



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Τμήμα Διαιτολογίας και
Διατροφολογίας



**ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η επίδραση της συμπληρωματικής χορήγησης αντιοξειδωτικών
ουσιών στην απόδοση σε άσκηση με αντιστάσεις**

**The effect of antioxidant supplementation on resistance exercise
performance**

Γκανιάρης Δημήτριος (Α.Μ. 3520152)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

Καλλιόπη Γεωργακούλη, Επίκουρη Καθηγήτρια
Τμήμα Διαιτολογίας και Διατροφολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίκαλα, 2023

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Αλγόριθμος.....	31
---------------------------	----

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Αναφερόμενες επιδράσεις των αντιοξειδωτικών ενώσεων στους οξειδοαναγωγικούς δείκτες που σχετίζονται με την άσκηση, τη μιτοχονδριακή βιογένεση, την αγγειακή λειτουργία και τα αποτελέσματα απόδοσης.....	36
Πίνακας 2: Περίληψη και συστάσεις σχετικά με τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα για άτομα που κάνουν προπόνηση αντοχής	41

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την κα. Γεωργακούλη Καλλιόπη για την επικοινωνιακή συνεργασία και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ότι πολύς κόσμος επιλέγει να καλλιεργήσει συγκεκριμένες συνήθειες άθλησης και διατροφής ως μέτρα αυτοφροντίδας. Επομένως, έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χρήση αντιοξειδωτικών ουσιών στη διατροφή των ανθρώπων που γυμνάζονται. Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της συμπληρωματικής χορήγησης αντιοξειδωτικών ουσιών στην απόδοση της φυσικής άσκησης με αντιστάσεις. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ήταν το google scholar. Έτσι λοιπόν, η έρευνα επικεντρώθηκε στις μελέτες χορήγησης αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την αντοχής στην άθληση, αλλά και άλλα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος, όπως είναι γενικά η αθλητική απόδοση, η ικανότητα αποθεραπείας από μυϊκούς τραυματισμούς, η καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες στον μυϊκό ιστό και άλλα, επιδράσεις τις οποίες διερεύνησαν και οι ειδικοί στις λιγότερες μελέτες που αφορούν συγκεκριμένα τις ασκήσεις με αντιστάσεις. Το συμπέρασμα λοιπόν ήταν ότι, αν και οι έρευνες που αφορούν σε κάθε αντιοξειδωτικό ξεχωριστά και στην επίδρασή του στην αθλητική απόδοση είναι πολυπληθείς, απαιτείται περαιτέρω μελέτη.

Λέξεις κλειδιά: αντιοξειδωτικός μηχανισμός, αντιοξειδωτικές ουσίες, άσκηση με αντιστάσεις

Abstract

In recent years it has been observed that many people choose to cultivate specific sports and diet habits as self-care measures. Therefore, the use of antioxidants in the diet of people who exercise is also of great interest. The aim of this thesis is to investigate the effect of supplemental administration of antioxidants on the performance of physical resistance exercise. The database used for the present literature review was the Google Scholar. Thus search was focused on studies with antioxidant supplementation that could improve the athletic endurance, and also other characteristics of interest such as the athletic performance in general, the ability to recover from muscle injuries, the fight against oxidative stress in muscle tissue and others; effects which were also investigated by experts in the few studies specifically related to resistance exercises. The conclusion was that, although research on antioxidants separately and their effects on athletic performance is numerous, further research is warranted.

Key words: *antioxidant mechanism, antioxidants, resistance training*

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract	6
Εισαγωγικό μέρος.....	9
1. Αντιοξειδωτικός μηχανισμός.....	11
1.1. Οξειδωτικό στρες.....	11
1.2 Βασικές αρχές αντιοξειδωτικών μηχανισμών στον άνθρωπο	11
1.3. Ενδογενείς αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί	12
1.4 Εξωγενείς ουσίες με αντιοξειδωτική δράση.....	13
1.4.1 Βιταμίνη C και E	14
1.6 Πολυφαινόλες.....	15
1.6.1 Ανθοκυανίνες	16
1.6.2 Ασταξανθίνη.....	17
1.6.3 Κατεχίνες	18
1.6.4 Κουρκουμίνη.....	19
1.6.5 Κουερσετίνη.....	20
1.6.6 Ρεσβερατρόλη.....	21
1.7 Υδατοδιαλυτά αντιοξειδωτικά.....	22
1.7.1. Βιταμίνη C.....	22
1.8 Λιποδιαλυτά αντιοξειδωτικά	23
1.8.1 Άλφα λιποϊκό οξύ	23
1.8.2 Συνένζυμο Q10.....	23
1.8.3 Β-καροτένιο και βιταμίνη-A	24
1.8.4 Βιταμίνη E.....	24
1.9 Υδατοδιαλυτά και λιποδιαλυτά αντιοξειδωτικά	25
1.9.1 Μελατονίνη	25
1.9.2 N-ακετυλο κυστεΐνη	26
1.9.3 Συνδυασμένη χρήση βιταμίνης C και E.....	26
1.10 Αντιοξειδωτικά ιχνοστοιχεία.....	28
1.10.1 Σελήνιο.....	28
1.10.2. Ψευδάργυρος.....	28
Ειδικό μέρος.....	30
2. Μεθοδολογία	30
2.1 Σκοπός.....	30
2.2 Συλλογή δεδομένων	30
3. Ευρήματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	33
3.1 Αντιοξειδωτικά και φυσική άσκηση	33
3.2 Εξατομικευμένο πλάνο συμπληρωματικής χορήγησης αντιοξειδωτικών	39
Συμπεράσματα.....	40
Βιβλιογραφία.....	45

Εισαγωγικό μέρος

Η ποιότητα ζωής του σύγχρονου, αστικού ανθρώπου επηρεάζονται έντονα τόσο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και από τις διατροφικές συνήθειες. Ωστόσο, παρατηρείται ότι όλο και μεγαλύτερο τμήμα του πληθυσμού, επιλέγει να καλλιεργήσει συγκεκριμένες συνήθειες άθλησης και διατροφής ως μέτρα αυτοφροντίδας. Ο κύριος σκοπός αυτής της ενασχόλησης τείνει να είναι η πρόληψη είτε η θεραπεία παθολογικών καταστάσεων στις οποίες μπορεί να οδηγήσει το, κατά κύριο λόγο, καθιστικό πρότυπο ζωής που επιβάλλει η εργασία και η μετακίνηση από και προς τον χώρο εργασίας (Kriemler et al., 2012).

Τα κύρια νοσήματα και παθήσεις που μαστίζουν στις σύγχρονες κοινωνίες και αποτελούν απόρροια του μέσου τρόπου ζωής των πολιτών είναι οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο διαβήτης τύπου II, η παχυσαρκία, η αθηροσκλήρυνση, η υψηλή αρτηριακή πίεση και η ανάπτυξη φλεγμονών σε πληθώρα οργάνων ή συστημάτων οργάνων. Σε μοριακό επίπεδο, οι μελέτες αποδεικνύουν ότι ένας από τους κύριους λόγους μέσω των οποίων ο σύγχρονος τρόπος ζωής οδηγείται στην ανάπτυξη των προαναφερθέντων παθήσεων είναι το οξειδωτικό στρες. Ως συνέπεια, μια βασική γραμμή βελτίωσης των διατροφικών συνηθειών που προτείνονται από τους ειδικούς είναι η αύξηση των αντιοξειδωτικών ουσιών στη καθημερινή διατροφή. Μια από τις πρώτες σχετικές παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκε από τον Φυσικό Samuel Black ήδη από τον 19ο αιώνα, ωστόσο οι πρώτες δημόσιες, σχετικές συζητήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη δεκαετία του 1990. Οι πρώτες αναφορές για προϊόντα ή ουσίες με αντιοξειδωτική δράση αφορούσαν σε φαινολικές ουσίες και καροτενοειδή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί και αυτό του Γαλλικού παραδόξου σύμφωνα με το οποίο η επαρκής κατανάλωση κόκκινου κρασιού, με σύσταση πλούσια σε φαινόλες, παρουσιάζει αντιοξειδωτική επίδραση στον καταναλωτή. Η συγκεκριμένη αντιοξειδωτική δράση φάνηκε να μειώνει τον κίνδυνο για εκδήλωση καρδιαγγειακών παθήσεων ως αποτέλεσμα υψηλής κατανάλωσης λιπαρών οξέων (Drenowatz et al., 2020).

Παρά βέβαια τις βιοχημικές και μοριακές μελέτες οι οποίες οδηγούν στο συμπέρασμα της αντιοξειδωτικής δράσης μιας πληθώρας ουσιών και τροφών, τα δεδομένα των κλινικών ερευνών δεν έρχονται σε συμφωνία. Το πρόβλημα σε αυτή τη περίπτωση έγκειται στο γεγονός ότι η περιεκτικότητα της κάθε τροφής σε αντιοξειδωτικά μπορεί να ποικίλει ανά εποχή, προέλευση, τρόπο καλλιέργειας και αποθήκευσης και άλλα. Επιπροσθέτως, ο μεταβολικός ρυθμός ανά άτομο μπορεί να διαφέρει ενώ επιπλέον, η οξειδοαναγωγική ισορροπία (δεδομένου του ενδογενούς μηχανισμού οξείδωσης και αναγωγής ουσιών) σε κάθε οργανισμό μεταβάλλεται με διαφορετικό ρυθμό (Matkovic, 2013).

Η μη σχεδιασμένη ή υπέρμετρη χορήγηση αντιοξειδωτικών ουσιών σε έναν οργανισμό μέσω της διατροφής βέβαια δεν αποτελεί σε καμία περίπτωση πανάκεια. Αντιθέτως, έχει βρεθεί ότι η κατανάλωση ορισμένων αντιοξειδωτικών χωρίς τη συνοδεία από τις κατάλληλες τροφές μπορεί να οδηγήσει στο αντίθετο από το επιθυμητό αποτέλεσμα (Matkovic, 2013). Συνεπώς, περισσότερες μελέτες θα πρέπει να πραγματοποιηθούν κυρίως σε κλινικό επίπεδο προκειμένου να διευκρινιστούν πλήρως η δράση, η κατάλληλη μέθοδος χορήγησης, οι αντενδείξεις και άλλα που αφορούν στις αντιοξειδωτικές δίαιτες/διατροφές. Την άποψη αυτή ενίσχυσε και η δημοσίευση που πραγματοποιήθηκε από την Αμερικανική Ιατρική Εταιρεία (Journal of the American Medical Association) και αφορά σε μία μετα-ανάλυση που ολοκληρώθηκε σε 385 σχετικές μελέτες με δείγμα 232.606 συμμετεχόντων συνολικά. Το συγκεκριμένο δημοσίευμα ανέφερε ότι αυξημένα επίπεδα θνησιμότητας καταγράφονται κατά τη μεμονωμένη χορήγηση των βιταμινών -Α και -Ε όπως επίσης και β-καροτενίου. Επιπροσθέτως, το ίδιο δημοσίευμα υπογράμμισε την ανάγκη για περαιτέρω μελέτη και διαλεύκανση της αναμενόμενης επίδρασης από την κατανάλωση ασκορβικού οξέος και του ιχνοστοιχείου Σελήνιο (Bjelakovic et al., 2013).

Τέλος, έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χρήση έμμεσων αντιοξειδωτικών μέσωσων στη διατροφή των ενδιαφερόμενων. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι χρήζουν επίσης περαιτέρω μελέτης. Η πιο γνωστή χρήση της συγκεκριμένης τακτικής αποτελεί αυτή της χορήγησης ουσιών οι οποίες οδηγούν τελικά στην αύξηση της συγκέντρωσης στον οργανισμό της ανηγμένης μορφής του τριπεπτιδίου της γλουταθειόνης (glutathione, GSH). Η γλουταθειόνη είναι γνωστή για την αντιοξειδωτική της δράση (Kidd, 2010).

Επομένως, γίνεται φανερό ότι η ανάπτυξη διατροφικών και διαιτητικών πλάνων θα πρέπει να πραγματοποιείται πάντοτε υπό την καθοδήγηση της σύγχρονης, παγκόσμιας βιβλιογραφίας. Επίσης, θα πρέπει να αποφεύγονται τα ακραία προγράμματα διατροφής με υπερ-χορήγηση είτε αντίστοιχα, στέρηση τροφών με σκοπό συνήθως τη σύντομη μεταβολή της ενδογενούς οξειδωτικής ισορροπίας του οργανισμού του.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της συμπληρωματικής χορήγησης αντιοξειδωτικών ουσιών στην απόδοση της φυσικής άσκησης με αντιστάσεις.

1. Αντιοξειδωτικός μηχανισμός

1.1. Οξειδωτικό στρες

Ο ανθρώπινος οργανισμός χρησιμοποιεί ως κύρια πηγή ενέργειας τον αερόβιο μεταβολισμό, παραπροϊόν του οποίου αποτελούν οι ελεύθερες, οξειδωτικές ρίζες οξυγόνου (ROS). Οι κύριες μορφές των δραστικών ριζών είναι το υδροξύλιο (OH) και το υπεροξειδίο του υδρογόνου (H₂O₂). Ωστόσο, οι ελεύθερες ρίζες οξυγόνου δεν έχουν φυσιολογικά βλαβερή δράση όταν βρίσκονται σε κανονική ποσότητα στο κύτταρο. Αντίθετα, λαμβάνουν σημαντικό ρόλο σε μια πληθώρα κυτταρικών διεργασιών και στη κυτταρική σηματοδότηση. Ωστόσο, οι υπέρμετρες ποσότητες ελεύθερων ριζών στο εσωτερικό του κυττάρου δρουν καταστρεπτικά για μια πληθώρα βιομορίων όπως είναι το DNA και τα αμινοξέα. Η μη φυσιολογική αύξηση των οξειδωτικών ριζών οξυγόνου μπορεί να οφείλεται στη διατροφή, τη χορήγηση φαρμάκων αλλά και στην άσκηση. Κατά τη φυσική άσκηση οι αυξημένες ανάγκες των μυϊκών κυττάρων για οξυγόνο οδηγούν και στην αυξημένη συγκέντρωση παραπροϊόντων του μεταβολισμού όπως είναι οι ελεύθερες ρίζες. Επιπλέον, οι διαδικασίες παραγωγής των ελεύθερων ριζών οξυγόνου επιταχύνονται με τη μείωση του pH στα μυϊκά κύτταρα (συσσώρευση γαλακτικού οξέος) και με την αύξηση της φυσικής θερμοκρασίας λόγω έργου (Jamurtas, 2018; Thirupathi & Pinho, 2018; Yavari, Javadi, Mirmiran, & Bahadoran, 2015).

Η διαδικασία παραγωγής ελεύθερων ριζών ως παραπροϊόν του μεταβολισμού κατά την άσκηση, που μόλις περιγράφηκε, διαφέρει ανάμεσα σε εξασκημένα και μη άτομα. Τα άτομα που εξασκούν κάποιο εντατικό προπονητικό πλάνο παρουσιάζουν μεγαλύτερες ανοχές στις υψηλές συγκεντρώσεις των ROS. Οι διαδικασίες της εκγύμνασης ενισχύει τη διαδικασία βιογένεσης των μιτοχονδρίων (κυτταρικά οργανίδια που συχνά αναφέρονται ως “εργοστάσια παραγωγής ενέργειας”) και άρα την ικανότητα αερόβιου μεταβολισμού από τα μυϊκά κύτταρα των σκελετικών μυών, βελτιώνει την ευαισθησία στην ινσουλίνη κ.α. στο προπονημένο άτομο. Ωστόσο, η έντονη προπόνηση σε μη προπονημένα άτομα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές οξειδωτικές βλάβες σε μοριακό και κυτταρικό επίπεδο οι οποίες εκφράζονται μακροσκοπικά με τη μορφή κόπωσης (Jamurtas, 2018; Steinbacher & Eckl, 2015).

1.2 Βασικές αρχές αντιοξειδωτικών μηχανισμών στον άνθρωπο

Δεδομένου ότι οι οξειδωτικές ρίζες αποτελούν φυσιολογικό παραπροϊόν του μεταβολισμού, τα κύτταρα έχουν αναπτύξει μηχανισμούς με αντιοξειδωτική δράση, προκειμένου να προστατεύσουν τον οργανισμό από τις συνέπειες του οξειδωτικού στρες. Τα

αντιοξειδωτικά σε χημικό επίπεδο, δρουν προσφέροντας στις οξειδωτικές ρίζες ηλεκτρόνια (δότες ηλεκτρονίων), δηλαδή ανάγοντας τις ουσίες αυτές με αποτέλεσμα την αδρανοποίησή τους. Οι αντιοξειδωτικές ουσίες συνήθως δρουν σε κάποιο στάδιο της αλυσιδωτής αντίδρασης που παρεμβάλλεται ανάμεσα στη πληθώρα οξειδωτικών μορφών (Zaman et al., 2022). Ως αποτέλεσμα, το κύτταρο προφυλάσσει κάθε πιθανό μοριακό στόχο αυτών των ουσιών, όπως είναι διάφορα βιομόρια (Dekkers, Van Doomen, Kemper, 2013). Οι ουσίες με αντιοξειδωτική δράση λαμβάνονται από τον οργανισμό μέσω της τροφής είτε κατασκευάζονται από τον ίδιο. Οι αντιοξειδωτικές ουσίες χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες (Powers, Lennon, 2010). Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει ουσίες με ενζυμική δράση (πρωτεϊνικές και μη) οι οποίες ενεργούν εντός της κυτταρικής μεμβράνης. Η δεύτερη ομάδα αφορά στις εξωκυτταρικές ή μεμβανικές, μη ενζυμικές δομές και ακολουθεί η τελευταία ομάδα η οποία αφορά σε μηχανισμούς επιδιόρθωσης βιομορίων αλλά και σε βιομόρια που συμμετέχουν σε μηχανισμούς αποικοδόμησης βιομορία. Η τελευταία ομάδα αφορά κυρίως στους στόχους των οξειδωτικών ριζών, επιδιορθώνοντας ζημιές που έχουν ήδη προκληθεί είτε καταστρέφοντας βιομόρια που έχουν προσβληθεί μη ανατρέψιμα από αντιδράσεις των ελεύθερων ριζών.

1.3. Ενδογενείς αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί

Τα ένζυμα και άλλα βιομόρια τα οποία εμπλέκονται σε αντιοξειδωτικά μονοπάτια συνήθως αποτελούν και δείκτες οξειδωτικού στρες. Οι δείκτες μπορούν να ανιχνευτούν στο αίμα ή και άλλα σωματικά υγρά. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι, οι αντιοξειδωτικές δομές/βιομόρια δεν έχουν τη δυνατότητα να εκμηδενίσουν τις ζημιές που έχουν προκληθεί από το οξειδωτικό στρες (Nikolaidis et al., 2016). Ορισμένα από τα αντιοξειδωτικά ένδυμα του ανθρώπινου και άλλων οργανισμών είναι τα ακόλουθα (Urso & Clarkson, 2013):

- Δισμουτάση του υπεροξειδίου (SOD) - Τα αυξημένα επίπεδα δραστηριότητας του ενζύμου υποδηλώνουν κατάσταση οξειδωτικού στρες στον οργανισμό - Εντοπίζεται κυρίως στα μιτοχόνδρια (Urso & Clarkson, 2013)
- Καταλάση - Αποτελεί ένζυμο που δραστηριοποιείται κυρίως στα μιτοχόνδρια όπου πραγματοποιείται ο αερόβιος μεταβολισμός
- Συνένζυμο Q10
- Υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (GPx) - Εμπλέκεται σε μονοπάτια που αφορούν στην προστασία του DNA, των πρωτεϊνών αλλά και των λιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης από την επίδραση των ελεύθερων ριζών οξυγόνου ή

οργανικών οξειδωτικών ριζών - Εντοπίζεται κυρίως στα μιτοχόνδρια (Urso & Clarkson, 2013)

- Αναγωγή της γλουταθειόνης - Δρα ανάγοντας τη γλουταθειόνη, ένα πεπτίδιο με αντιοξειδωτική δράση στην ανηγμένη του μορφή (Urso & Clarkson, 2013)

Επιπλέον, ορισμένα από τα πιο γνωστά, μη ενζυμικά βιομόρια τα οποία είναι γνωστά για την εμπλοκή τους σε αντιοξειδωτικά μονοπάτια είναι η γλουταθειόνη, το ουρικό οξύ και η χολερυθρίνη (Ratnam et al., 2016). Η γλουταθειόνη αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές ενδείξεις του οξειδωτικού στρες και της υγείας του κυττάρου για τα ζωικά κύτταρα. Ο λόγος ανάμεσα στην ανηγμένη και την οξειδωμένη μορφή (GSH/GSSG) αποτελεί δείκτη για την οξειδωτική κατάσταση του κυττάρου μιας και σε φάση οξειδωτικού στρες ο λόγος αυτός μειώνεται (Sacheck & Blumberg, 2011).

