



Σχολή Επιστημών Τροφίμων  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Τα αποτελέσματα των συμπληρωμάτων διατροφής στην αθλητική επίδοση και η  
τοξικότητα τους.**

English Title

**The effects of supplementation in athletic performance and their toxicity**

ΌΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ

Καρκάνης Γιώργος (Α.Μ 14452)

Καρκάνης Ηλίας (Α.Μ 16040)

Karkanis Giorgos

Karkanis Ilias

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ

Χούχουλα Δήμητρα

Houhoula Dimitra

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2022

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο

‘Τα αποτελέσματα των συμπληρωμάτων διατροφής στην αθλητική επίδοση και η τοξικότητα τους.’ που παρουσιάστηκε από τους Καρκάνης Γιώργος, Καρκάνης Ηλίας και

βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

<i>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</i>	<i>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</i>
ΧΟΥΧΟΥΛΑ ΔΗΜΗΤΡΑ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
ΜΠΑΤΡΙΝΟΥ ΑΝΘΙΜΙΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ	

#### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καρκάνης Γιώργος του Σωκράτη , με αριθμό μητρώου 14452 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



#### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καρκάνης Ηλίας του Σωκράτη , με αριθμό μητρώου 16040 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



## Περίληψη:

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της χρησιμότητας που έχουν τα συμπληρώματα διατροφής στον τομέα του αθλητισμού αλλά και ο κίνδυνος από την τοξικότητα που μπορεί να προκύψει κατά την χρήση τους. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω σκοπός αντλήθηκαν πληροφορίες από επιστημονικά άρθρα χρησιμοποιώντας διάφορες βάσεις δεδομένων όπως : pubmed, google scholar, sciencedirect, scopus. Τα συμπληρώματα που εξετάστηκαν είναι : καφεΐνη, πρωτεΐνη, κρεατίνη, β-αλανίνη, βιταμίνη d, ω-3 λιπαρά οξέα, bcaas, γλουταμίνη, κιτροουλίνη, HMB, αργινίνη και καρνιτίνη. Από όλα αυτά τα συμπληρώματα πιο αποτελεσματικά ήταν η καφεΐνη, η κρεατίνη, κιτροουλίνη και η β-αλανίνη. Η καφεΐνη παρουσίασε θετικές δράσεις σε αερόβιες και αναερόβιες αθλητικές δραστηριότητες με δοσολογία 3-7mg/kg σωματικού βάρους. Πολύ υψηλή δοσολογία μπορεί να προκαλέσει καρδιοτοξικότητα. Ενώ η χρήση κρεατίνης αύξησε την απόδοση σε ασκήσεις υψηλής έντασης και μικρής διάρκειας χωρίς να παρουσιάζει παρενέργειες. Η κιτροουλίνη βρίσκει χρήση κυρίως σε αθλητές όπου κύριος σκοπός τους είναι η αύξηση δύναμης ή και μυϊκής μάζας πχ αθλητές άρσεις βαρών. Η β-αλανίνη βελτίωσε την αντοχή σε αναερόβια άσκηση χωρίς μεγάλες παρενέργειες. Η μόνη γνωστή είναι η παραισθησία. Τα συμπληρώματα πρωτεΐνης και bcaas βρίσκουν χρήση σε περίπτωση που ακολουθείται μια διατροφή η οποία δεν περιλαμβάνει σε ικανοποιητικό βαθμό όλα τα μακροθρεπτικά συστατικά υδατάνθρακα, πρωτεΐνη, λιπαρά. Η κύρια χρήση των συμπληρωμάτων βιταμίνης D είναι σε περίπτωση υποβιταμίνωσης. Η γλουταμίνη, αργινίνη, καρνιτίνη και τα ω-3 λιπαρά οξέα δεν προσδίδουν εργογόνο δράση σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Απο αυτά η αργινίνη είχε ελαφρές παρενέργειες στο γαστρεντερικό ενώ τα ω-3 λιπαρά οξέα παρουσίασαν μεταβολή της λειτουργίας των αιμοπεταλίων και η υπεροξειδωση των λιπιδίων. Το HMB μπορεί να παρουσιάσει εργογόνο δράση παρόλα αυτά οι θετικές αυτές δράσεις βρέθηκαν κυρίως σε αρχάριους ενώ δεν υπήρξαν τα ίδια αποτελέσματα σε αθλητές υψηλότερου επιπέδου.

**Abstract:** The purpose of this thesis is to study not only the usefulness of nutritional supplements in the field of sports, but also the risk of toxicity that may arise during their use. To achieve that purpose, information was extracted from scientific articles using various databases such as: pubmed, google scholar, sciencedirect, scopus. The supplements tested are: caffeine, protein, creatine, beta-alanine, vitamin d, omega-3 fatty acids, bcaas, glutamine, HMB, arginine and carnitine. Of all these supplements, the most effective were caffeine, creatine, citrulline and beta-alanine. Caffeine showed positive effects in aerobic and anaerobic sports activities with a dosage of 3-7mg/kg of body weight. Very high caffeine dosage can cause cardiotoxicity. The use of creatine increased performance in high-intensity and short-duration exercises without presenting side effects. Citrulline is mainly used by athletes whose main purpose is to increase strength and muscle mass, e.g., weightlifters.  $\beta$ -Alanine improved anaerobic exercise endurance without major side effects. The only known one is paraesthesia. Protein and bcaas supplements find use in case a diet is consumed which does not include to a satisfactory extent all the macronutrients carbohydrate, protein, fat. The main use of vitamin D supplements is in case of hypovitaminosis. Glutamine, arginine, carnitine and  $\omega$ -3 fatty acids do not confer an ergogenic effect according to the literature. Of these, arginine had slight side effects in the gastrointestinal tract, while  $\omega$ -3 fatty acids showed a change in platelet function and lipid peroxidation. HMB can show ergogenic effects, however these positive effects were found mainly in beginners while the same results were not found for higher level athletes.

## Περιεχόμενα

Περίληψη: .....	2
Abstract .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
Εισαγωγή .....	8
Σκοπός .....	9
Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	10
Ορισμός συμπληρωμάτων διατροφής .....	10
Κατηγορίες συμπληρωμάτων διατροφής .....	10
Λόγος χρήσης συμπληρωμάτων διατροφής .....	11
Τοξικότητα συμπληρωμάτων διατροφής .....	11
Καφεΐνη .....	12
Μηχανισμός της καφεΐνης .....	12
Δράση της καφεΐνης σε αερόβια άσκηση .....	12
Δράση της καφεΐνης σε αναερόβια άσκηση .....	13
Δοσολογία καφεΐνης .....	13
Τοξικότητα καφεΐνης .....	14
Βιταμίνη D .....	15
Επίδραση χρήσης συμπληρώματος βιταμίνης D σε αθλητές .....	15
Τοξικότητα: υποβιταμίνωση και υπερβιταμίνωση .....	16
B-αλανίνη .....	17
Μηχανισμός και εργογόνος δράση της β-αλανίνης .....	18
Αρνητικές επιπτώσεις των συμπληρωμάτων β-αλανίνης .....	18
Κρεατίνη .....	19
Μηχανισμός κρεατίνης .....	19
Εργογόνος δράση του συμπληρώματος κρεατίνης .....	19
Τοξικότητα συμπληρωμάτων κρεατίνης .....	20
Πρωτεΐνη .....	20
Σύνθεση μυϊκής πρωτεΐνης .....	21
Πρωτεΐνη ορού γάλακτος .....	22
Ω-3 λιπαρά οξέα .....	24
Πιθανοί μηχανισμοί ω-3 λιπαρών οξέων .....	26
Αρνητικές επιπτώσεις της χρήσης συμπληρώματος Ω-3 .....	27
BCAAs .....	28

Επίδραση των συμπληρωμάτων BCAAs στην αερόβια επίδοση και στην κλίμακα αντικειμενικής κόπωσης .....	29
Παρενέργειες με την χρήση BCAAs .....	30
Γλουταμίνη .....	30
Εργογόνος δράση της γλουταμίνης .....	31
Τοξικότητα γλουταμίνης .....	32
Υδροξυ-μεθυλο-βουτυρικό οξύ (HMB) .....	32
Δράση του HMB στους αθλητές.....	32
Τοξικότητα HMB .....	33
Αργινίνη .....	34
Επίδραση της Αργινίνης στον αθλητισμό.....	34
Καρνιτίνη .....	36
Δράση της καρνιτίνης στον αθλητισμό .....	36
Τοξικότητα καρνιτίνης .....	37
Κιτρουλλίνη/Μηλικό οξύ.....	37
Τρόπος άντλησης πληροφοριών .....	40
Συμπεράσματα .....	41
Βιβλιογραφία .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>

## Εισαγωγή

Το θέμα της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση της αποτελεσματικότητας των συμπληρωμάτων διατροφής στον αθλητισμό καθώς και τυχόν κίνδυνοι τοξικότητας κατά την χρήση τους. Στόχος της εργασίας αυτής είναι η διεξοδική μελέτη και η εκτενής έρευνα της υπάρχουσας βιβλιογραφίας πάνω σε διάφορα συμπληρώματα διατροφής αξιολογώντας την χρησιμότητά τους σε θέματα που αφορούν τον αθλητισμό αλλά και στην ασφάλεια τους. Η δομή της πτυχιακής χωρίζεται στις εξής ενότητες :

- Στο κεφάλαιο 1 γίνεται η εισαγωγή στο θέμα της πτυχιακής
- Στο κεφάλαιο 2 θα αναλυθεί ο σκοπός της εργασίας
- Στο κεφάλαιο 3 θα αναφερθούν κάποιες βασικές έννοιες όσων αφορά τα συμπληρώματα διατροφής καθώς και η βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετών που σχετίζονται με το καθένα από αυτά
- Στο κεφάλαιο 4 θα αναφερθεί ο τρόπος αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών και οι αντίστοιχες βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν
- Στο κεφάλαιο 5 θα περιληφθούν τα συμπεράσματα της εργασίας



## Σκοπός

Το συγκεκριμένο θέμα άπτεται όχι μόνο της επίδοσης αλλά και της υγείας του αθλητή δεδομένου ότι οι εμπλέκοντες τείνουν να κάνουν ευρεία χρήση συμπληρωμάτων διατροφής προκειμένου να πετύχουν τις μέγιστες δυνατές επιδόσεις. Σκοπός της μελέτης είναι ο προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας του εκάστοτε συμπληρώματος αλλά και τυχόν τοξικών παρενεργειών που μπορεί να προκληθούν από την χρήση τους. Συνεπώς στην παρούσα εργασία καλύπτουμε μια γκάμα δημοφιλών συμπληρωμάτων διατροφής όπως είναι η κρεατίνη, πρωτεΐνη κ.α. με κύριο μέλημα όπως προανέφερα την βελτίωση της αθλητικής επίδοσης.

## Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### Ορισμός συμπληρωμάτων διατροφής

Τα αθλητικά συμπληρώματα διατροφής είναι ουσίες που χρησιμοποιούνται από αθλητές με σκοπό την καλύτερη επίδοση στο άθλημά τους. Σύμφωνα με τον FDA τα συμπληρώματα διατροφής έχουν οριστεί ως ουσίες οι οποίες προσθέτουν στην δίαιτα:

- βιταμίνες
- μέταλλα
- αμινοξέα
- βότανα
- μεταβολιτές/συστατικά/εκχυλίσματα

ή συνδυασμών των παραπάνω. Αυτές οι ουσίες χρησιμοποιούνται με συγκεκριμένα πρωτόκολλα και δοσολογίες και μπορούν να βελτιστοποιήσουν την προπόνηση και τα αποτελέσματα σε αγωνιστικές διοργανώσεις. Σύμφωνα με το υπουργείο υγείας τα συμπληρώματα διατροφής αποτελούν συμπυκνωμένες πηγές θρεπτικών συστατικών ή άλλων ουσιών. Χρησιμοποιούνται με σκοπό τη συμπλήρωση της διαίτας και πρέπει να λαμβάνονται με συγκεκριμένη δοσολογία. Διατίθενται στο εμπόριο σε δοσομετρικές μορφές (κάψουλες, παστίλιες, δισκία, σταγόνες, φακελάκια σκόνης).

### Κατηγορίες συμπληρωμάτων διατροφής

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες συμπληρωμάτων διατροφής, όπως τα ιατρικά συμπληρώματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την πρόληψη ή την ισοστάθμιση των διατροφικών ελλείψεων. Στα ιατρικά συμπληρώματα συμπεριλαμβάνονται τα συμπληρώματα : σιδήρου, ασβεστίου, βιταμίνης D, πολυβιταμινών. Άλλη κατηγορία που υπάρχει είναι οι αθλητικές τροφές οι οποίες προσδίδουν μακροσυστατικά έτσι ώστε να επιτευχθούν οι ημερήσιες δοσολογίες που χρειάζονται. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν, τα συμπληρώματα πρωτεΐνης, συμπληρώματα ηλεκτρολυτών, αθλητικά ποτά ή ποτά ηλεκτρολύτη και ενεργειακά gel. Η πλειονότητα των αθλητικών συμπληρωμάτων ορίζονται ως συμπληρώματα απόδοσης δηλαδή που δίνουν την δυνατότητα στον αθλητή να προπονηθεί σκληρά και να αποφύγει

τραυματισμούς. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται: η καφεΐνη, κρεατίνη, β-αλανίνη, κιτρουλίνη, αργινίνη, γλουταμίνη.

#### Λόγος χρήσης συμπληρωμάτων διατροφής

Οι αθλητές χρησιμοποιούν συμπληρώματα διατροφής για διάφορους λόγους, κυρίως για την βελτίωση της υγείας, την ταχύτερη ανάρρωση μετά την άσκηση αλλά και την βελτίωση της απόδοσής τους κατά την διάρκεια αυτής. Οι Maughan et al. περιέγραψαν ότι πολλοί αθλητές πιστεύουν ότι μια κοινή διαίτα δεν θα είναι επαρκής για να φτάσουν στην βέλτιστη απόδοση οπότε οδηγούνται στην χρήση συμπληρωμάτων διατροφής με σκοπό την βελτίωση της διαίτας τους ή την απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Πιο συγκεκριμένα έχουν διεξαχθεί μελέτες με σκοπό την εύρεση του κίνητρου της χρήσης συμπληρωμάτων διατροφής ανάμεσα σε αθλητές. Βρέθηκε από τις μελέτες των Salgado et al. και Sassone et al. ότι κατά κύριο λόγο οι αθλητές είχαν στόχο την αύξηση της μυϊκής μάζας και την μείωση του ποσοστού λίπους αλλά και την καθυστέρηση της κούρασης, την αντικατάσταση θρεπτικών συστατικών που τελικά οδηγούν σε βελτίωση της απόδοσης.

#### Τοξικότητα συμπληρωμάτων διατροφής

Με την χρήση συμπληρωμάτων διατροφής πρέπει πάντα να υπάρχει προσοχή λόγω της πιθανότητας της εμφάνισης τοξικότητας. Αυτή εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες όπως : η δοσολογία που χρησιμοποιείται , το σωματικό βάρος, η σχέση μεταξύ σωματικού βάρους και δοσολογίας, η χρονική διάρκεια πρόσληψης σε υψηλές ποσότητες, η χρήση και αλληλεπίδραση πολλών συμπληρωμάτων ταυτόχρονα (Phua et al). Ο πιο συνηθισμένος λόγος που προκαλείται τοξικότητα με την χρήση των συμπληρωμάτων διατροφής είναι η υπερδοσολογία. Πολλές φορές η υπερκατανάλωση αυτή συμβαίνει κατά λάθος από παιδιά (Bugard AX, 2010). Σημαντικοί τρόποι με τους οποίους μειώνεται ο κίνδυνος της τοξικότητας είναι οι παρακάτω( Ko R (2006):

1. Τα συμπληρώματα διατροφής πρέπει να θεωρούνται ως φάρμακα το οποίο σημαίνει ότι πρέπει να τηρούνται οι σωστές δοσολογίες και να αποφεύγεται η μακροχρόνια θεραπεία.
2. Η προμήθεια των συμπληρωμάτων διατροφής πρέπει να γίνεται μόνο από αξιόπιστες πηγές. Οι πιο αξιόπιστες είναι οι μεγάλοι κατασκευαστές, ειδικά

αν βρίσκονται σε χώρες που ρυθμίζουν αυτά τα προϊόντα. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα τα προϊόντα να περιέχουν μολυσματικά ή νοθευτικά στοιχεία.

3. Αν υπάρξουν νέα συμπτώματα κατά την χρήση των συμπληρωμάτων πρέπει να σταματήσει η χορήγηση και να γίνει επίσκεψη σε γιατρό
4. Ευαίσθητοι χρήστες όπως γυναίκες που είναι έγκυες θα πρέπει να αποφεύγουν τη χρήση συμπληρωμάτων διατροφής εάν είναι δυνατόν.

### Καφεΐνη

Η καφεΐνη είναι ένα αλκαλοειδές της ξανθίνης και καταναλώνεται ευρέως σε όλο τον κόσμο καθώς βρίσκεται σε πολλά ροφήματα όπως καφέ, τσάι και αναψυκτικά (Rômulo P Barcelos et al, 2020). Η περιεκτικότητα σε καφεΐνη η οποία βρίσκεται στα αναψυκτικά κυμαίνεται από 80-500 mg με μέσο όρο 25mg σε ένα αναψυκτικό τύπου cola των 330ml και 100mg σε μια κούπα καφέ. Εκτός από ροφήματα και αναψυκτικά, η καφεΐνη μπορεί να βρεθεί ως άνυδρη καφεΐνη η οποία περιέχει πολύ μεγαλύτερη περιεκτικότητα από την κοινή καφεΐνη (Gillian Beauchamp, Alexandra Amaducci, Matthew Cook,2017). Ένας πολύ σημαντικός λόγος για τον οποίον η καφεΐνη χρησιμοποιείται από πολλούς αθλητές είναι η επίδραση που έχει στην αντοχή .

### Μηχανισμός της καφεΐνης

Ο μηχανισμός της καφεΐνης που θεωρείται υπεύθυνος για αυτή την βελτίωση των αθλητικών επιδόσεων, την ελάττωση της αίσθησης του πόνου και κούρασης είναι η δράση της ως ανταγωνιστής των υποδοχέων της αδενοσίνης A1 και A2. Αυτό συμβαίνει καθώς η αδενοσίνη καταστέλλει τη φυσιολογική διέγερση και τη νευρωνική διεγερσιμότητα αναστέλλοντας την απελευθέρωση διεγερτικών νευροδιαβιβαστών στον εγκέφαλο (Dunwiddie 2020). Με λίγα λόγια με τον ανταγωνισμό των υποδοχέων της αδενοσίνης από την καφεΐνη προάγεται η διεγερτική ενίσχυση των υποδοχέων D2 και αυξάνεται η ψυχοκινητική δραστηριότητα(Ferré S, 2016). Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών η καφεΐνη χρησιμοποιείται από πολλούς αθλητές διαφόρων αθλημάτων.

### Δράση της καφεΐνης σε αερόβια άσκηση

Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της καφεΐνης στην επίδοση σε αερόβια άσκηση μια έρευνα (Costill et al.) έδειξε ότι έμπειροι ποδηλάτες βελτίωσαν τον χρόνο που μεσολάβησε μέχρι την εξάντληση από 75 λεπτά στην ομάδα placebo

σε 96 λεπτά μετά από χρήση 330 mg καφεΐνης από καφέ. Σχετικά με την εργογόνο δράση της καφεΐνης παρατηρήθηκε ότι η άνυδρη καφεΐνη βελτιώνει την απόδοση σε αεροβικές ασκήσεις περισσότερο από ότι βελτιώνεται όταν καταναλώνεται η ίδια ποσότητα σε καφεΐνη που βρίσκεται στον καφέ (Graham et al). Σε αντίθεση με αυτό μια άλλη μελέτη έδειξε ότι δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ καφεΐνης και άνυδρης καφεΐνης στην βελτίωση της επίδοσης της αντοχής (Hodgson et al). Συνεπώς, δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε συμπέρασμα όσον αφορά την διαφορά σε εργογόνο δράση μεταξύ άνυδρης καφεΐνης και καφεΐνης από καφέ. Μια άλλη μελέτη (Schneiker et al) έκανε μια εκτίμηση για την δράση της καφεΐνης σε ερασιτέχνες αθλητές ποδοσφαίρου και hockey. Σε σύγκριση με το placebo, οι αθλητές που χρησιμοποίησαν καφεΐνη παρουσίασαν σημαντική αύξηση στην απόδοση τους στο τρέξιμο (8,5% πιο γρήγορα).

#### Δράση της καφεΐνης σε αναερόβια άσκηση

Η δράση της καφεΐνης σε ασκήσεις υψηλής έντασης και πολύ μικρής χρονικής διάρκειας της τάξης 4-6 δευτερολέπτων έχει μελετηθεί και έχει σημειωθεί ότι υπάρχει εργογόνος δράση στις παραπάνω ασκήσεις. Για παράδειγμα σε μια μελέτη (Kang H, 1998) χρησιμοποιήθηκε το τεστ wingate με σκοπό την εύρεση της δράση της καφεΐνης πάνω στην δύναμη προπονημένων και απροπόνητων εθελοντών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με δόση 5mg/kg καφεΐνης, η συνολική δύναμη, μέση δύναμη, και μέγιστη δύναμη αυξήθηκαν σημαντικά, οπότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η χρήση καφεΐνης έχει θετική επιρροή στην απόδοση σε ασκήσεις μικρής διάρκειας και μέγιστης έντασης. Μια άλλη έρευνα (Collomp et al) έδειξε ότι η ταχύτητα κολύμβησης αυξήθηκε σημαντικά στους κολυμβητές που τους είχε χορηγηθεί καφεΐνη. Πιο συγκεκριμένα η δοσολογία της καφεΐνης που χρησιμοποιήθηκε ήταν 250 mg και η κολύμβηση ήταν 2 x 100 μέτρα freestyle με μέγιστη ένταση.

