
- Τα συμπτώματα έχουν σχέση με την καταστροφή των ιστών και των οργάνων τα οποία έχουν σχέση με την ασθένεια.
- Τα πρώτα συμπτώματα αφορούν την κόπωση, προβλήματα λειτουργίας με την καρδιά, προβλήματα αρθρώσεων, σεξουαλική ανικανότητα και έλλειψη έμμηνης ρύσης ή προβλήματα με το ήπαρ.

- Παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την πορεία της ασθένειας περιλαμβάνουν την υπερβολική πρόσληψη σιδήρου με τη διατροφή, τη λήψη αλκοολούχων ποτών, διάφορες μολύνσεις, χάσιμο αίματος διαμέσου της δωρεάς αίματος ή της έμμηνης ρύσης.
- Η λήψη αλκοολούχων ποτών μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την πορεία της ασθένειας ενώ η δωρεά αίματος ή έμμηνη ρύση μπορεί να διευκολύνει την πορεία της ασθένειας
- Ο κορεσμός της τρανσφερίνης αποτελεί ένα πολύ καλό διαγνωστικό μέσο (σίδηρος ορού/ολική συδηροσυνδετική ικανότητα)

- Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την περιοδική δωρεά αίματος (μία φιάλη αίματος περιέχει περίπου 250 mg σιδήρου). Αυτό γίνεται μία ή δύο φορές την εβδομάδα μέχρι που να πέσουν τα επίπεδα του σιδήρου σε κανονικά επίπεδα.
- Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την παρακολούθηση των επιπέδων φερριτίνης και αιμοσφαιρίνης και έτσι καθορίζεται ανάλογα και η δωρεά αίματος.

- Πρέπει να λαμβάνονται συμπληρώματα σιδήρου χωρίς να υπάρχει προηγούμενος έλεγχος;
- Πως συνδέεται η υψηλή συγκέντρωση σιδήρου με τις καρδιοαγγειακές ασθένειες;

μ μ

- Η αλόγιστη συμπληρωματική λήψη σιδήρου μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή ελευθέρων ριζών
- Αντιδράσεις Fenton και Haber-Weiss

Fenton reaction

- Δημιουργία ριζών υδροξυλίου από τη διάσπαση του υπεροξειδίου του υδρογόνου με την παρουσία ανειγμένων ιόντων
 - $Mt^{n+} + H_2O_2 \rightarrow Mt^{(n+1)+1} + HO\cdot + HO\cdot$
- $n+$ = ανηγμένη μορφή ιόντος
- $(n+1)+1$ = οξειδωμένη μορφή ιόντος
- Τις περισσότερες φορές αυτό το ιόν είναι ο σίδηρος (II) ή ο χαλκός (I)

- Ο σίδηρος βρίσκεται σε μικρές ποσότητες για την προαγωγή της αντίδρασης Fenton. Ωστόσο, όταν ο σίδηρος ενώνεται με υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) τότε είναι βέβαιο ότι θα δημιουργηθούν ρίζες υδροξυλίου και πρωτεΐνες θα καταστραφούν σε περιοχές στις οποίες βρίσκονται συγκεκριμένα αμινοξέα, όπως η ιστιδίνη, η λυσίνη, η προλίνη και η αργινίνη.
- Αυτά τα αμινοξέα βρίσκονται κοντά στο σημείο επαφής του σιδήρου με την πρωτεΐνη ή ενώνονται τα ίδια με το σίδηρο (Stadtman, 1990).
- Σημείο επαφής σημαντικό για το μέγεθος της καταστροφής

- Καταστροφή εγκεφαλικών κυττάρων επιφέρει απελευθέρωση ιόντων σιδήρου, τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν σε υπεροξείδωση των λιπιδίων.
- Επιπλέον, το οξειδωτικό στρες μπορεί να παρέχει ιόντα σιδήρου για τη δημιουργία Fenton αντιδράσεων από σίδηρο που βρίσκεται στη φερριτίνη ή σε πρωτεΐνες που περιέχουν σίδηρο (Radak S. 2000).
- Ο σίδηρος, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο μεταβολισμό του οργανισμού

μ

- Οι άνδρες στη δεκαετία των σαράντα έχουν πέντε φορές μεγαλύτερη πιθανότητα να πάθουν έμφραγμα απ' ό,τι οι γυναίκες της ίδιας ηλικίας.
- Στις γυναίκες μετά την εμμηνόπαυση αυξάνεται ο ρυθμός εμφάνισης εμφραγμάτων αλλά δεν ισοσκελίζει το ρυθμό των ανδρών μέχρι που να φτάσουν στην ηλικία των 70.
- Οι άνδρες αρχίζουν να αποθηκεύουν σίδηρο από την ηλικία της εφηβείας ενώ οι γυναίκες μετά την εμμηνόπαυση.