Ορισμένοι κυτταρικοί τύποι είναι περισσότερο ή λιγότερο εξοπλισμένοι έναντι του οξειδωτικού στρες σε σχέση με άλλους. Η περίπτωση των ερυθρών αιμοσφαιρίων αποτελεί χαρακτηριστική. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια στη κυτταρική τους μεμβράνη φέρουν μεγάλο αριθμό πολυακόρεστων φωσφολιπιδίων και αιμοσφαιρίνης (Nikolaidis et al., 2016). Τα συγκεκριμένα βιομόρια έχουν αντιοξειδωτική δράση ωστόσο δε θεωρείται ισχυρή σε σχέση με αυτή που προσφέρουν άλλες ενζυμικές δομές (Ratnam et al., 2016).

1.4 Εξωγενείς ουσίες με αντιοξειδωτική δράση

Η πρόληψη αλλά και η καταπολέμηση καταστάσεων οξειδωτικού στρες βασίζονται τόσο στην ανάπτυξη ορθών διατροφικών συνηθειών που περιλαμβάνουν την κατανάλωση αντιοξειδωτικών ουσιών όσο και χρήση προγραμμάτων φυσικής άσκησης σε συχνή βάση (Bisopit et al., 2016). Η πρόσληψη ουσιών με αντιοξειδωτική δράση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της διατροφής αλλά και μέσω των κατάλληλων σκευασμάτων συμπληρώματος της διατροφής. Με αυτόν τον τρόπο ο οργανισμός-καταναλωτής διαθέτει ακόμα περισσότερα “εφόδια” προκειμένου να ανταποκριθεί στις πιθανές ζημιές που μπορεί να προκληθούν από τις ελεύθερες ρίζες. Φυσικά, δε θα πρέπει να λησμονείται ότι η υπέρμετρη κατανάλωση αντιοξειδωτικών χωρίς την μελέτη και ανάπτυξη διατροφικού πλάνου από ειδικούς μπορεί να είναι από αναποτελεσματική έως και βλαβερή, δεδομένου ότι - όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως - ο κάθε οργανισμός διαθέτει μια ενδογενή ισορροπία οξείδωσης και αναγωγής (Ratnam et al., 2016). Σε κάθε περίπτωση, μια πληθώρα σχετικών μελετών έχουν διαλευκάνει τη θετική επίδραση των συμπληρωμάτων διατροφής πλούσια σε αντιοξειδωτικά για τον καταναλωτή (Ferrara et al., 2021; Fischer et al., 2014; Palazzetti et al.,

2014) ενώ άλλες έρχονται σε διαφωνία απορρίπτοντας τη θεωρία για τη θετική αυτή επίδραση των εξωγενών αντιοξειδωτικών (Antonioni et al., 2019) είτε μάλιστα παρουσιάζοντας τον αρνητικό αντίκτυπο χορήγησης αυτών (Bloomer et al., 2014; Bryant, Ryder, Martino, Kim, & Craig, 2013; Dutra, 2018).

Οι περισσότερες ουσίες που μπορούν να χορηγηθούν εξωγενώς και είναι γνωστές για την αντιοξειδωτική τους δράση είναι οι βιταμίνες, οι ενζυμικοί προσδέτες, οι φαινόλες, τα καροτενοειδή όπως επίσης και κάποια ιχνοστοιχεία (Ratnam et al., 2016). Πιο αναλυτικά, όσον αφορά στις βιταμίνες που είναι διαπιστωμένο ότι διαθέτουν αντιοξειδωτική δράση, αυτές ανήκουν τόσο στη κατηγορία των λιποδιαλυτών πρωτεϊνών όπως είναι οι βιταμίνες A, E και K, όσο και στην κατηγορία των υδατοδιαλυτών βιταμινών όπως είναι η βιταμίνη C (Dutra, 2018).

1.4.1 Βιταμίνη C και E

Η βιταμίνη C διαθέτει ένα πολυδιάστατο ρόλο για τον οργανισμό καθώς εμπλέκεται σε διαδικασίες του μεταβολισμού, στην απορρόφηση του σιδήρου από το γαστρεντερικό σύστημα όπως επίσης και στις διεργασίες για την αποκατάσταση πιθανών ζημιών που έχουν προκληθεί στον μυϊκό ιστό. Αντίστοιχα, η βιταμίνη E διαθέτει δράση λιποδιαλύτη και έχει βρεθεί πως η ορθή λειτουργία της βιταμίνης αυτής προϋποθέτει την συνύπαρξη, σε συγκεντρώσεις ισορροπίας, της βιταμίνης C. (Bloomer et al., 2011). Συνεπώς, οι κατάλληλες συγκεντρώσεις του συνδυασμού των δύο βιταμινών αυξάνουν σημαντικά την αντιοξειδωτική επίδραση που ανιχνεύεται σε κυτταρικό επίπεδο (Palazzetti et al., 2014). Επιπλέον, είναι γνωστό ότι η βιταμίνη C, εμπλέκεται σε μοριακά μονοπάτια ανακύκλωσης της βιταμίνης E, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τις ποσότητες της τελευταίας σε ενεργή μορφή (Urso & Clarkson, 2013). Τέλος, θα πρέπει να υπογραμμισθεί ότι παρόμοιες βιοχημικές σχέσεις παρατηρούνται και ανάμεσα σε άλλα αντιοξειδωτικά, όπως είναι η γλουταθειόνη, η συνύπαρξη των οποίων με άλλα αντιοξειδωτικά αυξάνει τελικά την αντιοξειδωτική επίδραση. Παραπροϊόν της φυσικής άσκησης αποτελεί η οξείδωση των λιπιδίων η οποία οδηγεί σε κατάσταση οξειδωτικού στρες. Η βιταμίνη E θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματική για τη καταπολέμηση της οξείδωσης των λιπιδίων και συνεπώς συνιστάται ως αντιοξειδωτικό συμπλήρωμα για τους αθλητές (Urso & Clarkson, 2013).

Στον αντίποδα βέβαια των προαναφερθέντων στέκεται και μια πληθώρα αντιτιθέμενων ερευνών οι οποίες υποστηρίζουν ότι η συνδυασμένη χορήγηση των βιταμινών C και E μπορεί να οδηγήσει στα αντίθετα από τα επιθυμητά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η

κατηγορία ερευνών υποστηρίζει ότι η συνύπαρξη των δύο πρωτεϊνών που αναφέρθηκαν, αυξάνει την πιθανότητα ανίχνευσης προοξειδωτικής δραστηριότητας, η οποία είναι βλαβερή για τον οργανισμό (Ferrara et al., 2021; Peake et al., 2014; Ratnam et al., 2013).

1.5 Συμπληρώματα αντιοξειδωτικών και φυσική άσκηση ενδυνάμωσης με αντιστάσεις

Στη συνέχεια της παρούσας εργασίας πρόκειται να περιγραφεί μια σειρά ουσιών/συστατικών που είναι γνωστά για την αντιοξειδωτική τους δράση και βρίσκονται ήδη στο εμπόριο. Ορισμένα από αυτά ενδεχομένως να θεωρηθούν κατάλληλα για τη χορήγηση σε αθλητές και αθλούμενους και συνεπώς η δράση και οι πιθανές παρενέργειες για το μυοσκελετικό σύστημα πρόκειται να αναφερθούν.

Ο πρώτος πίνακας που παρουσιάζεται στη συνέχεια, περιγράφει την αντιοξειδωτική δράση κάθε αναφερόμενης ουσίας, με επίκεντρο την επίδραση στους σκελετικούς μύες κατά τη φυσική άσκηση. Η επίδραση μπορεί να σχετίζεται με τη διαδικασία της βιογένεσης των μιτοχονδρίων, την αγγειακή λειτουργία των μυών, την ικανότητα μυϊκής αποθεραπείας ύστερα από την άσκηση και την παρουσία διάφορων δεικτών μυϊκής βλάβης όπως είναι η Κινάση της Κρεατίνης (CK) και η Αφυδρογονάση του Γαλακτικού (LDH).

1.6 Πολυφαινόλες

Οι πολυφαινόλες, ύστερα από *in vitro* μελέτες, έχουν παρουσιάσει δράσεις καταπολέμησης των ελεύθερων ριζών αλλά και επίδραση μεταλλικής χηλίωσης (Receno, et al., 2019). Ωστόσο, τα δεδομένα που προκύπτουν από *in vivo* έρευνες δεν είναι απολύτως σύμφωνα με τα προηγούμενα μιας και οι πολυφαινόλες αφενός, εμφανίζουν χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα όταν καταναλώνονται τροφές που τις περιέχουν (Czank, et al., 2013), ενώ επιπλέον φαίνεται να απορροφώνται σε χαμηλές συγκεντρώσεις από τους περιφερικούς ιστούς όπως είναι οι σκελετικοί μύς. Τέλος, οι πολυφαινόλες πιθανολογείται πως ανταγωνίζονται άλλες, ενδογενείς αντιοξειδωτικές ουσίες και βιομόρια επηρεάζοντας την ισορροπία του λόγου ROS/RNS του αντιστοιχούν σε ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και αζώτου αντίστοιχα (Yiu, et al., 2015).

Επιπροσθέτως, οι πολυφαινόλες φαίνεται να επηρεάζουν με έμμεσο τρόπο μοριακά μονοπάτια αντιοξειδωτικής, επάγοντας είτε καταστέλλοντας την έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με τους ενδογενείς μηχανισμούς καταπολέμησης του οξειδωτικού στρες και τη διατήρηση της βιοχημικής ισορροπίας των ελεύθερων ριζών οξυγόνου και αζώτου (Zhou, et al., 2019).

Οι πολυφαινόλες μεταβολίζονται τόσο από το ήπαρ όσο και από το γαστρεντερικό σύστημα. Οι μεταβολίτες που προκύπτουν από την μεταβολική επεξεργασία των πολυφαινολών μπορούν να ασκήσουν έντονη επίδραση στους μηχανισμούς κατά του οξειδωτικού στρες μιας και οι συγκεντρώσεις τους καταφθάνουν σε τιμές πολύ υψηλότερες σε σχέση με τη πρωτογενή ουσία από την οποία προήλθαν (Younes, et al., 2018). Παρά το γεγονός ότι οι πολυφαινόλες αποτελούν μια από τις πιο γνωστές κατηγορίες ουσιών με αντιοξειδωτική δράση, τα ερευνητικά δεδομένα που αφορούν στην αντιοξειδωτική ενεργότητα των μεταβολιτών που προκύπτουν από τις πολυφαινόλες είναι ακόμα περιορισμένα. Για παράδειγμα, μια μέτα-ανάλυση τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων δοκιμών που αφορούσαν σε προπονημένα άτομα ανδρικού φύλου έδειξαν ότι η χορήγηση σε αυτούς συμπληρωμάτων διατροφής, πλούσιων σε πολυφαινόλες με μέση δόση περίπου 688 mg/ημερησίως για τουλάχιστον μια ολόκληρη εβδομάδα, οδήγησε στη βελτίωση της αθλητικής επίδοσης κατά τον παράγοντα του ~1.9%. Ωστόσο, ο ακριβής μηχανισμός ο οποίος οδήγησε στη συγκεκριμένη παρατήρηση δεν είναι γνωστός. Οι συγγραφείς της δημοσίευσης πιθανολογούν ότι τα κύρια μοριακά μονοπάτια στα οποία επενέβη ευεργετικά η κατανάλωση πολυφαινολών είναι η βιογένεση των μιτοχονδρίων στο μυϊκό ιστό (τα μιτοχόνδρια δρουν ως “εργοστάσια παραγωγής ενέργειας για το κύτταρο), η καλύτερη λειτουργία του αγγειακού συστήματος και την αιμάτωσης των σκελετικών μυών όπως επίσης και ο καταβολισμός των λιπαρών οξέων. Τέλος, είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να υπογραμμισθεί ότι μια πληθώρα σχετικών μελετών υποστηρίζει ότι οι πολυφαινόλες δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία του καταναλωτή ακόμα και όταν χορηγούνται σε σχετικά υψηλές ποσότητες (Chaudhary, et al., 2019).

1.6.1 Ανθοκυανίνες

Οι ανθοκυανίνες, συχνά αναφερόμενες στη παγκόσμια βιβλιογραφία και με το ακρωνύμιο ACNs (anthocyanins), αποτελούν οργανικές ουσίες για τις οποίες η αντιοξειδωτική δράση τους είναι ακόμα αμφιλεγόμενη και υπό μελέτη όσον αφορά στη χορήγησή τους σε αθλητές. Η αντιοξειδωτική επίδραση των ανθοκυανών στους σκελετικούς μύες μάλιστα, δεν έχει διεκρινιστεί ακόμα στον άνθρωπο αλλά ούτε και σε ζώα. Επιπροσθέτως, η δράση τους ως συμπληρώματα για την βελτίωση της απόδοσης της άσκησης, τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου αλλά και την αποθεραπεία σκελετικών μυών είναι διφορούμενη. Μια ακόμα εικασία αποτελεί αυτή σύμφωνα με την οποία, οι ανθοκυανίνες βελτιώνουν τη λειτουργία του ενδοθηλίου και άρα τη κυκλοφορία του αίματος με αποτέλεσμα να παρατηρείται βελτίωση στην απόδοση κατά τη φυσική άσκηση. Η σχετική έρευνα των Martin και συναδέλφων που δημοσιεύθηκε το 2014 έδειξε ότι πιθανότατα η βελτιωμένη επίδοση που καταγράφηκε σε

προπονημένους ποδηλάτες ύστερα από τη χορήγηση συμπληρωμάτων ανθοκυανίνης μέσω των βύσσιων Montmorency για 7 ημέρες, οφείλεται σε καλύτερη οξυγόνωση των σκελετικών μυών. Ωστόσο, η παρατήρηση αυτή δεν έγινε στους αθλητές κατά τη διαδικασία της άθλησης. Αντίστοιχα, μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Νέα Ζηλανδία, όπου οι συμμετέχοντες κατανάλωναν συμπληρώματα ανθοκυανών μέσω της διατροφής πλούσια σε φραγκοστάφυλο για 7 ημέρες, έδειξε ότι η συγκεκριμένη διατροφή οδήγησε στη μείωση της αρτηριακής πίεσης αλλά και στην αύξηση της διαμέτρου της μηριαίας αρτηρίας κατά την ισομετρική άσκηση της συστολής έκτασης γονάτου.

Βέβαια, σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαία η περαιτέρω διερεύνηση του θέματος της επίδρασης της κατανάλωσης ανθοκυανών από αθλητές. Τα δεδομένα μέχρι σήμερα είναι μικτά και αμφιλεγόμενα μιας και στις περισσότερες σχετικές έρευνες το δείγμα των συμμετεχόντων ήταν πολύ μικρό και κατά κύριο λόγο απαρτιζόμενο από προπονημένους άνδρες. Επιπλέον, στο μεγαλύτερο πλήθος σχετικών ερευνών, η κατανάλωση των τροφών/συμπληρωμάτων πλούσιων σε ανθοκυανίνες, πραγματοποιούνται για διάστημα έως και 6 εβδομάδων ενώ συχνά, οι τροφές οι οποίες προτείνονταν προς κατανάλωση, ήταν πλούσιες και σε άλλα αντιοξειδωτικά με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η ερμηνεία των δεδομένων που προέκυπταν, όσον αφορά στην επίδραση του κάθε τύπου μορίου ξεχωριστά. Τέλος, δεν έχει διερευνηθεί διόλου η επίδραση σε μηχανιστικό επίπεδο, των ανθοκυανών στους σκελετικούς μύες στον άνθρωπο είτε σε άλλα ζώα.

1.6.2 Ασταξανθίνη

Η ασταξανθίνη ανήκει στην ομάδα των καροτενοειδών, μια ακόμα μεγάλη κατηγορία βιομορίων που είναι γνωστά για την αντιοξειδωτική τους δράση. Τα δεδομένα που αφορούν στην επίδραση της κατανάλωσης ασταξανθίνης στις συγκεντρώσεις βιοδεικτών του οξειδωτικού στρες στον άνθρωπο είναι ακόμα περιορισμένα. Ωστόσο, είναι γνωστό ότι η ασταξανθίνη μπορεί να μειώσει τη συγκέντρωση δεικτών οξειδωτικού στρες στους σκελετικούς μύες τρωκτικών, όταν η συγκέντρωση της ίδιας είναι αυξημένη στους μύς των ζώων (Muhammad & Allam, 2018). Σε μια ακόμα αντίστοιχη έρευνα φάνηκε ότι η ασταξανθίνη - στη συνέχεια θα αναφέρεται και με το ακρωνύμιο ASX (astaxanthin) - παρεμπόδισε την επαγόμενη από φυσική άσκηση γονιδιακή έκφραση του παράγοντα Nrf2 και επήγαγε την παραγωγή ενδογενών ενζύμων με αντιοξειδωτική δράση (Tung, et al., 2015). Παρά το γεγονός ότι οι μελέτες σε τρωκτικά έδειξαν βελτιωμένη απόδοση αντοχής μετά από χρόνια χορήγηση ασταξανθίνης (Muhammad & Allam, 2018), μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε αθλητές

από τους Ferrara et al., (2021) δεν παρείχε ενδείξεις σχετικές με τη συνεργιστική δράση της ασταξανθίνης ύστερα από χρόνια χορήγηση.

Ένας μοριακός μηχανισμός ο οποίος ενδέχεται να αποδίδει τη δράση της ASX στη βελτίωση της απόδοσης κατά τη φυσική άσκηση, υποστηρίζει την περίπτωση ενισχυμένης οξειδωσης λιπαρών και την καλύτερη διαχείριση του μεταβολισμού γλυκογόνου των σκελετικών μυών κατά την άσκηση στα τρωκτικά (Hart, et al., 2013). Τέλος, όσον αφορά στην επίδραση της χορήγησης ασταξανθίνης στην αποθεραπεία των μυών ύστερα από άσκηση, τα δεδομένα που έχουν προκύψει από μελέτες είναι μικτά και συνεπώς περαιτέρω διερεύνηση του θέματος συνιστάται.

1.6.3 Κατεχίνες

Οι κατεχίνες αποτελούν ομάδα τα πολυφαινολών και εντοπίζονται σε υψηλή συγκέντρωση στο πράσινο τσάι, στο κόκκινο κρασί, στο κακάο και στα μούρα. Τα δεδομένα είναι επίσης διφορούμενα όσον αφορά στην επίδραση της χρόνιας χορήγησης των κατεχινών στην καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες που προκαλείται κατά τη φυσική άσκηση στον άνθρωπο αλλά και στα τρωκτικά. Η επίδραση της χορήγησης κατεχίνης στη βελτίωση της αντοχής στα τρωκτικά είναι επίσης διφορούμενη, ενώ τα δεδομένα δεν υποστηρίζουν μέχρι τώρα την εργογόνα δράση της κατεχίνης σε προπονημένους αλλά και μη ανθρώπους. Από την άλλη, έχει βρεθεί ότι η κατανάλωση φλαβονοειδών του κακάο οδηγούν σε μια μικρή βελτίωση στη συγκέντρωση των δεικτών οξειδωτικού στρες τόσο σε προπονημένους όσο και σε μη συμμετέχοντες σε σχετικές έρευνες (Alway, et al., 2017).

Η χρήση συμπληρωμάτων κατεχίνης είναι γνωστό πως βοηθά στη βελτίωση της λειτουργίας του αγγειακού συστήματος αν και το γεγονός αυτό δεν συνδέεται αυτόματα με τη ανάπτυξη καλύτερης επίδοσης κατά τη φυσική άσκηση. Έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε υπέρβαρα άτομα έδειξαν ότι η συστηματική χρήση υψηλής ποσότητας συμπληρωμάτων φλαβονοειδών του κακάο οδηγεί σε μειωμένη αρτηριακή πίεση μετά από άσκηση, υπό του μεγίστου σε ένταση (McDermott, et al., 2017). Τέλος, μια έρευνα που διεξήχθη από τους Karppi και συναδέλφους και δημοσιεύθηκε το 2014, έδειξε μέτρια βελτίωση της αρτηριακής πίεσης σε φάση ξεκούρασης αλλά και στη φάση άσκησης ύστερα από τη χορήγηση επικατεχίνης σε υγιή ποντίκια για τρεις εβδομάδες, σε ημερήσια ποσότητα 4 mg/κιλά βάρους ζώου. Ωστόσο, η χρήση του συγκεκριμένου συμπληρώματος δεν επέδρασε στην απόδοση κατά τη φυσική άσκηση των ζώων ούτε στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Επιπλέον, δεν εντοπίστηκε καμία

βελτίωση στην κυκλοφορία του αίματος στους σκελετικούς μυς και στην αγγειακή λειτουργία των μυών η οποία είναι επαγόμενη από τη συστολή.