#### Δοσολογία καφεΐνης

Για να δώσει η καφεΐνη όλες τις παραπάνω αυξήσεις στην απόδοση πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε δοσολογία στην οποία προσδίδει εργογόνο δράση. Έρευνες με στόχο την εύρεση της κατάλληλης δοσολογίας αναφέρουν ότι σε ποσότητες μεταξύ 3-7 mg/kg παρουσίασαν τα καλύτερα αποτελέσματα (Grgic J et al-Graham TE, Spriet-Bruce CR et al). Σημαντικό να σημειωθεί ότι η εργογόνος δράση της καφεΐνης διαρκεί

για μερικές ώρες με την χρήση δοσολογίας των 5 mg/kg παρά τα ελαττωμένα επίπεδα κυκλοφορίας(Bell DG, McLellan TM 2002-2003). Έχει αποδειχθεί ότι η απορρόφηση της καφεΐνης επιβραδύνεται όταν χορηγείται μετά την κατανάλωση φαγητού, πράγμα που αλλάζει την ποσότητα η οποία χρειάζεται έτσι ώστε να υπάρξει εργογόνος δράση. Για παράδειγμα, δόσεις καφεΐνης σε ή κάτω των 4 mg/kg που λαμβάνονται μετά από ένα γεύμα πριν από την άσκηση μπορεί να οδηγήσουν σε συγκεντρώσεις οι οποίες δεν είναι εργογόνες (Desbrow B et al και Skinner et al).

#### Τοξικότητα καφεΐνης

Φυσικά η καφεΐνη μπορεί να έχει και αρνητικές επιδράσεις στον οργανισμό. Η καφεΐνη μπορεί να βρεθεί σε πολλές διαφορετικές μορφές όπως: ενεργειακά ποτά, κατασταλτικά της όρεξης, διεγερτικά συμπληρώματα για ασκήσεις και ψυχικά διεγερτικά, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο της τοξικότητας(Evans J et al, 2022). Η καφεΐνη απορροφάται γρήγορα και σχεδόν πλήρως (έως 90%) από το στομάχι με τις μέγιστες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται μέσα σε 20 έως 40 λεπτά (Holstege A et al). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την ταχύτερη επίτευξη των τοξικών επιπέδων το οποίο αυξάνει την διάρκεια των τοξικών αυτών συμπτωμάτων. Λόγω της ικανότητας της καφεΐνης να επηρεάζει μια ποικιλία διαφορετικών υποδοχέων, οι παρενέργειες της υπερβολικής δόσης καφεΐνης μπορεί να είναι έντονες. Καθώς η καφεΐνη δρα σαν ανταγωνιστής των υποδοχέων της αδενοσίνης A1 και A2 προκαλεί επιληπτικές κρίσεις (A1) και εγκεφαλική και στεφανιαία αγγειοσυσπασση(A2)( Emohare O, Ratnam V. 2006 – Forman J et al, 1997). Κάποια πιθανά ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά που προκύπτουν σε περιπτώσεις μακροχρόνιας χρήσης της καφεΐνης είναι : η διαταραχή του ύπνου, υπερένταση και η ανάπτυξη εξάρτησης προς την ουσία(Wolk BJ et al). Επιπλέον έχει παρατηρηθεί καρδιοτοξικότητα όταν η δοσολογία είναι πολύ υψηλή με συνέπειες : αρρυθμία , καρδιακό επεισόδιο ή και έμφραγμα. Οι θάνατοι από υπερβολική δοσολογία καφεΐνης σε ενήλικες είναι πολύ σπάνια και συνήθως όταν συναντάται είναι σκόπιμη. Αντιθέτως η τοξικότητα από καφεΐνη σε παιδιά συνήθως συμβαίνει κατά λάθος (Bugard AX, 2010). Η δοσολογία η οποία έχει την δυνατότητα να προκαλέσει θάνατο έχει προσδιοριστεί στα 150 mg/kg και με συγκέντρωση καφεΐνης στο αίμα 80-100 mg/L (Holmgren O – Gurley BJ – Jabbar SB). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να υπάρχει κατά την χρήση άνυδρης καφεΐνης καθώς περιέχει πολύ μεγαλύτερες περιεκτικότητες από καφέ, πιο συγκεκριμένα ένα κουτάλι του γλυκού

από άνυδρη καφεΐνη περιέχει περίπου την ίδια ποσότητα όσο 25 κούπες καφέ. Η κύρια θεραπεία για ήπια τοξικότητα από κατάποση καφεΐνης είναι υποστηρικτική. Συνήθως για την αντιμετώπιση σε πιο ήπιες περιπτώσεις προτείνεται ενυδάτωση πίνοντας νερό, ωστόσο οι σοβαρές περιπτώσεις ωφελούνται από την ενδοφλέβια (IV) ενυδάτωση. Ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης της τοξικότητας της καφεΐνης είναι με την χρήση του ενεργού άνθρακα ο οποίος μπορεί να δεσμεύσει την καφεΐνη εάν η κατάποση είναι πρόσφατη και οι επαναλαμβανόμενες δόσεις μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των επιπέδων στον ορό μέσω της εντεροηπατικής κυκλοφορίας( Murray A, Traylor J 2022).

### Βιταμίνη D

Η βιταμίνη D είναι μια οργανική ουσία η οποία βρίσκεται σε τρόφιμα και είναι απαραίτητη για την υγεία και το μυοσκελετικό σύστημα, επιπλέον μπορεί να συντεθεί όταν το δέρμα έρθει σε επαφή με υπερ-ιώδης ακτινοβολία από τον ήλιο μετατρέποντας την 7 δευδροχοληστερόλη σε χοληκαλσιφερόλη(Holick MF.). Αν και υπάρχουν διάφοροι τρόποι πρόσληψης βιταμίνης D, το 15% του κόσμου έχει έλλειψη σε αυτή, η οποία έλλειψη μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ποιότητας προπόνησης αλλά ακόμα και αύξηση τραυματισμού ή ασθένειας (Hamilton, 2011). Για αυτούς τους παραπάνω λόγους πολλοί αθλητές χρησιμοποιούν συμπληρώματα βιταμίνης D ως μέρος της διατροφής τους. Επιπλέον με την χρήση συμπληρωμάτων βιταμίνης D έχει παρατηρηθεί αύξηση στην δύναμη του σκελετικού μυός (Ogan & Pritchett, 2013).

### Επίδραση χρήσης συμπληρώματος βιταμίνης D σε αθλητές

Σε μία έρευνα στην οποία συμμετείχαν 20 αθλητές ηλικίας μεταξύ 17-19 χρονών παρατηρήθηκε ότι μετά από χρήση συμπληρωμάτων για 2 μήνες, τα επίπεδα βιταμίνης D αυξήθηκαν από (  $23,6 \pm 1,5$  mg/ml) σε  $35,3 \pm 2,4$  (mg/ml) ). Επίσης υπήρξε αύξηση στην συγκέντρωση σε αυξητική ορμόνη και στον ινσουλινοειδή αυξητικό παράγοντα τα οποία βοηθούν έμμεσα στην μυϊκή ανάπτυξη. Από αυτά τα αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι με την μακροχρόνια χορήγηση συμπληρώματος βιταμίνης D μπορούν να βελτιωθούν οι αθλητικές επιδόσεις. (Mohammed Nader Shalaby,2020)

Μια άλλη έρευνα έγινε με σκοπό την επιρροή που έχει η χρήση συμπληρώματος βιταμίνης D στην αερόβια επίδοση σε αθλητές πολεμικών τεχνών.

Στην έρευνα αυτή συμμετείχαν 27 άντρες με τουλάχιστον 12 χρόνια εμπειρίας σε πολεμικές τέχνες. Παρατηρήθηκε ότι μετά από τους 6 μήνες χορήγησης βιταμίνης D βελτιώθηκαν τα επίπεδα αιματοκρίτη και αιμοσφαιρίνης καθώς και η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. (Andrew Marley et al.)

Μια μέτα ανάλυση (Qi Han<sup>1</sup> et al) είχε ως σκοπό την διερεύνηση της συσχέτισης της χρήσης του συμπληρώματος της βιταμίνης D3 και της δύναμης των σκελετικών μυών σε αθλητές. Εξετάστηκαν πέντε τυχαίες ελεγχόμενες δοκιμές με σύνολο 149 αθλητές (d3 n=89, placebo n=77) στις οποίες η διαφορά σε δύναμη πριν και μετά από την χρήση συμπληρώματος μελετήθηκε με διαφορετικούς τρόπους : μέγιστη επανάληψη σε πρέσα πάγκου, μέγιστη σύσπαση του τετρακέφαλου. Ομοίως και στις 2 περιπτώσεις αυτές δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην βελτίωση της δύναμης. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η συμπλήρωση d3 δεν έχει σημαντική δράση στην βελτίωση της δύναμης.

#### Τοξικότητα: υποβιταμίνωση και υπερβιταμίνωση

Η έλλειψη βιταμίνης D είναι ένα σημαντικό πρόβλημα για την υγεία του οργανισμού καθώς μπορεί να οδηγήσει σε πολλά προβλήματα όπως υπασβεστιαμία και ελαττώματα σε μεταλλοποίηση των οστών. Επιπλέον αυξάνει το ρίσκο για άλλες ασθένειες όπως : αυτοάνοσα νοσήματα, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και καρκίνο.( Bouillon R ,2015) Για τους παραπάνω λόγους πολλοί άνθρωποι στρέφονται στην χρήση συμπληρώματος βιταμίνης D, όμως αν αυτή η χρήση δεν γίνεται με προσοχή και αν γίνεται πρόσληψη σε πολύ υψηλές δοσολογίες μπορεί να προκύψει το αντίθετο πρόβλημα το οποίο είναι η υπερβιταμίνωση. (Dudenkov DV et al,2015). Η τοξικότητα βιταμίνης D χαρακτηρίζεται από υπερασβεστιαμία η οποία διαρκεί για παρατεταμένο χρόνο και μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα υγείας (Tebben PJ et al, 2016) .Η υπερβιταμίνωση συμβαίνει με την παρατεταμένη χρήση συμπληρώματος βιταμίνης D και όχι λόγω της υπερβολικής έκθεσης στον ήλιο. Αυτό συμβαίνει επειδή το ανθρώπινο σώμα μπορεί να ρυθμίσει την ποσότητα προβιταμίνης D που παράγεται στο δέρμα από την έκθεση υπεριώδους ακτινοβολίας(Holick MF, 2015). Τα συμπτώματα της τοξικότητας της βιταμίνης D είναι παρόμοια με αυτά της υπερασβεστιαμίας συμπεριλαμβάνοντας νευροψυχιατρικές εκδηλώσεις όπως : δυσκολία στην συγκέντρωση, ζαλάδες, κατάθλιψη και σε πολύ



ακραίες περιπτώσεις μέχρι και κώμα. (Gurta AK et al 2014, Tebben PJ et al, 2016)  
Άλλα συμπτώματα προκύπτουν λόγω της υπερασβεστιαμίας και της επιρροής που έχει στον γαστρεντερικό σωλήνα προκαλώντας : επαναλαμβανόμενα επεισόδια εμέτων, κοιλιακούς πόνους, πολυδιψία, ανορεξία και δυσκοιλιότητα. Οποιαδήποτε από τις τρεις διαφορετικές μορφές της βιταμίνης D μπορεί να προκαλέσει τοξικότητα. Η τοξικότητα που προκύπτει από τις βιταμίνες D2 και D3 είναι πιο δύσκολα διαχειρίσιμη εξαιτίας των μεταβολιτών της βιταμίνης D [25(OH)D or 1,25(OH)2D] . Αυτό γίνεται λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής της βιταμίνης D ο οποίος προκύπτει από την υψηλή λιποδιαλυτότητά της στους μύες, συκώτι και λιπώδεις ιστούς( Jones G, 2008). Έτσι η υπερασβεστιαμία από υπερβολική δοσολογία βιταμίνης D μπορεί θεωρητικά να διαρκέσει μέχρι και 18 μήνες αφού έχει ήδη διακοπεί η χορήγησή της. Οι χρόνοι ημιζωής των μεταβολιτών της βιταμίνης D 25(OH)D και 1,25(OH)2D όμως έχουν αρκετά μικρότερη διάρκεια με 15 μέρες και 15 ώρες αντιστοίχως ( Jones G, 2008). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια πολύ πιο γρήγορη ανάρρωση από τα συμπτώματα με την 25(OH)D να διαρκεί για μερικές βδομάδες ενώ η 1,25(OH)2D μόνο για λίγες μέρες.

#### B-αλανίνη

Η β-αλανίνη είναι ένα από τα πιο δημοφιλή συμπληρώματα διατροφής τα οποία χρησιμοποιούνται από επαγγελματίες αθλητές με σκοπό την βελτίωση της αθλητικής απόδοσης και ικανότητας (Blancquaert, Everaert, & Derave, 2015). Με την κατάποσή της, η β-αλανίνη, ενώνεται με την ιστιδίνη που βρίσκεται στον σκελετικό μυ και σχηματίζεται καρνοσίνη. Η ένωση αυτή προκαλεί την αύξηση του pKa του ιμιδαζόλιου δακτυλίου της ιστιδίνης στα 6.83, το οποίο την καθιστά έναν πολύ αποτελεσματικό παράγοντα ρύθμισης της φυσιολογικής ενδομυϊκής διακύμανσης του pH (Hoffman, Stout, Harris, & Moran, 2015). Λόγω του χαμηλού ποσοστού σύνθεσης β-αλανίνης ελαττώνεται ο ρυθμός σύνθεσης της καρνοσίνης. Έτσι ο λόγος για τον οποίον χρησιμοποιούνται συμπληρώματα β-αλανίνης είναι για την αύξηση του ποσοστού της καρνοσίνης το οποίο στην συνέχεια ενισχύει την ρυθμιστική ικανότητα της ενδομυϊκής διακύμανσης του pH, δηλαδή έχει σαν αποτέλεσμα καλύτερη αντοχή στην αναεροβική άσκηση.

### Μηχανισμός και εργογόνος δράση της β-αλανίνης

Η εργογόνος δράση που προκύπτει από τη χρήση συμπληρώματος της β-αλανίνης δεν προκύπτει άμεσα από αυτή αλλά από τον ρόλο που διαδραματίζει στην ένωση με την ιστιδίνη η οποία βρίσκεται στον σκελετικό μυ με σκοπό τον σχηματισμό καρνοσίνης. Η δράση αυτή της β-αλανίνης έχει αναλυθεί σε πολλές έρευνες στις οποίες τα άτομα που παίρνουν μέρος ήταν επαγγελματίες αθλητές αλλά και άνθρωποι που αθλούνται μόνο για λόγους ψυχαγωγίας (Hill et al., 2007; Hoffman 2015, Kendrick et al 2008, Wim Derave et al 2007).

Μια έρευνα από τους Baguet et al. έδειξε τον σημαντικό ρόλο που παίζει η καρνοσίνη στην απόδοση των αθλητών οι οποίοι ασχολούνται με την κοπηλασία. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα αυτή ήταν 18 κοπηλάτες παγκοσμίου επιπέδου οι οποίοι χωρίστηκαν σε 2 ομάδες όπου στην μια χορηγήθηκε placebo και στην άλλη β-αλανίνη. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι υπάρχει ισχυρή και θετική συσχέτιση των επιπέδων μυϊκής καρνοσίνης και της απόδοσης στην κοπηλασία σε αποστάσεις 100, 500, και 6000 μέτρων.

Μια άλλη έρευνα έγινε από Hill et al. με σκοπό την ανάλυση της επίδρασης χρήσης συμπληρώματος β-αλανίνης στα επίπεδα μυϊκής καρνοσίνης και πώς επηρεάζει την ικανότητα του αθλητή ο οποίος συμμετέχει σε ποδηλασία υψηλής έντασης. Από τους 25 συμμετέχοντες στους 13 είχε χορηγηθεί β-αλανίνη ενώ στους υπόλοιπους placebo. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα επίπεδα της μυϊκής καρνοσίνης είχαν αυξηθεί κατά 58,8 % και 80,1% μετά από 4 και 10 βδομάδες χρήσης συμπληρώματος β-αλανίνης αντίστοιχα, ενώ δεν υπήρξε αύξηση στην ομάδα που χρησιμοποίησε placebo. Επιπλέον ο συνολικός όγκος προπόνησης εμφάνισε αύξηση 13% σε 4 βδομάδες και 16,2% στις 10 βδομάδες στην ομάδα που της είχε χορηγηθεί β-αλανίνη.

### Αρνητικές επιπτώσεις των συμπληρωμάτων β-αλανίνης

Η μόνη γνωστή αρνητική επίδραση της β-αλανίνης είναι η παραισθησία, η οποία είναι η αίσθηση τσιμπήματος ή μουδιάσματος στο δέρμα. Η εμφάνιση αυτών των συμπτωμάτων εξαρτάται από τη δοσολογία της β-αλανίνης που χρησιμοποιείται αλλά επίσης διαφέρει από άτομο σε άτομο. Σύμφωνα με Harris et al. συμπτώματα παραισθησίας εμφανίζονται σε άτομα τα οποία έχουν καταναλώσει > 800 mg/kg β-

αλανίνης. Όσον αφορά τη μακροχρόνια χρήση συμπληρώματος β-αλανίνης δεν υπάρχουν αρκετές έρευνες για να είμαστε σίγουροι για την ασφάλειά της.

### Κρεατίνη

Η κρεατίνη είναι μια οργανική ένωση η οποία παράγεται στο συκώτι, στα νεφρά και στο πάγκρεας από τα βασικά αμινοξέα: αργινίνη, γλυκίνη και μεθειονίνη (Williams MH et al, 1998). Στους ανθρώπους, πάνω από 95% της συνολικής περιεκτικότητας κρεατίνης βρίσκεται στο σκελετικό μυ. Η κρεατίνη είναι διαθέσιμη σαν συμπλήρωμα σε μορφή σκόνης, ταμπλέτας και υγρού. Στην φωσφορυλιωμένη μορφή της παρέχει φώσφορο για το σχηματισμό της τριφωσφορικής αδενοσίνης (Andrew Shao et al, 2006). Αυξημένη πρόσληψη κρεατίνης με την μορφή συμπληρώματος έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνει σημαντικά την ενδομυϊκή συγκέντρωση ελεύθερης κρεατίνης και φωσφοκρεατίνης (F. Rossouw et al, 2000).

### Μηχανισμός κρεατίνης

Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον όσον αφορά την κρεατίνη για τον αθλητισμό καθώς η τριφωσφορική αδενοσίνη και η φωσφοκρεατίνη είναι από τα κύρια υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην έναρξη μιας άσκησης υψηλής έντασης. Με την ρύθμιση των επιπέδων φωσφοκρεατίνης στους μύες προτού ο αθλητής εμπλακεί σε έντονη άσκηση είναι πιθανό να καθυστερήσει η εξάντληση της επίδρασης αυτής, ρυθμίζοντας έτσι τις αλλαγές στα επίπεδα τριφωσφορικής αδενοσίνης και της διφωσφορικής αδενοσίνης (Vandenbergh K et al, 1996). Θεωρητικά, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης καθώς και την καθυστέρηση της κόπωσης σε ασκήσεις υψηλής έντασης και σύντομης χρονικής διάρκειας.

### Εργογόνος δράση του συμπληρώματος κρεατίνης

Έρευνες έχουν δείξει ότι σε ασκήσεις με αντιστάσεις συμπεριλαμβανομένων δοκιμών μέγιστης επανάληψης αλλά και αριθμό επαναλήψεων με συγκεκριμένο φορτίο η απόδοση αυξάνεται βραχυπρόθεσμα με την χρήση κρεατίνης. Σε μία έρευνα, οι συμμετέχοντες κατάφεραν να πραγματοποιήσουν 8 παραπάνω επαναλήψεις στις πιέσεις στήθους των πέντε σετ χρησιμοποιώντας βάρος κατάλληλο για 10 επαναλήψεις πριν την πρόσληψη κρεατίνης (Volek JS, Ratamess NA, Rubin MR, et al. 2004).

Μια άλλη έρευνα έχει προσφέρει κάποιες ενδείξεις για την συνεισφορά της φόρτωσης κρεατίνης. Η μελέτη αυτή σύγκρινε την αύξηση σε δύναμη μετά από 4 εβδομάδες χρήσης συμπληρώματος κρεατίνης σε μια ομάδα ατόμων που πραγματοποίησαν ασκήσεις με αντιστάσεις και σε μια άλλη ομάδα που δεν έκανε καμία άσκηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε ασκήσεις όπως πιέσεις στήθους μέγιστης επανάληψης και πιέσεις ποδιών η δύναμη αυξήθηκε κατά 8% και 16% αντιστοίχως στην ομάδα που χρησιμοποιούσε κρεατίνη χωρίς προπόνηση και 18% και 42% αντιστοίχως στην ομάδα που έκανε και προπόνηση με αντιστάσεις (Arciero et al.). Η αύξηση αυτή της ικανότητας των αθλητών για να πραγματοποιήσουν περισσότερες επαναλήψεις χρησιμοποιώντας το ίδιο βάρος μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αυξήσεις σε καθαρή μυϊκή μάζα και δύναμη αν η χρήση συμπληρώματος κρεατίνης συνεχιστεί για μερικές εβδομάδες προπονήσεων.

