



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Διαιτολογίας και Διατροφολογίας



ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ο ρόλος της κρεατίνης και της βιταμίνης D στην
απόδοση δρομέων μεγάλων αποστάσεων.**

**The role of creatine and vitamin D in performance
of long-distance runners.**

ΓΚΟΥΝΤΟΥΡΑ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ (3520074)

ΚΕΛΕΠΟΥΡΗ ΔΗΜΗΤΡΑ- ΕΥΔΟΚΙΑ (3521002)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΕΤΡΟΣ ΝΤΙΝΑΣ

Τρίκαλα, 2024

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η επίδραση της άσκησης στους φλεγμονώδεις παράγοντες	11
Εικόνα 2. Χημική δομή της κρεατίνης.....	15
Εικόνα 3. Η σύνθεση της κρεατίνης.....	17
Εικόνα 4. Σύνθεση κρεατίνης από την αργινίνη.....	24
Εικόνα 5. Η δομή της βιταμίνης D.....	26
Εικόνα 6. Δράσεις της κρεατίνης σε διάφορα συστήματα	32

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Επίδραση κρεατίνης.....	36
Πίνακας 2. Επίδραση βιταμίνης D.....	37

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας που είναι δίπλα μας και μας στηρίζουν σε όλα τα βήματα μας καθώς και τον υπεύθυνο καθηγητή μας κ Ντίνα ο οποίος με τις πολύτιμες συμβουλές του μας καθοδήγησε σε όλη την πορεία των σπουδών μας, καθώς και στη συγγραφή της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	3
Περιεχόμενα.....	4
Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
A. Εισαγωγή.....	9
1.Κρεατίνη.....	14
1.1 Η ενδογενής σύνθεση της κρεατίνης.....	17
1.2 Ο ρόλος της κρεατίνης και της φωσφοκρεατίνης.....	18
1.3 Μηχανισμός δράσης	19
1.4 Ενεργητική θεωρία.....	19
1.5 Ρύθμιση του pH.....	19
1.6 Σταθεροποίηση της μεμβράνης.....	20
1.7 Ο χρόνος μυϊκής χαλάρωσης.....	20
1.8 Αποθήκη γλυκογόνου.....	20
1.9 Εργογόνα οφέλη της κρεατίνης.....	21
1.10 Ο ρόλος της κρεατίνης στην ενίσχυση της απόδοσης σε αθλήματα αντοχής.....	22
2. Βιταμίνη D.....	25
2.1 Η σύνθεση της βιταμίνης D.....	25
2.2 Ο ρόλος της βιταμίνης D.....	28
B. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
Σκοπός.....	30
Μέθοδος.....	30
Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	31
Γ.1 Κρεατίνη.....	31

Γ.2 Βιταμίνη D.....	33
Δ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	34
6. Βιβλιογραφία.....	38

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εισαγωγή: Από τους πρωταρχικούς στόχους κάθε αθλητή οποιουδήποτε επιπέδου και αθλήματος, εκτός από την ψυχαγωγία και τη βελτίωση της υγείας του είναι και η βελτίωση της απόδοσης του και η κατάκτηση των στόχων που έχει θέσει. Είναι φανερό, πως σε επαγγελματίες αθλητές οι στόχοι είναι πιο σκληροί και η επίτευξη τους είναι πιο σημαντική, σε σχέση με ερασιτέχνες αθλητές. Και στις δύο κατηγορίες, όμως, προέχει η αποφυγή τραυματισμών και η ταχύτερη αποκατάσταση μετά από κάποιο τραυματισμό ή κάποιο επίπονο αγώνα. Τα συμπληρώματα διατροφής μπορούν να βοηθήσουν τους αθλητές στην επίτευξη των στόχων τους. **Σκοπός:** Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά την επίδραση της κρεατίνης και της βιταμίνης D στην απόδοση δρομέων μεγάλων αποστάσεων, καθώς και την επίδραση τους στη μυϊκή αποκατάσταση μετά από την προπόνηση ή από κάποιο αγώνα και στη μείωση της φλεγμονής η οποία προκαλείται από το τρέξιμο. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτό το θέμα είναι πως υπάρχει αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον από τους δρομείς επαγγελματίες και μη, σχετικά με την εύρεση συμπληρωμάτων διατροφής τα οποία να συμβάλλουν στην ενίσχυση της απόδοσης τους καθώς και στη μείωση του χρόνου αποκατάστασης. Τα δύο αυτά συμπληρώματα επιλέχθηκαν καθώς υπάρχει κενό στη βιβλιογραφία σχετικά με την επίδραση τους σε αθλήματα αντοχής όπως είναι το τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων, ενώ γενικότερα αποτελούν δύο πολύ γνωστά συμπληρώματα διατροφής. **Μέθοδος:** Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η ανασκόπηση βιβλιογραφίας. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων Pubmed και Scopus ερευνητικά άρθρα της τελευταίας δεκαετίας τα οποία μελετούσαν την επίδραση της χορήγησης είτε βιταμίνης D είτε κρεατίνης στην απόδοση δρομέων μεγάλων αποστάσεων και στη μείωση των δεικτών της φλεγμονής μετά από τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων, καθώς και το βαθμό κατά τον οποίο συνέβαλαν στην ταχύτερη αποκατάσταση των δρομέων. **Αποτελέσματα και συμπεράσματα:** Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ και της κρεατίνης και της βιταμίνης D στη βελτίωση της επίδοσης των δρομέων και στη μείωση του χρόνου αποκατάστασης μετά από αγώνα. Είναι φανερό, λοιπόν πως οι δρομείς καθώς και οι αθλητές αθλημάτων αντοχής θα ήταν πολύ ωφέλιμο να εντάξουν τα δύο αυτά συμπληρώματα στην καθημερινή τους διατροφή, καθώς θα αποκομίσουν οφέλη, τόσο στις επιδόσεις τους όσο και στην καθημερινότητα τους.

Λέξεις κλειδιά: δρομείς αποστάσεων, εργογόνα βοηθήματα, κρεατίνη, βιταμίνη D

ABSTRACT

Introduction: One of the primary goals of every athlete at any level and sport, is to improve their health and performance. In professional athletes the goals are tougher and their achievement is more important, compared to amateur athletes. In both categories, however, the priority is to avoid injuries and to recover faster after an injury. In this light, nutritional supplements can help them achieve their goals. **Purpose:** This thesis examined the effects of creatine and vitamin D on long-distance runners performance and their muscle recovery after training or a race, as well as reduction of inflammation caused by running. This topic was chosen given the great interest from both professional and non-professional runners in finding nutritional supplements that contribute to enhancing their performance as well as reducing recovery time. There is a gap in the literature regarding their effect on endurance sports such as distance running, while in general they are two well-known nutritional supplements. **Method:** The method was the literature review. Specifically, research articles from the last decade were selected from the PubMed and Scopus databases, that examined the effects of either vitamin D or creatine administration on long-distance runners performance and reduction of inflammation, as well as the degree of which they contributed to the faster recovery of runners. **Results and conclusions:** The results showed that there is a positive correlation between both creatine and vitamin D supplementation with improving runners' performance. There is also a negative association with reducing post-race recovery time. Therefore, runners and endurance sport athletes can be benefit from including these two supplements in their daily diet.

Keywords: distance runners, ergogenic, creatine, vitamin D

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμμετοχή σε μαραθωνίους και σε υπερ μαραθωνίους έχει αρχίσει να γίνεται ιδιαίτερα δημοφιλής δραστηριότητα το οποίο φαίνεται από τους πολυάριθμους αγώνες που οργανώνονται κάθε χρόνο. Γι' αυτό το λόγο έχουν γίνει πολλές έρευνες για να εντοπιστούν οι παράγοντες κινδύνου οι οποίοι συνηγορούν σε τραυματισμούς στους σκελετικούς μύες στους δρομείς μεγάλων αποστάσεων (Żebrowska et al, 2020).

Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει πως μία συνεχής κίνηση όπως αυτή που εκτελούν οι μύες κατά το τρέξιμο οδηγεί σε μυϊκή καταστροφή και μυϊκό τραυματισμό. Η επαγόμενη από την άσκηση μυϊκή καταστροφή σχετίζεται άμεσα με τη φλεγμονώδη απάντηση και χαρακτηρίζεται από την άμυνα του οργανισμού απέναντι από τους φλεγμονώδεις παράγοντες και στο στόχο του να προωθήσει την αποκατάσταση και την αναγέννηση των τραυματισμένων και κατεστραμμένων μυϊκών ινών. Το μέγεθος αυτής της διαδικασίας ρυθμίζεται από παράγοντες τόσο προ-φλεγμονώδεις (1.5-2 ώρες μετά την άσκηση), όσο και παράγοντες κατά της φλεγμονής (24 έως 72 ώρες μετά την άσκηση), καθώς και από κυτταροκίνες που είναι υπεύθυνες για την ενίσχυση, τη ρύθμιση, τη διάρκεια και το μέγεθος της φλεγμονώδους απάντησης, (de Lima Tavares Toscano et al., 2020).

Η άσκηση υψηλής έντασης πολλές φορές μπορεί να είναι επιζήμια για τους μύες, καθώς προκαλεί δομικές καταστροφές στα μυϊκά κύτταρα, κάτι το οποίο συνάγεται από την αύξηση της δραστηριότητας στο πλάσμα κάποιων κυτοσολικών ενζύμων όπως η κρεατινική κινάση (CK) και η γαλακτική αφυδρογονάση (LDH). Επιπρόσθετα, η φλεγμονή κατά τη διάρκεια της άσκησης έχει συνδεθεί με καταστροφή των μυών.

Οι δρομείς μεγάλων αποστάσεων στοχεύουν στην προπόνηση η οποία οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης τους χωρίς κάποιες αρνητικές ή πιθανώς επιζήμιες επιδράσεις. Οι μυϊκοί τραυματισμοί οδηγούν σε κυτταρική καταστροφή με καταστροφή της μεμβράνης των κυττάρων, διαφυγή του εξωκυττάριου υγρού και του πλάσματος, ενώ αυξάνονται και τα ένζυμα που είναι δείκτες του θανάτου των κυττάρων όπως η κινάση της κρεατίνης (CK), η γαλακτική αφυδρογονάση (LDH) και η καρβονική ανυδράση III. Η άσκηση, επίσης προκαλεί αύξηση στην παραγωγή της προσταγλανδίνης ως αποτέλεσμα της φλεγμονής που προκαλείται λόγω των μικροτραυμάτων που προκαλούνται. Παρατηρείται μία αύξηση στη σύνθεση της προσταγλανδίνης PGE₂, η οποία προκαλείται από τα μακροφάγα τα οποία εισβάλουν καθώς προσελκύονται λόγω του περιβάλλοντος της φλεγμονής το οποίο ευθύνεται και για τους μυϊκούς πόνους που αναφέρουν οι αθλητές 24-48 ώρες μετά την άσκηση. (Santos et al, 2003).

Η μυϊκή καταστροφή είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που καθορίζουν τη μυϊκή δυσλειτουργία μετά από έκκεντρη κίνηση. Όταν συμβαίνει η μυϊκή καταστροφή, η μεμβράνη των μυοκυττάρων σχηματίζει ουλή και οι μυοϊνιακές πρωτεΐνες αποδομούνται. Η φλεγμονή, επίσης αποτελεί μία αιτία αυτής της μυϊκής δυσλειτουργίας. Αυξημένες τιμές προ φλεγμονωδών κυτταροκινών μετά από έντονη έκκεντρη άσκηση έχει δείξει πως προκαλούν αντίσταση στην ινσουλίνη, προκαλώντας καθυστέρηση στην ανάκαμψη της αποθήκης του μυϊκού γλυκογόνου, το οποίο είναι απαραίτητο για την αντοχή. Σε μελέτες που έγιναν σε ποντίκια, φάνηκε πως η έκκεντρη άσκηση προκάλεσε εισροή λευκοκυττάρων στο σκελετικό μυ κάτι το οποίο θα καθυστερήσει την ανάκαμψη του μυ και της μυϊκής δύναμης. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν πως όχι μόνο οι φλεγμονώδεις κυτταροκίνες αλλά και τα λευκοκύτταρα προκαλούν μυϊκή δυσλειτουργία μετά από έκκεντρη κίνηση όπως το τρέξιμο. (Yokota et al, 2023).