Η β-οξειδωση των λιπαρών οξέων παρατηρήθηκε πως βελτιώθηκε στους σκελετικούς μυς όπως επίσης και η μείωση στην οξειδωση υδατανθράκων, σε τρωκτικά που λάμβαναν κατεχίνη ως συμπλήρωμα. Τα αντίστοιχα δεδομένα από μελέτες που αφορούν στον άνθρωπο είναι μικτά (Yimcharoen, et al., 2019). άλλες μελέτες που αφορούν σε τρωκτικά, έδειξαν ότι η χορήγηση συμπληρωμάτων κατεχίνης οδηγεί στη βελτίωση της διαδικασίας βιογένεσης των μιτοχονδρίων (Kan, et al., 2016), ενώ και πάλι οι αντίστοιχες μελέτες που επικεντρώνονται στον άνθρωπο είναι περιορισμένες και τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα παρουσιάζουν μικρό χαρακτήρα (Alway, et al., 2017). Όσον αφορά στη διαδικασία της αποθεραπείας από μυϊκή βλάβη στον άνθρωπο, τα δεδομένα είναι και πάλι διαφορεόμενα σε σχέση με την επίδραση της χορήγησης κατεχίνης.

Τέλος, όσον αφορά στην πρακτική χρήση συμπληρωμάτων κατεχίνης, προτείνεται η χορήγησή της με τη μορφή φλαβονοειδών κακάο σε μέτρια χρήση, κυρίως για αθλητές με παχυσαρκία ή για αθλούμενους οι οποίοι επιθυμούν τη βελτίωση της λειτουργίας του κυκλοφορικού τους συστήματος. Από την άλλη, δεδομένου ότι είναι γνωστή η βλαπτική δράση της υψηλής ποσότητας χορήγησης κατεχίνης για το ήπαρ (ποσότητες >800 mg ημερησίως (Morrison, et al., 2015)) ενώ γενικότερα τα δεδομένα που αφορούν στην ασφάλεια της συγκεκριμένων ουσιών είναι ελλιπή, η χορήγηση συμπληρωμάτων κατεχίνης μέσω του πράσινου τσαγιού δεν συνιστάται για τους αθλητές και αθλούμενους.

1.6.4 Κουρκουμίνη

Η κουρκουμίνη αποτελεί μια φαινολική χρωστική η οποία συναντάται σε υψηλές ποσότητες στον κουρκουμά. Μέχρι και σήμερα χρησιμοποιείται για ένα πλήθος χρήσεων με τα βασικότερα να περιλαμβάνουν τα συμπληρώματα διατροφής, τις χρωστικές μαγειρικής και τους βελτιωτές γεύσης και τη βιομηχανία καλλυντικών. Η έρευνα που αφορά στη χρήση της κουρκουμίνης από αθλητές με σκοπό τη βελτίωση της αθλητικής του απόδοσης είναι περιορισμένη. Ωστόσο, τα ερευνητικά δεδομένα που αφορούν στις αντίστοιχες μελέτες σε τρωκτικά είναι πιο πολυπληθή. Αφενός, έχει βρεθεί ότι η εξακόλουθη χορήγηση συμπληρωμάτων κουρκουμίνης σε υψηλές ποσότητες οδηγεί στη μείωση εμφάνισης δεικτών μυϊκής βλάβης στα τρωκτικά κατά το οξειδωτικό στρες (Bhattacharya, et al., 2015). Η μελέτη που αφορά στην επίδραση των συμπληρωμάτων κουρκουμίνης στην αντοχή των αθλητών επίσης, είναι ελλιπής. Στην περίπτωση των τρωκτικών, έχει δειχθεί ότι η χρόνια χορήγηση

συμπληρωμάτων κουρκουμίνης βοηθά στην ικανότητα φυσικής άσκησης (Corp, et al., 2013). Παρόλα αυτά περαιτέρω διερεύνηση είναι απαραίτητη όπως επίσης και όσον αφορά στο θέμα βελτίωσης της διαδικασίας βιογένεσης των μιτοχονδρίων μέσω της χρήσης συμπληρωμάτων κουρκουμίνης όπως έχει φανεί σε περιορισμένο αριθμό ερευνών. Το θέμα της επίδρασης της κουρκουμίνης στη λειτουργία του αγγειακού συστήματος κατά την άθληση επίσης δεν καλύπτεται επαρκώς από τα ερευνητικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα. Ύστερα από την ολοκλήρωση ορισμένων μελετών βρέθηκε ότι η χρήση συμπληρωμάτων κουρκουμίνης για χρονική διάρκεια 8 εβδομάδων και σε ημερήσια ποσότητα 150 mg οδήγησε σε αύξηση των τιμών FMD (αρτηριακή διαστολή) αντίστοιχα με τις τιμές που ελήφθησαν ύστερα από μέτριας έντασης αερόβιας άσκησης σε γυναίκες σε μετα-εμμηνοπαυσιακή φάση. Ωστόσο, δεδομένα που να αφορούν στη ταυτόχρονη χορήγηση κουρκουμίνης κατά τη φυσική άσκηση δε δόθηκαν από τη συγκεκριμένη έρευνα. (Hallajzadeh et al., 2019). Συνεπώς, και στην περίπτωση της χρήσης κουρκουμίνης με σκοπό τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης περαιτέρω έρευνα είναι απαραίτητη, δεδομένου ότι ήδη ορισμένες μελέτες - όπως προαναφέρθηκε άλλωστε - σε πειραματόζωα δείχνουν ότι το συγκεκριμένο συστατικό ενδεχομένως να συμβάλλει στη καλύτερη μιτοχονδριακή βιοσυνθετική ικανότητα του οργανισμού.

1.6.5 Κουερσετίνη

Η κουερσετίνη βιοχημικά αποτελεί ένα φλαβονοειδές το οποίο εντοπίζεται σε πληθώρα φυτών και καρπών. Χρησιμοποιείται σήμερα για τη παρασκευή συμπληρωμάτων διατροφής και έχει βρεθεί ότι η ποσότητά της στον οργανισμό που την καταναλώνει μεταβάλλεται πολύ γρήγορα δεδομένου του σύντομου χρόνου ημιζωής της. Τα δεδομένα που αφορούν στη δράση της έναντι του οξειδωτικού στρες που προκαλείται κατά την άθληση είναι περιορισμένα. Από την άλλη, μελέτες που αφορούν στη διερεύνηση του αντικειμένου σε τρωκτικά συμφωνούν κατά κανόνα ότι η χορήγηση κουερσετίνης προκαλεί ενεργοποίηση ενζυμικών μονοπατιών καταπολέμησης του οξειδωτικού στρες σε φάσεις άσκησης των σκελετικών μυών. Επιπλέον, ερευνητικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα έχουν υπογραμμίσει τη πιθανή ευεργετική λειτουργία της κατανάλωσης κουερσετίνης στη βιογένεση μιτοχονδρίων στα κύτταρα των σκελετικών μυών σε τρωκτικά. Από την άλλη, ακόμα και σε πειραματόζωα, τα αποτελέσματα ερευνών είναι διαφορετικά όσον αφορά στη δράση της κουερσετίνης στην αθλητική απόδοση (Mason, et al., 2020).

Όσον αφορά σε έρευνες που έχουν διεξαχθεί στον άνθρωπο, έχει εκτιμηθεί ότι η βελτίωση στην απόδοση κατά την άθληση ύστερα από συστηματική χρήση συμπληρωμάτων κουερσετίνης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.74%–5% συγκεκριμένα, σε δείγμα μη

προπονημένων συμμετεχόντων. Οι έρευνες που αφορούν στην επίδραση της χορήγησης κουεσερτίνης στην αποθεραπεία ύστερα από μυϊκή ζημιά σε αθλούμενους και μη είναι διαφορούμενες. Περαιτέρω διερεύνηση των προαναφερθέντων απαιτείται σε καλύτερα οργανωμένα ερευνητικά έργα όπου πρόκειται να χρησιμοποιήσουν μεγαλύτερα μεγέθη δειγμάτων και θα υπάρξει καλύτερη κατανομή ανάμεσα σε συμμετέχοντες ανδρικού και γυναικείου φύλου. Επομένως, μέχρι και σήμερα τα δεδομένα δεν είναι επαρκή προκειμένου να συσταθεί είτε αντίστροφα, να απαγορευτεί η χρήση της κουεσερτίνης ως συμπλήρωμα σε αθλητές και αθλούμενους προκειμένου να διασφαλιστούν ορισμένα οφέλη για την αθλητική απόδοση είτε την αποθεραπεία από τραυματισμούς (Thompson, et al., 2014).

1.6.6 Ρεσβερατρόλη

Η ρεσβερατρόλη, συχνά αναφερόμενη στη παγκόσμια βιβλιογραφία και με το ακρωνύμιο RVT (resveratrol), ανήκει στη βιοχημική κατηγορία των στυλβενοειδών και εντοπίζεται σε μια πληθώρα φρούτων και καρπών, κυρίως στο κόκκινο σταφύλι. Θεωρείται πως μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικό αντιοξειδωτικό συστατικό. Όσον αφορά στην επίδρασή του στους σκελετικούς μύες, η ρεσβερατρόλη φαίνεται να έχει ευεργετική δράση στη καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες κατά την άσκηση στους μύς των τρωκτικών όταν λαμβάνεται ως συμπλήρωμα και φαίνεται να εμπλέκεται σε μοριακά μονοπάτια επαγωγής της έκφρασης ενδογενών ενζύμων με αντιοξειδωτική δράση (Rousseau, et al., 2016).

Η ρεσβερατρόλη φαίνεται επιπλέον, να ενισχύει την αντοχή κατά την άθληση όταν λαμβάνεται σε μορφή συμπληρωμάτων από τρωκτικά (Petiz et al., 2017). Παρόλα αυτά, τα αντίστοιχα δεδομένα που αφορούν στον άνθρωπο είναι διαφορούμενα (βλέπε πίνακα 1). Σχετικά με τη βελτίωση της μιτοχονδριακής λειτουργίας και βιογένεσης στους σκελετικούς μύες κατά την άσκηση του ανθρώπου, οι έρευνες που αφορούν στη χορήγηση της ρεσβερατρόλης επίσης οδηγούν σε μικτά αποτελέσματα. Λιγосτές είναι και οι μελέτες που διερευνούν την επίδραση της συμπλήρωσης ρεσβερατρόλης στην αγγειακή λειτουργία των αθλητών και αθλούμενων. Οι Gliemann et al., (2016) αναφέρουν σε δημοσίευσή τους ότι η χορήγηση ρεσβερατρόλης σε ημερήσια ποσότητα 250 mg για 8 εβδομάδες οδήγησε στη μειωμένη αρτηριακή πίεση ύστερα από αθλητική δραστηριότητα σε ενήλικες. Ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση, επιπλέον έρευνα σχετικά με τη χορήγηση ρεσβερατρόλης σε αθλητές και αθλούμενους, τις ποσότητες χορήγησης, τον τρόπο αλλά και τις συνέπειες και αντενδείξεις θα πρέπει να υλοποιηθεί. Μέχρι και σήμερα, δεν έχουν ολοκληρωθεί διόλου έρευνες στις οποίες χορηγήθηκαν ποσότητες μεγαλύτερες των 2 γραμμαρίων ημερησίως, γεγονός το οποίο θα οδηγούσε σε αυξημένες ποσότητες ανίχνευσης της ρεσβερατρόλης αλλά και μεταβολικών παραγώγων της στο

κυκλοφορικό σύστημα των καταναλωτών/αθλητών. Η παρεμπόδιση των συγκεκριμένων ερευνών ενδεχομένως να έγκειται στον κίνδυνο για πιθανές παρενέργειες από την κατανάλωση υψηλών ποσοτήτων της συγκεκριμένης ένωσης, όπως είναι η ναυτία, η διάρροια και οι στομαχικοί πόνοι (Ichinose, et al., 2011).

1.7 Υδατοδιαλυτά αντιοξειδωτικά

1.7.1. Βιταμίνη C

Η βιταμίνη C, γνωστή εναλλακτικά και ως L-ασκορβικό οξύ, αποτελεί μια φυσική οργανική ένωση η οποία είναι γνωστή για τις αντιοξειδωτικές τις δράσεις. Η συγκεκριμένη βιταμίνη εντοπίζεται τόσο σε φρούτα και λαχανικά όσο και σε άλλες ομάδες ζωντανών οργανισμών όπως είναι οι μύκητες. Οι μελέτες δείχνουν ότι η μακροχρόνια και σε υψηλές ποσότητες χορήγηση συμπληρωμάτων βιταμίνης C μπορεί να οδηγήσει σε μικτά αποτελέσματα σε σχέση με την επίδραση στις συγκεντρώσεις δεικτών οξειδωτικού στρες που σχετίζεται με την άθληση (βλέπε πίνακα 1). Τα αποτελέσματα ερευνών που πραγματοποιήθηκαν σε υγιή άτομα, όχι προπονημένα, σε κατάσταση ηρεμίας, έδειχναν ότι η συμπλήρωση της διατροφής με τη συγκεκριμένη βιταμίνη δεν προκάλεσε καμία επίδραση στα επίπεδα ενζύμων με αντιοξειδωτική δράση αλλά ούτε και στα μονοπάτια βιογένεσης των μιτοχονδρίων. Στην περίπτωση των τρωκτικών, η χορήγηση συμπληρωμάτων ασκορβικού οξέος φάνηκε να παρεμποδίζει την έκφραση ενζύμων κατά του οξειδωτικού στρες που οφείλεται σε φυσική άσκηση αλλά και τη διαδικασία μιτοχονδριακής βιογένεσης στους σκελετικούς μυς των πειραματόζωων. Η αντοχή κατά τη φυσική άσκηση δεν έχει διευκρινιστεί εάν ενισχύεται από τη κατανάλωση συμπληρωμάτων ασκορβικού οξέος. Ωστόσο, η χορήγηση της συγκεκριμένης βιταμίνης έχειδειχθεί πως βελτιώνει την αγγειακή λειτουργία κατά τις αθλητικές δραστηριότητες σε υπερήλικες και ενδεχομένως σε νεότερους ενήλικες (βλέπε πίνακα 1). Όσον αφορά στη διαδικασία αποθεραπείας από μυϊκή βλάβη κατά την άσκηση, τα δεδομένα είναι διφορούμενα σχετικά με την επίδραση της βιταμίνης C στον άνθρωπο. Γενικά και στη περίπτωση χορήγησης της βιταμίνης C σε αθλητές και αθλούμενους επιπλέον έρευνα είναι απαραίτητη *in vivo* και σε κλινικό επίπεδο. Επιπροσθέτως, περαιτέρω έρευνας χρήζει και ο γνωστός συνδυασμός με συνεργική δράση, βιταμίνης C και E προκειμένου να διευκρινιστούν τα οφέλη και οι πιθανές παρενέργειες συγχορήγησης (Morrison, et al., 2015).

1.8 Λιποδιαλυτά αντιοξειδωτικά

1.8.1 Άλφα λιποϊκό οξύ

Το συγκεκριμένο οξύ αποτελεί μια οργανοθειϊκή ένωση με έντονη αντιοξειδωτική δράση. Λειτουργεί ως συμπαράγοντας λειτουργίας σε μια πληθώρα ενζύμων τα οποία συμμετέχουν στο μεταβολισμό των ζώων. Οι έρευνες που αποδεικνύουν την βελτιωμένη διαχείριση του οξειδωτικού στρες από οργανισμούς που λαμβάνουν το συγκεκριμένο συμπλήρωμα είναι περιορισμένες (βλέπε πίνακα 1). Η αντοχή κατά τις αθλητικές δραστηριότητες και η βιογένεση των μιτοχονδρίων στο σκελετικό μυϊκό ιστό έχει διερευνηθεί στον άνθρωπο και σε πειραματόζωα ύστερα από τη χορήγηση συμπληρωμάτων άλφα λιποϊκού οξέος και τα αποτελέσματα είναι μικτά. Τα δεδομένα είναι διφορούμενα σε σχέση με τη χορήγηση του συγκεκριμένου παράγοντα και την επίδρασή του στη φάση αποθεραπείας από μυϊκή βλάβη αλλά και την αγγειακή λειτουργία (βλέπε πίνακα 1). Επομένως, παρά το γεγονός ότι ορισμένες μελέτες αποδεικνύουν ότι ενδεχομένως η λήψη συμπληρωμάτων Άλφα λιποϊκού οξέος είναι ευεργετική για την καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες που επάγεται από τις αθλητικές δραστηριότητες, η έλλειψη δεδομένων που αφορούν στην επίδραση της συγκεκριμένης ένωσης στην αντοχή και την μυϊκή προσαρμοστικότητα αποτελούν αντένδειξη για τη χορήγηση Άλφα λιποϊκού οξέος σε αθλητές (Rousseau, et al., 2016)

1.8.2 Συνένζυμο Q10

Το συνένζυμο Q10 κατέχει μοριακή δομή παρόμοια με αυτή των λιποδιαλυτών πρωτεϊνών και συμμετέχει στον αερόβιο μεταβολισμό. Σήμερα χρησιμοποιείται σε αρκετά σκευάσματα συμπληρώματος διατροφής αλλά και σε καλλυντικά και άλλες βιομηχανίες ωστόσο, δεν είναι ενδεδειγμένο για φαρμακευτική χρήση από τον FDA (White, 2023). Οι περισσότερες έρευνες χορήγησης του συνενζύμου σε περίοδο άσκησης τόσο σε προπονημένους όσο και σε μη συμμετέχοντες δε δείχνουν κάποια φανερή βελτίωση στην καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες που προκαλείται από την αθλητική δραστηριότητα. Επιπλέον, φαίνεται ότι η χρήση συμπληρωμάτων CoQ10 (συνένζυμο Q10) δεν αυξάνει σημαντικά τις συγκεντρώσεις του συνενζύμου στο μυοσκελετικό σύστημα. Η χορήγηση της συγκεκριμένης ένωσης φαίνεται να παρέχει ωστόσο βελτίωση στην λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος ακόμα και στην περίπτωση όπου συνυπάρχουν παθήσεις του συστήματος αυτού και στην διασταλτική ικανότητα του ενδοθηλίου. Η μέγιστη ικανότητα πρόσληψης οξυγόνου επίσης φαίνεται να βελτιώνεται με τη συνδυασμένη χορήγηση του συνενζύμου Q10 μακροχρόνια ταυτόχρονα με φυσική άσκηση. Όσον αφορά στην επίδραση

των συμπληρωμάτων στην αντοχή τα δεδομένα είναι μικτά. Στις σχετικές έρευνες τα συμπληρώματα χορηγήθηκαν σε υγιής συμμετέχοντες σε ποσότητες από 100 έως 300 mg ημερησίως για διάστημα από 8 ημέρες έως και ένα εξάμηνο (βλέπε πίνακα 1). Όσον αφορά στην αποθεραπεία των μυών από βλάβες, επίσης τα δεδομένα δε δείχνουν σημαντικά οφέλη χορήγησης του συνενζύμου (βλέπε πίνακα 1). Συνεπώς, στο σύνολό τους τα δεδομένα δεν είναι πειστικά προκειμένου να συσταθεί από τους ειδικούς η χορήγηση του συνενζύμου Q10 ως συμπλήρωμα, προκειμένου να διασφαλιστεί η καλύτερη αντοχή των αθλούμενων και αθλητών αλλά και η καλύτερη ανταπόκριση σε τραυματισμούς (Belviranlı & Okudan, 2018).