#### Τοξικότητα συμπληρωμάτων κρεατίνης

Δεν υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις όσον αφορά την τοξικότητα των συμπληρωμάτων διατροφής κρεατίνης. Παρ'όλα αυτά θα πρέπει να υπάρχει προσοχή κατά την χρήση της για μεγάλα χρονικά διαστήματα καθώς δεν υπάρχουν επαρκείς έρευνες για την επίδρασή της στον ανθρώπινο οργανισμό μετά από μακροχρόνια χρήση αυτής. (M. G. Bemben and H. S. Lamont, 2005). Υπάρχουν αναφορές ότι η κρεατίνη μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερικό πόνο, ναυτία, διάρροια και μυϊκές κράμπες (R. L. Terjung et al, 2000). Ωστόσο σε μια έρευνα με 2 τυφλά συμπεριλαμβανομένου placebo έδειξε ότι δεν υπάρχουν οι παραπάνω παρενέργειες (L. M. Romer, J. P. Barrington and A. F. Jeukendrup, 2001). Επιπλέον, με την συνεχή χρήση της κρεατίνης παρουσιάζεται αύξηση βάρους η οποία πιθανότατα να συμβαίνει λόγω κατακράτησης νερού οπότε θεωρείται ότι αυξάνει το ρίσκο εμφάνισης υψηλής πίεσης (M. S. Juhan and M. Tarnopolsky, 1998). Παρ'όλα αυτά μια πρόσφατη έρευνα στην οποία χρησιμοποιήθηκε μια δόση 20g κρεατίνης ημερησίως για 5 μέρες δεν έδειξε να εμφανίζονται οι παραπάνω παρενέργειες (S. Mihic, J. R. MacDonald, S. McKenzie and M. A. Tarnopolsky, 2000).

#### Πρωτεΐνη

Η πρωτεΐνη έχει πολλούς σημαντικούς ρόλους στην φυσιολογική λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Η Συνιστώμενη Ημερήσια Δόση (ΣΗΔ) για υγιή άτομα είναι 0,8g/kg/day (USDA 2015-2020). Όμως για άτομα όπως αθλητές η ποσότητα

πρωτεΐνης που πρέπει να καταναλώνεται την μέρα έτσι ώστε να επιτευχθούν οι βέλτιστες αποδόσεις στην προπόνηση είναι 1,4-1,6 g/kg/day(Jager R et al). Για να καταφέρουν οι αθλητές να φτάσουν αυτήν την ποσότητα χρησιμοποιούν συμπληρώματα πρωτεΐνης.

#### Σύνθεση μυϊκής πρωτεΐνης

Η ανακύκλωση πρωτεΐνης του σκελετικού μυός περιλαμβάνει τις διαδικασίες της σύνθεσης μυϊκής πρωτεΐνης και της διάσπασης μυϊκής πρωτεΐνης. Οι διαφορές στην σύνθεση και διάσπαση της μυϊκής πρωτεΐνης έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση (υπερτροφία) ή μείωση (ατροφία) πρωτεϊνών των μυικών ινών(Stuart M. Phillips). Υπάρχουν ισχυρά στοιχεία που δείχνουν ότι η κατανάλωση πρωτεΐνης πριν και/ή μετά την προπόνηση προκαλεί σημαντική αύξηση της πρωτεϊνικής σύνθεσης των μυών. Θα πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι τον πιο σημαντικό διατροφικό ρόλο στη διευκόλυνση της προσαρμογής των μυών στην άσκηση μακροπρόθεσμα έχει η συνολική ημερήσια πρόσληψη θερμίδων και πρωτεϊνών (Harry P. Cintineo et al 2018). Επιπλέον, παρά τις πρόσφατες υποδείξεις ότι κάποιος δεν χρειάζεται αναγκαστικά να καταναλώνει πρωτεΐνη αμέσως μετά τη στιγμή της προπόνησης, θα πρέπει να τονιστεί πως το να μην καταναλώσει κάποιος τίποτα εκτός του ότι δεν προσφέρει πλεονέκτημα ίσως να αποτελεί και μειονέκτημα(Harry P. Cintineo et al 2018). Έτσι, με βάση τα αποτελέσματα της επίδοσης και της ανάρρωσης, φαίνεται ότι η συνετή προσέγγιση θα ήταν οι αθλητές να καταναλώνουν πρωτεΐνη μετά την προπόνηση.

Η χρήση υψηλότερων ποσοτήτων πρωτεΐνης οδηγεί σε μεγαλύτερη δύναμη και αύξηση μυϊκής μάζας όταν συνδυάζεται με ασκήσεις με αντιστάσεις (Stokes T et al, 2018), επιτρέπει μεγαλύτερη διατήρηση της μυϊκής μάζας όταν καταναλώνεται σε περιόδους υποθερμιακής δίαιτας (Carbone et al 2019), περιορίζει την απώλεια μυών που σχετίζεται με την ηλικία (Mitchell et al 2017) και, σε μικρότερο βαθμό, παρέχει μεγαλύτερη απόκριση στην σύνθεση μυϊκής πρωτεΐνης όταν κατανέμεται ομοιόμορφα στα γεύματα. Τα προνόμια της κατανάλωσης πρωτεΐνης μετά την προπόνηση με αντιστάσεις έχουν ερευνηθεί επαρκώς, ειδικά όσον αφορά την μυϊκή υπερτροφία. Μια πρόσφατη μετα-ανάλυση έδειξε σημαντικά θετικά αποτελέσματα

όταν γίνεται συνδιασμός ασκήσεων με αντιστάσεις και κατανάλωσης πρωτεΐνης μετά την προπόνηση. Συγκεκριμένα, αυξήθηκε η δύναμη η οποία υπολογίστηκε με τη μια μέγιστη επανάληψη, και η μυϊκή μάζα η οποία υπολογίστηκε από την περιοχή διατομής μυοϊνών (Morton, R.W, 2018). Ο τύπος και ο όγκος των ασκήσεων παίζει καθοριστικό ρόλο στις συνθετικές αποκρίσεις μυϊκής πρωτεΐνης όταν η κατάποση γίνεται μετά την άσκηση (Moore et al 2009, Macnaughton et al 2016). Επίσης σημαντικοί παράγοντες είναι η ηλικία (Thomas et al 2016), η προπονητική εμπειρία (Morton, R.W, 2018) του ατόμου αλλά και ο τύπος της πρωτεΐνης που καταναλώνεται. Η κατανάλωση υψηλών επιπέδων πρωτεΐνης σε περιόδους δίαιτας με θερμιδικό έλλειμμα 500-750kcal/μέρα (Raynor et al 2016) συντηρεί την μυϊκή μάζα σε ένα κατά τα άλλα καταβολικό φυσιολογικό περιβάλλον (Carbone et al 2019). Η ανεπαρκής διατροφική πρόσληψη πρωτεϊνών επηρεάζει την ισορροπία των μυών και των πρωτεϊνών ολόκληρου του σώματος, επηρεάζοντας αρνητικά τη μυϊκή μάζα, τις προσαρμογές στην άσκηση, την ομοιόσταση των οστών και του ασβεστίου, την απόκριση του ανοσοποιητικού συστήματος, την ισορροπία υγρών και ηλεκτρολυτών, παραγωγή και δραστηριότητα ενζύμων και την σύνθεση ορμονών.

#### Πρωτεΐνη ορού γάλακτος

Μια μέτα ανάλυση (Lam F-C et al , 2019) έγινε με σκοπό την διερεύνηση της χρησιμότητας και ασφάλειας της πρωτεΐνης ορού γάλακτος στην σωματική επίδοση αθλητών. Τα χαρακτηριστικά που ερευνήθηκαν ήταν , οι παλμοί της καρδιάς, ο μέγιστος όγκος οξυγόνου, η μέγιστη και μέση δύναμη, η σωματική μάζα, ο ρυθμός αναπνευστικής ανταλλαγής και η κλίμακα υποκειμενικής κόπωσης.

Αρχικά όσον αφορά τους καρδιακούς παλμούς, χρησιμοποιούνται από τους αθλητές ως μέτρο αναφοράς προκειμένου να προσδιορίσουν την προσπάθειά τους και το πόσο έντονα προπονείται το σώμα (Aubert et al., 2003; Li and Kim, 2017). Αν και η πιο αργή αύξηση των καρδιακών παλμών είναι προτιμότερη, οι διαφορές που έχει η πρωτεΐνη ορού γάλακτος σε σχέση με τα άλλα συμπληρώματα που συγκρίθηκε είναι πολύ μικρές. Επίσης είναι γνωστό για την πρωτεΐνη ορού γάλακτος ότι απορροφάται ταχύτερα από τις περισσότερες πηγές πρωτεϊνών και φαίνεται να αντιστέκεται στην πήξη στο στομάχι και διαπερνά τα έντερα σχετικά γρήγορα (Oosthuysen and Millen, 2016). Αυτή η γρήγορη απορρόφηση βοηθάει στην βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής απόδοσης στους αθλητές. Με βάση αυτά τα ευρήματα που

εξετάστηκαν φάνηκε ότι όλα τα συμπληρώματα είχαν παρόμοια αποτελέσματα στους καρδιακούς παλμούς, επομένως, η πρωτεΐνη ορού γάλακτος είναι σε θέση να ενεργεί ως εργογονικό βοήθημα στον καρδιακό παλμό των αθλητών.

Ο ρυθμός αναπνευστικής ανταλλαγής αποτελεί μία από τις μεταβολικές μετρήσεις που υποδεικνύουν καύσιμο το οποίο μεταβολίζεται με σκοπό την παροχή ενέργειας στο σώμα. Όταν ο ρυθμός αναπνευστικής ανταλλαγής είναι υψηλός, χρησιμοποιούνται οι υδατάνθρακες ενώ όταν είναι χαμηλός ενισχύεται η οξείδωση του λίπους. (Bergman and Brooks, 1999). Αναφέρθηκε επίσης ότι τα συμπληρώματα από πρωτεΐνη ορού γάλακτος και μαλτοδεξτρίνης είχαν παρόμοιες τιμές RER σε όλη την διάρκεια παρατεταμένης υπομέγιστης άσκησης (Vegge et al. (2012)), υποδηλώνοντας ότι η κατάποση πρωτεΐνης δεν οδήγησε σε σημαντική μεταβολική μετατόπιση προς την οξείδωση των αμινοξέων ή τα λιπαρά οξέα.

Η κλίμακα υποκειμενικής κόπωσης είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να υπολογισθεί η ένταση μιας άσκησης. Η κλίμακα αρχίζει από το 0 και φτάνει έως το 10, με το 10 να είναι η μέγιστη ένταση που μπορούν να διαχειριστούν οι αθλητές και 0 είναι ελάχιστη έως καθόλου ένταση (Iellamo et al., 2014). Οι αθλητές που εφοδιάστηκαν με πρωτεΐνη ορού γάλακτος ασκούσαν με την ίδια και υψηλότερη ένταση σε σύγκριση με αυτούς που χρησιμοποίησαν υδατάνθρακες όμως παρόλα αυτά δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην τιμή της κλίμακας υποκειμενικής κόπωσης (Highton et al. (2013)). Επιπλέον οι Naclerio et al παρατήρησαν ότι η πρωτεΐνη ορού γάλακτος είχε μικρότερες τιμές RPE στην αρχή και προς το τέλος ενός αγώνα ποδοσφαίρου σε συγκριτικά με τους υδατάνθρακες. Αυτό το χαμηλό RPE ειδικά στο τέλος της προπόνησης δηλώνει ότι η διαθεσιμότητα του γλυκογόνου ελαττώνει την αύξηση της κόπωσης. Όλα τα παραπάνω δηλώνουν ότι οι αθλητές που χρησιμοποίησαν πρωτεΐνη ορού γάλακτος είχαν χαμηλότερο RPE και μπόρεσαν να ανταποκριθούν καλύτερα στην ένταση των ασκήσεων.

Άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος είναι πολύ σημαντικός για την αθλητική επίδοση είναι ο μέγιστος όγκος οξυγόνου, δηλαδή, είναι ο μέγιστος ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου που μετράται κατά τη διάρκεια της σταδιακής άσκησης (Dlugosz et al., 2013). Σε γενικές γραμμές αν οι αθλητές ασκούνται πιο έντονα τότε θα έχουν και υψηλότερη κατανάλωση  $Vo_2 \max$ . Τα αποτελέσματα της μετα-ανάλυσης έδειξαν ότι την καλύτερη βελτίωση στις επιδόσεις όσον αφορά το  $Vo_2 \max$

την είχε το βοοειδές πρωτόγαλα, και η πρωτεΐνη ορού γάλακτος (Coombes et al. (2002)). Αυτά τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι η πρωτεΐνη ορού γάλακτος προσφέρει εργογόνο δράση όσον αφορά τον μέγιστο όγκο οξυγόνου, δίνοντας την δυνατότητα στους αθλητές να έχουν άριστη καρδιοαναπνευστική φυσική κατάσταση κατά την εκτέλεση των ασκήσεων.

Ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας στην επίδοση των αθλητών σε διάφορα αθλήματα είναι η δύναμη, γι' αυτό υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την εύρεση εργογονικής βοήθειας (Al-Nawaiseh et al. (2016)). Τα αποτελέσματα της μετα-ανάλυσης έδειξαν ότι η εργογόνος δράση της πρωτεΐνης ορού γάλακτος είναι παρόμοια με αυτή των συγκρινόμενων συμπληρωμάτων. Επιπροσθέτως, οι Highton et al διαπίστωσαν ότι με την κατάποση πρωτεΐνης ορού γάλακτος υπήρξε μια μικρή αύξηση στην ένταση στα τελικά στάδια των ασκήσεων σε σχέση με την κατανάλωση υδατάνθρακα. Επιπλέον οι Al-Nawaiseh et al. (2016) διερεύνησαν επίσης ότι η μέση δύναμη ανακτήθηκε καλύτερα σε αθλητές οι οποίοι κατανάλωναν πρωτεΐνη ορού σε σχέση με αυτούς που έκαναν πρόσληψη placebo.

Τελευταίος αλλά εξίσου σημαντικός παράγοντας που εξετάστηκε είναι η σωματική μάζα. Η σχέση του WPS με τη μάζα σώματος έχει μελετηθεί σε βάθος από τους Lollo et al. οι οποίοι διαπίστωσαν ότι η πρωτεΐνη ορού γάλακτος παρείχε ένα παραπάνω όφελος σε ότι αφορά τη διατήρηση και την απόκτηση μυϊκής μάζας σε αθλητές αλλά και περαιτέρω αύξηση της μυϊκής μάζας αυτών όταν αυτοί εμπλέκονται σε παρατεταμένες ασκήσεις. Συμπερασματικά, προτείνεται ότι οι αθλητές που χρειάζονται να επιτύχουν ένα συγκεκριμένο βάρος ενώ ταυτόχρονα να γίνεται διατήρηση ή απόκτηση μυϊκής μάζας ενθαρρύνονται να καταναλώνουν πρωτεΐνη ορού γάλακτος.

### Ω-3 λιπαρά οξέα

Τα ω-3 λιπαρά οξέα, συγκεκριμένα εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA, 20:5n-3) και δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA, 22:6n-3) έχουν προσελκύσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε ότι αφορά την αθλητική διατροφή (Calder, 2018). Ο κύριος σκοπός της διατροφής για τους αθλητές είναι η αντιστάθμιση της αυξημένης ενέργειας που χρειάζεται για την πραγματοποίηση των ασκήσεων και η κάλυψη των αναγκών των θρεπτικών συστατικών. Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα ανήκουν στην οικογένεια πολυακόρεστων



λιπαρών οξέων (Burdge, 2015). Ενώ υπάρχουν λιπαρά οξέα διαφορετικού μήκους, τα πιο σημαντικά θεωρούνται τα λιπαρά οξέα πολύ μακράς αλυσίδας, το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA, 20:5n-3) και δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA, 22:6n-3) (Calder, 2018).

Η κυρίαρχη πηγή EPA/DHA είναι τα θαλασσινά, ιδιαίτερα λιπαρά ψάρια, όπως το σκουμπρί και η ρέγγα. Από αυτά το σκουμπρί θεωρείται το πιο πλούσιο σε n-3PUFA καθώς περιέχει περίπου 3,2g n-3PUFA ανά μερίδα 100g (Sprague, 2016). Όσον αφορά την καθημερινή πρόσληψη EPA και DHA, έχει βρεθεί ότι στο 74% των χωρών της Ευρωπαϊκής ένωσης η πρόσληψη αυτών των λιπαρών οξέων από τους κατοίκους της είναι χαμηλότερη από τα όρια που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων τα οποία είναι στα 250mg (Sioen et al, 2017- EFSA 2010). Εκτός από το γεγονός ότι το όριο της προτεινόμενης ημερήσιας πρόσληψης δεν επιτεύχθηκε από τον γενικό πληθυσμό, μια έρευνα ανακάλυψε ότι μεταξύ διαφόρων αθλητών δεν επιτεύχθηκαν οι μικροθρεπτικοί και μακροθρεπτικοί στόχοι συμπεριλαμβανομένης της πρόσληψης επαρκούς ποσότητας EPA και DHA (Von Schacky, 2014).

Παρ' όλα αυτά υπολογίζεται ότι το 85% των ελίτ αθλητών χρησιμοποιούν τουλάχιστον ένα συμπλήρωμα διατροφής ως εργογονική βοήθεια (Maughan, Depiesse, & Geyer, 2007). Από αυτά τα συμπληρώματα, το n-3PUFA είναι το πιο δημοφιλές (Shaw, Slater, & Burke, 2016). Ένας από τους λόγους για τους οποίους προτείνεται το συμπλήρωμα διατροφής n-3PUFA είναι καθώς προσδίδει πλεονεκτήματα για τους αθλητές κυρίως λόγω των αντιφλεγμονωδών ιδιοτήτων του (Li et al., 2005). Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα θεωρούνται ως ένα πιθανό συμπλήρωμα που μπορεί να επηρεάσει ευεργετικά την απόδοση, την ανάρρωση και ταυτόχρονα μειώνει τον κίνδυνο για ασθένεια ή τραυματισμό (Simopoulos, 2007). Αν και υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι με την χρήση EPA/DHA μπορεί να υπάρξει βελτίωση της ικανότητας της αντοχής αλλά και ταχύτεροι χρόνοι ανάρρωσης, τα τρέχοντα στοιχεία δεν υποστηρίζονται από όλους.

Μια σημαντική πτυχή της απόδοσης σε ασκήσεις αντοχής και της προσαρμογής των μυών κατά την προπόνηση είναι η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά υποστρώματα και να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη ενέργεια από τα αποθέματα τριφωσφορικής αδενοσίνης. Το

μιτοχονδριακό περιεχόμενο των κυττάρων βοηθά στη ρύθμιση της επανασύνθεσης του ATP. Ένας βασικός ρυθμιστής της μιτοχονδριακής βιογένεσης, που ορίζεται ως η διαδικασία της αύξησης του όγκου των μιτοχονδρίων, είναι ο υποδοχέας-γάμμα που ενεργοποιείται από τον πολλαπλασιαστή υπεροξειδίου συνενεργοποιητή (PGC-1α) (Jordan D. Philpott, 2019). Προηγούμενες μελέτες σε τρωκτικά έδειξαν ότι η διατροφική συμπλήρωση n-3PUFA αυξάνει την έκφραση του PGC-1α (Hancock et al., 2008) και αυξάνει τη βιογένεση των μιτοχονδρίων (Turner et al., 2007). Ωστόσο, μελέτες που διερευνούν τα συμπληρώματα του n-3PUFA και τη μιτοχονδριακή βιογένεση στον άνθρωπο είναι περιορισμένα. Επί του παρόντος, μόνο μια μελέτη εξέτασε τη μιτοχονδριακή βιογένεση με συμπλήρωμα n-3PUFA και ανέφερε ότι η πρόσληψη EPA συμπληρώματος διέγειρε τη μιτοχονδριακή βιογένεση σε παχύσαρκα άτομα (Laiglesia et al., 2016). Με βάση τα ευρήματα από μελέτες σε ζώα, είναι πιθανό ότι το συμπλήρωμα n-3PUFA μπορεί να αυξήσει τη μιτοχονδριακή βιογένεση οδηγώντας, συνεπώς, αυτά σε βελτιωμένη απόδοση της αντοχής τους. Ωστόσο, περισσότερες μελέτες σε αθλητές είναι απαραίτητες προκειμένου να εξεταστεί αυτή η θεωρία.