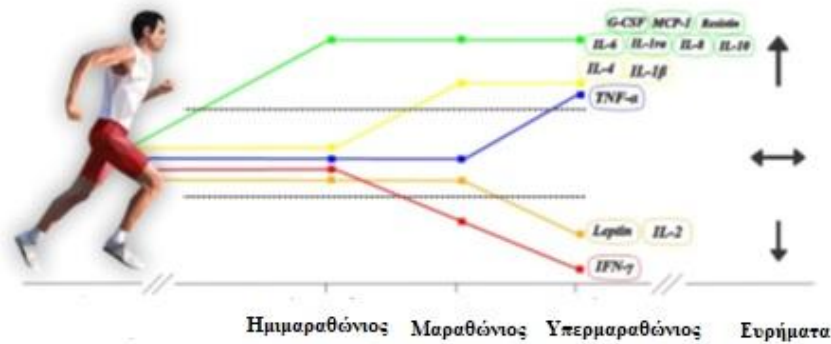
Οι κυτταροκίνες είναι μόρια τα οποία παράγονται από κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος, τους ενεργούς μύες, καθώς και από άλλους ιστούς όπως το λιπώδη ιστό ο οποίος αποτελεί ένα συνδετικό ιστό με σημαντική όμως ενδοκρινή λειτουργία. (de Oliveira dos Santos et al., 2021). Εκτός από το σημαντικό ρόλο που έχουν στη ρύθμιση της φλεγμονής, συμβάλλουν και στη ρύθμιση της ενεργοποίησης διάφορων σηματοδοτικών μονοπατιών που παρέχουν ενέργεια στον οργανισμό και στηρίζουν τη διαδικασία της άσκησης. Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, οι κυτταροκίνες οδηγούν σε ένα συστημικό αντιφλεγμονώδες καθεστώς στο κύτταρο. (Gomarasca et al., 2020). Ρυθμίζουν την κατανάλωση ενέργειας του οργανισμού, προστατεύουν τον οργανισμό από διάφορες ασθένειες, ρυθμίζουν την έκκριση ινσουλίνης και την υπερλιπιδαιμία. (Pedersen, 2019, Das et al., 2020).

Η παρατεταμένη άσκηση όπως ένας μαραθώνιος τοποθετεί ένα στρες στον οργανισμό το οποίο δημιουργεί ένα περιβάλλον αυξημένης φλεγμονής, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αντισταθμιστικές αντιφλεγμονώδεις απαντήσεις. Χαρακτηριστική είναι η αυξημένη παραγωγή μεσολαβητών της φλεγμονής όπως οι ιντερλευκίνες IL-6, IL-8, IL-1ra, IL-10 και τη C-αντιδρώσα πρωτεΐνη. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης τα λευκοκύτταρα προκαλούν την απελευθέρωση προφλεγμονωδών κυτταροκινών όπως ο TNF-α και οι ιντερλευκίνες IL-8 και IL-6. Αυτή η κατάσταση αυξημένης φλεγμονής οδηγεί σε μία παροδική ανοσοκαταστολή, καθώς και σε άλλες επιζήμιες για τον οργανισμό αλλαγές στους μύες, τους νεφρούς και στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα. (Passos et al, 2019).

Στο συμπέρασμα αυτό οδηγούν και αποτελέσματα από διάφορες έρευνες οι οποίες έδειξαν ότι όταν η άσκηση πραγματοποιείται σε μεγάλη ένταση και μεγάλο όγκο, παρατηρείται δραματική αύξηση στην ιντερλευκίνη 6 (IL-6), μείωση στη συγκέντρωση του μιτοχονδριακού

RNA (mRNA) της μυοστατίνης στο σκελετικό μυ, καθώς και φλεγμονώδεις βλάβες στους μύες. Αυτοί αποτελούν δείκτες πιο σοβαρής φλεγμονής και διαφόρων βλαβών που μπορούν να παρουσιαστούν μετά από παρατεταμένη άσκηση, όπως το τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων. (Kerschman-Schindl et al., 2009).

Μία άλλη μελέτη αξιολόγησε τη συγκέντρωση των κυτταροκινών που είναι υπεύθυνες για τη μυϊκή καταστροφή και οι οποίες προκαλούνται από την άσκηση, καθώς και των κυτταροκινών που συμβάλλουν στην αποκατάσταση, ενώ αξιολόγησε και το χρονοδιάγραμμα που χρειαζόταν για να γίνουν όλες αυτές οι διαδικασίες. Οι ερευνητές μελέτησαν 57 δρομείς στους οποίους πάρθηκε αίμα 24 ώρες πριν τον αγώνα, απευθείας πριν τον αγώνα, 24 και 72 ώρες μετά το μαραθώνιο. Το διάγραμμα λευκών αιμοσφαιρίων και οι δείκτες μυϊκής καταστροφής αναλύθηκαν. Η μυϊκή καταστροφή χαρακτηρίστηκε από μία αύξηση στις μυοκυτταρικές πρωτεΐνες του πλάσματος και στις ανοσολογικές αλλαγές (λευκοκυττάρωση και ουδετεροφιλία). (Alves et al, 2022).



Εικόνα 1. Η επίδραση της άσκησης στους φλεγμονώδεις παράγοντες.

Πηγή : Alves et al. 2022

Μία ακόμη πτυχή σχετικά με τη διαδικασία μυϊκής καταστροφής/ αποκατάστασης είναι η παρουσία μιας φλεγμονώδους απάντησης λίγες ώρες μετά την άσκηση, η οποία συνοδεύεται από μυϊκό πόνο, ο οποίος έχει μία επιβλαβή επίδραση στην κινητική λειτουργία. Η προσταγλανδίνη E2 η οποία συντίθεται από τα μακροφάγα μετά από την έκθεση τους σε περιβάλλον φλεγμονής, έχει ενοχοποιηθεί για την εμφάνιση του πόνου μετά από την άσκηση. Ως εργογόνο βοήθημα ορίζεται οποιοδήποτε συμπλήρωμα διατροφής, φαρμακολογική μέθοδος ή και ψυχολογική μέθοδος η οποία μπορεί να ενισχύσει την αθλητική απόδοση των αθλητών. Τα εργογόνα βοηθήματα, αποκτούν ολοένα και περισσότερο φήμη ως απαραίτητα για την προετοιμασία των αθλητών για έναν αγώνα, τη βελτίωση της απόδοσης τους, την

αποκατάσταση μετά από την άσκηση ή έναν τραυματισμό και ακόμα και για την πρόληψη τραυματισμών. Η κρεατίνη και η βιταμίνη D αποτελούν εργογόνα βοηθήματα. (López-Torres et al. 2022.)

Σε άλλη μελέτη που έγινε φάνηκε πως δρομείς μετά το μαραθώνιο παρουσίασαν αύξηση στην ιντερλευκίνη 6, (IL)-6 κατά 4 φορές, στην ιντερλευκίνη 8 (IL-8), στον παράγοντα νέκρωσης όγκων (TNF-α), στην ιντερλευκίνη 10 (IL-10) και σε κάποιους άλλους παράγοντες ενδεικτικούς της φλεγμονής. Άλλες διαταραχές που παρατηρήθηκαν ήταν το μεταβολικό στρες (δυσλειτουργία των μιτοχονδρίων και μια αλλαγή στην αναλογία ADP/ATP) λόγω των επανειλημμένων συσπάσεων των μυικών ινών, οι οποίες προκαλούν διαταραχή στο σαρκόλημμα (κυτταρική μεμβράνη που περιβάλλει μία σκελετική μυική ίνα) και στην εξωκυττάρια μήτρα, οίδημα στα μιτοχόνδρια, διαστολή του συστήματος εγκάρσιων σωληναρίων και κατακερματισμός του σαρκοπλασματικού δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλέσει την αυξημένη διαπερατότητα της μεμβράνης και εκροή μυοκυτταρικών πρωτεϊνών στην κυκλοφορία του αίματος. (Peake et al., 2017, Hody et al., 2019).

Μία άλλη έρευνα έδειξε απώλεια της ομοιόστασης του ασβεστίου, οξειδωτικό στρες, αυξημένη δράση της καλπαΐνης (οικογένεια πρωτεϊνών που σχετίζονται με την απόπτωση και τον κυτταρικό θάνατο), καθώς και φλεγμονή, παράγοντες που όλοι οδηγούν στο μυικό τραυματισμό και στην καταστροφή του μυ. Και σε αυτή τη μελέτη βρέθηκε αύξηση στη συγκέντρωση των ιντερλευκινών 1, 6, 8 και 10, λόγω της έντονης άσκησης αντοχής. Η έρευνα αυτή διαπίστωσε την ικανότητα του οργανισμού να χρησιμοποιεί τα ενδοθηλιακά κύτταρα, τους μεσολαβητές της φλεγμονής, τα μονοκύτταρα και μακροφάγα στη διαδικασία αναγέννησης του μυικού ιστού και στη διαδικασία αποκατάστασης των μυικών τραυματισμών. (Peake et al., 2017).

Άλλες αλλαγές που παρατηρήθηκαν και είναι χαρακτηριστικές της καταστροφής του σκελετικού μυ είναι οι αυξήσεις στα ένζυμα κρεατινική κινάση (CK), γαλακτική αφυδρογονάση (LDH), στο καρδιακό ισοένζυμο κινάση της κρεατίνης (CK-MB), και της μυοσφαιρίνης (πρωτεΐνη μικρού μοριακού μήκους η οποία συνδέεται με το οξυγόνο το οποίο μεταφέρει στους σκελετικούς μύες και τις λείες μυϊκές ίνες, διαμέσου των μυϊκών κυττάρων). Παρατηρήθηκαν, επίσης και αυξήσεις στα επίπεδα τροπονίνης (πρωτεϊνικό σύμπλεγμα που ρυθμίζει τη σύσπαση των γραμμωτών μυών). (Żebrowska et al, 2020).

Η λευκοκυττάρωση μετά από τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων είναι αποτέλεσμα απομάκρυνσης από τα τοιχώματα των αγγειακών και πνευμονικών δεξαμενών λόγω αιμοδυναμικών αλλαγών και παραγωγής κατεχολαμινών, ακολουθούμενων από μία απελευθέρωση ουδετερόφιλων

από το μυελό των οστών, επαγόμενη από την κορτιζόλη. Στην περίοδο αποκατάστασης, αυτές οι ορμόνες του στρες συμβάλλουν επίσης τόσο στη λεμφοκυτταροπενία, όσο και στην έμφυτη και επίκτητη ανοσιακή κυτταρική δυσλειτουργία. (Nieman and Mitmesser, 2017. Jones and Davison, 2019).

Η άσκηση αντοχής προκαλεί μία προφλεγμονώδη απόκριση η οποία ελέγχεται από τα ουδετερόφιλα και τα προφλεγμονώδη M1 μακροφάγα τις πρώτες ώρες μετά την άσκηση, η οποία ακολουθείται από μία αντιφλεγμονώδη αντιρρυθμιστική απόκριση η οποία ελέγχεται από τα M2 μακροφάγα και τα T κύτταρα (Tregs και CD8+). Όλων αυτών έπεται μία περίοδος ανοσοκαταστολής η οποία ονομάζεται 'ανοιχτό.' Οι αθλητές κατά την περίοδο αυτή, του ανοιχτού παραθύρου είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι καθώς το ανοσοποιητικό τους σύστημα είναι απορυθμισμένο και υπολειτουργεί, επομένως πρέπει να είναι ιδιαίτεροι προσεκτικοί και να ξεκουραστούν απευθείας μετά τον αγώνα. (Alves et al, 2022).

Ένας ακόμη δείκτης φλεγμονής, ο οποίος αναφέρθηκε προηγουμένως και ο οποίος εμπλέκεται και αυτός στο μυϊκό πόνο και οποίος μεταβάλλεται μετά την άσκηση είναι ο παράγοντας νέκρωσης των όγκων ή TNF-α. Ο TNF-α παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην πρόωμη φλεγμονώδη απάντηση η οποία ακολουθεί τη μυϊκή καταστροφή. Ο TNF-α είναι ένας μιτογόνος παράγοντας (προκαλεί δηλαδή την κυτταρική διαίρεση) για τα μυϊκά δορυφόρα κύτταρα, αν και ακόμη δεν έχει εξακριβωθεί το βαθμό στον οποίο ο παράγοντας αυτός συμβάλλει στην μυϊκή αναγέννηση. Ο σκελετικός μυς έχει υψηλή ικανότητα να επισκευάζεται και να αναδιαμορφώνεται ως απόκριση σε βλάβες, κυρίως μέσω της δράσης των μόνιμων μυϊκών βλαστοκυττάρων, που ονομάζονται δορυφόρα κύτταρα. Τα δορυφόρα κύτταρα μέσω μηχανισμών και ερεθισμάτων εισέρχονται στον κυτταρικό κύκλο και αναλαμβάνουν δράση με στόχο την αποκατάσταση του εκφυλισμένου μυϊκού ιστού. Ωστόσο, όταν οι τραυματισμοί επαναλαμβάνονται τότε αυτά εξαντλούνται από τη συχνή ενεργοποίησή τους και φθίνει η ικανότητα τους να επαναδομήσουν την τραυματισμένη περιοχή ενός μυός. (Willis et al, 2019).

Έρευνες έχουν αποδείξει πως η χρόνια έκθεση σε χαμηλά επίπεδα του κυκλοφορούντος TNF-α αναχαιτίζει τη μυϊκή αναγέννηση. Σε μία έρευνα όπου πραγματοποιήθηκε η εξωγενής χορήγηση του TNF-α σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους μετά από κάποιο μυϊκό τραυματισμό φάνηκε πως πραγματικά αναχαιτίσε την ανασύνθεση του μυ. Αυτό φάνηκε καθώς παρατηρήθηκε μία συνολική μείωση των μυϊκών ινών που είναι υπεύθυνες για την αναγέννηση και μία καθυστερημένη ωρίμανση των μυοϊνών. Τα αποτελέσματα από τη μελέτη τους έδειξαν μία μείωση της συγκέντρωσης στο πλάσμα και του TNF-α μετά από τον

αγώνα των 30 χιλιομέτρων στους αθλητές στους οποίους χορηγήθηκε το συμπλήρωμα κρεατίνης.