1.8.3 Β-καροτένιο και βιταμίνη-A

Το καροτένιο αποτελεί τερπενοειδές με έντονο χρώμα το οποίο συναντάται φυσικά σε φρούτα και λαχανικά. Η βιταμίνη Α περιλαμβάνει ένα σύνολο ενώσεων στις οποίες περιλαμβάνεται και το β-καροτένιο. Χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία παρασκευής συμπληρωμάτων διατροφής. Μέχρι και σήμερα οι έρευνες δεν έχουν αποδείξει τα οφέλη της χορήγησης συμπληρωμάτων β-καροτενίου έναντι του οξειδωτικού στρες που οφείλεται σε αθλητική δραστηριότητα (Patlar, Baltacı, & Mogulkoc, 2016). Επιπροσθέτως, ελλιπή είναι τα δεδομένα που αφορούν στην επίδραση των συμπληρωμάτων β-καροτενίου στην απόδοση των αθλητικών ασκήσεων αλλά και στη βιογένεση των μιτοχονδρίων στα κύτταρα των σκελετικών μυών. Φυσικά προτείνεται περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων χορήγησης μεμονωμένου β-καροτενίου σε αθλητές και αθλούμενους προκειμένου να διευκρινιστεί η επίδρασή του όσο και οι πιθανές παρενέργειες (Petiz, et al., 2017).

1.8.4 Βιταμίνη E

Η βιταμίνη E έχει αντιοξειδωτική δράση και χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία συμπληρωμάτων διατροφής. Σε αντίθεση με το β-καροτένιο, η βιταμίνη E έχει φανεί να επιδρά θετικά έναντι του οξειδωτικού στρες που προκύπτει ως απόρροια της αθλητικής δραστηριότητας. Επιπλέον, η χρήση συμπληρωμάτων βιταμίνης E, μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης διενίων μυϊκών ινών λόγω έκκεντρης άσκησης. Όσον αφορά στην επίδραση της χορήγησης των συγκεκριμένων συμπληρωμάτων στην αντοχή κατά την άθληση τα δεδομένα είναι διαφορούμενα από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στον άνθρωπο (βλέπε πίνακα 1). Επιπλέον, η χρήση συμπληρωμάτων βιταμίνης E δεν φάνηκε να βελτιώνει ολιστικά την αθλητική απόδοση στις περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί. Πειράματα σε υγιή ποντίκια έδειξαν ότι η χορήγηση υψηλής συγκέντρωσης βιταμίνης E οδήγησε σε αύξηση της αντοχής και της ακετυλοχολινο-εξαρτώμενης αγγειοδιαστολής λόγω άσκησης στις αρτηρίες.

Τέλος, σε σχέση με την ιδιότητα της βιταμίνης E να βελτιώνει την ικανότητα επαναφοράς των τραυματισμένων σκελετικών μυών τα δεδομένα είναι ελλιπή (βλέπε πίνακα 1). Εν τέλει, τα δεδομένα που αφορούν στη δράση της βιταμίνης E σε αθλητές και αθλούμενους αλλά και στους πιθανούς κινδύνους και τις προτεινόμενες δόσεις είναι ελλιπή και επομένως, η χορήγηση της συγκεκριμένης βιταμίνης δεν προτείνεται σε αθλητές (Venditti, et al., 2014).

1.9 Υδατοδιαλυτά και λιποδιαλυτά αντιοξειδωτικά

1.9.1 Μελατονίνη

Η μελατονίνη είναι μια ορμόνη τόσο φυτικής όσο και ζωικής παραγωγής. Τα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι η μακροχρόνια και σε υψηλές ποσότητες χορήγησης μελατονίνης σε αθλητές βοηθά στην καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες που οφείλεται στην άθληση (βλέπε πίνακα 1). Το ίδιο έχει δειχθεί και σε τρωκτικά πειραματόζωα (Borges Lda, et al., 2015). Επίσης σε τρωκτικά, έχει αποδειχθεί ότι η χορήγηση μελατονίνης μπορεί να βελτιώσει τα επίπεδα αντοχής κατά τη διάρκεια φυσικής άσκησης (Rahman, et al., 2017). Τα δεδομένα μελέτης της επίδρασης της μελατονίνης στη βιογένεση των μιτοχονδρίων είναι επίσης μικτά σε πειραματόζωα (Mendes, et al., 2013). Τέλος, ορισμένες έρευνες υλοποιήθηκαν προκειμένου να ελεγχθεί εάν τα συμπληρώματα μελατονίνης μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητα των αθλητών να μειώσουν τον χρόνο δοκιμής και τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι αρνητικά (Brandenberger, et al., 2018). Οι μελέτες που αφορούν στην επίδραση συμπληρωμάτων μελατονίνης στην αγγειακή λειτουργία των αθλητών κατά τη φάση άσκησης είναι πολύ περιορισμένες (βλέπε πίνακα 1).

Τέλος, έρευνα που δημοσιεύθηκε το 2017 από τους Leonardo-Mendonça και τους συναδέλφους του σε αθλητές, μελέτησε την επίδραση χορήγησης μελατονίνης πριν τον ύπνο στην απόδοση των αθλητών. Η χορήγηση πραγματοποιούνται μισή με μία ώρα πριν από τον ύπνο, σε δόση 100 mg ημερησίως για 4 εβδομάδες. Βρέθηκε ότι όντως η μελατονίνη λειτούργησε με αντιοξειδωτική δράση, ενισχύοντας την οξειδωτική ισορροπία του οργανισμού - όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως από άλλες μελέτες (Zhang & Zhang 2014). Επίσης, φάνηκε ότι η χορήγηση μελατονίνης βοηθά στη ρύθμιση του κερκάρδιου ρυθμού όπως έχει προταθεί και σε άλλες έρευνες, γεγονός το οποίο επιδρά θετικά στην επίδοση κατά την αθλητική δραστηριότητα (Leonardo-Mendonça et al. 2015). Η συγκεκριμένη έρευνα καταλήγει στο ότι η χορήγηση της μελατονίνης ως συμπλήρωμα αντιοξειδωτικών μπορεί να συστήνεται σε αθλητές και αθλούμενους σε δοσολογία έως 100 mg ημερησίως χωρίς να παρατηρηθούν

παρενέργειες, βελτιώνοντας την επίδοση των καταναλωτών ((Leonardo-Mendonça, et al., 2017).

1.9.2 N-ακετυλο κυστεΐνη

Η N-ακετυλο κυστεΐνη αποτελεί ένα αμινοξύ το οποίο συχνά αναφέρεται στη παγκόσμια βιβλιογραφία και με το ακρωνύμιο NAC (N-acetyl cysteine). Η έγχυση του συγκεκριμένου αμινοξέος φάνηκε να αυξάνει τη συγκέντρωση της γλουταθειόνης (GSH) και συνεπώς το λόγο GSH/GSSG στους μύς κατά τη φάση μυϊκού κάματος σε ασκήσεις αντοχής, αυξάνοντας έτσι την φυσική, αντιοξειδωτική ικανότητα των σκελετικών μυϊκών κυττάρων. Από την άλλη βέβαια, γενετικές και βιοχημικές μελέτες έδειξαν ότι η έγχυση N-ακετυλο κυστεΐνης σε υγιή άτομα οδήγησε στη μείωση της έκφρασης του γονιδίου SOD2 στους σκελετικούς μύες, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη καταπολέμηση του κυτταρικού οξειδωτικού στρες (Petersen, et al, 2012). Ωστόσο, τα δεδομένα από αντίστοιχες μελέτες με χορήγηση εκ τους στόματος του αμινοξέος είναι ελλιπή. Σε άλλη έρευνα με χορήγηση εκ τους στόματος υψηλής ποσότητας NAC (70 mg/κιλό) παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξε επίδραση στη ροή αίματος στη βραγχιακή αρτηρία ούτε καλύτερη οξυγόνωση του μυϊκού ιστού κατά την άσκηση με αντίσταση στα χέρια με λαβές σε νέους και υγιείς ενήλικες (Smith, et al., 2016). Γενικότερα, τα δεδομένα που αφορούν στην επίδραση χορήγησης συμπληρωμάτων NAC σε αθλητές και αθλούμενους είναι υποσχόμενα και είναι πιθανό το συγκεκριμένο συστατικό να μπορέσει να προταθεί από τους ειδικούς. Ωστόσο, περαιτέρω δοκιμές θα πρέπει να πραγματοποιηθούν κυρίως όσον αφορά στην δοσολογία του αμινοξέος ώστε να μη προκύψουν παρενέργειες όπως είναι οι γαστρεντερικές ενοχλήσεις (Ferreira et al., 2011). Τέλος, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο οργανισμό Anti-Doping (WADA) 2020, η ενδοφλέβια χορήγηση NAC σε αθλητές απαγορεύεται σε ποσότητες μεγαλύτερες των 100 ml ανά 12 ώρες (W.A.-d. Agency, 2020)

1.9.3 Συνδυασμένη χρήση βιταμίνης C και E

Οι έρευνες που αφορούν στο συνδυασμό χορήγησης βιταμίνης C σε ημερήσια ποσότητα 500 mg και βιταμίνης E σε ημερήσια ποσότητα 400 IU έδειξαν βελτίωση στην ανταπόκριση του οργανισμού στο οξειδωτικό στρες που οφείλεται σε αθλητική δραστηριότητα. Στον αντίποδα αυτών ωστόσο, υπήρξαν μελέτες οι οποίες υποστήριξαν την αρνητική επίδραση της συνδυασμένης χορήγησης στην προσαρμοστική ικανότητα των μυών κατά τη διάρκεια ασκήσεων αντοχής σε ποσότητες ίδιες με τις προαναφερθείσες. Το μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων υποστηρίζει ότι η χορήγηση 1 g βιταμίνης C ημερησίως σε συνδυασμό με βιταμίνη E μπορεί να οδηγήσει σε άμβλυνση της ικανότητας προσαρμογής των σκελετικών μυών κατά

την άσκηση αντοχής. Ωστόσο, δεν εντοπίζονται δεδομένα που να υποστηρίζουν ότι η χορήγηση ίδιων ποσοτήτων σε αθλητές μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη βελτίωση της μέγιστης ικανότητας πρόσληψης οξυγόνου (Beck, et al., 2015). Ενώ οι μελέτες που αφορούν στη συνδυασμένη χορήγηση των δύο βιταμινών σε αθλητές και αθλούμενους με σκοπό τη βελτίωση της αθλητικής αποδοτικότητας είναι πολλές, ακόμα ελλιπή είναι τα δεδομένα που αφορούν στον πιο αποτελεσματικό συνδυασμό ποσοτήτων της κάθε βιταμίνης αλλά και στο ιδανικό διάστημα πρόσληψής τους (Margaritelis, et al., 2018).

Πιο συγκεκριμένα, αναλύοντας τις λιγοστές έρευνες οι οποίες αναφέρονται στη χρήση συμπληρωμάτων αντιοξειδωτικών κατά την άθληση με ασκήσεις με αντιστάσεις, ο συνδυασμός βιταμινών C και E είναι πολύ συχνός (Ismaeel, et al., 2019). Έρευνες που διεξήχθησαν σε δείγμα συμμετεχόντων στο φάσμα ηλικιών από 60 έως 75 ετών, μελέτησαν την επίδραση χορήγησης ημερησίως 1000 mg βιταμίνης C και 600 mg βιταμίνης E κατά τη διάρκεια εξαμήνου προγράμματος άσκησης με αντιστάσεις. Βρέθηκε ότι το συγκεκριμένο κοκτέιλ αντιοξειδωτικών σε συνδυασμό με το πρόγραμμα άσκησης που δόθηκε στους συμμετέχοντες, οδήγησε στην αύξηση της μάζας του σώματος που δεν αντιστοιχεί σε λιπώδη ιστό, σε σχέση με την παρακολούθηση του ίδιου προγράμματος γυμναστικής χωρίς τη χορήγηση των αντιοξειδωτικών. Σε όλες τις προαναφερθείσες έρευνες το πρόγραμμα εκγύμνασης με ασκήσεις αντίστασης περιλάμβανε 3 προπονήσεις εβδομαδιαίως οι οποίες περιελάμβαναν 3 σετ των 8 επαναλήψεων φτάνοντας το 80% του 1RM (μέγιστη ικανότητα ανά επανάληψη σε σετ άσκησης) (Bobeuf et al., 2011). Αντιθέτως, στην έρευνα των Bjørnssen και των συναδέλφων η οποία δημοσιεύθηκε το 2016, το δείγμα περιλάμβανε υγιή άτομα στο ηλικιακό φάσμα 65.5 ± 3.7 και το κοκτέιλ βιταμινών περιλάμβανε 500 mg βιταμίνης C και 117.5 mg βιταμίνης E τα οποία χορηγούνταν πριν και μετά την προπόνηση. Οι συμμετέχοντες ακολούθησαν πρόγραμμα 12 εβδομάδων ασκήσεων με αντιστάσεις. Τελικά βρέθηκε ότι η αύξηση της φυσικής μάζας που δεν περιλαμβάνει αύξηση λιπώδους ιστού, ήταν χαμηλότερη στους συμμετέχοντες που λάμβαναν το κοκτέιλ βιταμινών σε σχέση με αυτούς που λάμβαναν Placebo συμπληρώματα. Το πρόγραμμα γυμναστικής που ακολουθήθηκε σε αυτήν την περίπτωση στόχευε περισσότερο στην ανάπτυξη μεταβολικού στρες και συνεπώς περιλάμβανε 3 προπονήσεις εβδομαδιαίως με 1 έως 4 σετ από 13 έως 15 εύκολες επαναλήψεις, 8 έως 10 μέτριας δυσκολίας και 3-5 βαριές επαναλήψεις. Η αιτιολογία των διαφορών που εντοπίζονται στα αποτελέσματα των προηγούμενων μελετών δεν έχει διευκρινιστεί. Ωστόσο, ενδεχομένως αυτές να έγκεινται σε διαφορές στη μεθοδολογία των ερευνών, στη διάρκεια του προγράμματος ασκήσεων ή στη δυσκολία αυτών (Ismaeel, et al., 2019). Τέλος, μια σχετική έρευνα που

δημοσιεύθηκε το 2023 από τους Martínez-Ferrán και συνεργάτες έδειξε ότι η συνδυασμένη χορήγηση των δύο βιταμινών, C και E, μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη διαχείριση του σπλαχνικού λίπους που προκύπτει από ενεργειακή περίσσεια στον οργανισμό/καταναλωτή. Από την άλλη, η ίδια έρευνα υποστήριξε ότι αυτό το κοκτέιλ βιταμινών που χορηγούνται ως αντιοξειδωτικά, μπορεί να αμβλύνουν τη διαδικασία ενδυνάμωσης του άνω τμήματος του σώματος κατά την άσκηση με αντιστάσεις.

1.10 Αντιοξειδωτικά ιχνοστοιχεία

1.10.1 Σελήνιο

Τα δεδομένα που αφορούν στα αποτελέσματα χορήγησης συμπληρωμάτων σεληνίου στη καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες από την άθληση είναι μικτά, το ίδιο και όσον αφορά στην επίδραση στη διαδικασία βιογένεσης των μιτοχονδρίων (βλέπε πίνακα 1). Επίσης, δεν έχει φανεί το συμπλήρωμα σεληνίου να επιδρά θετικά στην αθλητική απόδοση στον άνθρωπο (Andres-Lacueva, et al., 2011). Επίσης, έχει βρεθεί ότι σε υπέρβαρα άτομα με έλλειψη σεληνίου, η χορήγηση συμπληρώματος μπορεί να οδηγήσει σε μείωση ανταπόκρισης με οξειδωτικό στρες ύστερα από φυσική άσκηση. Ωστόσο, τα δεδομένα είναι ελλιπή σε σχέση με την απομονωμένη μελέτη της αθλητικής απόδοσης ύστερα από τη χορήγηση συμπληρωμάτων του συγκεκριμένου ιχνοστοιχείου (Centeno-Baez, Dallaire, & Marette, 2011). Σε κάθε περίπτωση μέχρι σήμερα η χορήγηση σεληνίου εξωγενώς ως συμπλήρωμα διατροφής για αθλητές δε συνιστάται από τους ειδικούς. Οι κύριοι λόγοι είναι ότι ακόμα δεν έχει διευκρινιστεί επαρκώς η επίδρασή του στην αθλητική απόδοση αλλά και στην αποθεραπεία ενώ επιπλέον δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα που αφορούν στην ασφάλεια κατανάλωσης, τις κατάλληλες δοσολογίες αλλά και τις παρενέργειες χορήγησης.

1.10.2. Ψευδάργυρος

Τα δεδομένα που αφορούν τη χρήση συμπληρωμάτων ψευδαργύρου από αθλητές είναι περιορισμένα, ωστόσο συνήθως αναφέρουν την ευεργετική δράση του ιχνοστοιχείου έναντι του οξειδωτικού στρες που οφείλεται σε φυσική άσκηση (βλέπε πίνακα 1). Πειράματα που ολοκληρώθηκαν σε τρωκτικά απέδειξαν ότι η έγχυση ψευδαργύρου στα ζώα οδηγεί σε αύξηση της συγκέντρωσης της γλουταθειόνης GSH η οποία έχει αντιοξειδωτική δράση, ωστόσο δεν επηρεάζει τη διαδικασία λιπιδικής υπεροξειδωσης στα μυϊκά κύτταρα, η οποία ενισχύει την κατάσταση του οξειδωτικού στρες. Περιορισμένα στοιχεία υπάρχουν όσον αφορά στην επίδραση του ψευδαργύρου στην αντοχή των αθλητών και αθλούμενων όπως επίσης και όσον

αφορά στην αποκλειστική χορήγηση του ιχνοστοιχείου, χωρίς τον συνδυασμό με άλλα αντιοξειδωτικά στοιχεία (βλέπε πίνακα 1). Συνεπώς, τα διαθέσιμα στοιχεία είναι ανεπαρκή προκειμένου να θεωρηθεί ο ψευδάργυρος ένα αξιόπιστο στοιχείο το οποίο μπορεί να χορηγηθεί ως συμπλήρωμα σε αθλητές προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοσή τους είτε η ανταπόκρισή τους σε μυϊκούς τραυματισμούς (Centeno-Baez, Dallaire & Marette, 2011).

Ειδικό μέρος

2. Μεθοδολογία

2.1 Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της συμπληρωματικής χορήγησης αντιοξειδωτικών ουσιών στην απόδοση της φυσικής άσκησης με αντιστάσεις.