#### Πιθανοί μηχανισμοί ω-3 λιπαρών οξέων

Το διαιτητικό συμπλήρωμα n-3PUFA έχει επίσης αποδειχθεί ότι μειώνει την κατανάλωση οξυγόνου, τον καρδιακό ρυθμό και το πόσο αντιλαμβάνεται ο αθλητής ότι προσπαθεί – καταπονείται κατά τη διάρκεια μιας άσκησης αντοχής (Kawabata et al 2014). Όμως ο μηχανισμός που είναι υπεύθυνος για την αυξημένη αποτελεσματικότητα της χρήσης οξυγόνου δεν είναι ξεκάθαρος. Μια υπόθεση που μπορεί να γίνει είναι ότι οι χαμηλότεροι καρδιακοί παλμοί και η βελτιωμένη πρόσληψη O<sub>2</sub> μπορεί να οδηγήσουν σε καλύτερη παροχή O<sub>2</sub> στη σύσπαση των μυών, ενισχύοντας έτσι την απόδοση αντοχής (Macaluso, 2013). Μια άλλη θεωρία σχετικά με τον μηχανισμό της βελτίωσης της αντοχής είναι ότι το EPA/DHA αυξάνει την παραμόρφωση των ερυθρών αιμοσφαιρίων, κάτι που με τη σειρά του θα μπορούσε να οδηγήσει στην αύξηση της παροχής οξυγόνου στους μύες (Tiryaki-Sönmez, 2011).

Είναι γνωστό ότι η ανταπόκριση των σκελετικών μυών στην άσκηση μπορεί να επηρεαστεί από τη διατροφική κατάσταση του μυός (Beck, 2015). Αυτή η επίδραση δεν περιορίζεται μόνο στα μακροθρεπτικά συστατικά, αλλά τα EPA/DHA μπορούν επίσης να επηρεάζουν την άσκηση και τη διατροφική απόκριση των σκελετικών μυών

(Jeromson, 2015), αυτό με τη σειρά του μπορεί να εξηγήσει εν μέρει την παρατηρούμενη μείωση του πόνου. Μια μελέτη για τη μέτρηση της μυϊκής δύναμης μετά από μια περίοδο χορήγησης συμπληρωμάτων n-3PUFA έδειξε μια αύξηση στη μέγιστη ροπή μετά από χρήση συμπληρώματος n-3PUFA για 90 ή 150 ημέρες σε δόση 2 g/ημέρα (Rodacki et al., 2012). Βελτιώσεις της νευρομυϊκής λειτουργίας που παρατηρούνται μετά από την προπόνηση, όπως η ενεργοποίηση των μυών και η ηλεκτρομηχανική καθυστέρηση, δηλαδή η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της έναρξης της μυϊκής ενεργοποίησης και της παραγωγής μυϊκής δύναμης, σε διάφορους μύες, συμπεριλαμβανομένου του δικέφαλου μηριαίου και του έξω πλατύ μηριαίου, ενισχύθηκαν μετά την πρόσληψη n-3PUFA σε σχέση με την ομάδα η οποία έκανε μόνο προπόνηση (Rodacki et al., 2012). Δεδομένου ότι το DHA είναι άφθονο εντός των εγκεφαλικών νευρώνων (Kim, Huang, & Spector, 2014), οι βελτιώσεις στη νευρωνική προσαρμογή με τη χορήγηση συμπληρώματος n-3PUFA μπορεί να υποδεικνύουν ότι οι νευρικές οδοί τροποποιούνται. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι συμμετέχοντες σε αυτή τη μελέτη ήταν γυναίκες μεγαλύτερης ηλικίας, θα πρέπει να δοθεί προσοχή όταν προσπαθεί κάποιος να ερμηνεύσει αυτά τα αποτελέσματα προκειμένου να εφαρμοστεί χορήγηση σε αθλητές.

Η έννοια της μυϊκής βλάβης μετά από έντονη έκκεντρη άσκηση είναι αποδεκτή (Nedelec, 2012). Οι αρχικές 96 ώρες μετά την άσκηση ορίζονται ως περίοδος αποκατάστασης των μυών. (Pereira, 2015). Τα EPA και DHA έχει περιγραφεί ότι αυξάνουν τη δομική ακεραιότητα των μυϊκών κυτταρικών μεμβρανών (Murphy, 1990), η οποία με τη σειρά της μπορεί να εξηγήσει την προστατευτική δράση των EPA/DHA. Η φλεγμονή είναι μια βασική διαδικασία στην αποκατάσταση και ανάθρεψη των μυών, η δυνατότητα των EPA/DHA να επιταχύνουν τη διαδικασία αποκατάστασης μέσω της ανοσορρύθμισης τα καθιστά χρήσιμα για πολλούς αθλητές.

Αρνητικές επιπτώσεις της χρήσης συμπληρώματος Ω-3

Η μεταβολή της λειτουργίας των αιμοπεταλίων αποτελεί μία από τις σημαντικές και πιθανές ανεπιθύμητες ενέργειες. Η παρουσία του EPA και του DHA οδηγεί στην παραγωγή θρομβοξάνης A3, η οποία είναι λιγότερο ισχυρός ενεργοποιητής αιμοπεταλίων από τη θρομβοξάνη A2. Επομένως, με την χρήση EPA και DHA είναι πιθανόν να επηρεαστεί η ενεργοποίηση των αιμοπεταλίων λόγω των διαφορετικών

εικοσανοειδών που παράγονται, γεγονός που οδηγεί σε αντιθρομβωτική δράση η οποία με τη σειρά της προκαλεί επιζήμια αποτελέσματα στην προσπάθεια του οργανισμού επούλωσης των πληγών (Wensing,1999). Η επίδραση στην επούλωση των πληγών πιθανότατα εξαρτάται από το την ποσότητα και τη διάρκεια της χρήσης του συμπληρώματος αλλά και τη σοβαρότητα του τραύματος. Η υπεροξειδωση των λιπιδίων χαρακτηρίζεται από μια επίθεση ελεύθερων ριζών σε ένα ακόρεστο λιπαρό οξύ και μπορεί να εμφανιστεί παρουσία οξυγόνου. Μακράς αλυσίδας, εξαιρετικά ακόρεστα λιπαρά οξέα όπως το EPA και το DHA, που συσσωρεύονται στις κυτταρικές μεμβράνες, διατρέχουν υψηλό κίνδυνο υπεροξειδωσης. Αν δεν παρέχονται σε επαρκείς συγκεντρώσεις αντιοξειδωτικά, τα μεμβρανικά φωσφολιπιδικά λιπαρά οξέα είναι ευάλωτα στην υπεροξειδωση και μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ελεύθερων ριζών. (Gammone,2018).Η υπεροξειδωση των λιπιδίων μπορεί να είναι επιζήμια λόγω των επιπτώσεων στη σταθερότητα των κυτταρικών μεμβρανών και επίσης λόγω των επιθέσεων των ελεύθερων ριζών στις πρωτεΐνες και στο DNA (Wander, 1997). Οι επιπτώσεις της υπεροξειδωσης των λιπιδίων μπορούν να αποφευχθούν με την χρήση αντιοξειδωτικών.

### BCAAs

Υπάρχουν πολλαπλά συμπληρώματα πρωτεϊνών και αμινοξέων, μέσα σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα αμινοξέα διακλαδισμένης αλυσίδας (Branched chain amino acids BCAAs) στα οποία περιλαμβάνονται η λευκίνη, ισολευκίνη και η βαλίνη τα οποία ξεχωρίζουν από τα απαραίτητα αμινοξέα(EAAs) καθώς μεταβολίζονται στον σκελετικό μυ. Έχει γενικά θεωρηθεί ότι η χρήση συμπληρωμάτων BCAA μπορεί να βοηθήσει στην μείωση της μυϊκής καταστροφής εφόσον καταναλωθούν προτού ή κατά την διάρκεια σωματικής άσκησης(Greer et al2007) πιθανότατα δημιουργώντας αντικαταβολικό ορμονικό προφίλ. Επιπλέον υπάρχει ο ισχυρισμός ότι μπορεί η χρήση τους να μειώσει την ένταση ενός φαινομένου το οποίο είναι γνωστό ως καθυστερημένος μυϊκός πόνος(Mettler et al 2010). Ειδικά, το απαραίτητο αμινοξύ λευκίνη, έχει φανεί πως είναι ικανό να διεγείρει την μυϊκή πρωτεϊνοσύνθεση in vivo και in vitro. Ο μηχανισμός με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό φαίνεται να είναι λόγω της αύξησης της φωσφορυλίωσης της mTOR (Pasiakos et al),(Wu et al). Αυτή η ιδέα υποστηρίζεται και από τα άλλα ευρήματα που υποδεικνύουν ότι η mTOR δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τα υπόλοιπα

αμινοξέα διακλαδισμένης αλύσου βαλίνη και ισολευκίνη. Επιπλέον η λευκίνη έχει θετική επιρροή στην πρωτεϊνική ισορροπία καθώς αναστέλλει την διαδικασία της αυτοφαγείας εξασθενώντας έτσι τον ρυθμό της πρωτεόλυσης(Wu et al). Θεωρητικά λοιπόν η χρήση συμπληρωμάτων BCAA κατά την διάρκεια έντονων προπονήσεων μπορεί να αναστείλει την αποδόμηση πρωτεΐνης γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση μυϊκής μάζας. Λόγω όλων αυτών των ισχυρισμών είναι λογικό να κατανοήσουμε γιατί θεωρείται ένα από πιο δημοφιλή συμπληρώματα σε αθλητές όλων των σπορ.

Επίδραση των συμπληρωμάτων BCAAs στην αερόβια επίδοση και στην κλίμακα αντικειμενικής κόπωσης

Πρώτα πρώτα μια έρευνα που αφορούσε τα BCAA εξέτασε αν η χρήση τους μπορούσε να επηρεάσει την αερόβια απόδοση και την κλίμακα αντικειμενικής αντίληψης της κόπωσης(RPE). Συγκρίθηκε χρήση ροφήματος εμπλουτισμένου με BCAA με ισοθερμικό ρόφημα υδατάνθρακα κατά την διάρκεια αερόβιας άσκησης τριών κύκλων 90 λεπτών σε 55% VO<sub>2</sub> peak ακολουθούμενο από 15λεπτα time trials. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι η ομάδα που έλαβε BCAA σαν συμπλήρωμα δήλωσε χαμηλότερο RPE σε σχέση όχι μόνο με την ομάδα που έλαβε placebo αλλά και την ομάδα που κατανάλωσε μεν ρόφημα πλούσιο σε υδατάνθρακα αλλά συγκριτικά δεν βελτιώθηκε η αθλητική τους επίδοση(Greer et al 2011). Μια επιπλέον μελέτη απέδειξε θετική επίδραση της χρήσης BCAA πριν από προπόνηση αντοχής. Πιο συγκεκριμένα φάνηκε ότι ύστερα από χορήγηση BCAAs με υψηλή περιεκτικότητα λευκίνης παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης σεροτόνης κατά την διάρκεια αερόβιας προπόνησης το οποίο κατά συνέπεια μείωσε τις συγκεντρώσεις ουσιών που σχετίζονται με την μυϊκή καταστροφή όπως η κρεατίνη κινάση και γαλακτική αφυδρογονάση, πράγμα που οδηγεί στην βελτίωση της επίδοσης. Συνεπώς φαίνεται ότι η πρόσληψη Bcaa πιθανώς να βελτιώνει την επίδοση σε αερόβια προπόνηση υψηλής αντοχής.(Kim et al 2013) Δεν είναι όμως μόνο αυτό, το 2018 έγινε μια μελέτη κατά την οποία 20 άνδρες κατανάλωσαν συμπλήρωμα αμινοξέων (BCAA) ή εικονικό φάρμακο(placebo) πριν από έκκεντρη άσκηση (eccentric exercise). Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν ήταν ότι δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση τους σε μία μέγιστη επανάληψη(1RM) στο κάθισμα καθώς και στις υπόλοιπες ασκήσεις. Όμως παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην ένταση του μυϊκού πόνου καθώς η ομάδα που κατανάλωσε BCAA ανέφερε λιγότερο πόνο σε σχέση με το γκρουπ που κατανάλωσε εικονικό φάρμακο(Vandusseldorp et al). Βέβαια αυτό δεν αποδεικνύει ότι αυτά τα αποτελέσματα

οφείλονται καθαρά στην χρήση BCAA καθώς τα άτομα που συμμετείχαν σε αυτή την μελέτη κατανάλωναν τουλάχιστον 1.2 g/kg πρωτεΐνη την ημέρα η οποία είναι γνωστό ότι έχει αναλγητική δράση όσον αφορά τον μυϊκό πόνο.(Stephen J. Ives et al 2017)

Επιπλέον πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι διαθέτουμε στοιχεία που υποδεικνύουν βελτίωση της επίδοσης σε αερόβια άσκηση όταν καταναλώνονται ισοθερμιδικές ποσότητες BCAA συγκριτικά με υδατάνθρακα( στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε μαλτοδεξτρίνη) αλλά μόνο στην περίπτωση μειωμένων αποθεμάτων γλυκογόνου(Gualano et al 2011). Στην περίπτωση που υπάρχουν ακόμα αποθέματα γλυκογόνου φαίνεται πως η χρήση BCAA είναι ικανή να μειώσει την κλίμακα αντικειμενικής αντίληψης της κόπωσης αλλά δεν είναι τόσο αποτελεσματική όσον αφορά την βελτίωση της απόδοσης σε σχέση με ισοθερμιδικό ρόφημα υδατανθράκων(Greer et al 2011). Τελειώνοντας, δημοσιεύτηκε μια μέτα-ανάλυση το 2017 η οποία αποσκοπούσε να συγκεντρώσει τα αποτελέσματα της χρήσης BCAA στον περιορισμό της μυϊκής καταστροφής.8 μελέτες συγκεντρώθηκαν όπου τελικά παρατηρήθηκε πως τα BCAA ήταν ικανά να μειώσουν σημαντικά την συγκέντρωση της κρεατίνης κινάσης σε σχέση με το εικονικό φάρμακο .Παρ'όλα αυτά οι μελέτες που αναλύθηκαν σύγκριναν απλά τα BCAA με εικονικό φάρμακο που συνήθως αποτελεί νερό με γεύση ή κάποιας μορφής νερού με διαλυμένο υδατάνθρακα(δεξτρόζη,μαλτοδεξτρίνη κ.α) αλλά όχι πρωτεΐνη. Αυτό σημαίνει ότι ουσιαστικά τα BCAA είναι καλύτερα από το τίποτα, αλλά όχι απαραίτητα από την πρωτεΐνη όσον αφορά την μείωση μυϊκής καταστροφής.(Rahimi et al).

#### Παρενέργειες με την χρήση BCAAs

Μία συνηθισμένη δοσολογία bcaa είναι 10-20 g/ημέρα ενώ σε μερικές μελέτες έχουν φτάσει και τα 60g/ημέρα, δεν έχει παρατηρηθεί όμως καμιά σημαντική παρενέργεια όπως καρκινογενέσεις ή νευρολογικές βλάβες(Holecsek). Ακόμα και μακροπρόθεσμη χρήση σε δοσολογίες ύψους 2.5g/kg την ημέρα επί τρεις μήνες ή και 1.25g/kg την ημέρα για 1 χρόνο δεν ήταν αρκετές για να προκαλέσουν κανένα τοξικό αποτέλεσμα. Συνεπώς δεν έχει αναφερθεί κανένα περιστατικό τοξικότητας από Bcaa στον αθλητισμό.( Shimomura et al)

#### Γλουταμίνη

Η γλουταμίνη είναι ένα μη απαραίτητο αμινοξύ το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στον σκελετικό μυ. Αποτελεί σημαντικό συστατικό μέρος των πρωτεϊνών καθώς και μέσο μεταφοράς αζώτου μεταξύ των ιστών μέσω αντιδράσεων αμινοτρανσφεράσης. Η μεγαλύτερη ποσότητα

γλουταμίνης μεταβολίζεται μέσω γλουταμινικού, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύνθεση διαφόρων αμινοξέων. Επιπλέον μπορεί να οξειδωθεί σε CO<sub>2</sub> ή γλυκόζη. Όσον αφορά την χρήση της γλουταμίνης είναι γνωστό ότι αποτελεί ένα αρκετά δημοφιλές συμπλήρωμα για πολλούς αθλητές καθώς θεωρείται ότι μπορεί να συνεισφέρει στην διατήρηση μυϊκής μάζας, διέγερση πρωτεϊνοσύνθεσης, αναπλήρωση γλυκογόνου και συνεπώς στην αθλητική επίδοση καθώς και στην λειτουργία του ανοσοποιητικού.

#### Εργογόνος δράση της γλουταμίνης

Μελέτες έχουν δείξει πως σε ασθενείς που χορηγήθηκε γλουταμίνη με ενέσιμη μορφή διαπιστώθηκε ταχύτερη ανάρρωση, συντήρηση μυϊκής μάζας και βελτίωση λειτουργίας του ανοσοποιητικού το οποίο οδηγεί σε μείωση ποσοστού θνησιμότητας

(J Antonio et al 1999). Είναι όμως προφανές ότι οι ασθενείς αποτελούν διαφορετική ομάδα ατόμων από τους αθλητές, για αυτόν τον λόγο ακολούθησαν κι άλλες μελέτες προκειμένου να διαπιστωθεί τυχόν εργογόνο αποτέλεσμα με την χρήση γλουταμίνης. Στην συγκεκριμένη μελέτη εξετάστηκε αν η κατάποση γλουταμίνης σε μορφή σκόνης μπορεί να επηρεάσει θετικά την επίδοση στην άρση βαρών σε σύγκριση με ένα placebo γκρουπ το οποίο κατανάλωσε φρουτοποτό μηδαμινής θερμιδικής αξίας. Ύστερα από προπόνηση με αντιστάσεις δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στον αριθμό επαναλήψεων που πραγματοποιήθηκαν (Jose Antonio et al 2002). Άλλη κλινική δοκιμή η οποία εξέτασε και αυτή το αποτέλεσμα της γλουταμίνης και την επίδοση σε προπόνηση με αντιστάσεις σε νεαρά άτομα χρησιμοποιώντας δύο γκρουπ όπου στο ένα δόθηκε γλουταμίνη ενώ στο άλλο μαλτοδεξτρίνη (placebo), ακολούθησε προπόνηση με αντιστάσεις σε ολόκληρο το σώμα (full body workout) διάρκειας 6 εβδομάδων. Καμία στατιστικά σημαντική διαφορά στην μυϊκή μάζα, δύναμη ή πρωτεόλυση δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των ομάδων. (D G Candow et al 2001). Στη συνέχεια, αναρτήθηκε μια πρόσφατη μέτα-ανάλυση η οποία αποσκοπούσε στο να συγκεντρώσει στοιχεία σχετικά με την χρήση γλουταμίνης σε αθλητές και να ελέγξει αν υπάρχει κάποια σημαντική διαφορά στην επίδοση. Σύμφωνα με αυτή την μελέτη, γενικά, η χρήση γλουταμίνης δείχνει να μην παρουσιάζει κάποιο θετικό αλλά ούτε και αρνητικό αποτέλεσμα στο ανοσοποιητικό των αθλητών, στην αερόβια επίδοση και στην σωματοδομή. Παρ' όλα αυτά παρατηρήθηκε μείωση σωματικού βάρους ύστερα από κατάποση γλουταμίνης. (Ahmadi et al) Επιπροσθέτως, μελέτη εξέτασε αν η συνδυαστική χρήση γλουταμίνης και κρεατίνης θα επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα στην επίδοση αθλητών και στην μυϊκή τους μάζα σε σύγκριση με την χρήση μόνο κρεατίνης. Βέβαια παρατηρήθηκε ότι η

προσθήκη 4g γλουταμίνης δεν έδειξε σημαντικά αποτελέσματα στην συνολική μάζα σώματος, μυϊκή μάζα και αναερόβια επίδοση από ότι με την χρήση μόνο κρεατίνης. Όμως, και στα 2 γκρουπ παρουσιάστηκε σημαντική αύξηση μυϊκής μάζας, συνολικής μάζας σώματος και στον ρυθμό παραγωγής δύναμης. Πράγμα που σημαίνει ότι η προσθήκη 4g γλουταμίνης σε πρόγραμμα συμπλήρωσης με κρεατίνη δεν είναι αρκετή για να προάγει σημαντική αύξηση μυϊκής μάζας πέρα από την αύξηση που επιφέρεται με την χρήση μόνο κρεατίνης,(Haff) Μια πιθανή χρήση της γλουταμίνης στον αθλητισμό είναι ότι μπορεί να συνεισφέρει στην υγεία του γαστρεντερικού (Camilleri et al 2012) ιδιαίτερα σε πληθυσμούς όπως είναι οι αθλητές που δέχονται συνεχώς πιέσεις και είναι επιρρεπείς σε διάφορες γαστρεντερικές διαταραχές (Coleman, Nailah MD 2019).

#### Τοξικότητα γλουταμίνης

Όσον αφορά την εκτίμηση κινδύνου παρατηρήθηκε πως ποσότητες κάτω από 14g/d φαίνεται να είναι ασφαλείς και γενικά δεν έχουν παρατηρηθεί ανεπιθύμητες παρενέργειες από συμπληρώματα γλουταμίνης. ( Shao et al 2008,Holecek 2021)

#### Υδροξυ-μεθυλο-βουτυρικό οξύ (HMB)

B-Υδροξύ-μεθυλο-βουτυρικό οξύ (HMB) ή αλλιώς γνωστό σαν την συζυγή του βάση, β-hydroxy β-methylbutyrate είναι μια φυσικά παραγόμενη ουσία στον άνθρωπο η οποία αποτελεί μεταβολιτή του αμινοξέος της λευκίνης. Πρόσληψη λευκίνης μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό HMB και περίπου ένα 5% της λευκίνης που προσλαμβάνει ένας άνθρωπος μετατρέπεται σε HMB(Van Koeveering et al 1992). Όσον αφορά την χρήση του σαν συμπλήρωμα διατροφής στον αθλητισμό, ξεκίνησε περίπου το 1997 με σκοπό την μείωση του ρυθμού πρωτεόλυσης(Manjarrez et al).