Η ομοιόσταση του σκελετικού μυός διατηρείται με την ικανότητα που διαθέτει για αναγέννηση, η οποία περιλαμβάνει τη στρατολόγηση βλαστοκυττάρων. Η χρόνια έκθεση στον παράγοντα νέκρωσης όγκων ή TNF-α οδηγεί σε μία απώλεια μυϊκής μάζας η οποία εν τέλει οδηγεί σε καχεξία. Η καχεξία είναι μία κατάσταση που συναντάται κυρίως στην τρίτη ηλικία όπου παρατηρείται μία αρκετά σημαντική μείωση της μυϊκής μάζας με πολλές φορές αύξηση της λιπώδους μάζας. Ο TNF-α καθυστερεί την εμφάνιση των μυικών ινών που είναι υπεύθυνες για την αναγέννηση με αποτέλεσμα να καθυστερεί την αποκατάσταση του αθλητή. (de Sousa et al, 2021).

Μια μείωση στα επίπεδα του TNF-α θα μπορούσε να ήταν αρκετά ωφέλιμη για τη βελτίωση του μυϊκού πόνου, καθώς και για την ελαχιστοποίηση της μυϊκής πρωτεόλυσης, εφόσον ο TNF-α συσχετίζεται με αύξηση της έκφρασης του mRNA στους σκελετικούς μύες. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, φαίνεται πως η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης πριν από τον αγώνα των 30 χιλιομέτρων, μείωσε την αύξηση που προκλήθηκε λόγω άσκησης στους δείκτες κυτταρικού θανάτου, στο μυϊκό πόνο και την πρωτεόλυση των μυών. Η χορήγηση συμπληρωμάτων στοχεύει στη διατήρηση της ακεραιότητας των μυών μετά από άσκηση ή αγώνα δρόμου υψηλής έντασης, προκειμένου να γίνει και η αποκατάσταση ταχύτερα κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε επαγγελματίες αθλητές οι οποίοι συμμετέχουν σε πολλούς αγώνες. (Santos et al, 2021).

Τέλος, μία πολύ σημαντική παράμετρος για τους δρομείς είναι η αερόβια αντοχή, δηλαδή η ανώτατη ένταση, που μπορεί να διατηρηθεί για μια ορισμένη διάρκεια ή απόσταση. Η αερόβια αντοχή σχετίζεται άμεσα με την (VO_{2max}), δηλαδή τον ανώτατο όγκο οξυγόνου, που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά τη μέγιστη προσπάθεια στη μονάδα του χρόνου και η οποία ονομάζεται μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και γράφεται συντομογραφικά ως (VO_{2max}) . Όσο μεγαλύτερη είναι η (VO_{2max}) ενός ατόμου, τόσο περισσότερο έργο μπορεί να παράγει.

1. ΚΡΕΑΤΙΝΗ

Η κρεατίνη, είναι ένα αζωτούχο οργανικό οξύ το οποίο σχηματίζεται ενδογενώς στον οργανισμό μέσω χημικών αντιδράσεων οι οποίες περιλαμβάνουν τα αμινοξέα αργινίνη, γλυκίνη και μεθειονίνη στο ήπαρ και στους νεφρούς. Η κρεατίνη (η λέξη προέρχεται από την ελληνική λέξη κρέας), καθώς οι μεγαλύτερες ποσότητες της κρεατίνης (94%) βρίσκονται στο μυϊκό ιστό όπως το σκελετικό μυ και την καρδιά. Η κρεατίνη αποτελεί μία σημαντική

αζωτούχα ένωση η οποία συντίθεται από αμινοξέα. Καθώς τα επίπεδα σύνθεσης της κρεατίνης από τον οργανισμό επαρκούν για τη διατήρηση της σε κανονικά επίπεδα, η κρεατίνη δε θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό συστατικό. Επίσης δε θεωρείται πρωτεΐνη, παρά το γεγονός πως συντίθεται από αμινοξέα και περιέχει άζωτο. Αντίθετα από τις πρωτεΐνες, η σύνθεση της κρεατίνης δεν συμπεριλαμβάνει το σχηματισμό πεπτιδικού δεσμού και η αποικοδόμηση της δεν περιλαμβάνει απαμίνωση (αφαίρεση αζώτου) κατά την αποβολή της από τον οργανισμό μέσω των νεφρών. Για το λόγο αυτό η κρεατίνη δεν αποτελεί κίνδυνο για τη νεφρική λειτουργία καθώς δεν επιβαρύνει τους νεφρούς με την αφαίρεση του αζώτου.

Η κρεατίνη μετατρέπεται σε φωσφοκρεατίνη και η αντίδραση αυτή ρυθμίζεται από το ένζυμο κινάση της κρεατίνης (CK) το οποίο βρίσκεται στους μύες και χρησιμοποιείται για να παράγει ενδοκυτταρικά τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP), το κύριο ενεργειακό νόμισμα του κυττάρου. Η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της χωρητικότητας του ATP και την παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια αναερόβιας άσκησης υψηλού φορτίου. Με αυτό τον τρόπο οδηγεί σε αύξηση της μυϊκής δύναμης, του αριθμού των επαναλήψεων και τον όγκο των ασκήσεων, τα οποία συνεισφέρουν στη βελτίωση της απόδοσης των μυών και σε υπερτροφία κατά τη διάρκεια του διαστήματος προπόνησης. (Antonio et al, 2021).



Εικόνα 2. Χημική δομή της κρεατίνης. Πηγή Volek et al, 2008

Η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης αποτελεί μία δημοφιλή πρακτική μεταξύ των αθλητών και των ατόμων που αθλούνται γενικότερα για την ενίσχυση της μυϊκής μάζας, τη βελτίωση της απόδοσης τους, καθώς και για τη βελτίωση του χρόνου ανάκαμψης. Υπάρχει, επίσης μία σωρεία δεδομένων σχετικά με τα οφέλη της χορήγησης συμπληρώματος κρεατίνης σε μεγαλύτερους ηλικιακά πληθυσμούς καθώς σε ασθενείς.

Για παράδειγμα, η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης με υδατάνθρακες ή με υδατάνθρακες και πρωτεΐνη, οδηγούν σε αύξηση της αποθήκευσης του γλυκογόνου στους μύες, σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με την απλή φόρτιση μόνο με υδατάνθρακες. Η αναπλήρωση των αποθεμάτων γλυκογόνου στον οργανισμό είναι υψίστης σημασίας για την βελτίωση του χρόνου ανάκαμψης και για την αποφυγή της υπερ-προπόνησης κατά τη διάρκεια περιόδων εντατικής προπόνησης. Η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης σε αθλητές οι οποίοι εξαντλούν μεγάλες ποσότητες γλυκογόνου κατά τη διάρκεια της προπόνησης, καθώς και κατά τη διάρκεια του αγώνα όπως οι δρομείς μεγάλων αποστάσεων ή οι ποδηλάτες, θα συμβάλλει στο να διατηρήσουν τα επίπεδα γλυκογόνου τους στα επιθυμητά επίπεδα. (Kerksick et al, 2018).

Η κρεατίνη είναι ένα άκρως αποτελεσματικό εργογόνο βοήθημα το οποίο αυξάνει την αθλητική επίδοση. Οι ευεργετικές επιδράσεις της κρεατίνης σε ασκήσεις με αντιστάσεις, μικρής έντασης είναι ευρέως γνωστές. Λιγότερο γνωστές είναι οι επιδράσεις της σε αθλήματα αντοχής όπως το τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων, η κολύμβηση και η ποδηλασία. (Forbes et al, 2021).

Η κρεατίνη παράγεται ενδογενώς κυρίως στους νεφρούς, στο συκώτι και στο πάγκρεας μέσω μίας διαδικασίας δύο βημάτων η οποία συμπεριλαμβάνει τρία αμινοξέα, την αργινίνη, τη γλυκίνη και τη μεθειονίνη. Επιπλέον, η κρεατίνη μπορεί να αποκτηθεί εξωγενώς μέσω της διατροφής ή ως συμπλήρωμα διατροφής. Όταν η κρεατίνη εισέλθει στην κυκλοφορία, το 95% αποθηκεύεται στο σκελετικό μυ, εκ του οποίου το 67% μετατρέπεται σε φωσφορυλιωμένη κρεατίνη ή φωσφοκρεατίνη (PCr) και το 33% παραμένει ως ελεύθερη κρεατίνη. Η φωσφοκρεατίνη συνδυάζεται με την διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και καταβολίζεται από την κρεατινική κινάση για να σχηματίσουν τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP). Η αντίδραση αυτή αντιστρέφεται σε περιόδους ξεκούρασης ή δραστηριότητας χαμηλής έντασης.

Η κρεατίνη είναι ένα πλειοτροπικό μόριο το οποίο επηρεάζει διάφορους μεταβολικούς, ορμονικούς και φυσιολογικούς παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην αθλητική απόδοση και σε αθλήματα αντοχής. Η αυξημένη ενδομυϊκή φωσφοκρεατίνη και η ελεύθερη κρεατίνη αυξάνουν τη δυνατότητα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χωρίς την εμφάνιση γαλακτικού στους μύες και ταχύτερη επανασύνθεση της φωσφοκρεατίνης στους μύες κατά τη διάρκεια ανάκαμψης μεταξύ των ασκήσεων. Η κρεατίνη διευκολύνει και την πρόσληψη και τη συγκράτηση του γλυκογόνου μέσω ενός μηχανισμού που περιλαμβάνει αύξηση του GLUT-4 μεταφορέα γλυκόζης.

Η κρεατίνη επίσης μπορεί να βελτιώσει την αθλητική απόδοση μέσω της αύξησης της επαναισόδου του ασβεστίου στο σαρκοπλασματικό δίκτυο, ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο

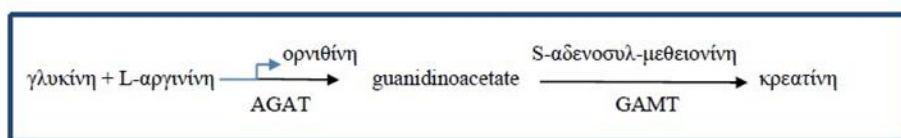
τη μυοϊνιδική υπερτροφία και οδηγώντας σε αύξηση του μεγέθους των μυών, της δύναμης και της έκρηξης. (Antonio et al, 2021).

Σύμφωνα με τον αναγνωρισμένο ερευνητή P.O. Astrand, η απόδοση εξαρτάται από την δυνατότητα του σώματός μας να παρέχει στους εργαζόμενους μύες, ικανές ποσότητες από οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά, με τον κατάλληλο ρυθμό, να απομακρύνει τα μεταβολικά παραπροϊόντα (θερμότητα, διοξείδιο του άνθρακα, H^+ , γαλακτικό οξύ), για να διατηρηθεί το σύστημα σε ομοιόσταση. Για να γίνουν αυτές οι διαδικασίες, το σώμα μας χρειάζεται ορισμένες προσαρμογές, οι οποίες δημιουργούνται από την προπόνηση και το καθιστούν περισσότερο αποδοτικό (αύξηση μιτοχονδρίων, αύξηση ενζύμων, αύξηση μυϊκού γλυκογόνου, μυϊκή υπερτροφία, αύξηση όγκου παλμού, δύναμης πνευμόνων και πολλά ακόμα). (Ekblom-Bak et al, 2014).

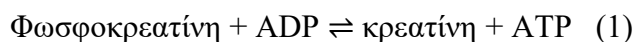
1.1 Η ενδογενής σύνθεση της κρεατίνης

Σε όλα τα θηλαστικά, ο μυϊκός τους ιστός δεν έχει την ικανότητα να συνθέσει κρεατίνη, έτσι αυτή πρέπει είτε να συντεθεί ενδογενώς στον οργανισμό είτε να αποκτηθεί μέσω διαιτητικών πηγών. Η σύνθεση της κρεατίνης στους ανθρώπους συμβαίνει κυρίως στο ήπαρ, από το υπό συνθήκη απαραίτητο αμινοξύ αργινίνη, το μη απαραίτητο αμινοξύ γλυκίνη και με την S-αδενοσυλ-L-μεθειονίνη (S-adenosyl-methionine ή SAM) να χορηγεί τη μεθυλική ομάδα. Η S-αδενοσυλ-L-μεθειονίνη (SAM) είναι ο κύριος βιολογικός δότης μεθυλίου σε αντιδράσεις διαμεθυλίωσης, που συνίστανται στη μεταφορά ενός τμήματος μεθυλίου σε διαφορετικά υποστρώματα συμπεριλαμβανομένων του DNA, των πρωτεϊνών, των λιπιδίων και του RNA. Από το ήπαρ, η κρεατίνη μπορεί να μεταφερθεί μέσω της κυκλοφορίας του αίματος προς τους ιστούς που χρειάζονται κρεατίνη όπως οι σκελετικοί μύες, η καρδιά και ο εγκέφαλος. Περιορισμοί στη σύνθεση της κρεατίνης μπορεί να συμβούν σε περιπτώσεις έλλειψης κάποιας βιταμίνης όπως η B12 ή το φυλλικό οξύ (B9).