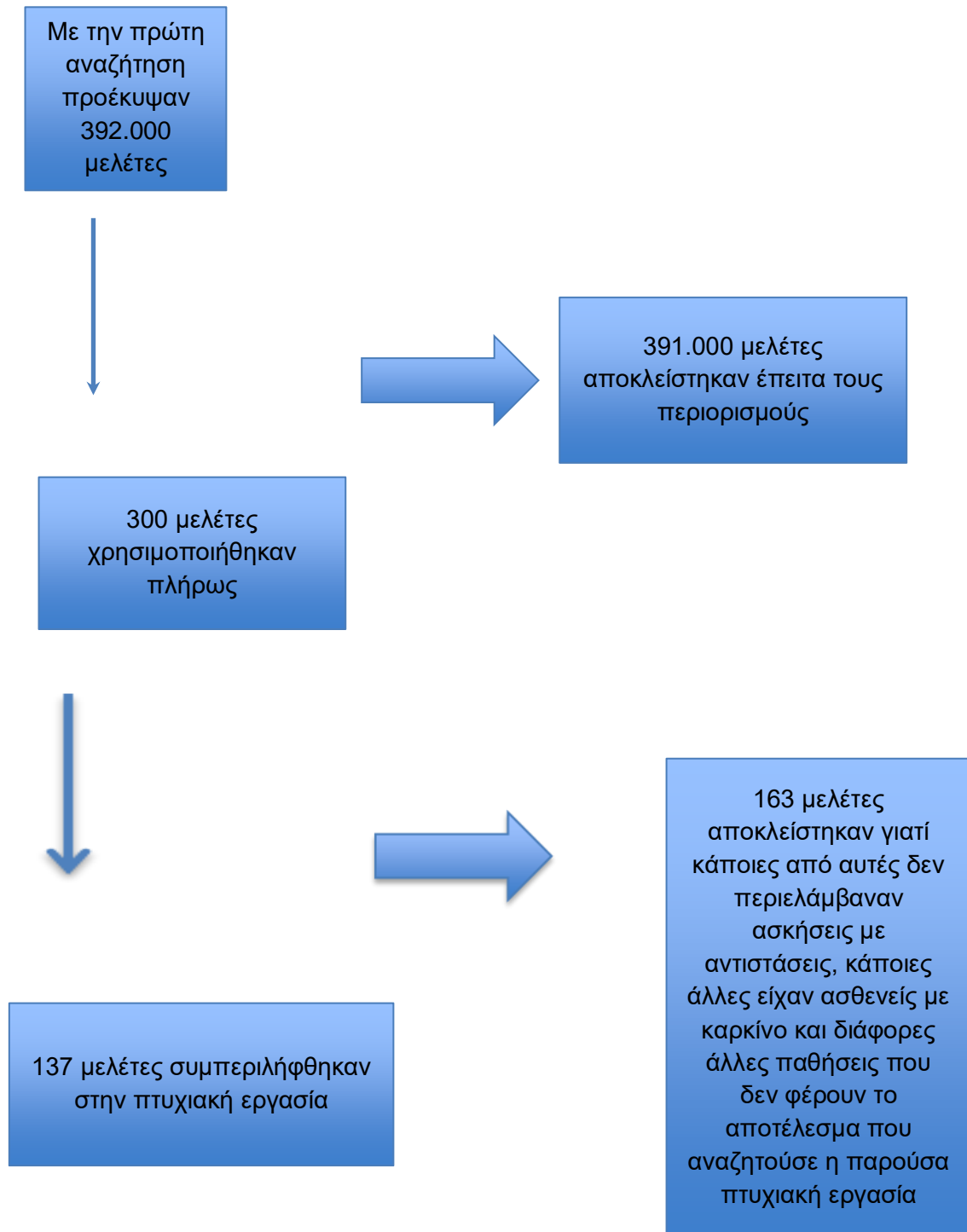
2.2 Συλλογή δεδομένων

Η αναζήτηση των μελετών πραγματοποιήθηκε στη γνωστή βάση δεδομένων Google Scholar. Το Google Scholar είναι μια διαδικτυακή μηχανή αναζήτησης, ειδικά σχεδιασμένη για να βοηθά τους χρήστες στην εξερεύνηση επιστημονικής βιβλιογραφίας, καθώς αποτελεί μια τεράστια βιβλιοθήκη επιστημονικών πληροφοριών και ακαδημαϊκών εργασιών από αξιόπιστες και έγκυρες πηγές. Αρχικά, μετέβη στον ιστότοπο του Google Scholar και συγκεκριμένα στη διεύθυνση <https://scholar.google.com>. Στην αρχική σελίδα του μελετητή Google υπάρχει μια γραμμή ή αλλιώς μπάρα αναζήτησης. Εκεί πληκτρολογήθηκαν οι όροι αναζήτησης όπως διατροφολογία, αντιοξειδωτικός μηχανισμός, αντιοξειδωτικές ουσίες και άσκηση με αντιστάσεις, το καθένα ξεχωριστά αλλά και συνδυαστικά μαζί όπως «αντιοξειδωτικές ουσίες και άσκηση με αντιστάσεις» και «διατροφολογία και αντιοξειδωτικός μηχανισμός». Έπειτα, το Google Scholar εμφάνισε έναν κατάλογο αποτελεσμάτων, κάθε αποτέλεσμα περιλάμβανε συνήθως τίτλο, τον συγγραφέα, τα στοιχεία της δημοσίευσης και μια περίληψη. Όταν το η δημοσίευση ήταν διαθέσιμη, τότε δίπλα από τον τίτλο (στο δεξιό μέρος της σελίδας) υπάρχει η σήμανση “PDF”. Πατώντας τον συγκεκριμένο σύνδεσμο, εμφανιζόταν ολόκληρο το άρθρο σε μορφή αρχείου PDF.

Εικόνα 1. Αλγόριθμος

Με τη χρήση του αλγόριθμου αντιοξειδωτικές ουσίες και άσκηση με αντιστάσεις προέκυψαν περίπου 392.000 αποτελέσματα στη βάση αναζήτησης Google Scholar. Εντούτοις, μετά από κάποιους περιορισμούς το νούμερο αυτό μειώθηκε. Ο ένας περιορισμός ήταν το χρονικό διάστημα. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιλέχθηκαν μελέτες που έχουν δημοσιευτεί από το 2010 έως το 2023, περιορίζοντας, έτσι λοιπόν, τον αριθμό των μελετών σε περίπου 44.100 αποτελέσματα. Ακόμη, ένας ακόμη περιορισμός που επιλέχθηκε ήταν η εμφάνιση μόνο σε άρθρα ανασκοπήσεις και μείωσε τον αριθμό σε περίπου 21.400 αποτελέσματα. Επίσης, υπήρχαν και άλλοι λόγοι οι οποίοι περιόρισαν τον αριθμό των μελετών σε 1000 και επιλέχθηκαν μόνο 137 και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

Σχεδιάγραμμα 1. PRISMA



3. Ευρήματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης

3.1 Αντιοξειδωτικά και φυσική άσκηση

Μέχρι το παρόν σημείο της πτυχιακής, έχουν υπογραμμιστεί τόσο οι βλαβερές συνέπειες του οξειδωτικού στρες όσο και της υπέρμετρης χορήγησης αντιοξειδωτικών. Η κατανάλωση αντιοξειδωτικών θα πρέπει να πραγματοποιείται ύστερα από τη σύσταση ειδικών οι οποίοι προτείνουν στον καταναλωτή ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα διατροφής/συμπλήρωσης ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και τις συνήθειες του όπως είναι η διατροφή και η άσκηση. Εξάλλου, τα αντιοξειδωτικά μπορούν να χορηγούνται εξωτερικά, αλλά δε θα πρέπει να παραβλέπεται ότι ο οργανισμός του ανθρώπου παράγει και φυσιολογικά κάποια αντιοξειδωτικά κυρίως με ενζυμική δράση όπως είναι η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης, η καταλάση κ.α. (Heaton et al., 2017). Επιπλέον, ο οργανισμός διαθέτει ενδογενείς μηχανισμούς καταπολέμησης του οξειδωτικού στρες ανάλογα με τη κατάσταση του οργανισμού, όπως είναι τα μοριακά μονοπάτια αντίδρασης στο οξειδωτικό στρες που προκαλείται κατά τη φυσική άσκηση (Merry & Ristow, 2016).

Η διεθνή έρευνα τα τελευταία χρόνια έχει στρέψει το ενδιαφέρον της στα οφέλη και της βλάβες που μπορεί να επιφέρει η συμπληρωματική χορήγηση αντιοξειδωτικών είτε σε αθλητές είτε σε αθλούμενους. Τα δεδομένα που έχουν προκύψει είναι αρκετά, ωστόσο απαιτείται περαιτέρω μελέτη προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθότητα των θεωριών στην κλινική πράξη. Γενικότερα, τα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι ανιχνεύεται μείωση των βλαβών που προκαλούνται από το οξειδωτικό στρες σε άτομα που λαμβάνουν συμπληρώματα αντιοξειδωτικών ουσιών. Ωστόσο, στην περίπτωση του οξειδωτικού στρες ως αποτέλεσμα της μυϊκής κόπωσης, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός ερευνών απέδειξε την ελαττωμένη ανίχνευση δεικτών οξειδωτικού στρες κατά τη χορήγηση συμπληρωμάτων αντιοξειδωτικών ουσιών. Επιπλέον, τα δεδομένων πολύ συχνά έρχονται σε ρήξη ήδη από τις πρώτες κιόλας μελέτες που πραγματοποιήθηκαν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ακόλουθο που αφορά στη συμπληρωματική χορήγηση βιταμίνης Ε. Το 2012 οι Kanter και συνεργάτες δείχνουν ότι η καθημερινή χορήγηση ενός μίγματος αντιοξειδωτικών με σύσταση: 1000 mg ασκορβικού οξέος, 592 mg α-τοκοφερόλης και 30 mg β-καροτενίου δε βελτίωσε την ανεπιθύμητη αύξηση της μαλονδιαλδεϋδης στο πλάσμα του αίματος ύστερα από μέτρια έως έντονη άσκηση τρεξίματος στο διάδρομο. Αντιθέτως, οι Sumida και συνεργάτες το 2010 απέδειξαν ότι η συμπληρωματική χορήγηση βιταμίνης Ε για διάστημα τεσσάρων εβδομάδων οδήγησαν σε μειωμένες συγκεντρώσεις της μαλονδιαλδεϋδης και άλλων δεικτών μυϊκής βλάβης σε σχέση με τα δείγματα ελέγχου, ύστερα από έντονη άσκηση κυκλικού προγράμματος.

Από την άλλη, μια σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2010 έδειξε ότι η συμπληρωματική χορήγηση της βιταμίνης E ως κύριο αντιοξειδωτικό δεν είχε καμία επίδραση στην αύξηση των συγκεντρώσεων δεικτών μυϊκών βλαβών στη κυκλοφορία του αίματος των αθλούμενων (Helgheim et al., 2010). Συνεπώς, γίνεται φανερό η έλλειψη σύμφωνων ερευνητικών δεδομένων υπέρ είτε κατά της χορήγησης εξωγενών αντιοξειδωτικών ουσιών σε αθλητές και αθλούμενους.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένα από τα πιο ενδιαφέροντα ευρήματα των πιο σύγχρονων σχετικών ερευνών ξεκινώντας από εκείνα που είναι υπέρ της χορήγησης αντιοξειδωτικών σε αθλούμενους και αθλητές και καταλήγοντας σε θεωρίες που υποστηρίζουν ότι η χρήση εξωγενών αντιοξειδωτικών είναι βλαβερή για τους αθλητές/αθλούμενους:

Θεωρίες υπέρ της χορήγησης αντιοξειδωτικών σε αθλούμενους και αθλητές:

- Η χορήγηση ορισμένων αντιοξειδωτικών ουσιών σε αθλητές, φαίνεται να μειώνει είτε να καθυστερεί τα συμπτώματα της φυσικής κόπωσης και να βελτιώνει την απόδοση των αθλητών (Tan et al., 2022).
- Οι διατροφές των αθλητών φαίνεται να μην καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες του οργανισμού τους για αντιοξειδωτικές ουσίες και συνεπώς η συμπλήρωση με εξωγενή σκευάσματα είναι απαραίτητη (Astorino et al., 2017; Palazzetti, Rousseau, Richard, Favier, & Margaritis, 2014)
- Η παραγωγή των ελεύθερων ριζών ως παραπροϊόν του έντονου μεταβολισμού του αθλούμενου μυ οδηγεί σε αίσθημα πόνου το οποίο φαίνεται να μειώνεται μακροχρόνια με την εξωτερική χορήγηση αντιοξειδωτικών ουσιών (Urso & Clarkson, 2013).

Θεωρίες κατά της χορήγησης αντιοξειδωτικών σε αθλούμενους και αθλητές:

- Η εξωτερική χορήγηση αντιοξειδωτικών ουσιών πιθανολογείται ότι μειώνει την φυσιολογική, προσαρμοστική ικανότητα του οργανισμού έναντι στο οξειδωτικό στρες που προκαλείται κατά τη φυσική άσκηση (Merry & Ristow, 2016; Gomez-Cabrera, Salvador- Pascual, Cabo, Ferrando, & Vina, 2015), μια διαδικασία που οδηγεί φυσικά στην καλλιέργεια της μυοσκελετικής δύναμης (Jackson, 2013)
- Η χορήγηση εξωγενών αντιοξειδωτικών ουσιών στην περίπτωση της κόπωσης από έκκεντρη μυϊκή προσπάθεια δε φαίνεται να είναι αποτελεσματική ως προς τη βελτίωση της μυϊκής λειτουργίας, τη καταπολέμηση των φλεγμονών αλλά

ούτε και τη διατήρηση του φυσιολογικού οξειδοαναγωγικού προφίλ των μυών (Theodorou et al., 2011)

- Η ασφάλεια της μακροχρόνιας κατανάλωσης εξωγενών αντιοξειδωτικών ουσιών δεν είναι ακόμα ερευνητικά διαπιστωμένη (Owens et al., 2019)
- Η κατανάλωση συμπληρωματικών αντιοξειδωτικών σκευασμάτων ενδέχεται να είναι βλαβερή για την υγεία του καταναλωτή (Bjelakovic, Nikolova, Gluud, Simonetti, & Gluud, 2015).

Η άσκηση με αντιστάσεις είναι γνωστό ότι μπορεί να προκαλέσει την παραγωγή ελεύθερων ριζών οι οποίες οδηγούν στο φαινόμενο του οξειδωτικού στρες. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται μυϊκός κάματος και συνεπώς μειώνεται η αθλητική απόδοση σε αθλούμενους και αθλητές. Για την αποφυγή αυτής της κατάστασης, ορισμένοι ειδικοί προτείνουν τη χορήγηση εξωγενών ουσιών με αντιοξειδωτική δράση, όχι μόνο κατά την άθληση με αντιστάσεις αλλά γενικά σε ενδιαφερόμενους που ακολουθούν εντατικά προγράμματα αθλητικής δραστηριότητας. Προκειμένου η χορήγηση αντιοξειδωτικών να είναι ασφαλής, μια πληθώρα ερευνών διεξάγεται, έτσι ώστε να διαλευκανθούν οι ευεργετικές ιδιότητες των αντιοξειδωτικών, οι πιθανές αντενδείξεις και οι κατάλληλες δοσολογίες ανά περίπτωση. Παρόλα αυτά, στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρείται πολύ σημαντικό έλλειμμα όσον αφορά στη χορήγηση συμπληρωμάτων με αντιοξειδωτική δράση κατά τη φυσική άσκηση με αντιστάσεις. Οι περισσότερες σχετικές έρευνες δεν επικεντρώνονται στον τύπο αθλητικής δραστηριότητας που πραγματοποιείται κατά την πρόσληψη των αντιοξειδωτικών από τους συμμετέχοντες αλλά στο αποτέλεσμα αυτού του συνδυασμού, το οποίο μπορεί να επηρεάσει την απόδοση κατά την άθληση, την αντοχή, τη μέγιστη ικανότητα πρόσληψης οξυγόνου, την καλύτερη ανταπόκριση στην αποθεραπεία από τραυματισμούς ή μυϊκό κάματο, στην ενδυνάμωση των μυών όπως επίσης και στην οξειδωτική ισορροπία του οργανισμού. Συνεπώς, δεδομένης της ελλιπούς βιβλιογραφίας σε διεθνές επίπεδο, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται επίσης στην επίδραση χορήγησης αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων στην αθλητική απόδοση και σε άλλα χαρακτηριστικά που απασχολούν την αθλητική κοινότητα ενώ, επιπλέον παρουσιάζει τα συμπεράσματα των λιγοστών ερευνών που εντοπίστηκαν να επικεντρώνονται στις ασκήσεις με αντιστάσεις (Steinbacher & Eckl, 2015).

Πίνακας 1: Αναφερόμενες επιδράσεις των αντιοξειδωτικών ενώσεων στους οξειδοαναγωγικούς δείκτες που σχετίζονται με την άσκηση, τη μιτοχονδριακή βιογένεση, την αγγειακή λειτουργία και τα αποτελέσματα απόδοσης (Mason, et al., 2020).

Αντιοξειδωτική ένωση (Από του στόματος δόσεις που χρησιμοποιούνται)	Οξειδωτικό στρες	Επίπεδα αντιοξειδωτικών ενζύμων	Μιτοχονδριακή βιογένεση	Αγγειακή λειτουργία	Απόδοση αντοχής/VO2max	Αποκατάσταση μιών μετά την άσκηση (μυϊκή δύναμη, DOMs, CK, LDH)
Ανθοκυανίνες (80–547 mg/day)	<i>Χρόνιες μελέτες (6-21μέρες) Συστηματικές μετρήσεις: ↓ (Bell, 2014, Bloedon, 2019)</i>	<i>Χρόνιες μελέτες (8-21μέρες) Συστημικές μετρήσεις: ↔(Braakhuis et al., 2014)</i>	N/A	<i>Χρόνιες μελέτες (7μέρες) ↑ (Morgan et al., 2019) (μόνο ανάπαυση) ↑ (Cook, 2017) (κατά τη διάρκεια της άσκησης)</i>	<i>Χρόνιες μελέτες (3-21μέρες) ↑ (Morgan et al., 2019) ↔ (Braakhuis et al., 2014)</i>	<i>Χρόνιες μελέτες (7-8μέρες) Ευεργετικές (Bell, 2015) Καμία επίπτωση (Bell, 2014,)</i>
Ασταξανθίνη (4–20 mg/ημέρα)	<i>Χρόνιες μελέτες (21-90d) Συστηματικές μετρήσεις: ↔ (Baralic, 2015)</i>	<i>Χρόνιες μελέτες (21-90d) Συστηματικές μετρήσεις: ↑ (Res, 2013)</i>	N/A	N/A	<i>Χρόνιες μελέτες (28μέρες) ↔ ((Res, 2013)</i>	<i>Χρόνιες μελέτες (21-90μέρες) Ευεργετικές (Baralic, 2013) Καμία επίπτωση (Klinkenbergr, 2013)</i>
Κατεχίνες (30–1800 mg/ημέρα)	<i>Μελέτες οξείας τοξικότητας Συστημικές μετρήσεις: ↔ (Sugita, 2016) (μόνο ανάπαυση) Χρόνιες μελέτες (14-90μέρες) Συστημικές μετρήσεις: ↓ (Decroix, 2018) ↔ (Schwarz, 2018) Στους σκελετικούς μύες ↓ (Taub, 2016)</i>	<i>Μελέτες οξείας τοξικότητας Συστημικές μετρήσεις: ↑ (Sugita, 2016) (μόνο ανάπαυση) Χρόνιες μελέτες (14-28μέρες) Συστημικές μετρήσεις: ↔ (Schwarz, 2018)</i>	<i>Χρόνιες μελέτες (28-90μέρες) ↑ (Schwarz, 2018) (SDH πρωτεϊνική έκφραση) (Taub, 2016) ↔ (Schwarz, 2018) (CS, Έκφραση πρωτεΐνης κυτοχρώματος C)</i>	<i>Μελέτες οξείας τοξικότητας ↑ (Berry, 2010) Χρόνιες μελέτες (56-84μέρες) ↑ (Ota et al., 2016) (μόνο ανάπαυση)</i>	<i>Χρόνιες μελέτες (2-90μέρες) ↑ (Taub, 2016) ↔ (Ota et al., 2016)</i>	<i>Μελέτες οξείας τοξικότητας Καμία επίπτωση (Peschek, 2013) Chronic studies (2-90μέρες) Ευεργετικές (da Silva, 2018)</i>

Αντιοξειδωτική ένωση (Από του στόματος δόσεις που χρησιμοποιούνται)	Οξειδωτικές στρες	Επίπεδα αντιοξειδωτικών ενζύμων	Μιτοχονδριακή βιογένεση	Αγγειακή λειτουργία	Απόδοση αντοχής/VO2max	Αποκατάσταση μύων μετά την άσκηση (μυϊκή δύναμη, DOMs, CK, LDH)
Βιταμίνη C (400–3000 mg / ημέρα)	Μελέτες οξείας τοξικότητας Συστηματικές μετρήσεις ↓ (Yimcharoen, 2019)	Χρόνιες μελέτες (42μέρες) Στους σκελετικούς μύες ↔ (Mason, 2014) (μόνο ανάπαυση)	Χρόνιες μελέτες (42μέρες) Στους σκελετικούς μύες ↔ (Mason, 2014) (μόνο ανάπαυση)	Οξείες μελέτες (ενδοφλέβια ή από του στόματος) ↑ (Richards, 2015) (μόνο σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας) σε νεότερους ενήλικες ↔ (Limberg, 2014)	Χρόνιες μελέτες (7-56μέρες) ↔ (Roberts, 2011) ↓ (Braakhuis et al., 2014)	Οξείες μελέτες 1
Άλφα-λιποϊκό οξύ (600–1200 mg/ημέρα)	Χρόνιες μελέτες (3–10 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις ↓ (Zembron-Lacny, 2013)	Χρόνιες μελέτες (3–10 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις	N/A	Μελέτες οξείας τοξικότητας	N/A	Χρόνιες μελέτες (3–10δ) Ευεργετικές (Zembron-Lacny, 2013)
Συνένζυμο Q10 (90–300 mg/ημέρα)	Χρόνιες μελέτες (20–56 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις ↔ (Ostman, 2012)	Χρόνιες μελέτες (28 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις ↔ (Okudan et al., 2018)	N/A	Χρόνιες μελέτες	Χρόνιες μελέτες (8-180μέρες) ↑ (Alf et al., 2013) ↔ (Ostman, 2012)	Χρόνιες μελέτες (20-56μέρες) Καμία επίπτωση (Kizaki, 2015)
Βιταμίνη Α/β-καροτένιο (Βιταμίνη Α: 300 mg/ημέρα, β-καροτένιο 30 mg/ημέρα)	Χρόνιες μελέτες (28–30 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις ↔ (Patlar et al., 2016)	Χρόνιες μελέτες (28 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις ↔ (Patlar et al., 2016)	N/A	<u>N/A</u>	<u>Χρόνιες μελέτες</u>	N/A
Μελατονίνη (Melatonin) (οξείες δόσεις 2,5-6 mg, χρόνιες δόσεις 9-100 mg/ημέρα)	Μελέτες οξείας τοξικότητας Συστηματικές μετρήσεις	Μελέτες οξείας τοξικότητας M Συστηματικές	N/A	Μελέτες οξείας τοξικότητας ↑ (Leonardo-Mendonca,	Μελέτες οξείας τοξικότητας ↔ (Brandenberger, 2018)	Χρόνιες μελέτες (28δ) Ευεργετικές (Leonardo-