#### Δράση του HMB στους αθλητές

Μια από τις πρώτες έρευνες σε ανθρώπους έγινε το 1996 και προσέφερε υψηλά υποσχόμενα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα έδειξε ότι με την χρήση HMB βελτιώθηκε η μυϊκή λειτουργία σε άτομα που δεν ήταν εντελώς αρχάρια σε προπόνηση αντιστάσεων. Αυτό στηρίζεται στο γεγονός ότι φάνηκε αύξηση της μυϊκής δύναμης και της μυϊκής μάζας καθώς και μείωση βιοχημικών δεικτών της μυϊκής καταστροφής. Αυτές οι αλλαγές υποδεικνύουν ότι



μειώνει την μυϊκή καταστροφή καθώς και την διάσπαση της πρωτεΐνης που συμβαίνει κατά την έντονη μυϊκή άσκηση καθώς η λευκίνη και οι μεταβολιτές του δρουν άμεσα στην μείωση της πρωτεόλυσης(Nissen et al 1996). Ύστερα από αυτά τα πολύ θετικά αποτελέσματα οι μελέτες πάνω στο HMB και στην επίδραση του στην αθλητική επίδοση και στην αύξηση μυϊκής μάζας συνεχίστηκαν. Αυτό έδωσε την ευκαιρία στον Nissen et al να κάνουν μια μετα-ανάλυση το 2001 στην οποία είχαν συγκεντρωθεί 9 συνολικά μελέτες όπου έγινε χρήση συμπληρώματος HMB σε δοσολογία 3g/d. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ θετικά καθώς παρατηρήθηκε αύξηση μυϊκής μάζας και δύναμης, συγκρίσιμη μάλιστα ακόμα και με αυτή της κρεατίνης(Nissen et al 2002). Βέβαια μέσα στα επόμενα χρόνια συνεχίστηκαν οι μελέτες και τα αποτελέσματα που φανερώθηκαν δεν ήταν τόσο εντυπωσιακά όσο έδειχναν προηγουμένως, καθώς τα άτομα που συμμετείχαν σε αυτές τις μελέτες ήταν κατά κύριο λόγο απροπόνητα ή με μικρή εμπειρία στην προπόνηση με αντιστάσεις. Έτσι λοιπόν, το 2009 μια μετανάλυση ανέφερε ότι ενώ υπήρχαν μικρές βελτιώσεις στην επίδοση σε αρχάριους που χρησιμοποίησαν HMB σαν συμπλήρωμα διατροφής, δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση σε ήδη καλά προπονημένους αθλητές και καμία διαφορά στην σωματοδομή τους.(Rowlands et al 2009). Στη συνέχεια μια ακόμα μετανάλυση η οποία έλεγξε 6 μελέτες που αφορούσαν τις επιπτώσεις της HMB στην δύναμη και σωματοδομή σε άρτια προπονημένους και ανταγωνιστικούς αθλητές φανέρωσε παρόμοια αποτελέσματα, δηλαδή καμία σημαντική διαφορά ούτε στην δύναμη ούτε στην σωματοδομή.(Martinez et al 2017).

Βέβαια το HMB έχει και κλινικές χρήσεις καθώς έχει παρατηρηθεί πως επιβραδύνει την ανάπτυξη σαρκοπενίας δηλαδή την μείωση σκελετικής μυϊκής μάζας και δύναμης σε κλινικούς πληθυσμούς ( Fitschen et al 2013). Έχει επιπλέον παρατηρηθεί πως ύστερα από χορήγηση HMB σε ηλικιωμένους πληθυσμούς για 24 εβδομάδες παρουσιάστηκε αύξηση μυϊκής μάζας και δύναμης σε μικρότερο βαθμό όμως από το γκρουπ που ακολούθησε προπόνηση με αντιστάσεις. Από την άλλη μεριά ο συνδυασμός HMB και προπόνησης με αντιστάσεις δεν απέφερε καλύτερα αποτελέσματα στην δύναμη και επίδοση σε σχέση με την ομάδα που πραγματοποίησε μόνο προπόνηση με αντιστάσεις.(Stout et al)

#### Τοξικότητα HMB

Όσον αφορά την δοσολογία και τυχόν ανεπιθύμητες παρενέργειες γνωρίζουμε πως η προτεινόμενη δόση HMB ανέρχεται στα 3g/d και οι περισσότερες μελέτες δείχνουν ότι δεν υπάρχουν τοξικές παρενέργειες με την χρήση της. (Nissen et al 2000). Καμία ανεπιθύμητη

παρενέργεια δεν παρατηρήθηκε ακόμη και ύστερα από δοσολογίες 3.49g/kg και 4.16g/kg για 91 ημέρες σε αρσενικά και θηλυκά ποντίκια αντίστοιχα.(Baxter et al)

### Αργινίνη

Η L- Αργινίνη αποτελεί ένα ημιαπαραίτητο αμινοξύ καθώς το ανθρώπινο σώμα έχει την ικανότητα να παράγει αρκετή ποσότητα ώστε να καλύψει τις απαραίτητες λειτουργίες του όπως είναι για παράδειγμα η έκκριση ορμονών και η ρύθμιση του ανοσοποιητικού. Επιπλέον η συγκέντρωση της αργινίνης ρυθμίζεται από δύο διαφορετικά ένζυμα, το ένα είναι η αργινάση που συμμετέχει στον κύκλο της ουρίας και η συνθάση μονοξειδίου του αζώτου.(Tong et al 2004). Βέβαια, παρότι παράγεται αρκετή ποσότητα αργινίνης από τον οργανισμό κάποιες φορές, ειδικά σε κλινικές περιπτώσεις μπορεί να επωφεληθεί ένας ασθενής από την χρήση της. Ο λόγος είναι πως σε παθήσεις όπως είναι η υπέρταση, Διαβήτης τύπου II, στεφανιαία καρδιακή νόσο και αρκετές άλλες, μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση παραγωγής της αργινάσης που οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση των επιπέδων της ορνιθίνης και μείωση των επιπέδων μονοξειδίου του αζώτου. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση υποξίας και διαφόρων νευρολογικών επιπλοκών.(Caldwell et al)

### Επίδραση της Αργινίνης στον αθλητισμό

Όσον αφορά την επίδρασή της στον αθλητισμό αρκετοί αθλητές επιλέγουν συμπληρώματα αργινίνης με πρόθεση να βελτιώσουν τις επιδόσεις τους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί λόγω του ρόλου της αργινίνης στην έκκριση αυξητικής ορμόνης, στην συμμετοχή της κατά την σύνθεση της κρεατίνης, αύξησης του ρυθμού πρωτεϊνοσύνθεσης, αύξηση συγκέντρωσης μονοξειδίου του αζώτου και αγγειοδιαστολής προκειμένου να αυξηθεί η ροή του αίματος στους μύες κατά την διάρκεια της άθλησης(Campbell et al 2004). Ξεκινώντας από την υπόθεση ότι η αργινίνη συνεισφέρει στην βελτίωση της αθλητικής επίδοσης, διεξήχθη μια συστηματική μελέτη όπου ο σκοπός της ήταν να αξιολογήσει τα αποτελέσματα συμπληρωμάτων αργινίνης στην απόδοση σε αερόβια και αναερόβια άσκηση. Συγκεντρώθηκαν μελέτες όπου σύγκριναν την επίδραση που είχε η αργινίνη σε σχέση με ένα εικονικό φάρμακο, τα αποτελέσματα φάνέρωσαν ότι η χρήση συμπληρωμάτων αργινίνης οδήγησε σε βελτίωση των επιδόσεων σε αερόβια και αναερόβια άσκηση (Viribay et al 2020). Από την άλλη μεριά σε μελέτη που δημοσιεύθηκε το 2011 αξιολογήθηκε η επίδραση της αργινίνης στην μυϊκή αντοχή και πιο συγκεκριμένα σε τρεις βασικές ασκήσεις άνω κορμού(chin ups, reverse chin ups και pushups). Στην συγκεκριμένη μελέτη οι εθελοντές έλαβαν είτε

3.700 mg αργινίνη είτε εικονικό φάρμακο και τους ζητήθηκε να πραγματοποιήσουν όσες επαναλήψεις μπορούν και από τις τρεις ασκήσεις μέχρι να φτάσουν στην αποτυχία(RPE 10 ή RIR 0). Ως αποτέλεσμα παρατηρήθηκε πως δεν υπήρξε κάποια θετική επίδραση στην ανάπτυξη μυϊκής αντοχής, αντιθέτως παρουσιάστηκε μείωση στον συνολικό αριθμό επαναλήψεων που κατάφερε να πραγματοποιήσει η ομάδα που είχε λάβει το συμπλήρωμα. Συνεπώς σύμφωνα με αυτήν την έρευνα η χρήση αργινίνης μπορεί να είναι αντιπαραγωγική(Greer et al 2011). Στην λίστα μελετών που δεν συνιστούν τη χρήση αργινίνης ως μέσο μεγιστοποίησης αθλητικής απόδοσης προστίθεται και η έρευνα των Walberg-Rankin et al 1994 όπου σύγκριναν την επίδραση της αργινίνης σε ερασιτέχνες αθλητές φυσικής σωματοδόμησης σε περίοδο συντήρησης του σωματικού τους βάρους και σε υποθερμιδική περίοδο. Καμία στατιστικά σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε στη μεταβολή σωματικού βάρους μεταξύ των δύο γκρουπ(Αργινίνης και placebo) και στις δύο περιόδους(Συντήρησης και ελλείματος). Επιπλέον καμία στατιστικά σημαντική αλλαγή δεν παρατηρήθηκε στην μυϊκή λειτουργία των μυών δικεφάλου βραχιώνιου και τετρακεφάλου μιας και παρουσίασαν παρόμοια μείωση στο τέλος της υποθερμιδικής περιόδου και στα δύο γκρουπ(Walberg-Rankin et al 1994). Συνεχίζοντας, μια ακόμα μελέτη έδειξε πως η χρήση L-Αργινίνης δεν οδήγησε σε καμία βελτίωση στην μια μέγιστη επανάληψη (1RM) σε ασκήσεις άνω και κάτω κορμού ούτε και στον συνολικό όγκο προπόνησης, όχι μόνο σε προπονημένους αλλά και σε αρχάριους

( Wax et al) Προχωρώντας με την αξιολόγηση της θεώρησης ότι χρησιμοποιώντας συμπληρώματα που περιέχουν αργινίνη, αυτά θα οδηγήσουν στην αύξηση μονοξειδίου του αζώτου και συνεπώς στην αύξηση της κυκλοφορίας του αίματος στον μυ οι Fahs et al παρατήρησαν ότι ύστερα από κατάποση συμπληρώματος που περιείχε 7g L-Αργινίνη ακολουθούμενο από προπόνηση με αντιστάσεις δεν οδήγησε σε αύξηση της ροής τους αίματος(Fahs et al) πράγμα που αντιτίθεται στους ισχυρισμούς πολλαπλών εταιριών αθλητικών συμπληρωμάτων οι οποίες υπόσχονται αύξηση ροής αίματος και συνεπώς καλύτερης μεταφοράς οξυγόνου και θρεπτικών ουσιών κατά την διάρκεια της προπόνησης. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασαν και οι Tang et al όπου ύστερα από 10g L- Αργινίνης πριν από άσκηση δεν εντοπίστηκε αύξηση σύνθεσης NO ή της ροής του αίματος σε νεαρούς άνδρες. Επιπλέον δεν παρατηρήθηκε και περαιτέρω αύξηση της πρωτεϊνοσύνθεσης πέρα από ότι μπορούν να προσφέρουν 10g EAAs.(Tang et al) Η συνήθης δόση L-Αργινίνης είναι 6g/d και η μέγιστη ημερήσια δόση είναι περίπου 20g καθώς από 21g/d έχουν παρατηρηθεί παρενέργειες κυρίως γαστρεντερικού τύπου όπως διάρροια, ναυτία, εμετός και λιγότερο

συχνά ρινορραγία (Evans et al). Επιπλέον, ύστερα από έγχυση 0.5 g/kg L- Αργινίνης σε 10 υγιείς άντρες παρατηρήθηκε μείωση της αρτηριακής πίεσης σε βαθμούς που αντιστοιχούν σε υπόταση, πιθανόν λόγω της αγγειοδιαστολής από την αυξημένη συγκέντρωση μονοξειδίου του αζώτου(NO)(Sanjay Mehta MD)

### Καρνιτίνη

Αποτελεί ένα ημιαπαραίτητο αμινοξύ καθώς το σώμα παράγει αρκετή ποσότητα για να καλύψει τις ανάγκες των περισσότερων ανθρώπων. Περισσότερο από το 95% της συνολικής καρνιτίνης του σώματος βρίσκεται στον σκελετικό μυ όπου έχει πολύ σημαντικούς μεταβολικούς ρόλους. Η καρνιτίνη δρα σαν σημαντικός μεταφορέας των λιπαρών οξέων από το κυτοσόλιο στα μιτοχόνδρια των κυττάρων, πράγμα που σημαίνει ότι με την αύξηση των επιπέδων καρνιτίνης θα ενισχυθεί θεωρητικά και η μεταφορά των λιπαρών στα μιτοχόνδρια αυξάνοντας έτσι τον μεταβολισμό τους. Αυτός είναι ένας σημαντικός λόγος που χρησιμοποιείται σε πολλά συμπληρώματα διατροφής που αποσκοπούν στην μείωση λιπώδους μάζας.

### Δράση της καρνιτίνης στον αθλητισμό

Ένας λόγος για τον οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην βελτίωση της αθλητικής επίδοσης είναι ότι αφού μπορεί να αυξήσει την οξειδωση των λιπαρών οξέων τότε θα υπάρξει περισσότερο ATP διαθέσιμο ώστε να καταναλωθεί στην άσκηση ή και μπορεί να καθυστερήσει την χρήση γλυκογόνου του μυός μειώνοντας συνεπώς την ταχύτητα εμφάνισης της μυϊκής κοπώσεως.(Gorostiaga et al) Ξεκινώντας με μια μελέτη του Marconi et al όπου παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_2max$ ) ύστερα από κατάποση 4g καρνιτίνης σε αγωνιστικούς αθλητές. (Marconi et al 1985) Χρόνια αργότερα οι Trappe et al εξέτασαν τα αποτελέσματα της καρνιτίνης στην επίδοση αθλητών κολύμβησης στα 100m. Συγκρίθηκε το γκρουπ καρνιτίνης όπου οι αθλητές είχαν λάβει 2g L-καρνιτίνης 2 φορές την ημέρα για 7 μέρες με το γκρουπ εικονικού φαρμάκου. Καμία διαφορά δεν παρατηρήθηκε στις χρονομετρημένες επιδόσεις ανάμεσα στα 2 γκρουπ και στα επίπεδα γαλακτικού οξέος του αίματος, διαφορά εντοπίστηκε όμως στα επίπεδα καρνιτίνης του αίματος με εκείνα του γκρουπ καρνιτίνης να υπερσχύουν του γκρουπ εικονικού φαρμάκου. Συνεπώς ακόμα και αυτή η ανύψωση καρνιτίνης στον ορό του αίματος δεν είναι αρκετή για να προκαλέσει κάποιο εργογόνο αποτέλεσμα σε αναερόβια άσκηση υψηλής έντασης.(Trappe et al) Συνεχίζοντας, οι Barnett et al ήθελαν να εξετάσουν τα επίπεδα καρνιτίνης και γαλακτικού οξέος του μυός κατά την διάρκεια αερόβιας προπόνησης υψηλής έντασης αφού είχε

προηγηθεί χρήση L-Καρνιτίνης για 14 μέρες από 4g την ημέρα. Ύστερα από μετρήσεις παρατηρήθηκε πως η χρήση L-Καρνιτίνης δεν επηρέασε τα επίπεδα καρνιτίνης στον μυ και συνεπώς δεν μπορούσε να μειώσει τα επίπεδα γαλακτικού οξέος κατά την διάρκεια της άσκησης ώστε να μειωθεί η ταχύτητα εμφάνισης μυϊκού κάματος.(Barnett et al). Παρόμοιο αποτέλεσμα έδειξε και ο Brass παρουσιάζοντας αύξηση συγκέντρωσης της καρνιτίνης στο πλάσμα του αίματος αλλά καμία αλλαγή στα επίπεδα καρνιτίνης του μυός(Brass et al).Μια πιθανή αιτία για την οποία μπορεί να εξηγηθεί αυτή η αναποτελεσματικότητα της δια στόματος χρήση της L-Καρνιτίνης είναι η πιθανή χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα της. Ένας τρόπος που μπορεί να αυξηθεί η βιοδιαθεσιμότητα της καρνιτίνης είναι με την παράλληλη κατανάλωση υψηλής ποσότητας υδατάνθρακα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα 2g/d Καρνιτίνη μαζί με 80g υδατάνθρακα για τουλάχιστον 24 εβδομάδες ήταν αρκετά για να αυξήσουν τα επίπεδα καρνιτίνης του μυός κατά 21% το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την μείωση χρήσης γλυκογόνου σε αερόβια άσκηση κατά 55% και αύξηση της απόδοσης κατά 11%, αυτή η αύξηση της απόδοσης αποδίδεται στην μειωμένη παραγωγή αναερόβιου ATP.(Wall et al) Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα συμπληρώματα L-Καρνιτίνης προωθούνται από τις εταιρίες συμπληρωμάτων σαν συμπλήρωμα που επιταχύνει την απώλεια λίπους. Μια κλινική δοκιμή εξέτασε ακριβώς αυτό, προμήθευσαν τους εθελοντές με 2g κιτρουλλίνης 2 φορές την ημέρα και τους ζητήθηκε να πραγματοποιήσουν χαμηλής έντασης αερόβια άσκηση 30 λεπτά 4 φορές την εβδομάδα για 8 εβδομάδες. Καμία στατιστικά σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε στην συνολική μάζα σώματος, στην λιπώδη μάζα αλλά και στην σωματοδομή τους, πράγμα που θέτει αμφιβολίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα της L-Καρνιτίνης στην απώλεια βάρους.(Villani et al).