Η SAM είναι απαραίτητη για τη διάθεση της μεθυλικής ομάδας στο νεοσχηματισμένο μόριο της κρεατίνης και σχηματίζεται από το αμινοξύ μεθειονίνη και τις βιταμίνες B12 και φυλλικό οξύ. Χωρίς τη SAM, αναχαιτίζεται και η σύνθεση της κρεατίνης, γεγονός που τονίζει τη σημασία της επάρκειας των βιταμινών αυτών στον οργανισμό. Μέσα στο κύτταρο, ένα μέρος της κρεατίνης φωσφορυλιώνεται (δέχεται μία ομάδα φωσφόρου) και αναφέρεται πλέον ως φωσφοκρεατίνη και έτσι αποθηκεύεται στους ιστούς. Η φωσφορυλίωση της κρεατίνης καταλύεται από το ένζυμο κρεατινική κινάση (CK). Η κρεατίνη αποτελεί αναπόσπαστο συστατικό του φωσφορογόνου συστήματος ενέργειας (αναερόβιο-γαλακτικό) με σκοπό την άμεση παραγωγή ενέργειας που απαιτείται για τη μυϊκή συστολή.



Εικόνα 3. Η σύνθεση της κρεατίνης



Η διαθεσιμότητα της φωσφοκρεατίνης στον μυ μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το παραγόμενο ποσό ενέργειας (ATP) κατά την εκτέλεση άσκησης υψηλής έντασης για μικρό χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης, η αναλογία της υδρόλυσης του ATP στις μυικές ίνες είναι εξαιρετικά υψηλή, μετατοπίζοντας τη χημική αντίδραση (1) προς τα δεξιά. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης το ADP και ο ανόργανος φώσφορος συσσωρεύονται στα κύτταρα και πρέπει να απομακρυνθούν.

Καθίσταται σαφές από την παραπάνω αντίδραση, ότι ο οργανισμός χρειάζεται είτε εξωγενή, μέσω της διατροφής, είτε ενδογενή αναπλήρωση των αποθεμάτων κρεατίνης για τις καθημερινές του ενεργειακές ανάγκες. Ωστόσο, το ανώτερο όριο αποθηκευτικής ικανότητας του οργανισμού σε κρεατίνη θεωρείται ότι είναι περίπου 160mmol/kg.

Η επανασύνθεση της φωσφοκρεατίνης είναι ταχεία με χρόνο ημιζωής περίπου 30 δευτερόλεπτα και περίπου το 95% της φωσφοκρεατίνης επανασυντίθεται μετά από 3-4 λεπτά. Το σύστημα της φωσφοκρεατίνης πρόκειται για ένα πολύ ισχυρό ενεργειακό σύστημα, καθώς παράγει μία μεγάλη ποσότητα ATP κάθε φορά. Διαθέτει όμως χαμηλή χωρητικότητα, με αποτέλεσμα η φωσφοκρεατίνη να εξαντλείται πολύ γρήγορα κατά την άσκηση μέγιστης έντασης. Αυτό σημαίνει ότι η βελτιστοποίηση των αποθεμάτων κρεατίνης στον οργανισμό θα καθυστερήσει την εξάντληση της κρεατίνης και θα οδηγήσει σε βελτίωση της απόδοσης κατά την άσκηση. (Volek et al, 2008).

Όσον αφορά τη διατροφή, οι κύριες διατροφικές πηγές της κρεατίνης είναι το κρέας και το ψάρι, οι οποίες καλύπτουν κατά το ήμισυ τις ανάγκες του οργανισμού σε κρεατίνη. Ένα ακόμη μικρό ποσοστό μεταβολίζεται σε κρεατινίνη, η οποία απεκκρίνεται μέσω των νεφρών στα ούρα. Επομένως, χρειάζεται καθημερινή αναπλήρωση των αποθεμάτων σε κρεατίνη από το ανθρώπινο σώμα προκειμένου να διατηρηθούν σταθερά τα μυϊκά αποθέματα κρεατίνης. (Antonio et al, 2021).

1.2 Ο ρόλος της κρεατίνης και της φωσφοκρεατίνης.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η κρεατίνη στη μορφή της φωσφοκρεατίνης, είναι απαραίτητη για την αναπλήρωση των αποθεμάτων σε ATP, τα οποία χρησιμοποιούνται κατευθείαν κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλής έντασης. Όταν η φωσφοκρεατίνη είναι διαθέσιμη για την αναγέννηση του ATP, ξεκινάει η διαδικασία της γλυκόλυσης μετά από καθυστέρηση ελάχιστων δευτερολέπτων και η διαδικασία της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης των μιτοχονδρίων επιβραδύνεται ακόμη περισσότερο. Η επαρκής εναπόθεση αποθεμάτων κρεατίνης στους σκελετικούς μύες μέσω της χορήγησης συμπληρώματος κρεατίνης, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μία ταχύτερη αναπλήρωση των αποθεμάτων σε ATP και να επιβραδύνει την εμφάνιση της κόπωσης κατά τη μυϊκή προσπάθεια.

Εκτός από τη βελτίωση των αποθεμάτων σε ATP, η αύξηση της διαθεσιμότητας σε φωσφοκρεατίνη συμπεριλαμβάνει :

- Μειωμένη εξάρτηση από την αναερόβια γλυκόλυση για την παραγωγή ενέργειας και μείωση του σχηματισμού γαλακτικού οξέος.
- Διευκόλυνση της μυϊκής χαλάρωσης και αποκατάστασης κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων περιόδων έντονης προσπάθειας μικρής διάρκειας μέσω αυξημένου ρυθμού επανασύνθεσης ATP και φωσφοκρεατίνης, επιτρέποντας έτσι συνεχή υψηλή απόδοση.

1.3 Μηχανισμός δράσης

Όταν η κρεατίνη συσσωρεύεται στο σκελετικό μυ του ανθρώπου προάγει διάφορες επιδράσεις οι οποίες μπορεί να ευθύνονται για τις θετικές βελτιώσεις οι οποίες παρατηρούνται στην αθλητική απόδοση μετά από τη χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης. Αυτές οι θετικές προσαρμογές μπορεί να προκαλούνται πιθανότατα λόγω της μεγέθυνσης του φωσφογόνου συστήματος στους σκελετικούς μύες, το οποίο χρησιμοποιείται για να εφοδιάσει με ενέργεια δραστηριότητες υψηλής έντασης.

Πρόσφατα, διάφοροι άλλοι μηχανισμοί έχουν προταθεί για να εξηγήσουν τις θετικές προσαρμογές στην αθλητική απόδοση και αναφέρονται παρακάτω.

1.4 Ενεργητική θεωρία

Η πιο διαδεδομένη θεωρία η οποία επεξηγεί τις ωφέλιμες επιδράσεις της χορήγησης συμπληρώματος κρεατίνης στη μυϊκή απόδοση είναι η ενεργητική θεωρία. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή η επάρκεια των αποθεμάτων του σκελετικού μυός σε κρεατίνη οδηγεί σε κάποιες φυσιολογικές προσαρμογές κατά τη διάρκεια της προπόνησης (όπως υπερτροφία των

μυϊκών ινών, αύξηση της μυϊκής μάζας και της δύναμης). Συνεπώς, αύξηση στα αποθέματα κρεατίνης επιτρέπει στον αθλητή να προπονείται με μεγαλύτερη ένταση και αυτό οδηγεί σε αύξηση του ερεθίσματος που δέχεται ο μυς.

1.5 Ρύθμιση του pH

Κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλού pH, όπως όταν τα ιόντα υδρογόνου που προέρχονται από την παραγωγή του γαλακτικού οξέος και την υδρόλυση του ATP συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλής έντασης, η αντίδραση της κρεατινικής κινάσης ενισχύει την επανασύνθεση του ATP (αντίδραση 1). Συνεπώς, οι ταχείες αυξήσεις στη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου που παρατηρούνται κατά την άσκηση υψηλής έντασης ρυθμίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συμβάλλουν στην αποφυγή της κόπωσης. Αυτός ο ρυθμιστής του pH αποτελεί ένα μηχανισμό με τον οποίο η κρεατίνη συμβάλλει στη διατήρηση μίας βέλτιστης αθλητικής απόδοσης, καθώς εμποδίζει την οξύνιση των κυττάρων και διατηρεί ένα φυσιολογικό pH. Ένα μειωμένο pH έχει πολλές αρνητικές επιδράσεις στα ενδό και εξώ-κυττάρια περιβάλλοντα των κυττάρων και έχει συσχετιστεί με την έλευση της κόπωσης μέσω διάφορων μηχανισμών.

1.6 Σταθεροποίηση της μεμβράνης

Η κρεατίνη συμβάλλει στην αποφυγή της καταστροφής των ιστών μέσω της σταθεροποίησης των κυτταρικών μεμβρανών. Η κρεατίνη, με τη μορφή της φωσφοκρεατίνης, μπορεί να μειώσει την ρευστότητα των μεμβρανών όπως και την απώλεια ενδοκυτταρικών ενζύμων όπως η κρεατινική κινάση από το κυτταρόπλασμα.

Αυτό σημαίνει πως αυξημένα επίπεδα φωσφοκρεατίνης στον ανθρώπινο σκελετικό μυ μπορεί να παρέχει προστασία στις κυτταρικές μεμβράνες των μυών από το στρες που δέχονται λόγω της άσκησης υψηλής έντασης.

1.7 Ο χρόνος της μυϊκής χαλάρωσης

Η κρεατίνη μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της αθλητικής απόδοσης μέσω της μείωσης του χρόνου που απαιτείται για τη χαλάρωση των μυών μετά από μία μυϊκή συστολή. Οι Van Leemputte και συνεργάτες οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα πως η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης για 5 συνεχόμενες ημέρες σε υγιείς άντρες οδήγησε σε μείωση του χρόνου χαλάρωσης μετά από άσκηση. Αυτό το εύρημα είναι σημαντικό καθώς μπορεί να ερμηνευτεί

με τη μείωση του χρόνου αποκατάστασης που απαιτείται μετά από μία προπόνηση ή έναν αγώνα.

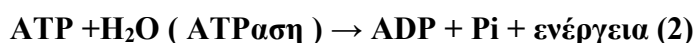
1.8 Αποθήκη γλυκογόνου

Καθώς έχει βρεθεί πως η κρεατίνη αυξάνει το ενδοκυττάριο νερό και το κυτταρικό νερό επηρεάζει τα επίπεδα γλυκογόνου στο σκελετικό μυ ποντικών. Η πλειοψηφία των μελετών οι οποίες μελετούν τα επίπεδα του γλυκογόνου των σκελετικών μυών μετά από τη χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης έχουν δείξει θετικά αποτελέσματα. Σε συγχορήγηση με υδατάνθρακες, ενισχύει την επανασύνθεση του γλυκογόνου και το περιεχόμενο του, εφοδιάζοντας τον οργανισμό με τα απαραίτητα καύσιμα για την εκτέλεση αερόβιας άσκησης υψηλής έντασης. Οι εργογόνες επιδράσεις της αύξησης των επιπέδων του γλυκογόνου των μυών μέσω της χορήγησης συμπληρώματος κρεατίνης είναι ακόμα ασαφείς, αυτό όμως που είναι ξεκάθαρο είναι πως τα αυξημένα επίπεδα γλυκογόνου οδηγούν σε βελτίωση της αθλητικής απόδοσης, καθώς έχει αποδειχθεί σε πολλές έρευνες πως τα αυξημένα αποθέματα γλυκογόνου επιδρούν θετικά στην απόδοση σε ασκήσεις υψηλής έντασης. (Volek et al, 2008).

1.9 Εργογόνα οφέλη της κρεατίνης

Τέσσερις κύριοι μηχανισμοί έχουν προταθεί για να εξηγήσουν τα εργογόνα οφέλη της χορήγησης συμπληρώματος κρεατίνης σε αθλητές.

1. Αύξηση στη συνολική συγκέντρωση της κρεατίνης που υπάρχει στους μύες θα παρέχει περισσότερη φωσφοκρεατίνη για την αντίδραση της κρεατινικής κινάσης (1). Η ενέργεια απελευθερώνεται από την υδρόλυση του ATP για να διευκολύνει τη σύσπαση του μυ ως αποτέλεσμα της κάτω αντίδρασης :



Κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλής έντασης, η γρήγορη υδρόλυση του ATP θα οδηγήσει αύξηση της συγκέντρωσης του ADP, η οποία θα οδηγήσει την αντίδραση της κρεατινικής κινάσης προς τα δεξιά. Όταν η συγκέντρωση του ADP αυξάνεται, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα δεξιά για την παραγωγή περισσότερου ATP και ελεύθερης κρεατίνης. Αυτό είναι πολύ ωφέλιμο όταν απαιτείται μία γρήγορη προμήθεια από ATP κατά τη διάρκεια έντονων μυϊκών συσπάσεων. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση της κρεατίνης στους

μύες, για τόσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μπορεί η αντίδραση με την κρεατινική κινάση να επανασυνθέτει ATP, το οποίο συνεπάγεται μεγαλύτερη αντίσταση στην κόπωση και καλύτερη αθλητική απόδοση.