Αντιοξειδωτική ένωση (Από του στόματος δόσεις που χρησιμοποιούνται)	Οξειδωτικές στρες	Επίπεδα αντιοξειδωτικών ενζύμων	Μιτοχονδριακή βιογένεση	Αγγειακή λειτουργία	Απόδοση αντοχής/VO2max	Αποκατάσταση μύων μετά την άσκηση (μυϊκή δύναμη, DOMs, CK, LDH)
	↓ (Maldonado, 2012) Χρόνιες μελέτες (3-28 μέρες) Συστημικές μετρήσεις ↓ (Leonardo-Mendonca, 2017)	μετρήσεις ↑ (Maldonado, 2012) <u>Χρόνιες μελέτες (3-28 μέρες)</u> <u>Συστηματικές μετρήσεις (3-28 μέρες)</u> Συστηματικές μετρήσεις ↑ (Leonardo-Mendonca, 2017)		2017) (Η συστολική αρτηριακή πίεση μειώνεται μόνο μετά την άσκηση)		Mendonca, 2017)
N-ακετυλοκυστεΐνη (οξεία: από του στόματος 1800 mg - 150 mg/kg (χρόνια: 1200 mg/ημέρα - 250 mg/kg/ημέρα)	Οξείες μελέτες στους σκελετικούς μύες (ενδοφλέβια) ↓ (Trewin, 2015)	Οξείες μελέτες στους σκελετικούς μύες (ενδοφλέβια) Εξασθενημένο ↑ (Petersen, 2012)	Οξείες μελέτες (Ενδοφλέβια) ↔ (Petersen, 2012)	Μελέτες οξείας τοξικότητας (Ενδοφλέβιας) ↑ (Nyberg, 2012) (MAP σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας) ↔ (Nyberg, 2012) (Ροή αίματος, αγγειακή αγωγιμότητα; και MAP σε νεαρούς ενήλικες) Μελέτες οξείας τοξικότητας (Προφορικά) ↔ (Smith, 2016)	Οξείες μελέτες (Ενδοφλέβια) ↑ σε υψηλότερες συχνότητες (Προφορικά) ↑ (Corn, 2011) (ref (Corn, 2011) μόνο στο 80% VO2 max) ↔ (Smith, 2016) (ref (Corn, 2011) at >80% VO2max)	Χρόνιες μελέτες (14 ημέρες) Ευεργετικές (Kerksick, 2012)
Σελήνιο (180-240 μg/ημέρα)	Χρόνιες μελέτες (21 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις	Χρόνιες μελέτες (21-70 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις	Χρόνιες μελέτες (70 μέρες)	N/A	Χρόνιες μελέτες (70d μέρες)	N/A

Αντιοξειδωτική ένωση (Από του στόματος δόσεις που χρησιμοποιούνται)	Οξειδωτικές στρες	Επίπεδα αντιοξειδωτικών ενζύμων	Μιτοχονδριακή βιογένεση	Αγγειακή λειτουργία	Απόδοση αντοχής/VO2max	Αποκατάσταση μύων μετά την άσκηση (μυϊκή δύναμη, DOMs, CK, LDH)
	↓ (Savory, 2012) (μόνο σε υπέρβαρα)	↔ (Savory, 2012) Στους σκελετικούς μύες				
Ψευδάργυρος (20–30 mg/ημέρα)	Χρόνιες μελέτες (6–84 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις ↓ Ferreira, 2020)	Χρόνιες μελέτες (84 μέρες) Συστηματικές μετρήσεις ↔ (Ferreira, 2020)	N/A	<u>N/A</u>	Χρόνιες μελέτες (7-42 μέρες) ↔ (Heffernan, 2019)	N/A

3.2 Εξατομικευμένο πλάνο συμπληρωματικής χορήγησης αντιοξειδωτικών

Συνεπώς, όπως θα μπορούσε να συμπεράνει κανείς, τα δεδομένα που αφορούν στη χρήση συμπληρωμάτων διατροφής με σκοπό τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης και πιο συγκεκριμένα σε αυτή τη περίπτωση, με σκοπό τη βελτίωση στις ασκήσεις αντοχής - οι οποίες περιλαμβάνουν ασκήσεις με αντιστάσεις - αυτά δεν είναι επαρκή. Ωστόσο, ενδεχομένως να υπάρξουν περιπτώσεις αθλούμενων και αθλητών στις οποίες οι ειδικοί μπορούν να στοχεύσουν σε ορισμένες ομάδες αντιοξειδωτικών ουσιών. Ιδίως στις περιπτώσεις έλλειψης ιχνοστοιχείων ή βιταμινών, οι ειδικοί θα πρέπει να συμβουλεύουν ορθώς και να χορηγούν στον ενδιαφερόμενο τα αντίστοιχα συμπληρώματα. Με αυτό τον τρόπο θα επανέλθει κατάσταση ισορροπίας στον οργανισμό του ατόμου και συνεπώς θα παρατηρηθεί βελτίωση στην αθλητική ικανότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τελευταίας περίπτωσης αποτελεί μια σχετική έρευνα στην οποία χορηγήθηκε συμπλήρωμα NAC supplementation σε ποσότητα 1,200 mg δύο φορές ημερησίως για διάστημα ενός μήνα σε άτομα με χαμηλή συγκέντρωση γλουταθειόνης στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Τελικά παρατηρήθηκε βελτίωση στην ισορροπία γλουταθειόνης αλλά και στην μέγιστη ικανότητα πρόσληψης οξυγόνου. Επίσης βρέθηκε

μειωμένη συγκέντρωση δεικτών οξειδωτικού στρες και αύξηση βιομορίων με αντιοξειδωτική δράση (Paschalis, 2018).

Η εργογόνος δράση της καθημερινής χρήσης συμπληρωμάτων αντιοξειδωτικών έχει μελετηθεί κυρίως σε πειραματόζωα. Οι μελέτες σε τρωκτικά έχουν δείξει ότι τα άτομα που παρουσιάζουν ολοκληρωμένο προφίλ αντιοξειδωτικών παρουσιάζουν βελτιωμένη αποδοτικότητα κατά τις αθλητικές δραστηριότητες. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις ερευνών στις οποίες η ανάπτυξη ενός ισορροπημένου προφίλ αντιοξειδωτικών σε ποντίκια με τη χορήγηση συμπληρωμάτων βιταμίνης E, δεν βελτίωσε την αντοχή αυτών σε ασκήσεις αντοχής όπως είναι ο διάδρομος (Mason et al., 2020).

Αντιθέτως, οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε ανθρώπους που λαμβάνουν συμπληρώματα αντιοξειδωτικών, δεν έχουν δείξει σημαντική βελτίωση στην αθλητική τους απόδοση. Έρευνες κατά τις οποίες χορηγήθηκαν μίγματα αντιοξειδωτικών στους συμμετέχοντες, δεν κατάφεραν να εντοπίσουν σημαντική βελτίωση στην αποδοτικότητα κατά την άθληση (Mason et al., 2020).

Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, παρείχε μια λεπτομερή βιβλιογραφική μελέτη σχετική με τη χρήση συμπληρωμάτων αντιοξειδωτικών προκειμένου να εξασφαλιστεί η βελτιωμένη απόδοση σε αθλητικές ασκήσεις με αντιστάσεις. Όπως διαπιστώθηκε κατά τη διάρκεια μελέτης του διαθέσιμου ερευνητικού υλικού, τα δεδομένα που αφορούν σε εξειδικευμένες μελέτες οι οποίες επικεντρώθηκαν στην επίδραση των αντιοξειδωτικών στην επίδοση σε ασκήσεις με αντιστάσεις είναι μηδαμινά (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Περίληψη και συστάσεις σχετικά με τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα για άτομα που κάνουν προπόνηση αντοχής (Mason, et al., 2020).

Αντιοξειδωτική ένωση	Περίληψη αποδεικτικών στοιχείων – επιδράσεις που σχετίζονται με ασκήσεις που περιλαμβάνουν και αντιστάσεις
Ανθοκυανίνες	<ul style="list-style-type: none">-Οι επιδράσεις στο οξειδωτικό στρες και τα αντιοξειδωτικά ένζυμα είναι μικτές και περιορίζονται μόνο σε συστηματικά δεδομένα-Διφορούμενες επιδράσεις στην απόδοση αντοχής, τη μέγιστη VO2 και την αποκατάσταση των μυών μετά την άσκηση-Μπορεί να βελτιώσει τη ροή του αίματος και την αγγειακή λειτουργία, αν και αυτό δεν φαίνεται να μεταφράζεται σε οφέλη απόδοσης-Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση στους αθλητές
Ασταξανθίνη	<ul style="list-style-type: none">-Μελέτες σε τρωκτικά δείχνουν μειωμένο μυϊκό οξειδωτικό στρες και βελτιωμένη απόδοση αντοχής. αν και με πιθανή παρεμπόδιση της σηματοδότησης Nrf2 που προκαλείται από την προπόνηση και της επαγωγής αντιοξειδωτικών ενζύμων στους μυς-Οι μελέτες σε ανθρώπους είναι ανύπαρκτες και ασαφείς όσον αφορά τις επιδράσεις στο οξειδωτικό στρες, τα επίπεδα αντιοξειδωτικών ενζύμων, τις προσαρμογές των σκελετικών μυών, την απόδοση αντοχής και την αποκατάσταση των μυών μετά την άσκηση-Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση στους αθλητές
Κατεχίνες	<ul style="list-style-type: none">-Συνολικά, οι επιδράσεις στο οξειδωτικό στρες και τα αντιοξειδωτικά ένζυμα είναι διφορούμενες. αν και οι φλαβονόλες του κακάο μπορούν να παράγουν μικρές ευεργετικές επιδράσεις στους συστηματικούς δείκτες οξειδωτικού στρες-Στοιχεία που δεν υποστηρίζουν ευεργετικές επιδράσεις στην απόδοση αντοχής-Διφορούμενα στοιχεία σχετικά με τις επιδράσεις στη μιτοχονδριακή βιογένεση των σκελετικών μυών και στην αποκατάσταση των μυών μετά την άσκηση-Μπορεί να βελτιώσει την αγγειακή λειτουργία, ιδιαίτερα σε υπέρβαρα/παχύσαρκα άτομα – ωστόσο, αυτό δεν φαίνεται να μεταφράζεται σε βελτιώσεις στην απόδοση της άσκησης-Η χρόνια συμπλήρωση μπορεί να μειώσει το RER, να αυξήσει την οξείδωση του λίπους, να μειώσει την οξείδωση των υδατανθράκων και να αυξήσει την ενεργειακή δαπάνη-Πιθανές ανεπιθύμητες ενέργειες στα ηπατικά ένζυμα σε υψηλές δόσεις (EGCG >800 mg/ημέρα) και έλλειψη σαφούς ασφάλειας Δόση κατωφλίου-Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση σε αθλητές

Κουρκουμίνη	<p>-Μελέτες σε τρωκτικά δείχνουν βελτιώσεις στο οξειδωτικό στρες των σκελετικών μυών, τη μιτοχονδριακή βιογένεση και την απόδοση αντοχής</p> <p>-Οι μελέτες σε ανθρώπους είναι ελλιπείς και ασαφείς όσον αφορά τις επιδράσεις στο οξειδωτικό στρες, τα επίπεδα αντιοξειδωτικών ενζύμων, τις προσαρμογές των σκελετικών μυών και την απόδοση αντοχής</p> <p>-Περιορισμένες μελέτες σε ανθρώπους υποστηρίζουν τα οφέλη για την αποκατάσταση των μυών μετά την άσκηση, αν και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να επιβεβαιωθεί αυτό</p> <p>-Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση στους αθλητές</p>
Κουερσετίνη	<p>-Ελάχιστες ενδείξεις για τυχόν ευεργετικές επιδράσεις στους συστηματικούς δείκτες οξειδωτικού στρες</p> <p>-Δεν υπάρχουν στοιχεία επί του παρόντος στους ανθρώπους που να υποδηλώνουν ότι θα επηρεάσει τη μιτοχονδριακή βιογένεση στους μυς</p> <p>-Μπορεί να οδηγήσει σε μικρές ευεργετικές επιδράσεις στην απόδοση αντοχής, αν και αυτό περιορίζεται κυρίως σε μη εκπαιδευμένα άτομα</p> <p>-Οι επιδράσεις στην αποκατάσταση των μυών μετά από άσκηση που βλάπτει τους μυς είναι αμφίσημες</p> <p>-Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση στους αθλητές</p>
Η ρεσβερατρόλη	<p>-Τα ευρήματα μελετών σε τρωκτικά υποστηρίζουν βελτίωση στο οξειδωτικό στρες των σκελετικών μυών, στα αντιοξειδωτικά ένζυμα και στην απόδοση άσκησης. Ωστόσο, τα στοιχεία σχετικά με αυτά τα αποτελέσματα είναι περιορισμένα και ασαφή στους ανθρώπους.</p> <p>-Περιορισμένα στοιχεία σε ανθρώπους υποδηλώνουν κάποια παρεμπόδιση της μιτοχονδριακής βιογένεσης των σκελετικών μυών και της αγγειακής λειτουργίας, αλλά τα στοιχεία είναι μικτά</p> <p>-Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να χρησιμοποιούν υψηλότερες δόσεις (δηλ. >2g/ημέρα) για τις οποίες οι συστηματικές συγκεντρώσεις της ρεσβερατρόλης και των μεταβολιτών της είναι πολύ υψηλότερες (Ωστόσο, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ανεπιθύμητων ενεργειών σε υψηλές δόσεις)</p> <p>-Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση σε αθλητές</p>
Βιταμίνη C	<p>-Έχει αποδειχθεί ότι έχει μικτές επιδράσεις στους συστηματικούς δείκτες οξειδωτικού στρες που προκαλείται από την άσκηση και στην αποκατάσταση των μυών μετά την άσκηση</p> <p>-Δεν υπάρχουν πειστικά στοιχεία για τα οφέλη απόδοσης αντοχής</p> <p>-Μπορεί να βελτιώσει την αγγειακή λειτουργία με άσκηση, αν και αυτό φαίνεται να περιορίζεται κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα μετά από οξεία έγχυση</p> <p>-Ενώ ορισμένα δεδομένα τρωκτικών υποδηλώνουν βλάβες στη μιτοχονδριακή βιογένεση των σκελετικών μυών, Αυτό δεν έχει διερευνηθεί σε ανθρώπους απουσία άλλων πρόσθετων αντιοξειδωτικών</p> <p>-Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση σε αθλητές</p>
Άλφα-λιποϊκό οξύ	<p>-Περιορισμένα στοιχεία υποδηλώνουν οφέλη σε συστηματικούς δείκτες οξειδωτικού στρες και αντιοξειδωτικών ενζύμων</p> <p>-Στοιχεία από μελέτες σε ζώα δείχνουν μικτές επιδράσεις στο οξειδωτικό στρες των σκελετικών μυών, στα αντιοξειδωτικά ένζυμα, στη μιτοχονδριακή βιογένεση και στην απόδοση αντοχής. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη μελετών σε ανθρώπους που να διερευνούν αυτά τα αποτελέσματα</p> <p>-Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση σε αθλητές</p>
Συνένζυμο Q10	<p>-Δεν υπάρχουν πειστικά στοιχεία για βελτιώσεις στους δείκτες οξειδωτικού στρες, αντιοξειδωτικών ενζύμων ή αποκατάστασης μυών μετά την άσκηση</p> <p>-Απίθανο να επηρεάσει τη μιτοχονδριακή βιογένεση των σκελετικών μυών</p> <p>-Μπορεί να βελτιώσει την αγγειακή λειτουργία, ιδιαίτερα σε άτομα με καρδιακές παθήσεις. για τους οποίους μπορεί να εμφανιστούν βελτιώσεις στην VO₂max</p>

	<ul style="list-style-type: none"> -Στοιχεία σε μεγάλο βαθμό αναμειγμένα για επιδράσεις στην απόδοση αντοχής -Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση στους αθλητές -Τα περιορισμένα διαθέσιμα στοιχεία δεν υποστηρίζουν ούτε τη βιταμίνη Α ούτε την β-καροτίνη στη βελτίωση των δεικτών οξειδωτικού στρες ή στη βελτίωση της απόδοσης αντοχής
Βιταμίνη Α/β-Καροτίνη	<ul style="list-style-type: none"> -Περιορισμένα στοιχεία από τρωκτικά δείχνουν παρεμπόδιση των προσαρμογών των αντιοξειδωτικών ενζύμων των σκελετικών μυών που προκαλούνται από άσκηση μετά τη συμπλήρωση με παλμιτική ρετινόλη. Ωστόσο, αυτό δεν έχει διερευνηθεί σε ανθρώπους -Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση σε αθλητές - Μελέτες δείχνουν ως επί το πλείστον βελτιώσεις στους δείκτες οξειδωτικού στρες -Μελέτες μικτές όσον αφορά τις επιδράσεις στην απόδοση αντοχής; με τα περισσότερα ευεργετικά αποτελέσματα που εμφανίζονται σε εκπαιδευμένους αθλητές σε μεγάλο υψόμετρο -Ορισμένα δεδομένα τρωκτικών υποδεικνύουν παρεμπόδιση της προσαρμογής των σκελετικών μυών στην άσκηση. αν και οι επιδράσεις της βιταμίνης Ε μόνο σε αυτά τα αποτελέσματα (απουσία άλλων αντιοξειδωτικών) δεν έχει διερευνηθεί σε ανθρώπους -Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για να συστήσει στους αθλητές -Μελέτες δείχνουν βελτιώσεις στους συστηματικούς δείκτες οξειδωτικού στρες και αντιοξειδωτικών ενζύμων -Μελέτες τρωκτικών υποστηρίζουν ευεργετικές επιδράσεις στο οξειδωτικό στρες των σκελετικών μυών και στα αντιοξειδωτικά ένζυμα. Ωστόσο, αυτά τα αποτελέσματα δεν έχουν διερευνηθεί σε ανθρώπους
Βιταμίνη Ε	<ul style="list-style-type: none"> -Περιορισμένες μελέτες δείχνουν ότι η οξεία συμπλήρωση δεν είναι σε θέση να βελτιώσει την απόδοση της δοκιμής χρόνου. αλλά οι επιπτώσεις των χρόνιων συμπληρωμάτων στην απόδοση στους ανθρώπους λείπουν -Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για να συστήσουν στους αθλητές -Τα στοιχεία τείνουν να ευνοούν τη βελτίωση της παρατεταμένης απόδοσης άσκησης μετά από οξεία και χρόνια συμπλήρωση NAC -Τα στοιχεία από περιορισμένες μελέτες οξείας έγχυσης αναμειγνύονται σε σχέση με τις επιδράσεις στα επίπεδα αντιοξειδωτικών των σκελετικών μυών
Μελατονίνη	<ul style="list-style-type: none"> -Περιορισμένα στοιχεία δείχνουν ότι η NAC μπορεί να βελτιώσει πτυχές της αγγειακής λειτουργίας σε ηλικιωμένους, αλλά όχι νεότερους συμμετέχοντες -Οι ανεπιθύμητες ενέργειες περιορίζουν τη χρήση υψηλών δόσεων NAC (>70 mg / kg), αν και οι νεότερες αναβράζουσες μορφές μπορεί να ξεπεράσουν ζητήματα γεύσης και ανοχής -οι περιορισμοί του WADA περιορίζουν τη χρήση εγχύσεων (Agency W.A.-d. (2020)), που μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα εφαρμογής της έγχυσης NAC -Ανεπαρκή στοιχεία για σύσταση στους αθλητές. Ωστόσο, μπορεί να είναι ευεργετική και καλά ανεκτή με δόσεις (<70 mg / kg) που λαμβάνονται χρόνια για αρκετές ημέρες πριν από έναν αγώνα αντοχής
N-ακετυλοκυστεΐνη	<p>Μια συνδυασμένη δόση 500 mg βιταμίνης C + 400 IU βιταμίνης E δεν φαίνεται να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στις προσαρμογές των σκελετικών μυών στην προπόνηση άσκησης αντοχής</p>
Βιταμίνη C + E	<ul style="list-style-type: none"> -Μια συνδυασμένη δόση 1000 mg βιταμίνης C + 260-400 IU βιταμίνης E έχει βρεθεί σε ορισμένες μελέτες ότι παρεμποδίζει ορισμένους δείκτες μιτοχονδριακής βιογένεσης και επαγωγής αντιοξειδωτικών ενζύμων -Δεν φαίνεται να υπάρχει επίδραση (ευεργετική ή επιζήμια) της συνδυασμένης βιταμίνης C + E στην απόδοση της άσκησης αντοχής