#### Τοξικότητα καρνιτίνης

Όσον αφορά κινδύνους τοξικότητας από την χρήση καρνιτίνης ξέρουμε ότι σε δοσολογίες περίπου 3g/d έχουν αναφερθεί συμπτώματα όπως ναυτία, εμετός, κοιλιακές κράμπες, διάρροια καθώς και σωματική οσμή ψαρίλας που πιθανόν να οφείλεται στον σχηματισμό τριμεθυλαμίνης(examine.com)

#### Κιτρουλλίνη/Μηλικό οξύ

Η κιτρουλλίνη/μηλικό οξύ είναι μια μίξη κιτρουλλίνης, που συμμετέχει στον κύκλο της ουρίας, και μηλικού οξέος το οποίο αποτελεί ενδιάμεσο προϊόν στον κύκλο τρικαρβοξυλικού οξέος. Η L-Κιτρουλλίνη είναι ένα ημιαπαραίτητο αμινοξύ που παράγεται από τον ανθρώπινο

οργανισμό και μπορεί να μετατραπεί σε αργινίνη. Το καρπούζι αποτελεί τροφή πλούσια σε κιτρουλλίνη και έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να αυξήσει τα επίπεδα κιτρουλλίνης στο πλάσμα του αίματος.(Collins et al)

Ένας από τους τρόπους με τον οποίο ίσως μπορέσει η κιτρουλλίνη να οδηγήσει σε βελτίωση της απόδοσης είναι με την αύξηση της κυκλοφορίας του αίματος στους μύες μέσω αύξησης της συγκέντρωσης L-Αργινίνης στο αίμα που σημαίνει και αύξηση του NO. Άξια αναφοράς είναι μια μελέτη η οποία έδειξε ότι ύστερα από κατάποση L-Κιτρουλλίνης αυξήθηκε η συγκέντρωση L-Αργινίνης στο πλάσμα του αίματος πιο αποδοτικά από ότι ύστερα από κατάποση L-Αργινίνης.(Scwedhelm et al 2008) Μια ακόμα υπόθεση σύμφωνα με την οποία η χρήση Κιτρουλλίνης/μηλικού οξέος μπορεί να είναι ωφέλιμη στην άσκηση είναι ότι μπορεί να μειώσει τα επίπεδα μυϊκού κάματος μέσω της μείωσης γαλακτικού οξέος και της ταχύτερης απομάκρυνσης αμμωνίας στο αίμα και στους ιστούς (Briand et al). Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο συνδυασμός Κιτρουλλίνης και μηλικού οξέος μπορεί θεωρητικά να βοηθήσει και στην παραγωγή ενέργειας αλλά και στην απομάκρυνση προϊόντων που μπορούν να αναστείλουν ή να μειώσουν την ικανότητα της μυϊκής συστολής. Ξεκινώντας από μια μελέτη του 2010 η οποία είχε ως σκοπό να εξετάσει τα αποτελέσματα δόσης 8g Κιτρουλλίνης/μηλικού στην απόδοση σε αναερόβια άσκηση και στην μείωση μυϊκής κόπωσης μετά την άσκηση. Η συγκεκριμένη μελέτη έδειξε σημαντική αύξηση του αριθμού των συνολικών επαναλήψεων στις πιέσεις οριζοντίου πάγκου όταν τα άτομα που εξετάστηκαν έλαβαν κιτρουλλίνη αντί για εικονικό φάρμακο(Κυρίως από το τρίτο σετ και έπειτα). Επίσης το επίπεδο μυϊκής κόπωσης αναφέρθηκε πως ήταν σημαντικά χαμηλότερο στην δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε κιτρουλλίνη σε σχέση με την δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε εικονικό φάρμακο.(Guisado et al 2010) Έχει παρατηρηθεί επίσης αύξηση του ρυθμού παραγωγής ATP κατά 34% μέσω οξειδωτικής φωσφορυλίωση και ταχύτερη επανάκαμψη των επιπέδων φωσφοκρεατίνης κατά 20% κατά την διάρκεια της άσκησης σε άτομα που έκαναν χρήση συμπληρώματος Κιτρουλλίνης μηλικού οξέος για 15 ημέρες. Παρατηρήθηκε επίσης και σημαντική μείωση της αίσθησης της κόπωσης

( Bendahan et al). Παρόλα αυτά, δεν υποστηρίζουν όλες οι μελέτες τα εργογόνα αποτελέσματα της κιτρουλλίνης. Πιο συγκεκριμένα οι Hickner et al παρατήρησαν πως τα άτομα που είχαν λάβει μέρος σε αερόβια άσκηση και είχε προηγηθεί χρήση συμπληρώματος κιτρουλλίνης χρειάστηκαν λιγότερο χρόνο μέχρι να φτάσουν στην εξάντληση σε σχέση με άτομα που λάβανε εικονικό φάρμακο. Επιπλέον παρατηρήθηκε υψηλότερο RPE κατά την διάρκεια της άσκησης στο γκρουπ που χρησιμοποίησε κιτρουλλίνη.(Hickner et al)

Συνεχίζοντας, ύστερα από χρήση 8g συμπληρώματος κιτρουλλίνης και προπόνησης στήθους με αντιστάσεις παρατηρήθηκε πως δεν υπήρξε καμία αύξηση στην επίδοσή τους, στην αίσθηση κοπώσεως, συγκέντρωσης, και ενέργειας. Άξιο αναφοράς είναι ότι δεν παρατηρήθηκε και σημαντική αύξηση της πυκνότητας του τρικέφαλου βραχιόνιου που δρα ως τριτογενής μυς, πράγμα που αυξάνει τις αμφιβολίες σχετικά με τον ισχυρισμό της αγγειοδιαστολής μέσω NO.(Gonzalez et al) Ύστερα, μια πρόσφατη μετα-ανάλυση όπου αποσκοπούσε να εντοπίσει την αποτελεσματικότητα συμπληρωμάτων κιτρουλλίνης στην μείωση του RPE, μυικών πόνων και των επιπέδων γαλακτικού οξέος στο αίμα. Τα ευρήματα αυτής της μετα-ανάλυσης υποστηρίζουν την αποτελεσματικότητα της κιτρουλλίνης στο να μειώνει το RPE και τους μυϊκούς πόνους, δεν μείωσε όμως σημαντικά τα επίπεδα γαλακτικού οξέος στο αίμα(Chang Rhim et al 2020). Τέλος, η πιο πρόσφατη μετα-ανάλυση που είναι διαθέσιμη συνέλεξε έρευνες όπου είχαν ως σκοπό να εξετασθεί η επίδραση της κιτρουλλίνης σε προπόνηση δύναμης. Παρατηρήθηκε ότι 6-8g κιτρουλλίνης 1 ώρα πριν την προπόνηση ήταν αρκετά για να πραγματοποιηθούν μικρές βελτιώσεις στην απόδοση ειδικά σε ασκήσεις κάτω κορμού, πράγμα που σημαίνει ότι έχει μια πιθανή εργογόνο δράση(Varvik et al 2021) . Όσον αφορά την δοσολογία, φαίνεται πως η κατάποση 8g κιτρουλλίνης/μηλικού 1 ώρα πριν την έναρξη της προπόνησης είναι αρκετή για να παρουσιάσει κάποιο πιθανό εργογόνο αποτέλεσμα τουλάχιστον στην προπόνηση με αντιστάσεις(Glenn et al 2015), καθώς δεν παρατηρείται καμία βελτίωση στην απόδοση αθλητών σε αερόβια άσκηση υψηλής έντασης ακόμα και ύστερα από κατάποση 12g κιτρουλλίνης/μηλικού.(Cunniffe et al 2016) Από τις μελέτες που εξετάστηκαν, ένα μικρό ποσοστό εθελοντών ανέφεραν στομαχική δυσφορία ύστερα από κατάποση 8g KM ενώ ένας εθελοντής ανέφερε γαστρεντερική δυσφορία. Όμως αυτό συνέβη ύστερα και από την δοκιμή εικονικού φαρμάκου οπότε δεν μπορεί να αποδοθεί στην KM. Γενικά ακόμα και ύστερα από κατάποση 12g KM δεν παρατηρήθηκαν παρενέργειες πράγμα που σημαίνει ότι οι δοσολογίες που χρησιμοποιούνται από τους αθλητές είναι γενικά ανεκτές.(Rhim et al) Για την ώρα δεν έχει βρεθεί καμία σοβαρή παρενέργεια από την χρήση κιτρουλλίνης, αντιθέτως θεωρείται πιο αποτελεσματική πρόδρομη ουσία της αργινίνης από την ίδια την αργινίνη και είναι γενικώς πιο ανεκτή. (Kaore et al).

## Τρόπος άντλησης πληροφοριών

Οι πληροφορίες που αναζητήσαμε αντλήθηκαν από επιστημονικά άρθρα τα οποία αναζητηθήκαν χρησιμοποιώντας βάσεις δεδομένων όπως είναι τα

- pubmed
- google scholar
- sciencedirect
- Scopus

Επιλέχθηκαν άρθρα που έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά(Journals) τα οποία έχουν περάσει από κριτικές(peer review) και το περιεχόμενό τους είναι αποτέλεσμα μελέτης ερευνητικών ομάδων. Τέλος, ελέγχθηκε ότι οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν δεν χαρακτηρίζονται από ιδιοτέλεια.



## Συμπεράσματα

Ύστερα από αυτή την βιβλιογραφική ανασκόπηση μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα.

BCAAs : Πρώτα πρώτα στην περίπτωση των BCAAs μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι στην περίπτωση που καταναλώνεται μια διαίτα η οποία πληρεί τις θερμιδικές μας απαιτήσεις και περιλαμβάνει σε ικανοποιητικό βαθμό όλα τα μακροθρεπτικά συστατικά υδατάνθρακα, πρωτεΐνη, λιπαρά τότε η χρήση BCAA πιθανόν να μην έχει κανένα θετικό αποτέλεσμα, ειδικά στην επίδοση προπόνησης με αντιστάσεις. Από την άλλη μεριά στην περίπτωση που κάποιος αθλητής πραγματοποιεί αερόβια προπόνηση είτε με άδειο στομάχι είτε καταλώνοντας υποθερμιδική διαίτα η/και διαίτα πτωχής σε υδατάνθρακα η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των αποθεμάτων γλυκογόνου(Smith et al 2017) τότε υπάρχει πιθανότητα να επωφεληθεί από ένα συμπλήρωμα BCAA αν και στην περίπτωση που στόχος του αθλητή είναι η βελτίωση της αερόβιας αντοχής του, προτείνεται απλά να μην προπονείται όταν είναι εντελώς νηστικός. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι δεν υπάρχουν καλύτερες επιλογές από τα BCAA καθώς η πρωτεΐνη ορού γάλακτος επιφέρει τα ίδια αποτελέσματα αλλά με την διαφορά ότι περιέχει όλο το εύρος των απαραίτητων αμινοξέων. Μέσα σε αυτή την κατηγορία κατατάσσεται και η λευκίνη που έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της πρωτεϊνοσύνθεσης και συνεπώς στο χτίσιμο και επιδιόρθωση του μυός. Σημαντικό παραμένει το γεγονός ότι δεν έχει καταγραφεί περιστατικό τοξικότητας από BCAA πράγμα που καθιστά την χρήση τους ασφαλή.

Γλουταμίνη : Συνεχίζοντας με το συμπλήρωμα γλουταμίνης, συμπεραίνουμε ότι δεν υποστηρίζεται πως παρουσιάζει κανένα εργογόνο αποτέλεσμα στην αθλητική επίδοση από μόνο του ούτε και με την παράλληλη χρήση κρεατίνης. Άξιο αναφοράς είναι και το ότι χρειάζονται επιπλέον μελέτες προκειμένου να μελετηθεί ο ρόλος της γλουταμίνης στην υγεία του γαστρεντερικού συστήματος σε αθλητές καθώς και έρευνες μεγαλύτερης διάρκειας αλλά και με υψηλότερες δοσολογίες γλουταμίνης προκειμένου να επαληθευτούν τα παραπάνω αποτελέσματα. Τέλος ακόμα και σε υψηλές δοσολογίες δεν έχει παρουσιαστεί κάποιο περιστατικό τοξικότητας προς το παρόν.

HMB : Στην συνέχεια στην περίπτωση του HMB παρατηρήθηκε ότι έχει μερικές θετικές επιδράσεις στην άθληση. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το HMB δείχνει να συνεισφέρει στην αύξηση επίδοσης, δύναμης και στην βελτίωση της σωματοδόμησης μέσω υπερτροφίας των μυών σε αρχάριους αθλούμενους καθώς αρχικά υπόκεινται σε υψηλά επίπεδα μυϊκής καταστροφής από την προπόνηση. Παρόλα αυτά αν ακολουθήσουν ένα κατάλληλο πρόγραμμα προπόνησης, ύστερα από μερικούς μήνες τα επίπεδα μυϊκής καταστροφής δεν θα είναι σε τόσο έντονο βαθμό ώστε να χρειάζεται χρήση HMB. Για την ώρα θετικά ευρήματα έχουν παρατηρηθεί και σε κλινικούς ή/και ηλικιωμένους. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι δεν έχει παρουσιαστεί περιστατικό τοξικότητας από HMB αν και χρειάζονται μελέτες με υψηλότερες δοσολογίες. Περισσότερες έρευνες χρειάζονται επίσης για να εξετασθούν οι αντικαταβολικές του ιδιότητες σε αθλητές ειδικά σε στρεσογόνους περιόδους προκειμένου να ληφθούν επιπλέον συμπεράσματα.

Αργινίνη : Ύστερα από εξέταση της βιβλιογραφίας που αφορά την αργινίνη η οποία θεωρητικά μπορούσε να επιφέρει κάποιο θετικό αποτέλεσμα στην αθλητική επίδοση κυρίως μέσω της αύξησης NO που μπορεί να οδηγήσει στην μεταφορά θρεπτικών ουσιών και με την αύξηση της πρωτεινoσύνθεσης. Κανένα από αυτά όμως δεν υποστηρίζεται πλήρως από την βιβλιογραφία με μερικές μελέτες να δείχνουν πως η αργινίνη μπορεί να έχει αντιπαραγωγικά αποτελέσματα όσον αφορά την μυϊκή αντοχή και επίδοση. Επιπλέον ούτε η θεωρία ότι μέσω αυξημένης συγκέντρωσης L-Αργινίνης και συνεπώς NO θα υπάρξει αυξημένη ροή του αίματος καθώς οι περισσότερες μελέτες δεν εντοπίζουν στατιστικά σημαντική αύξηση της κυκλοφορίας του αίματος. Όσον αφορά στην ασφάλεια της χρήσης παρατηρήθηκαν ελαφρές παρενέργειες που αφορούσαν κυρίως το γαστρεντερικό. Τέλος παρατηρείται πως δεν προσφέρει κάτι παραπάνω στο φαινόμενο της πρωτεινoσύνθεσης από ότι προσφέρουν τα υπόλοιπα απαραίτητα αμινοξέα.

Κιτρουλλίνη: Από την άλλη μεριά στην περίπτωση της κιτρουλλίνης μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η βιβλιογραφία τείνει να είναι υπέρ της χρήσης της σαν εργογόνο συμπλήρωμα. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται πως προτείνεται η χρήση της κυρίως σε αθλητές όπου κύριος σκοπός τους είναι η αύξηση δύναμης ή και μυϊκής μάζας πχ αθλητές άρσης βαρών, δυναμικού τριάθλου, σωματοδόμησης

προκειμένου να μπορέσουν να αναρρώσουν και να συνεχίσουν να προπονούνται σε υψηλές εντάσεις. Χρειάζονται περαιτέρω μελέτες προκειμένου να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητά της σε αθλητές αντοχής καθώς τα μέχρι στιγμής δεδομένα είναι αμφιλεγόμενα. Δεν σημαίνει όμως αυτό ότι οι αθλητές αυτοί δεν θα ωφεληθούν από την χρήση κιτρουλλίνης καθώς η προπόνηση με αντιστάσεις είναι αναπόσπαστο κομμάτι από σχεδόν όλα τα αθλήματα.

**Καρνιτίνη:** Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της καρνιτίνης με τα δεδομένα που υπάρχουν μπορούμε να καταλήξουμε στο ότι δεν συνίσταται η χρήση της από την βιβλιογραφία ως εργογόνο βοήθημα στην άσκηση καθώς δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική αύξηση στην επίδοση. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η χρήση καρνιτίνης πιθανώς δεν είναι ικανή να αυξήσει τα επίπεδα καρνιτίνης του μυός που θα μπορούσε να οδηγήσει σε αυξημένη οξείδωση του λίπους παρά μόνο με την συνδυαστική κατανάλωση υψηλής ποσότητας υδατάνθρακα. Το παραπάνω θέτει πολλές αμφιβολίες όσον αφορά την χρησιμότητά της στην απώλεια λίπους διότι αναγκάζεται ο χρήστης να καταναλώσει τουλάχιστον 300 θερμίδες προκειμένου να αυξήσει την βιοδιαθεσιμότητα της καρνιτίνης πράγμα που δεν διευκολύνει την απώλεια βάρους. Ίσως η καρνιτίνη να είναι ωφέλιμη σε αθλητές οι οποίοι έχουν ήδη υψηλές ενεργειακές καύσεις οπότε δεν θα επηρεαστούν από τις επιπλέον θερμίδες που χρειάζονται προκειμένου να αυξηθούν τα επίπεδα καρνιτίνης του μυός και να λάβουν κάποιο εργογόνο αποτέλεσμα. Γενικά όμως χρειάζονται περισσότερα στοιχεία προκειμένου να προταθεί η χρήση της σαν εργογόνο βοήθημα ή σαν λιποδιαλυτής.

**Καφεΐνη:** Η κύρια δράση της καφεΐνης είναι η ικανότητά της να λειτουργεί ως αναστολέας των υποδοχέων της αδενosίνης, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση των αθλητικών επιδόσεων, την ελάττωση της αίσθησης του πόνου και κούρασης. Βρέθηκε ότι η καφεΐνη έχει εργογόνο δράση σε αερόβιες και αναερόβιες αθλητικές δραστηριότητες βελτιώνοντας την αντοχή και την δύναμη αντίστοιχα. Η δοσολογία καφεΐνης που χρειάζεται για να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα είναι μεταξύ 3-7 mg/kg σωματικού βάρους. Όσον αφορά την τοξικότητα που μπορεί να προκύψει, τα ανεπιθύμητα αυτά χαρακτηριστικά που μπορούν να προκύψουν είναι

: διαταραχή του ύπνου, υπερένταση και η ανάπτυξη εξάρτησης προς την ουσία. Όταν χρησιμοποιείται πολύ υψηλή δοσολογία μπορεί να προκαλέσει καρδιοτοξικότητα με συνέπειες : αρρυθμία , καρδιακό επεισόδιο ή και έμφραγμα. Μπορεί να προκληθεί θάνατος με ιδιαίτερα ψηλή δοσολογία η οποία έχει υπολογιστεί στα στα 150 mg/kg και με συγκέντρωση καφεΐνης στο αίμα 80-100 mg/L.

Βιταμίνη D : Ο κύριος λόγος χρήσης συμπληρώματος βιταμίνης D είναι για την διόρθωση της έλλειψής της και των προβλημάτων που προκαλεί αυτή. Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της βιταμίνης D στον χώρο του αθλητισμού, παρατηρήθηκε ότι με την χρήση συμπληρώματος υπήρξε αύξηση στην συγκέντρωση σε αυξητική ορμόνη και στον ινσουλινοειδή αυξητικό παράγοντα τα οποία βοηθούν έμμεσα στην μυϊκή ανάπτυξη. Επιπλέον θετικές δράσεις που παρατηρήθηκαν είναι η αύξηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου καθώς και την βελτίωση των επιπέδων αιματοκρίτη και αιμοσφαιρίνης. Δεν εμφανίστηκε ιδιαίτερη δράση στην βελτίωση της δύναμης. Όσο αφορά την τοξικότητα , τα συμπτώματα που μπορούν να προκύψουν κατά την υψηλή δοσολογία συμπληρώματος βιταμίνης D είναι κοινά με τα προβλήματα που προκαλούνται από υπερασβεστιαϊμία. Κάποια από αυτά είναι : δυσκολία στην συγκέντρωση, ζαλάδες, κατάθλιψη.

B-αλανίνη : Η εργογόνος δράση που προκύπτει λόγω της χρήσης συμπληρώματος της β-αλανίνης δεν προκύπτει άμεσα από αυτή αλλά από τον ρόλο της στην ένωση με την ιστιδίνη που βρίσκεται στον σκελετικό μυ με σκοπό τον σχηματισμό καρνοσίνης. Ο λόγος για τον οποίον χρησιμοποιούνται συμπληρώματα β-αλανίνης είναι για την αύξηση του ποσοστού της καρνοσίνης το οποίο στην συνέχεια ενισχύει την ρυθμιστική ικανότητα της ενδομυϊκής διακύμανσης του pH, δηλαδή έχει σαν αποτέλεσμα καλύτερη αντοχή στην αναερόβια άσκηση. Δεν υπάρχει σοβαρός κίνδυνος τοξικότητας από την β-αλανίνη καθώς η μόνη αρνητική επίδραση που είναι γνωστή είναι η παραισθησία δηλαδή αίσθηση τσιμπήματος ή μουδιάσματος στο δέρμα.

Κρεατίνη : Ο λόγος που η κρεατίνη είναι συμπλήρωμα μεγάλης σημασίας για τον αθλητισμό είναι διότι η τριφωσφορική αδενοσίνη και η φωσφοκρεατίνη είναι από τα κύρια υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην έναρξη μιας άσκησης υψηλής έντασης. Με την ρύθμιση των επιπέδων φωσφοκρεατίνης στους μύες πριν

από έντονη άσκηση είναι πιθανό να καθυστερήσει η εξάντλησή της , ρυθμίζοντας έτσι τις αλλαγές στα επίπεδα τριφωσφορικής αδενοσίνης και της διφωσφορικής αδενοσίνης. Θεωρητικά, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης καθώς και την καθυστέρηση της κόπωσης σε ασκήσεις υψηλής έντασης και σύντομης χρονικής διάρκειας. Η αύξηση αυτή στην απόδοση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αυξήσεις στην καθαρή μυϊκή μάζα και δύναμη καθώς επιτυγχάνονται περισσότερες επαναλήψεις ανά άσκηση. Δεν υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις όσον αφορά την τοξικότητα των συμπληρωμάτων διατροφής κρεατίνης. Ενώ έχουν αναφερθεί κάποιες παρενέργειες όπως γαστρεντερικός πόνος, ναυτία, διάρροια και μυϊκές κράμπες , δεν υποστηρίζονται από όλους τους ερευνητές.

**Πρωτεΐνη :** Τα συμπληρώματα πρωτεΐνης χρησιμοποιούνται από αθλητές κυρίως με σκοπό την επίτευξη των ημερησίων δοσολογιών που χρειάζονται για να έχουν τις βέλτιστες αποδόσεις στην προπόνηση. Η κατανάλωση πρωτεΐνης μετά την προπόνηση προκαλεί σημαντική αύξηση της πρωτεϊνικής σύνθεσης των μυών. Όμως το πιο σημαντικό είναι η συνολική ημερήσια πρόσληψη πρωτεϊνών να βρίσκεται στα 1,4-1,6 g/kg/. Αν και τα συμπληρώματα πρωτεΐνης έχουν παρουσιάσει πολλές θετικές επιδράσεις σε σχέση με συμπληρώματα υδατανθράκων, δεν είναι απαραίτητη η χρήση τους καθώς γίνεται να καλυφθεί με τροφή.