Εκτός από τη σημασία της συγκέντρωσης της φωσφοκρεατίνης, εξίσου σημαντική είναι και η ελεύθερη κρεατίνη που υπάρχει στο μυ, καθώς δίνει ερέθισμα στη διαδικασία της μιτοχονδριακής αναπνοής. (Ribeiro et al, 2021).

1.10 Ο ρόλος της κρεατίνης στην ενίσχυση της απόδοσης σε αθλήματα αντοχής

Μελέτες έχουν δείξει πως η προσθήκη κρεατίνης στο σκελετικό ή τον καρδιακό μυ αυξάνει το ρυθμό της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης. Η αύξηση στο ρυθμό της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης οδηγεί και σε αύξηση της συγκέντρωσης του ADP, η οποία οδηγεί σε αύξηση της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης και της κυτταρικής αναπνοής. Η κυτταρική αναπνοή χαρακτηρίζεται ως μία καταβολική διαδικασία που λαμβάνει χώρα στα κύτταρα και κατά τη διάρκεια της πολύπλοκα οργανικά μόρια, όπως οι υδατάνθρακες, τα λίπη και οι πρωτεΐνες, οξειδώνονται προκειμένου ν' απελευθερώσουν ενέργεια, η οποία είναι απαραίτητη σε άλλες κυτταρικές διαδικασίες. Η οξειδωτική φωσφορυλίωση λαμβάνει χώρα στα μιτοχόνδρια και είναι υπεύθυνη για την παραγωγή ενέργειας με τη μορφή ATP. Καθώς λοιπόν η αύξηση της κρεατίνης οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού με τον οποίο λαμβάνουν χώρα οι παραπάνω διαδικασίες στον οργανισμό του ανθρώπου αυτό οδηγεί και σε αύξηση της απόδοσης στα αθλήματα αντοχής, στα οποία το αερόβιο σύστημα παραγωγής ενέργειας κυριαρχεί. (Volek et al, 2008).

Σε μελέτη που έγινε οι Tonkonogi και συνεργάτες έδειξαν πως ο αριθμός των αργών μυϊκών ινών σχετίζεται άμεσα με το ρυθμό της αεροβικής αναπνοής όταν η κρεατίνη προστίθεται σε ανθρώπινες σκελετικές μυϊκές ίνες. Αυτό σημαίνει πως οι αθλητές που έχουν μεγαλύτερο ποσοστό αργών μυϊκών ινών όπως οι αθλητές σε αθλήματα αντοχής μπορεί να αποκτήσουν μεγαλύτερα επίπεδα οξειδωτικής φωσφορυλίωσης μετά από τη χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης. Μία άλλη υπόθεση είναι ότι η αύξηση στην ενδομυϊκή φωσφοκρεατίνη μπορεί να οδηγήσει την τριφωσφατάση αδενοσίνης ασβεστίου (ένζυμο που καταλύει την υδρόλυση του ATP για την άντληση ασβεστίου πίσω στο σαρκοπλασματικό δίκτυο κατά τη διάρκεια της μυϊκής χαλάρωσης) στο να λειτουργεί με μία ανώτερη θερμοδυναμική αποτελεσματικότητα

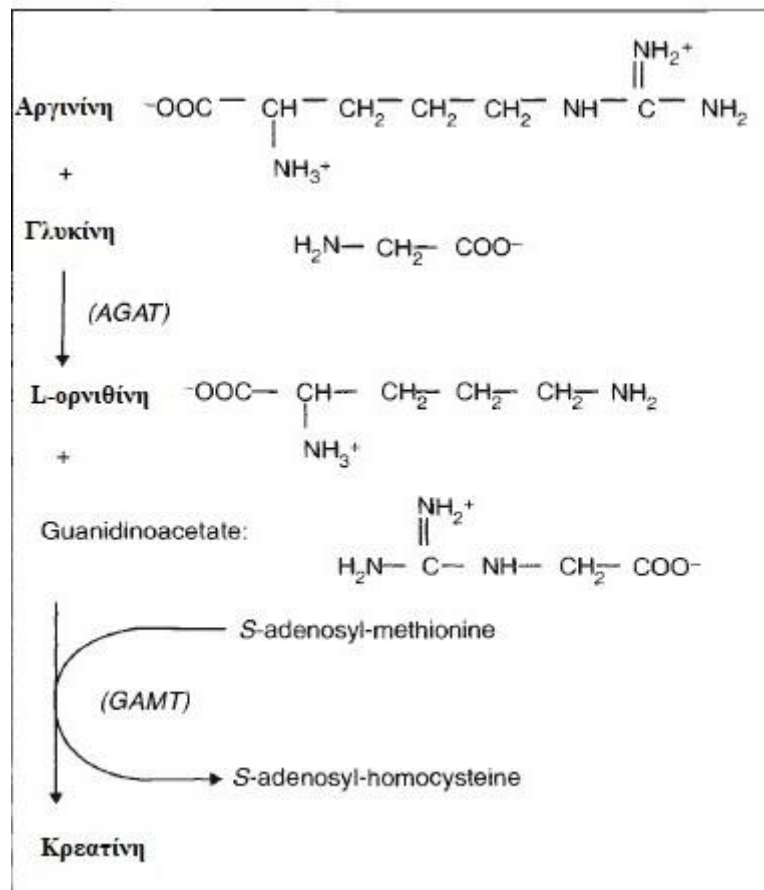
και έτσι να μειωθεί το ενεργειακό κόστος που απαιτείται για τη μυϊκή χαλάρωση. (Tonkonogi et al, 2001).

Επιπλέον, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις πως η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης οδηγεί σε μείωση της καταστροφής των μυών και σε ενίσχυση της αποκατάστασης μετά από έντονη άσκηση. Οι Cooke et al ανέφεραν πως το συμπλήρωμα κρεατίνης πριν την άσκηση και κατά τη διάρκεια της άσκησης, οδήγησε σε ταχύτερη μυϊκή αποκατάσταση καθώς και σε μείωση των δεικτών που είναι ενδεικτικοί της καταστροφής των μυών οι οποίοι είναι συνήθως ανεβασμένοι μετά από εντατική άσκηση. (Cooke et al, 2009)

Καθώς η κρεατίνη θεωρητικά μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της μυϊκής αποδοτικότητας (για παράδειγμα με την κατανάλωση οξυγόνου), η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης μπορεί να οδηγήσει σε ένα μικρότερο επίπεδο κατανάλωσης οξυγόνου σε μία συγκεκριμένη ένταση και να ενισχύσει τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ή VO_{2max} και το αναερόβιο κατώφλι, οι οποίοι αποτελούν δύο πολύ σημαντικούς δείκτες για τους δρομείς.

Ο δείκτης VO_{2max} χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την ικανότητα του οργανισμού στο να χρησιμοποιεί οξυγόνο κατά τη διάρκεια μίας άσκησης, όπως το τρέξιμο. Είναι δηλαδή ο ανώτατος όγκος οξυγόνου που μπορεί να καταναλωθεί από μυϊκά κύτταρα στη μονάδα του χρόνου. Η αύξηση της τιμής του δείκτη αυτού, συνεπάγεται καλύτερη απόδοση στην άσκηση. Κατά τη διάρκεια της άσκησης, τα περιθώρια χρησιμοποίησης οξυγόνου ως καυσίμου αρχίζουν και εξαντλούνται και αρχίζει η συσσώρευση γαλακτικού οξέος. Το σημείο εκείνο όπου χρησιμοποιούνται τα μέγιστα επίπεδα οξυγόνου λόγω της υψηλής έντασης, λίγο πριν αρχίσει να αυξάνεται έντονα η παραγωγή του γαλακτικού οξέος, λέγεται αναερόβιο κατώφλι. Είναι φανερό πως για τη βελτίωση της απόδοσης του, ο αθλητής επιθυμεί να επιβραδύνει την έλευση του κατωφλιού αυτού και να αυξήσει την τιμή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Σε μία μελέτη που έγινε οι Rico-Sanz et al, μελέτησαν 14 συμμετέχοντες οι οποίοι είχαν υψηλό επίπεδο προπόνησης, μετά από μία περίοδο φόρτισης με κρεατίνη (20 γραμμάρια την ημέρα για 5 ημέρες) και ανακάλυψαν μικρότερα επίπεδα αμμωνίας και αυξημένη πρόσληψη οξυγόνου σε άσκηση υψηλής έντασης. (Rico-Sanz et al, 2000).

Μία άλλη μελέτη του Jones et al, παρέχοντας και αυτοί κρεατίνη για 5 ημέρες σε αθλητές διαπίστωσαν μία αύξηση της VO_{2max} και επιπρόσθετα μείωση στη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα σε σχέση με το εικονικό συμπλήρωμα. Η κρεατίνη, επίσης παρουσιάζει αντιοξειδωτικές ικανότητες και αντιφλεγμονώδεις μετά από προπόνηση αντοχής, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του χρόνου ανάκαμψης. (Forbes et al, 2023).



Εικόνα 4. Σύνθεση κρεατίνης από την αργινίνη Πηγή : Volek et al, 2008

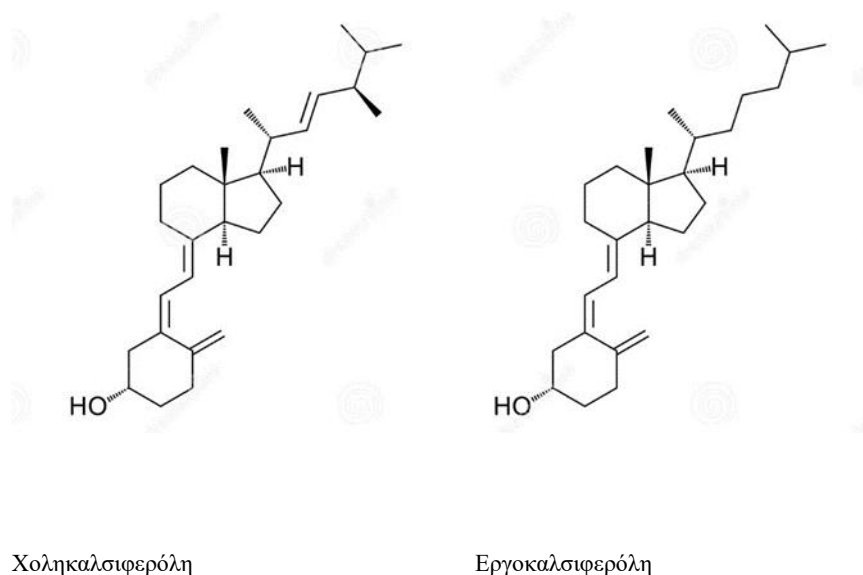
2. BITAMINH D

Η εκτεταμένη φλεγμονώδης απάντηση που προκαλείται λόγω της παρατεταμένης άσκησης θεωρείται ένας από τους κύριους λόγους που περιορίζουν ή και αναχαιτίζουν την αθλητική απόδοση. Προφλεγμονώδεις κυτταροκίνες μπορεί να εμποδίσουν το μεταβολισμό των σκελετικών μυών, καθώς και άλλων ιστών. Μπορεί επίσης να προκαλέσουν φλεγμονή στο κεντρικό νευρικό σύστημα το οποίο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα διαταραχές στην κίνηση και απώλεια συντονισμού των κινήσεων, εκτός από την κατάσταση γενικευμένης φλεγμονής. Πολλές έρευνες δείχνουν πως η βιταμίνη D παίζει σημαντικό αντιφλεγμονώδη ρόλο, καθώς μειώνει τη σύνθεση του παράγοντα νέκρωσης τον όγκων (TNF-α) και της ιντερλευκίνης 6, οι οποίοι αποτελούν ισχυρές προφλεγμονώδεις ουσίες. Αυτό έχει παρατηρηθεί και στα μονοκύτταρα και στα μακροφάγα. (Dawson-Hughes, 2017).

2.1 Σύνθεση της βιταμίνης D

Η βιταμίνη D₃ (χοληκαλσιφερόλη) συντίθεται από την υπεριώδη ακτινοβολία στο δέρμα ή συντίθεται μετά από κατανάλωση συγκεκριμένων τροφών. Η ενεργός μορφή της η 1,25(OH)₂D₃ είναι πολύ σημαντική για την ομοιόσταση του ασβεστίου και των οστών και δρα μέσω της πρόσδεσης στον υποδοχέα της βιταμίνης D (VDR) ο οποίος ανήκει στην υπερ-οικογένεια των

πυρηνικών υποδοχέων. Μέσα από διάφορες επιδημιολογικές και κλινικές μελέτες, έχει παρατηρηθεί μία αρνητική συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων της βιταμίνης D και ασθενειών όπως ο καρκίνος, καρδιαγγειακές παθήσεις, διαβήτης και άλλες. Επίσης, μία ισχυρή συσχέτιση έχει βρεθεί μεταξύ χαμηλών επιπέδων βιταμίνης D και αυξημένων ποσοστών και διάρκειας μυικών πόνων. Επίσης, η βιταμίνη D μπορεί να βελτιώσει τη μυική δύναμη μέσω ενός συγκεκριμένου πυρηνικού υποδοχέα στους μυικούς ιστούς. Πολλές μελέτες έδειξαν πως η χορήγηση βιταμίνης D έχει τη δυνατότητα να βελτιώνει την αθλητική απόδοση και να προστατεύει τους μύες από τους τραυματισμούς και τον καταβολισμό, σε αθλητές που παρουσιάζουν έλλειψη της συγκεκριμένης βιταμίνης. (Kasprowicz et al, 2020), (Mieszkowski et al, 2021).