μ

- Μικρά παιδιά που παίρνουν ταμπλέτες σιδήρου κατά λάθος μπορεί να πεθάνουν εξαιτίας επιπλοκών της καρδιάς
- Αιμοχρωμάτωση και αντιμετώπιση της κατάστασης με συχνές δωρεές αίματος για την αποβολή σιδήρου από τον οργανισμό.

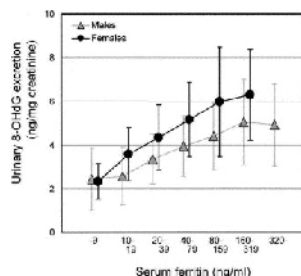
μ

- Πολλές έρευνες υποδεικνύουν πως η συχνή και μακροχρόνια δωρεά αίματος οδηγεί σε μείωση των επιπέδων σιδήρου στο αίμα και παράλληλα μειώνεται η πιθανότητα καρδιαγγειακού επεισοδίου (Facchini & Saylor, 2002; Meyers et al. 2002).
- Dr. Sullivan's προσωπικό πείραμα

Dr. Sullivan's

μ

- Γιατρός ο οποίος πιστεύει πως ο σίδηρος και η δημιουργία εξ αυτού ελευθέρων ριζών οφείλεται για την αθηροσκλήρυνση και το έμφραγμα και όχι η αυξημένη συγκέντρωση χοληστερόλης.
- Υπερβολική πρόσληψη τροφών με υψηλή περιεκτικότητα σε χοληστερόλη και περιοδική δωρεά αίματος.
- Η συμπληρωματική πρόσληψη σιδήρου δεν θα πρέπει να γίνεται αλόγιστα



μ μ ;

- Είναι παραδεκτό πως η προπόνηση βελτιώνει το αντιοξειδωτικό σύστημα του οργανισμού.
- Από τις αντιοξειδωτικές ουσίες που έχουν χρησιμοποιηθεί η βιταμίνη E αποτελεί ίσως τον πιο αποτελεσματικό αντιοξειδωτικό παράγοντα (Goldfarb 1993; Goldfarb et al. 1994).

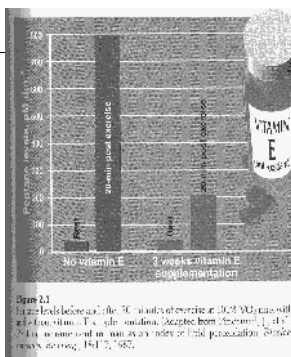
μ

- Η βιταμίνη E βρίσκεται σε αρνητική συσχέτιση με τις μυϊκές ίνες τύπου I υποδεικνύοντας πως τα άτομα τα οποία έχουν αυξημένο % μυϊκών ινών τύπου I μπορεί να έχουν και μεγαλύτερη ανάγκη για βιταμίνη E.

μ

- Φαίνεται πως η συμπληρωματική λήψη βιταμίνης E αυξάνει την αντίσταση των ιστών ως προς την επαγόμενη υπεροξειδωση των λιπιδίων από την άσκηση.
- 200-300 mg/ημέρα μείωσαν τη συγκέντρωση της MDA και δεικτών μυϊκής καταστροφής (Rokitzki et al. 1994; Sumida et al. 1989).
- 60 ημέρες λήψης εξαφάνισαν τις ενδείξεις παραγωγής ελευθέρων ριζών και υπεροξειδωσης των λιπιδίων στο μυοκάρδιο αρουραίων (Kumar et al. 1992).

- Η συμπληρωματική λήψη βιταμίνης E βοηθάει στη μειωμένη παραγωγή ελευθέρων ριζών.



μ

- Συμπληρωματική λήψη 250 IU για πέντε εβδομάδες συνετέλεσε στη μικρότερη συγκέντρωση TBARS και υπεροξειδίων των λιπιδίων τόσο στο πλάσμα όσο και στους μύες μετά από 1 ώρα άσκησης (Goldfarb et al. 1994).
- Συμπληρωματική λήψη για αρκετές ημέρες μετά το τέλος της άσκησης οδηγεί σε μειωμένη παραγωγή ελευθέρων ριζών (Meydani & Evans 1993).