**Ω-3 λιπαρά οξέα :** Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα θεωρούνται ως ένα πιθανό συμπλήρωμα που μπορεί να επηρεάσει ευεργετικά την απόδοση, την ανάρρωση και ταυτόχρονα μειώνει τον κίνδυνο για ασθένεια ή τραυματισμό. Αν και υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι με την χρήση EPA/DHA μπορεί να υπάρξει βελτίωση της ικανότητας της αντοχής αλλά και ταχύτεροι χρόνοι ανάρρωσης, τα τρέχοντα στοιχεία δεν υποστηρίζονται από όλους. Εκτός από αυτό τα EPA και DHA έχει περιγραφεί ότι αυξάνουν τη δομική ακεραιότητα των μυϊκών κυτταρικών μεμβρανών το οποίο μπορεί να προστατέψει από τραυματισμούς. Κάποιες πιθανές αρνητικές επιπτώσεις από την χρήση των συμπληρωμάτων ω-3 είναι η μεταβολή της λειτουργίας των αιμοπεταλίων και η υπεροξειδωση των λιπιδίων.

## Βιβλιογραφία:

- J. Maughan, F. Depiesse, H. Geyer, International Association of Athletics F. The use of dietary supplements by athletes, *J. Sports Sci.* 25 (Suppl 1) (2007) S103–113.
- J.V. Salgado, P.C. Lollo, J. Amaya-Farfan, M.P. Chacon-Mikahil, Dietary supplement usage and motivation in Brazilian road runners, *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 11 (2014) 41.
- J. Sassone, M. Muster, M.T. Barrack, Prevalence and predictors of higher-risk supplement use among collegiate athletes, *J. Strength Cond. Res.* 33 (2) (2019) 443–450.
- Supplements for Optimal Sports Performance Louise M Burke<sup>1</sup>,
- Phua DH, Zosel A, Heard K. Dietary supplements and herbal medicine toxicities-when to anticipate them and how to manage them. *Int J Emerg Med.* 2009 Jun 10;2(2):69-76. doi: 10.1007/s12245-009-0105-z. PMID: 20157447; PMCID: PMC2700222.
- Ko R (2006) Safety of ethnic & imported herbal and dietary supplements. *Clin Toxicol (Phila)* 44:611–616
- Holick MF. Vitamin D deficiency. *The New England journal of medicine.* 2007 Jul 19;357(3):266-81.
- Hamilton, B. (2011). Vitamin D and athletic performance: The potential role of muscle. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2(4), 211–219.
- Ogan, D., & Pritchett, K. (2013). Vitamin D and the athlete: Risks, recommendations, and benefits. *Nutrients*, 5, 1856–1868.
- M. Shalaby, Sakoury, Harthi, et al., 2020; Vitamin D3 for Health and Muscle Functions of Athletes
- Andrew Marley, Marie Clare Grant & John Babraj (2021) Weekly Vitamin D3 supplementation improves aerobic performance in combat sport athletes, *European Journal of Sport Science*, 21:3, 379-387,
- Qi Han, Xueyang Li, Qiushi Tan, Jing Shao & Muqing Yi (2019) Effects of vitamin D3 supplementation on serum 25(OH)D concentration and strength in athletes: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16:1, 55,
- Bouillon R. Vitamin D and Extraskkeletal Health. *UpToDate* (2015).
- Dudenkov DV, Yawn BP, Oberhelman SS, Fischer PR, Singh RJ, Cha SS, et al. Changing incidence of serum 25-hydroxyvitamin D values above 50 ng/ml: a 10-year

population-based study. *Mayo Clin Proc.* (2015) 90:577–86. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.02.012

- Tebben PJ, Singh RJ, Kumar R. Vitamin D–mediated hypercalcemia: mechanisms, diagnosis, and treatment. *Endocr Rev.* (2016) 37:521–47. doi: 10.1210/er.2016-1070
- Holick MF. Vitamin D is not as toxic as was once thought: a historical and up-to-date perspective. *Mayo Clin Proc.* (2015) 90:561–4. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.03.015
- Gupta AK, Jamwal V, Sakul, Malhotra P. Hypervitaminosis D and systemic manifestations: a comprehensive review. *JIMSA* (2014) 27:236–7.
- Jones G. Pharmacokinetics of vitamin D toxicity. *Am J Clin Nutr.* (2008) 88:582–6. doi: 10.1093/ajcn/88.2.582S
- Blancquaert, L., Everaert, I., & Derave, W. (2015). Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 18, 63–70.
- Hoffman, J. R., Stout, J. R., Harris, R. C., & Moran, D. S. (2015).  $\beta$ -Alanine supplementation and military performance. *Amino Acids*, 47, 2463–2474
- Iain P. Kendrick, Roger C. Harris, Hyo Jeong Kim, Chang Keun Kim, Viet H. Dang, Thanh Q. Lam, Toai T. Bui, Marcus Smith, John A. Wise. The effects of 10 weeks of resistance training combined with b-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition *Amino Acids* (2008) 34:547–554
- Hill, C. A., Harris, R. C., Kim, H. J., Harris, B. D., Sale, C., Boobis, L. H., et al. (2007). Influence of  $\beta$ -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*, 32, 225–233
- Derave W, Ozdemir MS, Harris RC, Pottier A, Reyngoudt H, Koppo K, Wise JA, Achten E. Beta-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J Appl Physiol* (1985). 2007 Nov;103(5):1736-43
- Audrey Baguet, Jan Bourgois, Lander Vanhee, Eric Achten and Wim Derave. Important role of muscle carnosine in rowing performance. *J Appl Physiol* 109:1096-1101, 2010
- Williams MH, Branch JD. Creatine supplementation and exercise performance: an update. *J Am Co11 Nutr* 1998; 17(3):216-234.
- Andrew Shao, John N. Hathcock, Risk assessment for creatine monohydrate, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Volume 45, Issue 3,2006, Pages 242-251

- F. Rossouw, P.E. Krüger, J. Rossouw, The effect of creatine monohydrate loading on maximal intermittent exercise and sport-specific strength in well trained powerlifters, *Nutrition Research*, Volume 20, Issue 4,2000, Pages 505-514,
- Vandenberghe K, Goris M, Van Hecke P, Van Leemputte M, Van Gerven L, Hespel P. Prolonged creatine intake facilitates the effect of strength training on intermittent exercise capacity. *Insider* 1996; 4(3): 1.
- Volek JS, Ratamess NA, Rubin MR, et al. The effects of creatine supplementation on muscular performance and body composition responses to short-term resistance training overreaching. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91:628
- Arciero PJ, Hannibal NS, III, Nindl BC, Gentile CL, Hamed J, Vukovich MD. Comparison of creatine ingestion and resistance training on energy expenditure and limb blood flow. *Metabolism* 2001; 50:1429
- M. G. Bembien and H. S. Lamont, *Sports Med.*, 2005, 35, 107–125.
- R. L. Terjung, P. Clarkson, E. R. Eichner, P. L. Greenhaff, P. J. Hespel, R. G. Israel, W. J. Kraemer, R. A. Meyer, L. L. Spriet, M. A. Tarnopolsky, A. J. Wagenmakers and M. H. Williams, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2000, 32, 706–717.
- L. M. Romer, J. P. Barrington and A. F. Jeukendrup, *Int. J. Sports Med.*, 2001, 22, 546–552
- M. S. Juhn and M. Tarnopolsky, *Clin. J. Sport Med.*, 1998, 8, 298–304.
- S. Mihic, J. R. MacDonald, S. McKenzie and M. A. Tarnopolsky, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2000, 32, 291–296.
- Rômulo P Barcelos, Frederico D Lima, Nelson R Carvalho, Guilherme Bresciani, Luiz FF Royes, Caffeine effects on systemic metabolism, oxidative-inflammatory pathways, and exercise performance, *Nutrition Research*, Volume 80,2020, Pages 1-17,
- Gillian Beauchamp, Alexandra Amaducci, Matthew Cook, Caffeine Toxicity: A Brief Review and Update, *Clinical Pediatric Emergency Medicine*, Volume 18, Issue 3,2017, Pages 197-202
- Dunwiddie TV, Masino SA. The role and regulation of adenosine in the central nervous system. *Annu Rev 16 NUTRITION RESEARCH 80 (2020) 1 – 1 7 Neurosci.* 2001; 24:31–55.
- Ferré S. Mechanisms of the psychostimulant effects of caffeine: implications for substance use disorders. *Psychopharmacology (Berl)*. 2016; 233:1963–79



- Costill DL, Dalsky GP, Fink WJ. Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med Sci Sports*. 1978; 10:155–8.
- Graham TE, Helge JW, MacLean DA, Kiens B, Richter EA. Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism in human skeletal muscle during exercise. *J Physiol*. 2000;529(Pt 3):837–47.
- Hodgson AB, Randell RK, Jeukendrup AE. The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise. *PLoS One*. 2013;8: e59561.
- KANG H, KIM H, KIM B. Acute effects of caffeine intake on maximal anaerobic power during the 30s Wingate cycling test. *Am Soc Exerc Physiol First Annu Meet*. 1998; 10:804
- Schneiker KT, Bishop D, Dawson B, Hackett LP. Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team sport athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2006; 38:578–85
- Collomp K, Ahmaidi S, Audran M, Chanal JL, Préfaut C. Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the Wingate Test. *Int J Sports Med*. 1991; 12:439–43.
- Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018; 15:11.
- Graham TE, Spriet LL. Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *J Appl Physiol*. 1995; 78:867–74.
- Bruce CR, Anderson ME, Fraser SF, Stepto NK, Klein R, Hopkins WG, et al. Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Med Sci Sports Exerc*. 2000; 32:1958–63.
- Bell DG, McLellan TM. Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *J Appl Physiol*. 2002; 93:1227–34.
- Bell DG, McLellan TM. Effect of repeated caffeine ingestion on repeated exhaustive exercise endurance. *Med Sci Sports Exerc*. 2003; 35:1348–54
- Desbrow B, Barrett CM, Minahan CL, Grant GD, Leveritt MD. Caffeine, cycling performance, and exogenous CHO oxidation: a dose-response study. *Med Sci Sports Exerc*. 2009; 41:1744–51
- Skinner TL, Jenkins DG, Coombes JS, Taaffe DR, Leveritt MD. Dose response of caffeine on 2000-m rowing performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2010; 42:571–6

- Evans J, Richards JR, Battisti AS. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): May 1, 2022. Caffeine
- Holstege A, Kurz M, Weinbeck M, Gerok W. Excretion of caffeine and its primary degradation products into bile. *J Hepatol.* 1993 Jan;17(1):67-73
- Emohare O, Ratnam V. Multiple cardiac arrests following an overdose of caffeine complicated by penetrating trauma. *Anaesthesia.* 2006 Jan;61(1):54-6
- Forman J, Aizer A, Young CR. Myocardial infarction resulting from caffeine overdose in an anorectic woman. *Ann Emerg Med.* 1997 Jan;29(1):178-80
- Wolk BJ, Ganetsky M, Babu KM. Toxicity of energy drinks. *Curr Opin Pediatr* 2012; 24:243-51.
- Bigard AX. [Risks of energy drinks in youths]. *Arch Pediatr.* 2010 Nov;17(11):1625-31
- Holmgren O, Norden-Pettersson L, Ahlner J. Caffeine fatalities— four case reports. *Forensic Sci Int* 2004; 139:71-3.
- Jabbar SB, Hanly MG. Fatal caffeine overdose: a case report and review of the literature. *Forensic Med Pathol* 2013;34: 321-4.
- Bonsignore A, Sblano S, Pozzi F, et al. A case of suicide by ingestion of caffeine. *Forensic Sci Med Pathol* 2014; 10:448-51.
- Murray A, Traylor J. Caffeine Toxicity. [Updated 2022 Jun 27]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532910/?report=classic>
- USDA. “2015–2020 Dietary Guidelines for Americans, 8th edn” (2015).
- Jager R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, et al. international society of sports nutrition position stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* (2017) 14:20. doi: 10.1186/s12970-017-0177-8
- Stuart M. Phillips Conference on ‘Nutrition and health: cell to community’ Symposium 2: Exercise and protein nutrition the science of muscle hypertrophy: making dietary protein count *Proceedings of the Nutrition Society* (2011), 70, 100–103
- Cintineo HP, Arent MA, Antonio J and Arent SM (2018) Effects of Protein Supplementation on Performance and Recovery in Resistance and Endurance Training. *Front. Nutr.* 5:83.
- Stokes, T.; Hector, A.J.; Morton, R.W.; McGlory, C.; Phillips, S.M. Recent Perspectives Regarding the Role of Dietary Protein for the Promotion of Muscle Hypertrophy with Resistance Exercise Training. *Nutrients* 2018, 10, 180.

- Carbone, J.W.; McClung, J.P.; Pasiakos, S.M. Recent Advances in the Characterization of Skeletal Muscle and Whole-Body Protein Responses to Dietary Protein and Exercise during Negative Energy Balance. *Adv. Nutr.* 2019, 10, 70–79
- Mitchell, C.J.; Milan, A.M.; Mitchell, S.M.; Zeng, N.; Ramzan, F.; Sharma, P.; Knowles, S.O.; Roy, N.C.; Sjödin, A.; Wagner, K.-H.; et al. The effects of dietary protein intake on appendicular lean mass and muscle function in elderly men: A 10-wk randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 2017, 106, 1375–1383
- Morton, R.W.; Murphy, K.T.; McKellar, S.R.; Schoenfeld, B.J.; Henselmans, M.; Helms, E.; Aragon, A.A.; Devries, M.C.; Banfield, L.; Krieger, J.W.; et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br. J. Sports Med.* 2018, 52, 376–384.
- Moore, D.R.; Robinson, M.J.; Fry, J.L.; Tang, J.E.; Glover, E.I.; Wilkinson, S.B.; Prior, T.; Tarnopolsky, M.A.; Phillips, S.M. Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *Am. J. Clin. Nutr.* 2009, 89, 161–168
- Macnaughton, L.S.; Wardle, S.L.; Witard, O.C.; McGlory, C.; Hamilton, D.L.; Jeromson, S.; Lawrence, C.E.; Wallis, G.A.; Tipton, K.D. The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein. *Physiol. Rep.* 2016, 4
- Thomas, D.K.; Quinn, M.A.; Saunders, D.H.; Greig, C.A. Protein Supplementation Does Not Significantly Augment the Effects of Resistance Exercise Training in Older Adults: A Systematic Review. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 2016, 17,
- Raynor, H.A.; Champagne, C.M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Interventions for the Treatment of Overweight and Obesity in Adults. *J. Acad. Nutr. Diet.* 2016, 116, 129–147
- Carbone, J.W.; McClung, J.P.; Pasiakos, S.M. Recent Advances in the Characterization of Skeletal Muscle and Whole-Body Protein Responses to Dietary Protein and Exercise during Negative Energy Balance. *Adv. Nutr.* 2019, 10, 70–79
- Lam F-C, Bukhsh A, Rehman H, Waqas MK, Shahid N, Khaliel AM, Elhanish A, Karoud M, Telb A and Khan TM (2019) Efficacy and Safety of Whey Protein Supplements on Vital Sign and Physical Performance Among Athletes: A Network Meta-Analysis. *Front. Pharmacol.* 10:317

- Aubert, A. E., Seps, B., and Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Med.* 33, 889–919. doi: 10.2165/00007256-200333120-00003
- Li, M., and Kim, Y. T. (2017). Design of a wireless sensor system with the algorithms of heart rate and agility index for athlete evaluation. *Sensors* 17, 2373–2387. doi: 10.3390/s17102373
- Oosthuyse, T., and Millen, A. M. (2016). Comparison of energy supplements during prolonged exercise for maintenance of cardiac function: carbohydrate only versus carbohydrate plus whey or casein hydrolysate. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 41, 674–683. doi: 10.1139/apnm-2015-0491
- Bergman, B. C., and Brooks, G. A. (1999). Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *J. Appl. Physiol.* 86, 479–487. doi: 10.1152/jappl.1999.86.2.479
- Vegge, G., Rønnestad, B. R., and Ellefsen, S. (2012). Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 9, 14–24. doi: 10.1186/1550-2783-9-14
- Iellamo, F., Manzi, V., Caminiti, G., Vitale, C., Massaro, M., Cerrito, A., et al. (2014). Validation of rate of perceived exertion-based exercise training in patients with heart failure: insights from autonomic nervous system adaptations. *Int. J. Cardiol.* 176, 394–398. doi: 10.1016/j.ijcard.2014.07.076
- Highton, J., Twist, C., Lamb, K., and Nicholas, C. (2013). Carbohydrate-protein coingestion improves multiple-sprint running performance. *J. Sports Sci.* 31, 361–369. doi: 10.1080/02640414.2012.735370
- Naclerio, F., Larumbe-Zabala, E., Cooper, R., Allgrove, J., and Earnest, C. P. (2015). A multi-ingredient containing carbohydrate, proteins L-glutamine and L-carnitine attenuates fatigue perception with no effect on performance, muscle damage or immunity in soccer players. *PLoS ONE* 10: e0125188. doi: 10.1371/journal.pone.0125188
- Dlugosz, E. M., Chappell, M. A., Meek, T. H., Szafranska, P. A., Zub, K., Konarzewski, M., et al. (2013). Phylogenetic analysis of mammalian maximal oxygen consumption during exercise. *J. Exp. Biol.* 216, 4712–4721. doi: 10.1242/jeb.088914
- Coombes, J. S., Conacher, M., Austen, S. K., and Marshall, P. A. (2002). Dose effects of oral bovine colostrum on physical work capacity in cyclists. *Med. Sci. Sports Exer.* 34, 1184–1188. doi: 10.1097/00005768-200207000-00020

- Al-Nawaiseh, A. M., Pritchett, R. C., and Bishop, P. A. (2016). Enhancing shortterm recovery after high-intensity anaerobic exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30, 320–325. doi: 10.1519/JSC.0000000000001060
- Lollo, P. C., Amaya-Farfan, J., and de Carvalho-Silva, L. B. (2011). Physiological and physical effects of different milk protein supplements in elite soccer players. *J. Human Kinet.* 30, 49–57. doi: 10.2478/v10078-011-0072-3
- Lollo, P. C., Amaya-Farfan, J., Faria, I. C., Salgado, J. V. V., Chacon-Mikahil, M. P. T., Cruz, A. G., et al. (2014). Hydrolysed whey protein reduces muscle damage markers in Brazilian elite soccer players compared with whey protein and maltodextrin. A twelve-week in-championship intervention. *Int. Dairy J.* 34, 19–24. doi: 10.1016/j.idairyj.2013.07.001
- Calder, P.C. Very long-chain n-3 fatty acids and human health: Fact, fiction and the future. *Proc. Nutr. Soc.* 2018, 77, 52–72.
- Simopoulos, A.P. Omega-3 fatty acids and athletics. *Curr. Sports Med. Rep.* 2007, 6, 230–236
- Burdge, G.C.; Calder, P.C. Introduction to fatty acids and lipids. *World Rev. Nutr. Diet* 2015, 112, 1–16.
- Sprague, M., Dick, J. R., & Tocher, D. R. (2016). Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–2015. *Scientific Reports*, 6(1), 21892.
- EFSA. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA J.* 2010, 8, 1461
- Sioen, I.; van Lieshout, L.; Eilander, A.; Fleith, M.; Lohner, S.; Szommer, A.; Petisca, C.; Eussen, S.; Forsyth, S.; Calder, P.C.; et al. Systematic Review on N-3 and N-6 Polyunsaturated Fatty Acid Intake in European Countries in Light of the Current Recommendations - Focus on Specific Population Groups. *Ann. Nutr. Metab.* 2017, 70, 39–50.
- Von Schacky, C.; Kemper, M.; Haslbauer, R.; Halle, M. Low Omega-3 Index in 106 German elite winter endurance athletes: A pilot study. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2014, 24, 559–564.
- Maughan, R. J., Depiesse, F., & Geyer, H., International Association of Athletics Federations. (2007). The use of dietary supplements by athletes. *Journal of Sports Sciences*, 25(sup1), S103–S113

- Shaw, G., Slater, G., & Burke, L. M. (2016). Changes in the supplementation practices of elite Australian swimmers over 11 years. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(6), 565–571.
- Li, H., Ruan, X. Z., Powis, S. H., Fernando, R., Mon, W. Y., Wheeler, D. C., ... Varghese, Z. (2005). EPA and DHA reduce LPS-induced inflammation responses in HK-2 cells: Evidence for a PPAR- $\gamma$ -Dependent mechanism. *Kidney International*, 67(3), 867–874
- Jordan D. Philpott, Oliver C. Witard & Stuart D.R. Galloway (2019) Applications of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation for sport performance, *Research in Sports Medicine*, 27:2, 219-237
- Hancock, C. R., Han, D.-H., Chen, M., Terada, S., Yasuda, T., Wright, D. C., & Holloszy, J. O. (2008). High-fat diets cause insulin resistance despite an increase in muscle mitochondria. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(22), 7815–7820.
- Turner, N., Bruce, C. R., Beale, S. M., Hoehn, K. L., So, T., Rolph, M. S., & Cooney, G. J. (2007). Excess lipid availability increases mitochondrial fatty acid oxidative capacity in muscle. *Diabetes*, 56(8), 2085–2092.
- Laiglesia, L. M., Lorente-Cebrián, S., Prieto-Hontoria, P. L., Fernández-Galilea, M., Ribeiro, S. M. R., Sáinz, N., ... Moreno-Aliaga, M. J. (2016). Eicosapentaenoic acid promotes mitochondrial biogenesis and beige-like features in subcutaneous adipocytes from overweight subjects. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 37, 76–82.
- Kawabata, F., Neya, M., Hamazaki, K., Watanabe, Y., Kobayashi, S., & Tsuji, T. (2014). Supplementation with eicosapentaenoic acid-rich fish oil improves exercise economy and reduces perceived exertion during submaximal steady-state exercise in normal healthy untrained men. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 78(12), 2081–2088.
- Macaluso, F.; Barone, R.; Catanese, P.; Carini, F.; Rizzuto, L.; Farina, F.; Di Felice, V. Do fat supplements increase physical performance? *Nutrients* 2013, 5, 509–524.
- Tiryaki-Sönmez, G.S.B.; Vatansever-Ozen, S. Omega-3 fatty acids and exercise: A review of their combined effects on body composition and physical performance. *Biomed. Human Kinetics* 2011, 3, 23–29.
- Beck, K.L.; Thomson, J.S.; Swift, R.J.; von Hurst, P.R. Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *Open Access J. Sports Med.* 2015, 6, 259–267