Εικόνα 5. Η δομή της βιταμίνης D. Πηγή : Mieszkowski et al, 2021

Η βιταμίνη D είναι μία λιπόφιλη προ-ορμόνη η οποία εντοπίζεται σε δύο βιολογικά αδρανείς μορφές, την χοληκαλσιφερόλη (βιταμίνη D₃) και την εργοκαλσιφερόλη (βιταμίνη D₂). Η χοληκαλσιφερόλη είναι η πρωταρχική πηγή της ενδογενούς βιταμίνης D και σχηματίζεται

κάτω από την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας από τον ήλιο, αλληλεπιδρά με την 7-δευδροχοληστερόλη η οποία εντοπίζεται εσωτερικά στις μεμβράνες του πλάσματος και σε όλα τα κύτταρα του δέρματος. Επιπρόσθετα, η βιταμίνη D μπορεί να ληφθεί και μέσω της διατροφής από κάποιες περιορισμένες όμως διατροφικές πηγές. Τα τρόφιμα που περιέχουν βιταμίνη D είναι δυστυχώς ελάχιστα, δυσκολεύοντας την προσπάθεια διατήρησης των επιπέδων της σε ένα στάδιο επάρκειας. Τα μανιτάρια περιέχουν βιταμίνη D₂, ενώ από ζωικές πηγές περιλαμβάνονται τα λιπώδη ψάρια όπως ο σολομός και το σκουμπρί, τα αυγά, το συκώτι. Η βιταμίνη D διαθέτει πρωτεΐνες οι οποίες μεταφέρουν και τη βιταμίνη D₂ και την D₃ στο ήπαρ, όπου εκεί υδροξυλιώνονται, σχηματίζοντας μία αδρανή, αποθηκευτική μορφή της βιταμίνης D (25(OH)D) μέσω της 25-υδροξυλάσης. Στη συνέχεια, η 25(OH)D υφίσταται υδροξυλίωση από τους νεφρούς από το κυτόχρωμα P450 (CYP) και μετατρέπεται στη βιολογικά ενεργή βιταμίνη D (1,25(OH)₂D). Ενώ η πλειοψηφία της ενεργούς βιταμίνης D προέρχεται από τους νεφρούς και άλλοι ιστοί όπως το στήθος και ο προστάτης έχουν την ικανότητα να υδροξυλιώσουν τη βιταμίνη D στην ενεργό μορφή της. Ο ενεργός μεταβολίτης μεταφέρεται μέσω της κυκλοφορίας του αίματος από πρωτεΐνες που δεσμεύουν τη βιταμίνη D καθώς και από επιπλέον λιποπρωτεΐνες. Αυτός είναι και ο λόγος που δίνει στη βιταμίνη D τη δυνατότητα να διαθέτει μία ευρεία ποικιλία λειτουργιών τόσο σκελετικών όσο και έξω-σκελετικών. Η συγκέντρωση της βιταμίνης D ρυθμίζεται μέσω ενός μηχανισμού αρνητικής τροφοδότησης, οι οποίοι μεταβολίζουν την ενεργό βιταμίνη στην ανενεργό μορφή της σε περίπτωση που η συγκέντρωση της υπερβεί τα ανώτατα όρια στον οργανισμό, προκειμένου με αυτό τον τρόπο να αποφευχθεί η τοξικότητα. (Beaudart et al, 2014).

Η βιταμίνη D συντίθεται στο δέρμα μετά από την επίδραση της ακτινοβολίας του ήλιου και μετατρέπεται στη δραστική μορφή 1,25(OH)₂D₃ μέσω δύο αντιδράσεις υδροξυλίωσης. Η βιταμίνη D έχει ενδοκρινείς, παρακρινείς και αυτοκρινείς λειτουργίες. Η ενδοκρινείς δράσεις εστιάζουν κυρίως στον έλεγχο της ομοιόστασης του ασβεστίου στον ορό. Η ενεργός μορφή της βιταμίνης D ελέγχει την έκφραση περίπου 1000 γονιδίων, μεταξύ αυτών και αυτών που κωδικοποιούν τις προφλεγμονώδεις κυτταροκίνες. Ο υποδοχέας της βιταμίνης D εκφράζεται σε πολλούς ιστούς και κύτταρα, όπως τους σκελετικούς μύες, τα μονοκύτταρα, τα μακροφάγα και είναι απαραίτητος για τη μείωση της φλεγμονής. Η έλλειψη της βιταμίνης D έχει συσχετιστεί με διάφορες νοσηρότητες και ασθένειες, ενώ βρέθηκε πως οι αθλητές οι οποίοι παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα βιταμίνης D αυτό μπορεί να είχε αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία τους, στην απόδοση τους στον αγώνα ή στην προπόνηση. (Mieszkowski et al, 2021).

Η έλλειψη της βιταμίνης D στο γενικό πληθυσμό και οι πιθανές επιπτώσεις της για την υγεία έχουν αρχίσει να γίνονται ευρέως γνωστές. Πρόσφατα, έγιναν γνωστές και οι επιπτώσεις της

έλλειψης της βιταμίνης και στους αθλητές σε μελέτες που έγιναν, ενώ διαπιστώθηκε ότι η πλειοψηφία των αθλητών παρουσίαζε έλλειψη βιταμίνης ή και ανεπάρκεια. Το παράδοξο ήταν ότι και αθλητές που δραστηριοποιούνται σε αθλήματα σε εξωτερικούς χώρους όπως τρέξιμο ή ποδηλασία παρουσίαζαν χαμηλές τιμές βιταμίνης. (Dzik et al, 2019).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι προ-φλεγμονώδεις κυτταροκίνες είναι σημαντικοί διαμεσολαβητές της καταστροφής των ιστών. Σε μελέτη που έγινε σε ποντίκια διαπιστώθηκε πως η υψηλής έντασης άσκηση οδηγεί σε αύξηση των φλεγμονωδών κυτταροκινών όπως η ιντερλευκίνη 6 και ο TNF-α από βιοψία που έγινε στον πελματικό μυ. Η χορήγηση βιταμίνης D μείωσε σημαντικά την παραγωγή των φλεγμονωδών αυτών παραγόντων και στα ποντίκια. (Choi et al, 2013).

Από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Ασφάλειας Τροφίμων έχει υποδειχθεί ότι η τοξικότητα της βιταμίνης D προκύπτει όταν ξεπεραστεί η δόση των 10.000 IU ή 250 ng βιταμίνης την ημέρα, ενώ το ανώτατο όριο πρόσληψης βιταμίνης είναι 4.000 IU την ημέρα ή 100ng για άτομα ηλικίας άνω των 18 ετών.

Ο καθορισμός των επιθυμητών επιπέδων της βιταμίνης D στον οργανισμό αποτελούσε θέμα συζήτησης και διαφωνίας για πολλά χρόνια. Το ινστιτούτο ιατρικής πρόσφατα δήλωσε πως το ανώτατο επίπεδο βιταμίνης D στον ορό του αίματος είναι 50 nmol/L, ενώ επαρκές είναι από 30-50 nmol/L και ανεπαρκές κάτω από 30 nmol/L. (Todd et al, 2014).

2.2 Ο ρόλος της βιταμίνης D

Η ενεργός μορφή της βιταμίνης D καταλύει την πρόσληψη του ασβεστίου από το λεπτό έντερο μέσω και ενεργούς μεταφοράς και παθητικής διάχυσης. Σε μελέτες που έγιναν *in vitro* σε ανθρώπινες κυτταρικές σειρές, φάνηκε ότι η βιταμίνη D στην ενεργό της μορφή, προωθεί τη βιοσύνθεση του ασβεστίου στο εντερικό επιθήλιο. Μετά την απορρόφηση του ασβεστίου στο λεπτό έντερο, η ενεργός μορφή της βιταμίνης D (1,25(OH)₂D), αλληλεπιδρά με τα κύτταρα οστεοβλάστες και αυξάνεται η οστεοκλαστογένεση (διαδικασία δημιουργίας οστεοκλαστών). (Wacker and Holick, 2014).

Σε ενήλικες οι οποίοι παρουσιάζουν μεγάλη έλλειψη βιταμίνης D, βιοψίες που έγιναν στους μύες τους έδειξαν ατροφία των μυικών ινών τύπου II, ένα μοτίβο παρόμοιο με αυτό που παρατηρείται στη γήρανση. Έχουν βρεθεί υποδοχείς της βιταμίνης D στους μυϊκούς ιστούς, ο αριθμός των οποίων μειώνεται με την ηλικία. Μία μελέτη έδειξε πως η χορήγηση συμπληρώματος βιταμίνης D οδηγεί σε αύξηση των υποδοχέων βιταμίνης D στους μύες. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει πως πραγματικά η επάρκεια της βιταμίνης D στον ανθρώπινο

οργανισμό είναι πολύ σημαντική, καθώς συμβάλλει στη διατήρηση του μυ και τον προστατεύει από τον καταβολισμό που προκαλείται από διάφορους παράγοντες. (Dawson-Hughes, 2017).

Πολλές κλινικές μελέτες έχουν αποδείξει πως η χορήγηση συμπληρώματος βιταμίνης D σε ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες, οδηγεί σε μείωση της συγκέντρωσης του TNF-α, κάτι που οδηγεί σε βελτίωση της πρόγνωσης τους και του προσδόκιμου ζωής τους. (Schleithoff, et al, 2006).

Το τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων έχει συσχετιστεί με προσαρμοστικές αλλαγές στο σκελετικό μυ όπως η ικανότητα να χρησιμοποιεί το οξυγόνο για την παραγωγή ενέργειας για τη λειτουργία του μυ, καθώς και με μία μείωση στις ανάγκες του για οξυγόνο. Παρατηρούνται επίσης αλλαγές και στους δείκτες μυϊκής καταστροφής και φλεγμονής. Σε μία πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε δρομείς μεγάλων αποστάσεων, φάνηκε μία συσχέτιση μεταξύ της έλλειψης της βιταμίνης D και σε μείωση της απόδοσης τους στο τρέξιμο. Η επάρκεια της βιταμίνης D σε δρομείς μεγάλων αποστάσεων φάνηκε πως δρα ευεργετικά σε σχέση με τις προσαρμογές που πραγματοποιούνται στο μυϊκό σύστημα, κατόπιν συνεχιζόμενης για μεγάλο χρονικό διάστημα προπόνησης που πραγματοποιούν οι αθλητές αυτοί προκειμένου να προετοιμαστούν για τους αγώνες. Φάνηκε δηλαδή πως σε αθλητές που είχαν επάρκεια βιταμίνης το μυϊκό τους σύστημα προσαρμόστηκε πιο αποτελεσματικά και πιο γρήγορα στις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν λόγω της προπόνησης τους. (Mieszkowski et al, 2021).

Πολυάριθμες έρευνες υποστήριξαν τη θεωρία πως οι λειτουργικές απαντήσεις στους σκελετικούς μύες επηρεάζονται από μηχανισμούς στους οποίους επιδρά η δραστική μορφή της βιταμίνης D και η ικανότητα της να προσδένεται στη μεμβράνη των κυττάρων και στους πυρηνικούς υποδοχείς της βιταμίνης D. Η σημασία της βιταμίνης D στη ρύθμιση της ομοιόστασης των οστών και του ασβεστίου είναι γνωστή, αλλά η σημασία της είναι μεγάλη και στους σκελετικούς μύες και στη φλεγμονή που προκαλείται από την άσκηση, τις νευρολογικές λειτουργίες και καρδιαγγειακή υγεία. Έρευνες έχουν δείξει ότι τα επίπεδα βιταμίνης D συσχετίζονται με τη μυϊκή δύναμη στους μαραθωνοδρόμους. Η έλλειψη σε βιταμίνη D αυξάνει τον κίνδυνο για μυοπάθεια και μυϊκή αδυναμία και κόπωση. Καθώς η έλλειψη της βιταμίνης D οδηγεί σε αυξημένα επίπεδα των βιοδεικτών που είναι ενδεικτικοί των μυϊκών τραυματισμών και της μείωσης της αντιοξειδωτικής ικανότητας και της μυϊκής λειτουργίας λόγω της έντονης προπόνησης, θα πρέπει να αναπτυχθούν στρατηγικές για τη διατήρηση επαρκών επιπέδων βιταμίνης. Έχουν γίνει υποθέσεις πως αυξημένα επίπεδα βιταμίνης D πάνω από το όριο (50ng/mL) θα μπορούσαν να συσχετιστούν με θετικές

προσαρμογές των μυών που θα είναι ευεργετικές για τους δρομείς, όπως αυξημένη αεροβική απόδοση, αυξημένη μυϊκή δύναμη και μικρότερο χρόνο αποκατάστασης μετά την προπόνηση ή τον αγώνα. (von Hurst and Beck, 2014).