- Οι επιδράσεις στην αποκατάσταση των μυών μετά την άσκηση είναι περιορισμένες και διφορούμενες
 - Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση στους αθλητές. Μπορεί επίσης να είναι σοφό για τους αθλητές να αποφεύγουν το συνδυασμό 1000 mg βιταμίνης C + βιταμίνης E κατά τη διάρκεια περιόδων βαριάς προπόνησης στις οποίες συμβαίνουν προσαρμογές σκελετικών μυών**
 - Περιορισμένες μελέτες σε ανθρώπους έχουν δείξει μειωμένη υπεροξειδωση λιπιδίων που σχετίζεται με την άσκηση σε υπέρβαρους συμμετέχοντες με χαμηλά επίπεδα σεληνίου
 - Μία μελέτη σε ανθρώπους έδειξε παρεμπόδιση των δεικτών μιτοχονδριακής βιογένεσης σκελετικών μυών με προπόνηση άσκησης, αν και τα στοιχεία είναι περιορισμένα και μικτά συνολικά
 - Περιορισμένες μελέτες δεν δείχνουν ευεργετικά αποτελέσματα στην απόδοση αντοχής
 - Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση στους αθλητές**
- Σελήνιο**
- Περιορισμένα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν κάποιες ευεργετικές επιδράσεις του ψευδαργύρου στους συστηματικούς δείκτες οξειδωτικού στρες που προκαλείται από την άσκηση
- Zinc**
- Στοιχεία που δεν υποστηρίζουν τις επιδράσεις στην απόδοση αντοχής, με μόνο περιορισμένες μελέτες που χρησιμοποιούν ψευδάργυρο ως μοναδική ένωση σε συμπληρώματα
 - **Ανεπαρκή υποστηρικτικά στοιχεία για σύσταση στον αθλητή**

Παράλληλα, ορισμένες μελέτες, που παρουσιάζονται στη παγκόσμια βιβλιογραφία, διερεύνησαν την επίδραση της ενασχόλησης με πρόγραμμα γυμναστικής με αντιστάσεις στη κατάσταση του οξειδωτικού στρες των αθλητών και αθλούμενων και όχι το αντίστροφο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των τελευταίων αποτελεί η μελέτη των Rosety-Rodriguez και των συναδέλφων που δημοσιεύθηκε το 2021 και επικεντρώθηκε στο πως επιδρά η εξάσκηση με αντιστάσεις στην οξειδωτική ισορροπία των ατόμων με Σύνδρομο Down, αλλά και η μελέτη των Azizbeigi και των συναδέλφων, η οποία αφορά στην επίδραση της εκγύμνασης με ασκήσεις αντιστάσεων, στο οξειδωτικό στρες και την ενεργότητα των ενδογενών ενζύμων με αντιοξειδωτική δράση στα ερυθρά αιμοσφαίρια (Rosety-Rodriguez, et al., 2021; Azizbeigi, et al., 2013). Συνεπώς η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε επικεντρωμένη στην έρευνα χρήσης αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων με σκοπό τη βελτίωση της αντοχής των αθλητών και αθλούμενων αλλά και άλλων χαρακτηριστικών ενδιαφέροντος όπως είναι γενικά η αθλητική απόδοση, η ικανότητα αποθεραπείας από μυϊκούς τραυματισμούς, η καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες στον μυϊκό ιστό και άλλα, επιδράσεις τις οποίες διερεύνησαν και οι ειδικοί στις λιγοστές μελέτες που αφορούν συγκεκριμένα στις ασκήσεις με αντιστάσεις (Ismaeel, et al., 2019).

Τελικά, βρέθηκε ότι αν και οι έρευνες που αφορούν σε κάθε αντιοξειδωτικό ξεχωριστά και στην επίδρασή του στην αθλητική απόδοση είναι πολυπληθείς, περαιτέρω εξειδικευμένη μελέτη είναι απαραίτητη. Στις περισσότερες των περιπτώσεων τα δείγματα διαφέρουν ανάμεσα στις μελέτες που επικεντρώνονται σε κάθε αντιοξειδωτικό ή κατηγορία αντιοξειδωτικών (προπονημένα/μη προπονημένα, γυναίκες/άνδρες κ.α.). Επιπλέον διαφέρουν αρκετά οι δοσολογίες που χρησιμοποιήθηκαν ανά μελέτη όπως επίσης και τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία πραγματοποιήθηκε η χορήγηση. Συνεπώς, είναι αδύνατο να προκύψουν συμπεράσματα τα οποία αφορούν σε ενδεδειγμένη χρήση αντιοξειδωτικών προκειμένου να εξασφαλιστεί υψηλότερη απόδοση κατά την προπόνηση σε ασκήσεις με αντιστάσεις. Δεδομένου ότι υπάρχουν υποστηρικτικά δεδομένα σχετικά με τη θετική δράση των αντιοξειδωτικών στην αθλητική απόδοση και στη καταπολέμηση και πρόληψη του οξειδωτικού στρες που οφείλεται σε αθλητική δραστηριότητα, περαιτέρω μελέτη προτείνεται, μιας και ορισμένα σοβαρά στοιχεία που αφορούν στη χορήγηση είναι ελλιπή, όπως είναι η δοσολογία και οι αντενδείξεις. Οι έρευνες θα πρέπει να υλοποιηθούν και σε κλινικό επίπεδο λαμβάνοντας υπόψη τις έντονες διαφορές που παρατηρήθηκαν ανάμεσα στα συμπεράσματα ερευνών για τη χορήγηση του ίδιου συστατικού (αντιοξειδωτικού) σε πειραματόζωα και άνθρωπο.

Βιβλιογραφία

- Alf, D., Schmidt, M. E., & Siebrecht, S. C. (2013). Ubiquinol supplementation enhances peak power production in trained athletes: a double-blind, placebo controlled study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 24.
- Alway, S. E., McCrory, J. L., Kearcher, K., Vickers, A., Frear, B., Gilleland, D. L., ... & Mohamed, J. S. (2017). Resveratrol enhances exercise-induced cellular and functional adaptations of skeletal muscle in older men and women. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 72(12), 1595-1606.
- Alway, S. E., Mohamed, J. S., & Myers, M. J. (2017). Mitochondria initiate and regulate sarcopenia. *Exercise and sport sciences reviews*, 45(2), 58.
- Andres-Lacueva, C., Macarulla, M. T., Rotches-Ribalta, M., Boto-Ordóñez, M., Urpi-Sarda, M., Rodríguez, V. M., & Portillo, M. P. (2012). Distribution of resveratrol metabolites in liver, adipose tissue, and skeletal muscle in rats fed different doses of this polyphenol. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(19), 4833-4840.
- Antonioni, A., Fantini, C., Dimauro, I., & Caporossi, D. (2019). Redox homeostasis in sport: do athletes really need antioxidant support?. *Research in sports medicine*, 27(2), 147-165.
- Astorino, T., Baker, J., Brock, S., Dalleck, L., Goulet, E., Gotshall, R., ... & Zhou, B. (2017). Dead Sea Marathon-Induced Muscle Damage and Acute Oral Vitamin E Supplementation. *Journal of Exercise Physiologyonline*, 20(3)..
- Azizbeigi, K., Azarbayjani, M. A., Peeri, M., Agha-Alinejad, H., & Stannard, S. (2013). The effect of progressive resistance training on oxidative stress and antioxidant enzyme activity in erythrocytes in untrained men. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 23(3), 230-238.,
- Agency W.A.-d. 2020. The World Anti-doping Code International Standard Prohibited List January 2020.
- Baralic, I., Djordjevic, B., Dikic, N., Kotur-Stevuljevic, J., Spasic, S., Jelic-Ivanovic, Z., ... & Pejic, S. (2013). Effect of astaxanthin supplementation on paraoxonase 1 activities and oxidative stress status in young soccer players. *Phytotherapy research*, 27(10), 1536-1542.
- Baralic, I., Andjelkovic, M., Djordjevic, B., Dikic, N., Radivojevic, N., Suzin-Zivkovic, V., ... & Pejic, S. (2015). Effect of astaxanthin supplementation on salivary IgA, oxidative stress, and inflammation in young soccer players. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2015.

- Beck, W. R., Botezelli, J. D., Pauli, J. R., Ropelle, E. R., & Gobatto, C. A. (2015). Melatonin has an ergogenic effect but does not prevent inflammation and damage in exhaustive exercise. *Scientific reports*, 5(1), 18065.
- Beck, W. R., Scariot, P. P. M., & Gobatto, C. A. (2015). Melatonin is an ergogenic aid for exhaustive aerobic exercise only during the wakefulness period. *International journal of sports medicine*, 71-76.
- Bell, P. G., Walshe, I. H., Ferrara et al., 2021on, G. W., Stevenson, E. J., & Howatson, G. (2015). Recovery facilitation with Montmorency cherries following high-intensity, metabolically challenging exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(4), 414-423.
- Bell, P. G., Walshe, I. H., Ferrara et al., 2021on, G. W., Stevenson, E., & Howatson, G. (2014). Montmorency cherries reduce the oxidative stress and inflammatory responses to repeated days high-intensity stochastic cycling. *Nutrients*, 6(2), 829-843
- Belviranlı, M., & Okudan, N. (2019). Effect of coenzyme Q10 alone and in combination with exercise training on oxidative stress biomarkers in rats. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*.
- Berry, N. M., Ferrara et al., 2021on, K., Coates, A. M., Buckley, J. D., & Howe, P. R. (2010). Impact of cocoa flavanol consumption on blood pressure responsiveness to exercise. *British Journal of Nutrition*, 103(10), 1480-1484
- Bjelakovic, G., Nikolova, D., Gluud, L. L., Simonetti, R. G., & Gluud, C. (2014). Mortality in randomized trials of antioxidant supplements for primary and secondary prevention: systematic review and meta-analysis. *Jama*, 297(8), 842-857
- Bhattacharya, T. K., Pence, B. D., Ossyra, J. M., Gibbons, T. E., Perez, S., McCusker, R. H., ... & Rhodes, J. S. (2015). Exercise but not (-)-epigallocatechin-3-gallate or β -alanine enhances physical fitness, brain plasticity, and behavioral performance in mice. *Physiology & behavior*, 145, 29-37.
- Bloomer, R. J., Falvo, M. J., Fry, A. C., Schilling, B. K., Smith, W. A., & Moore, C. A. (2014). Oxidative stress response in trained men following repeated squats or sprints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(8), 1436-1442..
- Bloomer, R. J., Canale, R. E., McCarthy, C. G., & Farney, T. M. (2012). Impact of oral ubiquinol on blood oxidative stress and exercise performance. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2012.
- Bloedon, T. K., Braithwaite, R. E., Carson, I. A., Klimis-Zacas, D., & Lehnhard, R. A. (2019). Impact of anthocyanin-rich whole fruit consumption on exercise-induced oxidative stress and inflammation: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition reviews*, 77(9), 630-645
- Bobef, F., Labonte, M., Dionne, I.J., & Khalil, A. (2011). Combined effect of antioxidant supplementation and resistance training on oxidative stress markers, muscle and body

- composition in an elderly population. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 15(10), 883–889. PubMed ID: 22159777
- Bobeuf, F., Labonté, M., Khalil, A., & Dionne, I.J. (2010). Effects of resistance training combined with antioxidant supplementation on fat-free mass and insulin sensitivity in healthy elderly subjects. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 87(1), e1–e3. PubMed
- Borges, L. D. S., Dermargos, A., Junior, E. P. D. S., Weimann, E., Lambertucci, R. H., & Hatanaka, E. (2015). Melatonin decreases muscular oxidative stress and inflammation induced by strenuous exercise and stimulates growth factor synthesis. *Journal of pineal research*, 58(2), 166-172.
- Borges, L. D. S., Dermargos, A., Junior, E. P. D. S., Weimann, E., Lambertucci, R. H., & Hatanaka, E. (2015). Melatonin decreases muscular oxidative stress and inflammation induced by strenuous exercise and stimulates growth factor synthesis. *Journal of pineal research*, 58(2), 166-172.
- Brandenberger, K. J., Ingalls, C. P., Rupp, J. C., & Doyle, J. A. (2018). Consumption of a 5-mg melatonin supplement does not affect 32.2-km cycling time trial performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(10), 2872-2877..
- Braakhuis, A. J., Hopkins, W. G., & Lowe, T. E. (2014). Effects of dietary antioxidants on training and performance in female runners. *European journal of sport science*, 14(2), 160-168..
- Brandenberger, K. J., Ingalls, C. P., Rupp, J. C., & Doyle, J. A. (2018). Consumption of a 5-mg melatonin supplement does not affect 32.2-km cycling time trial performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(10), 2872-2877.
- Bryant, R. J., Ryder, J., Martino, P., Kim, J., & Craig, B. W. (2013). Effects of vitamin E and C supplementation either alone or in combination on exercise-induced lipid peroxidation in trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 792-800.
- Centeno-Baez, C., Dallaire, P., & Marette, A. (2011). Resveratrol inhibition of inducible nitric oxide synthase in skeletal muscle involves AMPK but not SIRT1. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 301(5), E922-E930.
- Chaudhary, P., Sharma, Y. K., Sharma, S., Singh, S. N., & Suryakumar, G. (2019). High altitude mediated skeletal muscle atrophy: Protective role of curcumin. *Biochimie*, 156, 138-147
- Cook, M. D., Myers, S. D., Gault, M. L., & Willems, M. E. T. (2017). Blackcurrant alters physiological responses and femoral artery diameter during sustained isometric contraction. *Nutrients*, 9(6), 556.
- Copp, S. W., Inagaki, T., White, M. J., Hirai, D. M., Ferguson, S. K., Holdsworth, C. T., ... & Musch, T. I. (2013). (-)-Epicatechin administration and exercising skeletal muscle vascular control and microvascular oxygenation in healthy rats. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 304(2), H206-H214.

- Corn, S. D., & Barstow, T. J. (2011). Effects of oral N-acetylcysteine on fatigue, critical power, and W' in exercising humans. *Respiratory physiology & neurobiology*, *178*(2), 261-268.
- Czank, C., Cassidy, A., Zhang, Q., Morrison, D. J., Preston, T., Kroon, P. A., ... & Kay, C. D. (2013). Human metabolism and elimination of the anthocyanin, cyanidin-3-glucoside: a ^{13}C -tracer study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *97*(5), 995-1003.
- Ferrara, L., Joksimovic, M., & D'Angelo, S. (2021). Modulation of mitochondrial biogenesis: Action of physical activity and phytochemicals. *Journal of Physical Education and Sport*, *21*(1), 425-433.
- Ferreira, A. O., Polonini, H. C., & Dijkers, E. C. (2020). Postulated adjuvant therapeutic strategies for COVID-19. *Journal of Personalized Medicine*, *10*(3), 80.
- da Silva, W., Machado, Á. S., Souza, M. A., Mello-Carpes, P. B., & Carpes, F. P. (2018). Effect of green tea extract supplementation on exercise-induced delayed onset muscle soreness and muscular damage. *Physiology & behavior*, *194*, 77-82.
- Dekkers, J. C., van Doornen, L. J., & Kemper, H. C. (2013). The role of antioxidant vitamins and enzymes in the prevention of exercise-induced muscle damage. *Sports medicine*, *21*, 213-238.
- Decroix, L., Soares, D. D., Meeusen, R., Heyman, E., & Tonoli, C. (2018). Cocoa flavanol supplementation and exercise: a systematic review. *Sports Medicine*, *48*, 867-892.
- Dutra, M. T., Alex, S., Mota, M. R., Sales, N. B., Brown, L. E., & Bottaro, M. (2018). Effect of strength training combined with antioxidant supplementation on muscular performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *43*(8), 775-781.
- Drenowatz, C., Hinterkörner, F., & Greier, K. (2020). Physical fitness in upper Austrian children living in urban and rural areas: A cross-sectional analysis with more than 18,000 children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(3), 1045.
- EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS), Younes, M., Aggett, P., Aguilar, F., Crebelli, R., Dusemund, B., ... & Wright, M. (2018). Scientific opinion on the safety of green tea catechins. *EFSA Journal*, *16*(4), e05239.
- Ferreira, L. F., Campbell, K. S., & Reid, M. B. (2011). N-acetylcysteine in handgrip exercise: plasma thiols and adverse reactions. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, *21*(2), 146-154
- Fischer, C. P., Hiscock, N. J., Penkowa, M., Basu, S., Vessby, B., Kallner, A., ... & Pedersen, B. K. (2014). Supplementation with vitamins C and E inhibits the release of interleukin-6 from contracting human skeletal muscle. *The Journal of physiology*, *558*(2), 633-645.
- Jackson, J. R., Ryan, M. J., & Alway, S. E. (2011). Long-term supplementation with resveratrol alleviates oxidative stress but does not attenuate sarcopenia in aged mice. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, *66*(7), 751-764.
- Jamurtas, A. Z. (2018). Exercise-induced muscle damage and oxidative stress. *Antioxidants*, *7*(4), 50.