- Jeromson, S.; Gallagher, I.J.; Galloway, S.D.; Hamilton, D.L. Omega-3 Fatty Acids and Skeletal Muscle Health. *Mar. Drugs* 2015, 13, 6977–7004.
- Rodacki, C.L.; Rodacki, A.L.; Pereira, G.; Naliwaiko, K.; Coelho, I.; Pequito, D.; Fernandes, L.C. Fish-oil supplementation enhances the effects of strength training in elderly women. *Am. J. Clin. Nutr.* 2012, 95, 428–436
- Kim, H.-Y., Huang, B. X., & Spector, A. A. (2014). Phosphatidylserine in the brain: Metabolism and function. *Progress in Lipid Research*, 56, 1–18.
- Nedelec, M.; McCall, A.; Carling, C.; Legall, F.; Berthoin, S.; Dupont, G. Recovery in soccer: Part I - post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Med.* 2012, 42, 997–1015
- Murphy, M.G. Dietary fatty acids and membrane protein function. *J. Nutr. Biochem.* 1990, 1, 68–79
- Wensing, A.G.; Mensink, R.P.; Hornstra, G. Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids from plant and marine origin on platelet aggregation in healthy elderly subjects. *Br. J. Nutr.* 1999, 82, 183–191
- Wander, R.C.; Hall, J.A.; Gradin, J.L. The ratio of dietary (n-6) to (n-3) fatty acids influences immune system function, eicosanoid metabolism, lipid peroxidation and vitamin E status in aged dogs. *J. Nutr.* 1997, 127, 1198–1205
- Gammone MA, Riccioni G, Parrinello G, D'Orazio N. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids: Benefits and Endpoints in Sport. *Nutrients.* 2018 Dec 27;11(1):46
- Samuel Mettler, Nigel Mitchell, and Kevin D. Tipton. Increased Protein Intake Reduces Lean Body Mass Loss during Weight Loss in Athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol 42, No 2, pp. 326-337, 2010
- Pasiakos, SM. Exercise and amino acid anabolic cell signaling and the regulation of skeletal muscle mass. *Nutrients* 4:740-758,2012
- Wu, G. Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids* 37:1-17,2009.
- Greer, BK, White, JP, Arguello, EM, and Haymes, EM. Branched-chain amino acid supplementation lowers perceived exertion but does not affect performance in untrained males. *J Strength Cond Res* 25(2): 539-544, 2011
- Dong-Hee Kim, Seok-Hwan Kim, Woo-Seok Jeong, and Ha-Yan Lee. Effect of BCAA intake during endurance exercises on fatigue substances, muscle damage substances, and energy metabolism substances. *J Exerc Nutrition Biochem.* 2013 Dec; 17(4): 169-180. doi: [10.5717/jenb.2013.17.4.169](https://doi.org/10.5717/jenb.2013.17.4.169)

- Trisha A. VanDusseldorp, Kurt A. Escobar, Kelly E. Johnson, Matthew T. Stratton, Terence Moriarty, Nathan Cole, James J. McCormick, Chad M. Kerksick, Roger A. Vaughan, Karol Dokladny, Len Kravitz and Christine M. Mermier. Effect of Branched-Chain Amino Acid Supplementation on Recovery Following Acute Eccentric Exercise. *Nutrients* 2018, 10, 1389; <https://doi.org/10.3390/nu10101389>
- Stephen J. Ivens, Samuel Bloom, Alexis Matias, Noelle Morrow, Natalya Martins, Yookee Roh, Daniel Ebenstein, Gabriel O'Brien, Daniela Escudero, Kevin Brito, Leah Glickman, Scott Connelly, and Paul J Arciero. Effects of a combined protein and antioxidant supplement on recovery of muscle function and soreness following eccentric exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 14, Article number: 21 (2017)
- Gualano A. B., Bozza T., Lopes De Campos P., Roschel H., Dos Santos Costa A., Luiz Marquezi M., Benatti F. Herbert Lancha Junior A. Branched-Chain amino acids supplementation enhances exercise capacity and lipid oxidation during endurance exercise after muscle glycogen depletion. *The Journal of Sports medicine and Physical Fitness* 2011 March;51(1): 82-8
- Mohammad Hossein Rahimi M.Sc., Sakineh Shab-Bidar Ph. D, Mehdi Mollahosseini M.Sc., Kurosh Djafarian Ph.D. Branched-Chain Amino acid supplementation and exercise-induced muscle damage in exercise recovery: A meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition*, Volume 47, March 2018, Pages 115
- Milan Holecek, Side Effects of Amino Acid Supplements, *Physiol Res.* 2022 Feb; 71(1):29-45 doi: [10.33549/physiolres.934790](https://doi.org/10.33549/physiolres.934790)
- Yoshiharu Shimomura, Taro Murakami, Naoya Nakai, Masaru Nagasaki, Robert A. Harris. Exercise promotes BCAA Catabolism: Effects of BCAA Supplementation on skeletal muscle during exercise. *The Journal of Nutrition*, Volume 134, Issue 6, June 2004, Pages 1583S-1587S, <https://doi.org/10.1093/jn/134.6.1583S>
- Hugh S. Winwood-Smith, Craig E. Franklin, and Craig R. White. Low-carbohydrate diet induces metabolic depression: a possible mechanism to conserve glycogen. *American Journal of Physiology* <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00067.2017>
- Robert R. Wolfe. Branched-Chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: myth or reality? *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 14, Article Number:30(2018)
- J Antonio, C Street. Glutamine: a potentially useful supplement for athletes. *Canadian Journal of Applied Physiology* 1999 Feb;24(1): 1-14. DOI: [10.1139/h99-001](https://doi.org/10.1139/h99-001)



- Jose Antonio, Michael S Sanders, Douglas Kalman, Derek Woodgate, Chris Street. The effects of high-dose glutamine ingestion on weightlifting performance. *Journal of Strength and conditioning research* 2002 Feb;16(1):157-60. PMID: 11834123
- D. G Candow, P D Chilibeck, D G Burke, K S Davison, T Smith-Palmer. Effects of glutamine supplementation combined with resistance training in young adults. *European Journal of applied Physiology* 86, 142-149(2001). DOI: [10.1007/s00421-001-0523-y](https://doi.org/10.1007/s00421-001-0523-y)
- Amirhossein Ramezani Ahmadi, Elham Rayyani, Mehdi Bahreini, Anahita Mansoori. The effect of glutamine supplementation on athletic performance, body composition, and immune function: A systematic review and a meta-analysis of clinical trials. *Clinical nutrition Journal*. [VOLUME 38, ISSUE 3](https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.05.001), P1076-1091, JUNE 01, 2019 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.05.001>
- Mark Lehmkuhl, Molly Malone, Blake Justice, Greg Trone, Ed Pistilli, Debra Vinci, Erin E Haff, J Lon Kilgore, G Gregory Haff. The effects of 8 weeks of creatine monohydrate and glutamine supplementation on body composition and performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003 Aug;17(3):425-38. DOI: [10.1519/1533-4287\(2003\)017<0425:teowoc>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0425:teowoc>2.0.co;2)
- M Camilleri, K Madsen, R Spiller, B Greenwood-Van Meerveld, G N Verne. Intestinal barrier function in health and gastrointestinal disease. *Official Journal of the European Gastrointestinal Motility Society* 2012 Jun;24(6):503-12. DOI: [10.1111/j.1365-2982.2012.01921.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2982.2012.01921.x)
- Coleman, Nailah MD, FACSM. Gastrointestinal issues in athletes. *Current Sport Medicine Reports*: June 2019-Volume 18- Issue 6- p 185-187. doi: 10.1249/JSR.0000000000000599
- Andrew Shao, John N Hathcock. Risk assessment for the amino acids' taurine, L-glutamine and L-arginine. *Regulatory toxicology and pharmacology*. 2008 Apr;50(3):376-99. doi: 10.1016/j.yrtph.2008.01.004.
- M Van Koevering, S Nissen. Oxidation of leucine and alpha-ketoisocaproate to beta-hydroxy-beta-methylbutyrate in vivo. *The American journal of physiology*. 1992 Jan;262(1 Pt1): E27-31. . DOI: [10.1152/ajpendo.1992.262.1.E27](https://doi.org/10.1152/ajpendo.1992.262.1.E27)
- [Rafael Manjarrez-Montes-de-Oca](#) , [Mateo Torres-Vaca](#) , [Javier González-Gallego](#) , [Ildelfonso Alvear-Ordenes](#). [ $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate as a dietary supplement (I): metabolism and toxicity]. *Nutricion Hospitalaria*. 2014 Nov 27;31(2):590-6. doi: 10.3305/nh.2015.31.2.8432. PMID: 25617539

- S. Nissen, R Sharp, M. Ray, J. A. Rathmacher, D. Rice, J. C. Fuller Jr., A. S. Connely, and N. Abumrad. Effect of leucine metabolite  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate on muscle metabolism during resistance-exercise training. *Journal of Applied Physiology*. Volume 81, Issue 5, November 1996.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2095>
- Steven L. Nissen and Rick L. Sharp. Effect of dietary supplements on lean mass and strength gains with resistance exercise: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology* 94:651-659, 2003. First published Oct 25, 2002;  
doi:10.1152/japplphysiol.00755.2002
- David S Rowlands, Jasmine S Thomson. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation during resistance training on strength, body composition, and muscle damage in trained and untrained young men: a meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009 May;23(3):836-46.  
DOI: [10.1519/JSC.0b013e3181a00c80](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a00c80)
- Javier Sanchez- Martinez, Alejandro Santos- Lozano, Antonio Garcia-Hermoso, Kabir P. Sadarangani, Carlos Cristi-Montero. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in trained and competitive athletes: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Science and Medicine in Sport*. VOLUME 21, ISSUE 7, P727-735, JULY 01, 2018.  
DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.003>
- Peter J. Fitschen M.S. Gabriel J. Wilson Ph.D. Jacob M. Wilson Ph.D. Kenneth R. Wilund Ph.D. Efficacy of  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate supplementation in elderly and clinical populations. *Nutrition*, Volume 29, Issue 1, January 2013, Pages 29-36.
- Jeffrey R. Stout Abbie E. Smith-Ryan David H. Fukuda Kristina L. Kendall Jordan R. Moon Jay R. Hoffman Jacob M. Wilson Jeffery S. Oliver Vikkie A. Mustad. Effect of calcium  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (CaHMB) with and without resistance training in men and women 65+ yrs: A randomized, double-blind pilot trial. *Experimental Gerontology*, Volume 48, Issue 11, November 2013, Pages 1303-1310.  
<https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.08.007>
- S Nissen, R L Sharp, L Panton, M Vukovich, S Trappe, J C Fuller Jr. beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation in humans is safe and may decrease cardiovascular risk factors. *The Journal of Nutrition*. 2000 Aug;130(8):1937-45.  
DOI: [10.1093/jn/130.8.1937](https://doi.org/10.1093/jn/130.8.1937)

- Jeffrey Baxter, J L Carlos, Jennifer Thurmond, R N Rehani, Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association. 43(12):1731-41. DOI:[10.1016/j.fct.2005.05.016](https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.05.016)
- Betty C. Tong and Adrian Barbul. Cellular and Physiological Effects of Arginine. Volume 4, Issue 8, 2004. Page: [823 - 832]. DOI: [10.2174/1389557043403305](https://doi.org/10.2174/1389557043403305)
- R William Caldwell, Paulo C Rodriguez, Haroldo A Toque, S Priya Narayanan, Ruth B Caldwell. Arginase: A Multifaceted Enzyme Important in Health and Disease. Physiological Reviews. 2018 Apr 1;98(2):641-665. DOI: [10.1152/physrev.00037.2016](https://doi.org/10.1152/physrev.00037.2016)
- Bill I Campbell 1, Paul M La Bounty, Mike Roberts. The ergogenic potential of arginine. Journal of International Society of Sport Nutrition. 2004 Dec 31;1(2):35-8. DOI: [10.1186/1550-2783-1-2-35](https://doi.org/10.1186/1550-2783-1-2-35)
- Aitor Viribay, José Burgos, Julen Fernández-Landa, Jesús Seco-Calvo, Juan Mielgo-Ayuso. Effects of Arginine Supplementation on Athletic Performance Based on Energy Metabolism: A Systematic Review and Meta-Analysis. Nutrients. 2020 May 2;12(5):1300. DOI: [10.3390/nu12051300](https://doi.org/10.3390/nu12051300)
- Greer, Beau K; Jones, Brett T. Acute Arginine Supplementation Fails to Improve Muscle Endurance or Affect Blood Pressure Responses to Resistance Training. Journal of Strength and Conditioning Research: July 2011 - Volume 25 - Issue 7 - p 1789-1794. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e07569
- Janet Walberg-Rankin, Colleen E. Hawkins, Deborah S. Fild, and Don R. Sebolt. The effect of oral arginine during energy restriction in male weight trainers. J. Strength and Cond. Res. 8(3): 170-177. 1994.
- Benjamin Wax, Andreas N Kavazis, Heather E Webb & Stanley P Brown. Acute L-arginine alpha ketoglutarate supplementation fails to improve muscular performance in resistance trained and untrained men. Journal of the International Society of Sports Nutrition volume 9, Article number: 17 (2012).
- FAHS, CHRISTOPHER A.; HEFFERNAN, KEVIN S.; FERNHALL, BO. Hemodynamic and Vascular Response to Resistance Exercise with L-Arginine. Medicine & Science in Sports & Exercise: [April 2009 - Volume 41 - Issue 4 - p 773-779](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181909d9d) doi: 10.1249/MSS.0b013e3181909d9d
- Jason E. Tang, Paul J. Lysecki, Joshua J. Manolagos, Maureen J. MacDonald, Mark A. Tarnopolsky, Stuart M. Phillips. Bolus Arginine Supplementation Affects neither Muscle Blood Flow nor Muscle Protein Synthesis in Young Men at Rest or After

Resistance Exercise. The Journal of Nutrition, Volume 141, Issue 2, February 2011, Pages 195–200. <https://doi.org/10.3945/jn.110.130138>

- Sanjay Mehta MD Duncan J. Stewart MD Robert D. Levy MD, FCCP. The Hypotensive Effect of L-Arginine Is Associated with Increased Expired Nitric Oxide in Humans. Chest, Volume 109, Issue 6, June 1996, Pages 1550-1555. <https://doi.org/10.1378/chest.109.6.1550>
- Julie K. Collins Ph.D. Guoyao Wu Ph.D. Penelope Perkins-Veazie Ph.D. Karen Spears Ph.D. P. Larry Claypool Ph.D. Robert A. Baker Ph.D. Beverly A. Clevidence Ph.D. Watermelon consumption increases plasma arginine concentrations in adults. Nutrition. Volume 23, Issue 3, March 2007, Pages 261-266. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2007.01.005>
- Edzard Schwedhelm, Renke Maas, Ralf Freese, Donald Jung, Zoltan Lukacs, Alen Jambrecina, William Spickler, Friedrich Schulze, Rainer H Böger. Pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of oral L-citrulline and L-arginine: impact on nitric oxide metabolism. British Journal of Clinical Pharmacology. 2008 Jan;65(1):51-9. DOI: [10.1111/j.1365-2125.2007.02990.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2007.02990.x)
- Joël Briand, Henri Blehaut, Régis Calvayrac, Danielle Laval-Martin. Use of a microbial model for the determination of drug effects on cell metabolism and energetics: Study of citrulline-malate. Biopharmaceutics & Drug Disposition Volume 13, Issue 1 p. 1-22. <https://doi.org/10.1002/bdd.2510130102>
- Joaquín Pérez-Guisado, Philip M Jakeman. Citrulline malate enhances athletic anaerobic performance and relieves muscle soreness. Journal of Strength and Conditioning Research. 2010 May;24(5):1215-22. DOI: [10.1519/JSC.0b013e3181cb28e0](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cb28e0)
- D. Bendahan, J P Mattei, B Ghattas, S Confort-Gouny, M E Le Guern, P J Cozzone. Citrulline/malate promotes aerobic energy production in human exercising muscle. British Journal of Sports Medicine, Volume 36, Issue 4.
- HICKNER, ROBERT C., TANNER, CHARLES J.; EVANS, CHRIS A.; CLARK, PAIGE D.; HADDOCK, AMY; FORTUNE, CHRIS; GEDDIS, HEATHER; WAUGH, WILLIAM; MCCAMMON, MICHAEL. L-Citrulline Reduces Time to Exhaustion and Insulin Response to a Graded Exercise Test. Medicine & Science in Sports & Exercise: April 2006 - Volume 38 - Issue 4 - p 660-666. doi: 10.1249/01.mss.0000210197.02576.da
- Gonzalez, Adam M. Spitz, Robert W. Ghigiarelli, Jamie J. Sell, Katie M. Mangine, Gerald T. Acute Effect of Citrulline Malate Supplementation on Upper-Body

Resistance Exercise Performance in Recreationally Resistance-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*: November 2018 - Volume 32 - Issue 11 - p 3088-3094. doi: 10.1519/JSC.0000000000002373

- Hye Chang Rhim, Sung Jong Kim, [...], and Ki-Mo Jang. Effect of citrulline on post-exercise rating of perceived exertion, muscle soreness, and blood lactate levels: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*. 2020 Dec; 9(6): 553–561. doi:[10.1016/j.jshs.2020.02.003](https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.02.003).
- Fredrik Tonstad Vårvik, Thomas Bjørnsen, and Adam M. Gonzalez, Acute Effect of Citrulline Malate on Repetition Performance During Strength Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. in *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Volume 31: Issue 4-p.350-358.  
**DOI:** <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2020-0295>
- Jordan M. Glenn, Michelle Gray, Lauren N. Wethington, Matthew S. Stone, Rodger W. Stewart Jr. & Nicole E. Moyen. Acute citrulline malate supplementation improves upper- and lower-body submaximal weightlifting exercise performance in resistance-trained females. *European Journal of Nutrition* volume 56, pages775–784 (2017).
- Cunniffe, Brian; Papageorgiou, Maria; O'Brien, Barbara; Davies, Nathan A.; Grimble, George K.; Cardinale, Marco. Acute Citrulline-Malate Supplementation and High-Intensity Cycling Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*: September 2016 - Volume 30 - Issue 9 - p 2638-2647. doi: 10.1519/JSC.0000000000001338
- S.N. Kaore, Navinchandra M. Kaore. Chapter 37 - Arginine and Citrulline as Nutraceuticals: Efficacy and Safety in Diseases. *Nutraceuticals. Efficacy, Safety and Toxicity*. 2016, Pages 511-529. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00037-1>
- E M Gorostiaga, C A Maurer, J P Eclache. Decrease in respiratory quotient during exercise following L-carnitine supplementation. *International Journal of Sports Medicine*. 1989 Jun;10(3):169-74. DOI: [10.1055/s-2007-1024895](https://doi.org/10.1055/s-2007-1024895)
- C. Marconi, G. Sassi, A. Carpinelli & P. Cerretelli. Effects of L-carnitine loading on the aerobic and anaerobic performance of endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* volume 54, pages131–135 (1985).

- S W Trappe, D L Costill, B Goodpaster, M D Vukovich, W J Fink. The effects of L-carnitine supplementation on performance during interval swimming. *International Journal of Sports Medicine*. 1994 May;15(4):181-5. DOI: [10.1055/s-2007-1021044](https://doi.org/10.1055/s-2007-1021044)
- Christopher Barnett, David L. Costill, Mathew D. Vukovich, Kevin J. Cole, Bret H. Goodpaster, Scott W. Trappe, and William J. Fink. Effect of L-Carnitine Supplementation on Muscle and Blood Carnitine Content and Lactate Accumulation during High-Intensity Sprint Cycling. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Volume 4: Issue 3, P 280-288  
DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsn.4.3.280>
- Eric P Brass. Supplemental carnitine and exercise. *The American Journal of Clinical Nutrition*, Volume 72, Issue 2, August 2000, Pages 618S–623S.  
<https://doi.org/10.1093/ajcn/72.2.618S>
- Benjamin T. Wall, Francis B. Stephens, Dumitru Constantin-Teodosiu, Kanagaraj Marimuthu, Ian A. Macdonald, Paul L. Greenhaff. Chronic oral ingestion of L-carnitine and carbohydrate increases muscle carnitine content and alters muscle fuel metabolism during exercise in humans. *The Journal of Physiology* Volume 589, Issue 4 p. 963-973. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.201343>
- R G Villani, J Gannon, M Self, P A Rich. L-Carnitine supplementation combined with aerobic training does not promote weight loss in moderately obese women. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2000 Jun;10(2):199-207. DOI: [10.1123/ijsnem.10.2.199](https://doi.org/10.1123/ijsnem.10.2.199)
- <https://examine.com/supplements/carnitine/>