Διάφοροι μηχανισμοί μπορούν να εξηγήσουν το μειωμένο χρόνο ανάρρωσης των μυών μετά από χορήγηση συμπληρώματος βιταμίνης D. Αρχικά, η μιτοχονδριακή οξειδωτική φωσφορυλίωση αυξάνεται με τη χορήγηση συμπληρώματος βιταμίνης D, γεγονός που συμβάλλει στην ταχύτερη αποκατάσταση. Επιπλέον, η χορήγηση συμπληρώματος βιταμίνης D θα μπορούσε να αυξήσει την αποκατάσταση μέσω αύξησης των εξωκυττάριων πρωτεϊνών. (Barker et al, 2013).

Παρά το γεγονός πως η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη για τη βιταμίνη D για άτομα ηλικίας 9 έως 70 έτη είναι 600 IU, έρευνες έδειξαν πως η δόση που κυμαίνεται μεταξύ 1500-2000 IU είναι απαραίτητη για την αύξηση των επιπέδων της βιταμίνης στα επίπεδα επάρκειας. Καθώς οι πηγές της βιταμίνης D μέσω της διατροφής είναι πολύ λίγες, η έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία συνίσταται να αποφεύγεται, ενώ κάποια άτομα παρουσιάζουν κακή απορρόφηση της, η έλλειψη της στον πληθυσμό αποτελεί σύνηθες φαινόμενο. Η βιταμίνη D επίσης συνδέεται και με το μεταβολισμό του σιδήρου, γεγονός που υποδεικνύει πως έλλειψη της μπορεί να οδηγήσει και σε έλλειψη σιδήρου και σε κόπωση ή αναιμία. Η έλλειψη σιδήρου είναι ένα συχνό φαινόμενο στους δρομείς, ειδικά στις γυναίκες δρομείς, λόγω των αυξημένων αναγκών για παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων και μεταφορά οξυγόνου. (Shoemaker et al, 2022).

B. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός της εργασίας ήταν να μελετηθούν οι επιδράσεις της κρεατίνης και της βιταμίνης D στην απόδοση των δρομέων μεγάλων αποστάσεων, κατά πόσο δηλαδή η χορήγηση αυτών των δυο συμπληρωμάτων μπορεί να ενισχύσει την απόδοση τους και κατά δεύτερον κατά πόσο τα δύο αυτά συμπληρώματα μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της φλεγμονής που προκαλείται από τη συνεχόμενη και επίμονη άσκηση, καθώς και στη μείωση του χρόνου αποκατάστασης των δρομέων μετά από κάποιο αγώνα ή την προπόνηση.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Για την παρούσα ανασκόπηση βιβλιογραφίας χρησιμοποιήθηκαν άρθρα τα οποία αναζητήθηκαν κυρίως από τις ηλεκτρονικές πλατφόρμες Pubmed και Scopus και επιλέχθηκαν περιοδικά τα οποία είχαν υψηλό συντελεστή απόδοσης όπως το Nutrients, ενώ η κύρια γλώσσα ήταν η αγγλική. Η αναζήτηση των άρθρων που χρησιμοποιήθηκαν ως βιβλιογραφία για την παρούσα εργασία έγινε με τη χρήση λέξεων και φράσεων-κλειδιών όπως «creatine supplementation for distance runners, vitamin D supplementation for distance runners, effects of creatine supplementation in performance in runners». Έγινε προσπάθεια να επιλεχθούν άρθρα της τελευταίας δεκαετίας και κυρίως της τελευταίας πενταετίας καθώς δεν υπήρχε εκτενής βιβλιογραφία για τα συμπληρώματα αυτά και την επίδραση τους στους δρομείς.

Ο λόγος που επιλέχθηκαν αυτά τα δύο συμπληρώματα διατροφής είναι πως αρχικά όσον αφορά την κρεατίνη ενώ αποτελεί ένα δημοφιλές συμπλήρωμα για αθλήματα δύναμης και body building, εντούτοις δεν έχει μελετηθεί εκτενώς η επίδραση της σε αθλητές αθλημάτων αντοχής. Η βιταμίνη D επίσης και αυτή είναι μία βιταμίνη που έγινε ευρέως γνωστή τα τελευταία χρόνια καθώς βρέθηκε ότι έχει πολλές ευεργετικές επιδράσεις στον οργανισμό. Όσον αφορά τους αθλητές όμως δεν υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία που να μελετά την επίδραση της στην απόδοση των δρομέων και στην αποκατάσταση τους μετά από το τρέξιμο.

Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Γ.1 ΚΡΕΑΤΙΝΗ

Οι Santos και συνεργάτες ανακάλυψαν πως η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης (20 γραμμάρια την ημέρα για 5 ημέρες), οδήγησε σε μείωση της αύξησης της προσταγλανδίνης E2, του παράγοντα νέκρωσης των όγκων (TNF-α), καθώς και στα επίπεδα της κρεατινικής κινάσης του ορού η οποία αποτελεί δείκτη μυϊκής καταστροφής σε σχέση με το εικονικό συμπλήρωμα σε δρομείς μετά από έναν αγώνα δρόμου 30 χιλιομέτρων. (Santos et al, 2021).

Ο Bassit και συνεργάτες βρήκαν αντίστοιχα μία σημαντική μείωση στην αύξηση του TNF-α, της ιντερφερόνης άλφα, της ιντερλευκίνης 1-β και της προσταγλανδίνης E2 σε ελίτ αθλητές οι οποίοι λάμβαναν συμπλήρωμα κρεατίνης (20 γραμμάρια την ημέρα) για 5 ημέρες πριν την ολοκλήρωση ενός αγώνα half-ironman (1.9 χιλιόμετρα κολύμπι, 90 χλμ ποδηλασία και 21.1 χλμ τρέξιμο) σε σχέση με αυτούς που έλαβαν το εικονικό συμπλήρωμα. (Bassit et al, 2017).

Μία άλλη μελέτη που έκανε ο Deminice et al, όπου χορηγήθηκε συμπλήρωμα κρεατίνης σε δόση 0,3 γραμμάρια ανά κιλό σε μία διπλή τυφλή τυχαιοποιημένη μελέτη όπου οι μισοί συμμετέχοντες έλαβαν την κρεατίνη και οι άλλοι μισοί εικονικό συμπλήρωμα έδειξε τα οφέλη της κρεατίνης και στο σπριντ. Η χορήγηση κρεατίνης για 7 ημέρες μετά από 10

συνεχόμενα σπριντ μείωσε τις τιμές των φλεγμονωδών παραγόντων όπως του TNF- α , της CRP και της LDH. Τα ευρήματα αυτά έδειξαν την αντιφλεγμονώδη δράση της κρεατίνης. (Deminice et al, 2013).

Η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης, επίσης, αυξάνει θετικά και την νευρομυϊκή δραστηριότητα. Σε μία μελέτη με γυναίκες ερασιτέχνες αθλήτριες, η χορήγηση συμπληρώματος κρεατίνης (20 γραμμάρια την ημέρα για μέρες), αύξησε το κατώφλι κόπωσης με βάση το ηλεκτρομυογράφημα κατά 14,5%. (Smith et al, 2014). Η χορήγηση κρεατίνης οδηγεί σε μείωση του ενδομυϊκού γαλακτικού οξέος που συσσωρεύεται κατά την άσκηση και των ιόντων υδρογόνου, μειώνοντας έτσι την έλευση της κόπωσης.

Σε μελέτη που έγινε σε δρομείς οι οποίοι έτρεξαν 30 χιλιόμετρα, φάνηκε πως η ένταση συμπληρώματος κρεατίνης στην καθημερινή τους διατροφή κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας τους για τον αγώνα, είχε σαν αποτέλεσμα να έχουν μικρότερη καταστροφή των μυών, μικρότερη φλεγμονή και μυϊκή κόπωση. Αυτό φάνηκε καθώς πολλοί παράγοντες που επάγουν τη φλεγμονή όπως ο TNF- α , η γαλακτική αφυδρογονάση (LDH), η προσταγλανδίνη E2 (PGE2), μειώνονται μετά τη χορήγηση κρεατίνης. (Santos et al, 2021).

Ένα σημαντικό εργογόνο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε στους σπρίντερς το οποίο αποτυπώθηκε με αύξηση στην ένταση στην αναερόβια άσκηση και με αύξηση στα επίπεδα της αυξητικής ορμόνης. Αυτή η διαφορά στην απόδοση στο σπριντ παρατηρήθηκε μόνο στους δρομείς που πήραν συμπλήρωμα κρεατίνης. (Tyka et al, 2015).

Για αθλήματα αντοχής ελεύθερα από βάρη, μία φάση φόρτισης με κρεατίνη (20 γραμμάρια την ημέρα ή 0,3 γραμμάρια ανά κιλό την ημέρα), χωρισμένη σε 4 ίσα μέρη για 5-7 ημέρες, επαρκεί για την δημιουργία επαρκών αποθεμάτων κρεατίνης στον οργανισμό. Η κρεατίνη μπορεί να προστεθεί ταυτόχρονα ως μέρος της καθημερινής προπόνησης ενός αθλητή στα πλαίσια της αερόβιας άσκησης υψηλής έντασης λόγω της ικανότητας της κρεατίνης να αυξάνει την απόδοση υψηλής έντασης. Κατά τη φάση φόρτισης με κρεατίνη, η κατανάλωση της είναι καλύτερα να γίνεται χρονικά κοντά στην άσκηση, καθώς φαίνεται πως αυτό οδηγεί σε καλύτερη λειτουργία των μεταφορέων της κρεατίνης, ενώ η ταυτόχρονη πρόσληψη και υδατάνθρακα μαζί με την κρεατίνη οδηγεί και σε αύξηση της επανασύνθεσης του γλυκογόνου. (Ribeiro et al, 2019).



Εικόνα 6. Δράσεις της κρεατίνης σε διάφορα συστήματα Πηγή : Ribeiro et al, 2019

Γ.2 BITAMINH D

Σε μία μελέτη που έγινε σε δρομείς όπου για τρεις εβδομάδες δόθηκε συμπλήρωμα βιταμίνης D στη μία ομάδα και εικονικό συμπλήρωμα στην άλλη, μελετήθηκαν οι συγκεντρώσεις συγκεκριμένων βιοδεικτών στους μύες που είναι ενδεικτικοί της μυϊκής καταστροφής καθώς και προ φλεγμονωδών κυτταροκινών. Τα αυξημένα επίπεδα βιταμίνης D φάνηκε ότι είχαν σημαντική θετική επίδραση τόσο στις κυτταροκίνες, όσο και στους βιοδείκτες. Συγκεκριμένα, βρέθηκε μία αρνητική συσχέτιση μεταξύ της αυξημένης συγκέντρωσης της βιταμίνης D και της συγκέντρωσης των βιοδεικτών της μυϊκής καταστροφής. Αυτό φάνηκε καλύτερα μετά από μία περίοδο 24 ωρών. Οι τρεις εβδομάδες χορήγησης συμπληρώματος βιταμίνης είχαν ευεργετική επίδραση σε συγκεκριμένες παραμέτρους της λειτουργίας των σκελετικών μυών, καθώς και σε μείωση του χρόνου αποκατάστασης. Το ιδιαίτερο με αυτή την έρευνα ήταν το γεγονός ότι όλοι οι συμμετέχοντες είχαν επάρκεια βιταμίνης (πάνω από 30 ng/mL), θέλοντας οι ερευνητές να τονίσουν πως η αύξηση των επιπέδων της βιταμίνης πέρα από την επάρκεια συσχετίζεται θετικά με ευεργετικές επιδράσεις για τους δρομείς. (Żebrowska et al, 2018).

Μία άλλη μελέτη που έγινε σε υγιείς δρομείς αντοχής έδειξε την αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ της βιταμίνης D και της συγκέντρωσης του TNF-α και της κρεατινικής κινάσης στο πλάσμα. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη ήταν η συγκέντρωση της βιταμίνης στο αίμα των αθλητών, τόσο μικρότερη ήταν η συγκέντρωση των φλεγμονωδών κυτταροκινών μετά από την προπόνηση. Αντίθετα, στους αθλητές που εμφάνισαν έλλειψη βιταμίνης D, η

φλεγμονώδεις παράγοντες βρέθηκαν σε αυξημένες τιμές μετά από προπόνηση. (Willis et al, 2017).

Σε μία άλλη μελέτη όπου σε 70 αθλητές δόθηκε συμπλήρωμα βιταμίνης D για 8 εβδομάδες σε δόση 50.000 IU την εβδομάδα, ενώ η άλλη ομάδα έλαβε εικονικό συμπλήρωμα, παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στη δύναμη των ποδιών. Επίσης, σε δοκιμασία τρεξίματος σπριντ φάνηκε και εκεί διαφορά με την ομάδα στην οποία χορηγήθηκε το συμπλήρωμα να πηγαίνει καλύτερα σε σχέση με την ομάδα ελέγχου που έλαβε το εικονικό συμπλήρωμα. (Ghazzawi et al, 2023).