- Hallajzadeh, J., Milajerdi, A., Kolahdooz, F., Amirani, E., Mirzaei, H., & Asemi, Z. (2019). The effects of curcumin supplementation on endothelial function: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Phytotherapy research*, 33(11), 2989-2995.
- Hart, N., Sarga, L., Csende, Z., Koltai, E., Koch, L. G., Britton, S. L., ... & Radak, Z. (2013). Resveratrol enhances exercise training responses in rats selectively bred for high running performance. *Food and chemical toxicology*, 61, 53-59.
- Heaton, M. B., Mitchell, J. J., & Paiva, M. (2010). Amelioration of ethanol-induced neurotoxicity in the neonatal rat central nervous system by antioxidant therapy. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 24(4), 512-518.
- Helgheim, I., Hetland, Ø., Nilsson, S., Ingjer, F., & Strømme, S. B. (2010). The effects of vitamin E on serum enzyme levels following heavy exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40, 283-289.
- Heffernan, S. M., Horner, K., De Vito, G., & Conway, G. E. (2019). The role of mineral and trace element supplementation in exercise and athletic performance: a systematic review. *Nutrients*, 11(3), 696.
- Pehlivan, F. E. (2017). Vitamin C: An antioxidant agent. *Vitamin C*, 2, 23-35.
- Huang, S. L., Chen, P. Y., Wu, M. J., Tai, M. H., Ho, C. T., & Yen, J. H. (2015). Curcuminoids modulate the PKC δ /NADPH oxidase/reactive oxygen species Signaling pathway and suppress matrix invasion during monocyte–macrophage differentiation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(40), 8838-8848.
- Huang, W., Yan, Z., Li, D., Ma, Y., Zhou, J., & Sui, Z. (2018). Antioxidant and anti-inflammatory effects of blueberry anthocyanins on high glucose-induced human retinal capillary endothelial cells. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018.
- Ichinose, T., Nomura, S., Someya, Y., Akimoto, S., Tachiyashiki, K., & Imaizumi, K. (2011). Effect of endurance training supplemented with green tea extract on substrate metabolism during exercise in humans. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(4), 598-605.
- Ismaeel, A., Holmes, M., Papoutsis, E., Panton, L., & Koutakis, P. (2019). Resistance training, antioxidant status, and antioxidant supplementation. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(5), 539-547.
- Gliemann, L., Nyberg, M., & Hellsten, Y. (2016). Effects of exercise training and resveratrol on vascular health in aging. *Free Radical Biology and Medicine*, 98, 165-176.
- Gomez-Cabrera, M. C., Salvador-Pascual, A., Cabo, H., Ferrando, B., & Viña, J. (2015). Redox modulation of mitochondriogenesis in exercise. Does antioxidant supplementation blunt the benefits of exercise training?. *Free radical biology and medicine*, 86, 37-46.
- Greene, S. C., Noonan, P. K., Sanabria, C., & Peacock, W. F. (2016). Effervescent N-acetylcysteine tablets versus oral solution N-acetylcysteine in fasting healthy adults: an open-label,

- randomized, single-dose, crossover, relative bioavailability study. *Current Therapeutic Research*, 83, 1-7.
- Kan, N. W., Ho, C. S., Chiu, Y. S., Huang, W. C., Chen, P. Y., Tung, Y. T., & Huang, C. C. (2016). Effects of resveratrol supplementation and exercise training on exercise performance in middle-aged mice. *Molecules*, 21(5), 661.
- Karppi, J., Kurl, S., Ronkainen, K., Kauhanen, J., & Laukkanen, J. A. (2014). Serum carotenoids reduce progression of early atherosclerosis in the carotid artery wall among Eastern Finnish men. *PLoS One*, 8(5), e64107.
- Kerksick, C. M., Kreider, R. B., & Willoughby, D. S. (2010). Intramuscular adaptations to eccentric exercise and antioxidant supplementation. *Amino acids*, 39, 219-232.
- Klinkenberg, L. J., Haenen, G. R., Bast, A., van Loon, L. J., van Dieijen-Visser, M. P., & Meex, S. J. (2013). Effect of antioxidant supplementation on exercise-induced cardiac troponin release in cyclists: a randomized trial. *PLoS One*, 8(11), e79280.
- Kidd, P. M. (2010). Glutathione: systemic protectant against oxidative and free radical damage. *Altern Med Rev*, 2(3), 155-176.
- Kizaki, K., Terada, T., Arikawa, H., Tajima, T., Imai, H., Takahashi, T., & Era, S. (2014). Effect of reduced coenzyme Q10 (ubiquinol) supplementation on blood pressure and muscle damage during kendo training camp: a double-blind, randomized controlled study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(7-8), 797-804.
- Labonté, M., Dionne, I.J., Bouchard, D.R., Sénéchal, M., Tessier, D., Khalil, A., ::: Dionne, I.J. (2008). Effects of antioxidant supplements combined with resistance exercise on gains in fat-free mass in healthy elderly subjects: A pilot study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 56(9), 1766–1768.
- Laupheimer, M. W., Perry, M., Benton, S., Malliaras, P., & Maffulli, N. (2014). Resveratrol exerts no effect on inflammatory response and delayed onset muscle soreness after a marathon in male athletes.: a randomised, double-blind, placebo-controlled pilot feasibility study. *Translational medicine@ UniSa*, 10, 38.
- Lee, I., Hüttemann, M., Kruger, A., Bollig-Fischer, A., & Malek, M. H. (2015). (–)-Epicatechin combined with 8 weeks of treadmill exercise is associated with increased angiogenic and mitochondrial signaling in mice. *Frontiers in Pharmacology*, 43.
- Leonardo-Mendonça, R. C., Ocaña-Wilhelmi, J., de Haro, T., de Teresa-Galván, C., Guerra-Hernández, E., Rusanova, I., ... & Acuña-Castroviejo, D. (2017). The benefit of a supplement with the antioxidant melatonin on redox status and muscle damage in resistance-trained athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(7), 700-707.
- Limberg, J. K., Kellawan, J. M., Harrell, J. W., Johansson, R. E., Eldridge, M. W., Proctor, L. T., ... & Schrage, W. G. (2014). Exercise-mediated vasodilation in human obesity and metabolic

syndrome: effect of acute ascorbic acid infusion. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 307(6), H840-H847.

- Maldonado, M. D., Manfredi, M., Ribas-Serna, J., Garcia-Moreno, H., & Calvo, J. R. (2012). Melatonin administered immediately before an intense exercise reverses oxidative stress, improves immunological defenses and lipid metabolism in football players. *Physiology & behavior*, 105(5), 1099-1103.
- Mason, S. A., Baptista, R., Della Gatta, P. A., Yousif, A., Russell, A. P., & Wadley, G. D. (2014). High-dose vitamin C supplementation increases skeletal muscle vitamin C concentration and SVCT2 transporter expression but does not alter redox status in healthy males. *Free Radical Biology and Medicine*, 77, 130-138.
- Mason, S. A., Trewin, A. J., Parker, L., & Wadley, G. D. (2020). Antioxidant supplements and endurance exercise: Current evidence and mechanistic insights. *Redox biology*, 35, 101471.
- Margaritelis, N. V., Paschalis, V., Theodorou, A. A., Kyparos, A., & Nikolaidis, M. G. (2018). Antioxidants in personalized nutrition and exercise. *Advances in Nutrition*, 9(6), 813-823
- Margaritis, I., Palazzetti, S., Rousseau, A. S., Richard, M. J., & Favier, A. (2013). Antioxidant supplementation and tapering exercise improve exercise-induced antioxidant response. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(2), 147-156.
- Martin, B. J., Tan, R. B., Gillen, J. B., Percival, M. E., & Gibala, M. J. (2014). No effect of short-term green tea extract supplementation on metabolism at rest or during exercise in the fed state. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 24(6), 656-664.
- Matkovics, A. (2013). An overview of free radical research. *Acta Biologica Szegediensis*, 47(1-4), 93-97.
- McDermott, M. M., Leeuwenburgh, C., Guralnik, J. M., Tian, L., Sufit, R., Zhao, L., ... & Ferrucci, L. (2017). Effect of resveratrol on walking performance in older people with peripheral artery disease: the RESTORE randomized clinical trial. *JAMA cardiology*, 2(8), 902-907.
- Merry, T. L., & Ristow, M. (2016). Do antioxidant supplements interfere with skeletal muscle adaptation to exercise training?. *The Journal of physiology*, 594(18), 5135-5147.
- Mendes, C., Lopes, A. M. D. S., do Amaral, F. G., Peliciari-Garcia, R. A., Turati, A. D. O., Hirabara, S. M., ... & Cipolla-Neto, J. (2013). Adaptations of the aging animal to exercise: role of daily supplementation with melatonin. *Journal of pineal research*, 55(3), 229-239.
- Mendes, C., Lopes, A. M. D. S., do Amaral, F. G., Peliciari-Garcia, R. A., Turati, A. D. O., Hirabara, S. M., ... & Cipolla-Neto, J. (2013). Adaptations of the aging animal to exercise: role of daily supplementation with melatonin. *Journal of pineal research*, 55(3), 229-239.
- Morgan, P. T., Barton, M. J., & Bowtell, J. L. (2019). Montmorency cherry supplementation improves 15-km cycling time-trial performance. *European Journal of Applied Physiology*, 119, 675-684.

- Morrison, D., Hughes, J., Della Gatta, P. A., Mason, S., Lamon, S., Russell, A. P., & Wadley, G. D. (2015). Vitamin C and E supplementation prevents some of the cellular adaptations to endurance-training in humans. *Free Radical Biology and Medicine*, 89, 852-862.
- Muhammad, M. H., & Allam, M. M. (2018). Resveratrol and/or exercise training counteract aging-associated decline of physical endurance in aged mice; targeting mitochondrial biogenesis and function. *The Journal of Physiological Sciences*, 68, 681-688.
- Nikolaidis, M. G., Jamurtas, A. Z., Paschalis, V., Kostaropoulos, I. A., Kladi-Skandali, A., Balamitsi, V., ... & Kouretas, D. (2016). Exercise-induced oxidative stress in G6PD-deficient individuals. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(8), 1443-1450.
- Nyberg, M., Blackwell, J. R., Damsgaard, R., Jones, A. M., Hellsten, Y., & Mortensen, S. P. (2012). Lifelong physical activity prevents an age-related reduction in arterial and skeletal muscle nitric oxide bioavailability in humans. *The Journal of physiology*, 590(21), 5361-5370.
- Okudan, N., Belviranlı, M., & Torlak, S. (2017). Coenzyme Q10 does not prevent exercise-induced muscle damage and oxidative stress in sedentary men. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 58(6), 889-894.
- Owens, D. J., Twist, C., Cobley, J. N., Howatson, G., & Close, G. L. (2019). Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions?. *European journal of sport science*, 19(1), 71-85.
- Ota, N., Soga, S., & Shimotoyodome, A. (2016). Daily consumption of tea catechins improves aerobic capacity in healthy male adults: a randomized double-blind, placebo-controlled, crossover trial. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 80(12), 2412-2417.
- Östman, B., Sjödin, A., Michaëlsson, K., & Byberg, L. (2012). Coenzyme Q10 supplementation and exercise-induced oxidative stress in humans. *Nutrition*, 28(4), 403-417.
- Palazzetti, S., Rousseau, A. S., Richard, M. J., Favier, A., & Margaritis, I. (2014). Antioxidant supplementation preserves antioxidant response in physical training and low antioxidant intake. *British journal of nutrition*, 91(1), 91-100.
- Paschalis, V., Theodorou, A. A., Margaritelis, N. V., Kyparos, A., & Nikolaidis, M. G. (2018). N-acetylcysteine supplementation increases exercise performance and reduces oxidative stress only in individuals with low levels of glutathione. *Free Radical Biology and Medicine*, 115, 288-297.
- Patlar, S., Baltacı, A. K., & Mogulkoc, R. (2016). Effect of vitamin A administration on free radicals and lactate levels in individuals exercised to exhaustion. *Pak. J. Pharm. Sci*, 29(5), 1531-1534.
- Paulsen, G., Cumming, K. T., Holden, G., Hallén, J., Rønnestad, B. R., Sveen, O., ... & Raastad, T. (2014). Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *The Journal of physiology*, 592(8), 1887-1901.

- Peake, J. M., Suzuki, K., & Coombes, J. S. (2014). The influence of antioxidant supplementation on markers of inflammation and the relationship to oxidative stress after exercise. *The Journal of nutritional biochemistry*, *18*(6), 357-371.
- Peake, J. M., Neubauer, O., Della Gatta, P. A., & Nosaka, K. (2017). Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of applied physiology*
- Pence, B. D., Gibbons, T. E., Bhattacharya, T. K., Mach, H., Ossyra, J. M., Petr, G., ... & Woods, J. A. (2016). Effects of exercise and dietary epigallocatechin gallate and β -alanine on skeletal muscle in aged mice. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *41*(2), 181-190.
- Peschek, K., Pritchett, R., Bergman, E., & Pritchett, K. (2013). The effects of acute post exercise consumption of two cocoa-based beverages with varying flavanol content on indices of muscle recovery following downhill treadmill running. *Nutrients*, *6*(1), 50-62.
- Petersen, A. C., McKenna, M. J., Medved, I., Murphy, K. T., Brown, M. J., Della Gatta, P., & Cameron-Smith, D. (2012). Infusion with the antioxidant N-acetylcysteine attenuates early adaptive responses to exercise in human skeletal muscle. *Acta physiologica*, *204*(3), 382-392.
- Petiz, L. L., Girardi, C. S., Bortolin, R. C., Kunzler, A., Gasparotto, J., Rabelo, T. K., ... & Gelain, D. P. (2017). Vitamin A oral supplementation induces oxidative stress and suppresses IL-10 and HSP70 in skeletal muscle of trained rats. *Nutrients*, *9*(4), 353.
- Patlar, S., Baltaci, A. K., & Mogulkoc, R. (2016). Effect of vitamin A administration on free radicals and lactate levels in individuals exercised to exhaustion. *Pak. J. Pharm. Sci*, *29*(5), 1531-1534.
- Paschalis, V., Theodorou, A. A., Kyparos, A., Dipla, K., Zafeiridis, A., Panayiotou, G., ... & Nikolaidis, M. G. (2016). Low vitamin C values are linked with decreased physical performance and increased oxidative stress: reversal by vitamin C supplementation. *European journal of nutrition*, *55*, 45-53.
- Powers, S. K., Nelson, W. B., & Hudson, M. B. (2011). Exercise-induced oxidative stress in humans: cause and consequences. *Free Radical Biology and Medicine*, *51*(5), 942-950.
- Rahman, M. M., Kwon, H. S., Kim, M. J., Go, H. K., Oak, M. H., & Kim, D. H. (2017). Melatonin supplementation plus exercise behavior ameliorate insulin resistance, hypertension and fatigue in a rat model of type 2 diabetes mellitus. *Biomedicine & pharmacotherapy*, *92*, 606-614.
- Ramírez-Garza, S. L., Laveriano-Santos, E. P., Marhuenda-Muñoz, M., Storniolo, C. E., Tresserra-Rimbau, A., Vallverdú-Queralt, A., & Lamuela-Raventós, R. M. (2018). Health effects of resveratrol: Results from human intervention trials. *Nutrients*, *10*(12), 1892.
- Ratnam, D. V., Ankola, D. D., Bhardwaj, V., Sahana, D. K., & Kumar, M. R. (2012). Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of controlled release*, *113*(3), 189-207.
- Receno, C. N., Liang, C., Korol, D. L., Atalay, M., Heffernan, K. S., Brutsaert, T. D., & DeRuisseau, K. C. (2019). Effects of prolonged dietary curcumin exposure on skeletal muscle biochemical

- and functional responses of aged male rats. *International journal of molecular sciences*, 20(5), 1178.
- Res, P. T., Cermak, N. M., Stinkens, R., Tollakson, T. J., Haenen, G. R., Bast, A., & Van Loon, L. J. (2013). Astaxanthin supplementation does not augment fat use or improve endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 45(6), 1158-65.
- Richards, J. C., Crecelius, A. R., Larson, D. G., & Dinunno, F. A. (2015). Acute ascorbic acid ingestion increases skeletal muscle blood flow and oxygen consumption via local vasodilation during graded handgrip exercise in older adults. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 309(2), H360-H368.
- Roberts, L. A., Beattie, K., Close, G. L., & Morton, J. P. (2011). Vitamin C consumption does not impair training-induced improvements in exercise performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 58-69.
- Rosety-Rodriguez, M., Bernardi, M., Elosegui, S., Rosety, I., Diaz, A. J., Rosety, M. A., ... & Ordonez, F. J. (2021). A short-term resistance training circuit improved antioxidants in sedentary adults with Down Syndrome. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021.)
- Rousseau, A. S., Sibille, B., Murdaca, J., Mothe-Satney, I., Grimaldi, P. A., & Neels, J. G. (2016). α -Lipoic acid up-regulates expression of peroxisome proliferator-activated receptor b in skeletal muscle: involvement of the JNK signaling pathway. *The FASEB Journal*, 30(3), 1287-1299.
- Sacheck, J. M., & Blumberg, J. B. (2011). Role of vitamin E and oxidative stress in exercise. *Nutrition*, 17(10), 809-814.
- Savory, L. A., Kerr, C. J., Whiting, P., Finer, N., McEneny, J., & Ashton, T. (2012). Selenium supplementation and exercise: effect on oxidant stress in overweight adults. *Obesity*, 20(4), 794-801.
- Schwarz, N. A., Blahnik, Z. J., Prahadeeswaran, S., McKinley-Barnard, S. K., Holden, S. L., & Waldhelm, A. (2018). (-)-Epicatechin supplementation inhibits aerobic adaptations to cycling exercise in humans. *Frontiers in Nutrition*, 5, 132.
- Scribbans, T. D., Ma, J. K., Edgett, B. A., Vorobej, K. A., Mitchell, A. S., Zelt, J. G., ... & Gurd, B. J. (2014). Resveratrol supplementation does not augment performance adaptations or fibre-type-specific responses to high-intensity interval training in humans. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(11), 1305-1313.
- Sin, T. K., Yu, A. P., Yung, B. Y., Yip, S. P., Chan, L. W., Wong, C. S., ... & Siu, P. M. (2015). Effects of long-term resveratrol-induced SIRT1 activation on insulin and apoptotic signalling in aged skeletal muscle. *Acta diabetologica*, 52, 1063-1075
- Slattery, K. M., Dascombe, B., Wallace, L. K., Bentley, D. J., & Coutts, A. J. (2014). Effect of N-acetylcysteine on cycling performance after intensified training. *Med Sci Sports Exerc*, 46(6), 1114-1123.

- Smith, J. R., Broxterman, R. M., Ade, C. J., Evans, K. K., Kurti, S. P., Hammer, S. M., ... & Harms, C. A. (2016). Acute supplementation of N-acetylcysteine does not affect muscle blood flow and oxygenation characteristics during handgrip exercise. *Physiological reports*, 4(7), e12748.
- Steinbacher, P., & Eckl, P. (2015). Impact of oxidative stress on exercising skeletal muscle. *Biomolecules*, 5(2), 356-377.
- Sugita, M., Kapoor, M. P., Nishimura, A., & Okubo, T. (2016). Influence of green tea catechins on oxidative stress metabolites at rest and during exercise in healthy humans. *Nutrition*, 32(3), 321-331.
- Tan, R., Black, M., Home, J., Blackwell, J., Clark, I., Wylie, L., ... & Jones, A. M. (2022). Physiological and performance effects of dietary nitrate and N-acetylcysteine supplementation during prolonged heavy-intensity cycling. *Journal of Sports Sciences*, 40(23), 2585-2594.
- Taub, P. R., Ramirez-Sanchez, I., Patel, M., Higginbotham, E., Moreno-Ulloa, A., Román-Pintos, L. M., ... & Villarreal, F. (2016). Beneficial effects of dark chocolate on exercise capacity in sedentary subjects: underlying mechanisms. A double blind, randomized, placebo controlled trial. *Food & function*, 7(9), 3686-3693.
- Theodorou, A. A., Nikolaidis, M. G., Paschalis, V., Koutsias, S., Panayiotou, G., Fatouros, I. G., ... & Jamurtas, A. Z. (2011). No effect of antioxidant supplementation on muscle performance and blood redox status adaptations to eccentric training. *The American journal of clinical nutrition*, 93(6), 1373-1383.
- Thirupathi, A., & Pinho, R. A. (2018). Effects of reactive oxygen species and interplay of antioxidants during physical exercise in skeletal muscles. *Journal of physiology and biochemistry*, 74, 359-367.
- Thompson, D., Bailey, D. M., Hill, J., Hurst, T., Powell, J. R., & Williams, C. (2004). Prolonged vitamin C supplementation and recovery from eccentric exercise. *European journal of applied physiology*, 92, 133-138.
- Trewin, A. J., Lundell, L. S., Perry, B. D., Patil, K. V., Chibalin, A. V., Levinger, I., ... & Stepto, N. K. (2015). Effect of N-acetylcysteine infusion on exercise-induced modulation of insulin sensitivity and signaling pathways in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 309(4), E388-E397.
- Tung, B. T., Rodriguez-Bies, E., Thanh, H. N., Le-Thi-Thu, H., Navas, P., Sanchez, V. M., & López-Lluch, G. (2015). Organ and tissue-dependent effect of resveratrol and exercise on antioxidant defenses of old mice. *Aging clinical and experimental research*, 27, 775-783.
- Urso, M. L., & Clarkson, P. M. (2013). Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology*, 189(1-2), 41-54.

- Venditti, P., Napolitano, G., Barone, D., & Di Meo, S. (2014). Vitamin E supplementation modifies adaptive responses to training in rat skeletal muscle. *Free radical research*, 48(10), 1179-1189.
- Yavari, A., Javadi, M., Mirmiran, P., & Bahadoran, Z. (2015). Exercise-induced oxidative stress and dietary antioxidants. *Asian journal of sports medicine*, 6(1).
- Yimcharoen, M., Kittikunnathum, S., Suknikorn, C., Nak-On, W., Yeethong, P., Anthony, T. G., & Bunpo, P. (2019). Effects of ascorbic acid supplementation on oxidative stress markers in healthy women following a single bout of exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 2.
- Yiu, E. M., Tai, G., Peverill, R. E., Lee, K. J., Croft, K. D., Mori, T. A., ... & Delatycki, M. B. (2015). An open-label trial in Friedreich ataxia suggests clinical benefit with high-dose resveratrol, without effect on frataxin levels. *Journal of neurology*, 262, 1344-1353.
- Zaman, G., Farooq, U., Bajwa, M. N., Jan, H., Shah, M., Ahmad, R., ... & Abbasi, B. H. (2022). Effects of yeast extract on the production of phenylpropanoid metabolites in callus culture of purple basil (*Ocimum Basilicum* L. var *purpurascens*) and their in-vitro evaluation for antioxidant potential. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 150(3), 543-553.
- Zembron-Lacny, A., Gajewski, M., Naczka, M., Dziewiecka, H., & Siatkowski, I. (2013). Physical activity and alpha-lipoic acid modulate inflammatory response through changes in thiol redox status. *Journal of physiology and biochemistry*, 69, 397-404.
- Zhou, Y., Baker, J. S., Chen, X., Wang, Y., Chen, H., Ferraraon, G. W., & Yan, X. (2019). High-dose astaxanthin supplementation suppresses antioxidant enzyme activity during moderate-intensity swimming training in mice. *Nutrients*, 11(6), 1244.