μ

- Η συμπληρωματική λήψη βιταμίνης E δεν βοηθά στην καλύτερη απόδοση (Kanter 1995; Clarkson & Thompson 2000).
- Φαίνεται πως η βιταμίνη E βοηθάει στην ακεραιότητα των ιστών (π.χ. μυϊκός ιστός, καρδιακός ιστός κ.λ.π.) χωρίς υποχρεωτικά να βελτιώνει την απόδοση.
- Προοξειδωτικές ιδιότητες της βιταμίνης E

μ C

- Οι Jakeman & Maxwell (1993) έδειξαν πως τα επίπεδα δύναμης δε μειώνονται στον ίδιο βαθμό μετά από συμπληρωματική λήψη βιταμίνης C (400 mg ημερησίως για 3 εβδομάδες).
- Οι Kaminski & Boal (1992) βρήκαν πως η συμπληρωματική λήψη βιταμίνης C (200 mg ημερησίως για 30 ημέρες) μείωσαν τα επίπεδα καθυστερημένου μυϊκού πόνου κατά 33%.
- Οι Ashton et al. (1999) έδειξαν πως η συμπληρωματική λήψη βιταμίνης C προλαμβάνει την παραγωγή ελευθέρων ριζών μετά από έντονη άσκηση μέχρι εξάντλησης.

μ C

- Οξεία χορήγηση βιταμίνης C (2 ώρες πριν από την άσκηση) δεν επηρεάζει τα επίπεδα δεικτών μυϊκής καταστροφής, καθυστερημένου μυϊκού πόνου, και υπεροξειδωσής των λιπιδίων (Thompson et al. 2001).
- Η συμπληρωματική λήψη βιταμίνης C μπορεί να μειώσει τα επίπεδα καθυστερημένου μυϊκού πόνου (Clarkson & Thompson 2000) και την αποκατάσταση μετά από αερόβια άσκηση (90 λεπτά) (Thompson et al. 2001).
- Αποτελέσματα αρκετών ερευνών συγκλίνουν στην άποψη πως η συμπληρωματική λήψη βιταμίνης C δεν αυξάνει την απόδοση.

μ

- Πολλές έρευνες που έχουν γίνει εξέτασαν την επίδραση που έχει μία μεμονωμένη αντιοξειδωτική ουσία στην παραγωγή ελευθέρων ριζών και προστασία στην ακεραιότητα του μυϊκού ιστού.
- Τελευταία γίνεται προσπάθεια να εξεταστεί ποια είναι η επίδραση του συνδυασμού αντιοξειδωτικών ουσιών στην πρόληψη δημιουργίας ελευθέρων ριζών και προστασίας του μυός.

μ

- Οι Jeng et al. (1996) βρήκαν πως η ταυτόχρονη λήψη βιταμίνης E και C οδήγησαν σε μειωμένα επίπεδα κυτταροκινών μετά από άσκηση που επέφερε μυϊκή καταστροφή, κάτι που υποδεικνύει πως υπήρξε προσαρμογή.
- Ο ίδιος συνδυασμός αντιοξειδωτικών συντέλεσε σε μικρότερη αύξηση της MDA και CK τόσο μετά το τέλος ενός μαραθωνίου όσο και 24 ώρες μετά το πέρας αυτού (Rokitzki et al. 1994).
- Συνδυασμός βιταμίνης E, C, β-καροτίνης μείωσε τα επίπεδα υπεροξειδωσής των λιπιδίων και καταστροφής μυϊκού ιστού (LDH) 24 ώρες μετά από άσκηση σε επαγγελματίες καλαθοσφαιριστές.

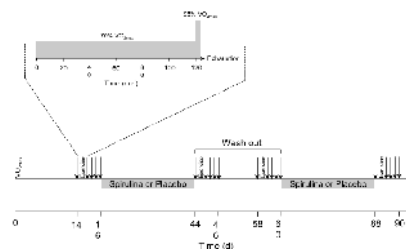
μ μ

- Η έντονη και ασυνήθης άσκηση οδηγεί στη δημιουργία ελευθέρων ριζών.
- Υπάρχει ένα σύστημα υδατοδιαλυτών, λιποδιαλυτών αντιοξειδωτικών ουσιών και ενζύμων το οποίο μπορεί να απομονώσει τις ελεύθερες ρίζες.
- Η προπόνηση επάγει τη λειτουργία του αντιοξειδωτικού συστήματος.

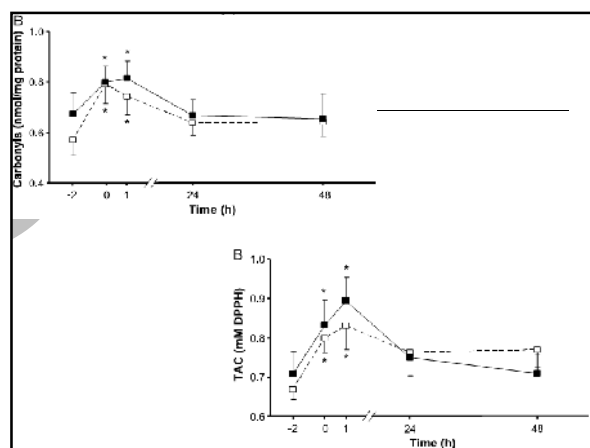
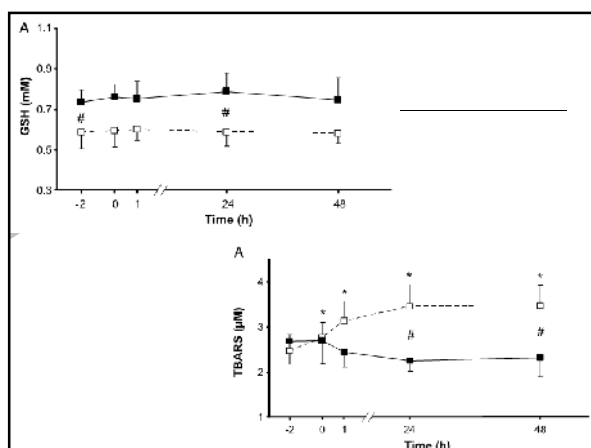
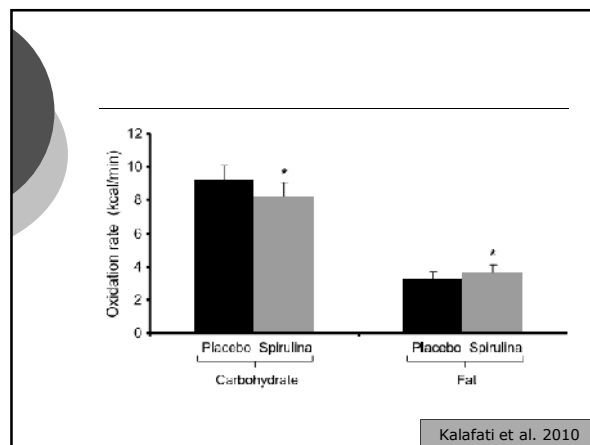
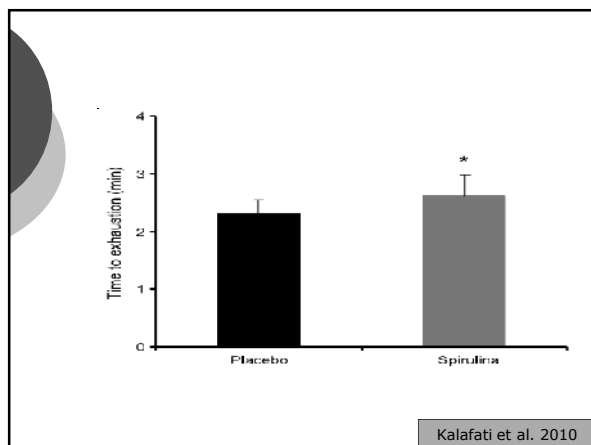
μ μ

- Η συμπληρωματική λήψη αντιοξειδωτικών ουσιών μπορεί να μειώσει τη δημιουργία ελευθέρων ριζών μετά από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη. Ωστόσο, δεν είναι ξεκάθαρο εάν αυτό αποτελεί σωστή πρακτική εξαιτίας των προσαρμογών που μπορεί να επέλθουν από την παρουσία του οξειδωτικού στρες.
- Η συμπληρωματική αντιοξειδωτικών ουσιών δε βελτιώνει την απόδοση.

Ergogenic and Antioxidant Effects of Spirulina Supplementation in Humans



Kalafati et al. 2010



- Συμπληρωματική λήψη βιταμίνης C και E και έκκεντρη προπόνηση
- Συμπληρωματική λήψη NAC από άτομα με έλλειψη ενζύμου G6PD
- Συμπληρωματική λήψη NAC μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη
- Συμπληρωματική λήψη σιδήρου