Σε μία άλλη έρευνα μελετήθηκε η σχέση της βιταμίνης D με την καρδιοαναπνευστική υγεία και κατά πόσο τα χαμηλά επίπεδα της βιταμίνης στον ορό του αίματος θα μπορούσαν να επηρεάσουν την καρδιοαναπνευστική λειτουργία σε υγιή άτομα. Σε μία διπλά τυφλή κλινική μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε 200 υγιή άτομα, μετρήθηκε η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου VO₂max ενώ οι συμμετέχοντες έτρεχαν στο διάδρομο. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως με κάθε αύξηση της τυπικής απόκλισης της βιταμίνης D, η VO₂max αυξανόταν κατά 2.6 mL/κιλό/λεπτό. Φάνηκε δηλαδή από τα αποτελέσματα πως υπάρχει μία θετική συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων της βιταμίνης D και της καρδιοαναπνευστικής λειτουργίας σε υγιή άτομα, ανεξαρτήτως άλλων παραγόντων όπως η ηλικία, το φύλο ή ο δείκτης μάζας σώματος. Αντίστοιχα, χαμηλά επίπεδα βιταμίνης D οδηγούν σε μειωμένη αεροβική ικανότητα, αύξηση της αρτηριακής πίεσης, μυοκαρδιακή υπερτροφία και δυσλειτουργία στο ενδοθήλιο, ενώ προκαλείται και αύξηση των αγγειακών αντιστάσεων. (Ardestani et al, 2011).

Σε μία άλλη κλινική μελέτη, σε 24 δρομείς υπερ-αποστάσεων χορηγήθηκε συμπλήρωμα βιταμίνης D σε δόση 10.000 IU. Η μία ομάδα δρομέων πήρε τη βιταμίνη, ενώ η άλλη ομάδα πήρε το εικονικό συμπλήρωμα. Μετρήσεις έγιναν πριν και μετά τον αγώνα των 100 χιλιομέτρων. Η βιταμίνη χορηγήθηκε για 2 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση στον TNF-α, στην IL-1b και IL-6, στους δρομείς που είχαν πάρει το συμπλήρωμα βιταμίνης σε σχέση με την ομάδα με το εικονικό συμπλήρωμα. (Pastuszak-Lewandoska et al, 2019).

Δ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα δεδομένα από πολυάριθμες μελέτες δείχνουν πως οι βιταμίνες και τα ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα για την υγεία του αθλητή και την απόδοση του. Τα μικροθρεπτικά είναι απαραίτητα για τη βέλτιστη λειτουργία των μεταβολικών διεργασιών του οργανισμού του ανθρώπου όπως η παραγωγή ενέργειας, η ανάπτυξη των μυών και η αποκατάσταση, όλοι παράγοντες που είναι πολύ σημαντικοί για την αθλητική απόδοση. Η καθημερινή πρόσληψη

των απαραίτητων μικροθρεπτικών στοιχείων είναι απαραίτητη για τους αθλητές το οποίο επιτυγχάνεται με ένα ισορροπημένο διαιτολόγιο το οποίο περιλαμβάνει τρόφιμα από όλες τις ομάδες, ενώ οι αθλητές που δεν μπορούν να καλύψουν μέσω τροφής τις ανάγκες τους μπορούν να πάρουν ένα συμπλήρωμα διατροφής, κατόπιν συνεννόησης με κάποιον ειδικό. (Ghazzawi et al, 2023).

Τα συμπληρώματα διατροφής μπορεί να παίξουν σημαντικό ρόλο στο να βοηθήσουν τους αθλητές να ακολουθούν ένα σωστό διατροφικό πλάνο, πλήρες όλων των θρεπτικών συστατικών. Χωρίς να πάρουν το ρόλο των τροφίμων, μπορούν συμπληρωματικά να πλαισιώσουν τη διαίτα του αθλητή για την αύξηση της απόδοσης του.

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει πως η χρήση της κρεατίνης είναι τόσο αποτελεσματική όσο και ασφαλής και συμβάλλει στη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης και στην επίτευξη των στόχων των αθλητών. Η μελέτη της κρεατίνης είναι εκτεταμένη και μακροχρόνια και έχει αποδειχθεί πως αποτελεί ένα επιτυχημένο εργογόνο συμπλήρωμα. Τα κύρια οφέλη της χορήγησης συμπληρώματος κρεατίνης στους αθλητές είναι αυξήσεις στη δύναμη, στην ταχύτητα, κάποιες αλλαγές στη μυϊκή μάζα των αθλητών οι οποίες τους βοηθούν στο να προπονούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χωρίς την εμφάνιση κόπωσης, με μεγαλύτερη ένταση και με πιο γρήγορη αποκατάσταση. Η υπερφόρτωση με κρεατίνη δεν είναι απαραίτητη. Η χορήγηση μίας μικρότερης δόσης (3-5 γραμμάρια την ημέρα) είναι εξίσου αποτελεσματική για την επαρκή κάλυψη των αποθεμάτων των μυών σε κρεατίνη, χωρίς να δημιουργούνται άλλα προβλήματα ή επιπλοκές.

Καθώς λοιπόν στους δρομείς αλλά και σε όλους τους αθλητές ειδικά τους επαγγελματίες, η μυϊκή αποκατάσταση τους είναι πολύ σημαντική, τόσο στο να γίνει με σωστό τρόπο ολοκληρωμένα, προκειμένου να μην έχουν τραυματισμούς, όσο και να γίνει όσο το δυνατό ταχύτερα για να συμμετέχουν στον επόμενο αγώνα. Η βιταμίνη D, εφόσον έχει αποδειχθεί πως συμβάλλει στη μείωση της εμφάνισης και της συγκέντρωσης των παραγόντων που προκαλούν τη φλεγμονή όπως ο TNF-α θα μπορούσε να αποτελέσει ένα σημαντικό εργογόνο συμπλήρωμα απαραίτητο για τους αθλητές για τη βελτίωση τόσο της αθλητικής τους απόδοσης, όσο και του χρόνου αποκατάστασης τους. Οι μηχανισμοί δράσης με τους οποίους η βιταμίνη D συμβάλλει στη μυϊκή αποκατάσταση των δρομέων είναι, αρχικά, μέσω της μείωσης των προφλεγμονωδών κυτταροκινών που προκαλούν τη φλεγμονή και οι οποίες δημιουργούνται με τη συνεχή άσκηση, καθώς και με τη μείωση συγκεκριμένων βιοδεικτών ενδεικτικών της μυϊκής καταστροφής. Αυτή η μείωση στις συγκεντρώσεις των βιοδεικτών αυτών, φαίνεται πως οδηγεί σε ταχύτερη αποκατάσταση. Οι μελέτες έχουν δείξει, επίσης, πως

η χορήγηση βιταμίνης D οδηγεί σε αύξηση της μυϊκής δύναμης των ποδιών του αθλητή και σε καλύτερη λειτουργικότητα, γεγονότα που συμβάλλουν και σε ταχύτερη αποκατάσταση του αθλητή.

Η σωστή ενημέρωση και εκπαίδευση των αθλητών και των προπονητών τους σχετικά με τη διατροφή και με το πως να οργανώσουν ένα διατροφικό πλάνο για να βελτιστοποιήσουν την απόδοση τους και την αποκατάστασή τους μετά από αγώνα είναι πολύ σημαντικά σημεία με τα οποία ασχολούνται οι διαιτολόγοι. Η χρήση των συμπληρωμάτων διατροφής από τους αθλητές και τον κόσμο που ασχολείται με την άθληση είναι ευρέως διαδεδομένη. Παρά ταύτα η αποτελεσματικότητα και η ασφάλεια κάποιων συστατικών που χρησιμοποιούνται είναι ακόμη αμφισβητήσιμη.

Η κατανόηση αυτών των δεδομένων που αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν παραπάνω είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τους προπονητές και τους ίδιους τους αθλητές καθώς θα τους βοηθήσει στο να σχεδιάσουν καλύτερα την προπόνησή τους, να πάρουν τα κατάλληλα συμπληρώματα που θα τους βοηθήσουν στην επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος και στην βελτίωση της απόδοσής τους κατά τον αγώνα, χωρίς να δημιουργούν στον οργανισμό τους άσκοπους και αχρείαστους τραυματισμούς οι οποίοι εκτός από την αποχή τους από αγώνες μπορεί να τους οδηγήσει και σε πιο σοβαρούς και επικίνδυνους τραυματισμούς.

Οι αθλητικοί διαιτολόγοι και οι διατροφολόγοι πρέπει να γνωρίζουν τα τρέχοντα δεδομένα σχετικά με τη διατροφή, την άσκηση και την απόδοση και να είναι ειλικρινείς σχετικά με την εκπαίδευση των πελατών τους σχετικά με τα αποτελέσματα από διάφορες μελέτες (είτε υπέρ είτε κατά). Επί του παρόντος, υπάρχουν αρκετές παραπλανητικές πληροφορίες που μπορεί να μπερδέψουν το κοινό. Οι αθλητές και οι προπονητές πρέπει επίσης να λαμβάνουν υπόψη τα αποτελέσματα από τις έρευνες των επιστημόνων όταν γίνονται συστάσεις σύμφωνα με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία. (Kerksick et al, 2019).

Η ικανότητα του δρομέα στο να ελαχιστοποιήσει τις επιδράσεις μίας παρατεταμένης αεροβικής άσκησης αυξημένης έντασης όσον αφορά τη χρόνια συστηματική φλεγμονή που θα ακολουθήσει αναπόφευκτα, αποτελεί πιθανότατα έναν από τους καθοριστικούς παράγοντες της απόδοσής του. Όλοι οι συστηματικοί δρομείς μεγάλων αποστάσεων, καθώς και κατά επέκταση όλοι οι αθλητές θα πρέπει να γνωρίζουν το στρες που προκαλούν στον οργανισμό τους λόγω της παρατεταμένης και συστηματικής άσκησης καθώς και τη φλεγμονή που παράγεται. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει να ακολουθούν τις οδηγίες εξειδικευμένων επαγγελματιών, όπως γιατροί και διατροφολόγοι προκειμένου να είναι σε θέση να επιτύχουν το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα και να μεγιστοποιήσουν την απόδοσή τους, έχοντας τις μικρότερες δυνατές επιπτώσεις για τον οργανισμό τους και την υγεία τους. Αυτό θα

μπορούσε να βοηθήσει και στη μείωση του χρόνου αποκατάστασης και στην αποφυγή σοβαρών τραυματισμών που μπορεί να είναι επικίνδυνοι για την υγεία. (Alvez et al, 2022).

Η πρόσληψη της κρεατίνης για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης κατά την περίοδο προετοιμασίας για έναν αγώνα είναι τα 20 γραμμάρια την ημέρα ή 0,3 γραμμάρια ανά κιλό την ημέρα για 5-7 ημέρες πριν τον αγώνα προκειμένου να γίνει φόρτιση των αποθηκών σε κρεατίνη. Για τη μυϊκή αποκατάσταση προτείνεται μία δόση συντήρησης των 5 γραμμαρίων την ημέρα ή 0,03 γραμμάρια ανά κιλό την ημέρα προκειμένου να επιταχυνθεί η αποκατάσταση των μυών και να ελαχιστοποιηθεί η μυϊκή καταστροφή. (Forbes et al, 2023), (Ribeiro et al, 2019), (Santos et al, 2003)

Όσον αφορά τη βιταμίνη D, η γενικότερη σύσταση για τους αθλητές είναι η συγκέντρωση της στο αίμα να είναι άνω των 40 ng/mL. Η δόση συντήρησης για τη μυϊκή αποκατάσταση κυμαίνεται μεταξύ 1.000-2.000 IU την ημέρα, ενώ για τη μεγιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης η δόση της κυμαίνεται από 2.000 IU έως 4000 IU. Ιδανικά, η δόση της βιταμίνης θα πρέπει να εξατομικεύεται στον κάθε αθλητή και να υπάρχει έλεγχος για πιθανή τοξικότητα ή μη επάρκεια της βιταμίνης στον οργανισμό. (Zebrowska et al, 2020), (Willis et al, 2012)

ΠΙΝΑΚΕΣ

Συγγραφείς	Είδος Μελέτης	Σκοπός	Δόση	Απόσταση	Ευρήματα
Santos et al, 2003	Τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή κλινική μελέτη	Μελέτη της επίδρασης της κρεατίνης σε δρομείς	20 γρ για 5 ημέρες	30 χλμ	Μείωση CK, LDH, PGE2, TNF-a
Tyka et al, 2014	Τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή κλινική μελέτη	Μελέτη της επίδρασης της κρεατίνης σε δρομείς	0,07 g ανά κιλό για 6 εβδομάδες	Sprint 400 m 10-42 χλμ	Αύξηση της αυξητικής ορμόνης, του VO2max και μείωση της κορτιζόλης
Bassit et al	Τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή κλινική μελέτη	Μελέτη της επίδρασης της κρεατίνης σε δρομείς	50 γρ την ημέρα για 5 ημέρες	Half ironman	Μείωση των CK, ALD, LDH, GOT, GTP

Deminice et al, 2013	Τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή κλινική μελέτη	Μελέτη της επίδρασης της κρεατίνης σε δρομείς	0,3 g ανά Sprint κιλό για 7 ημέρες		Μείωση των CK, LDH, TNF-a, PGE2
-----------------------------	---	---	------------------------------------	--	---------------------------------

Πίνακας 1. Επίδραση κρεατίνης

Συγγραφείς	Είδος Μελέτης	Σκοπός	Δόση	Απόσταση	Ευρήματα
Willis et al, 2012	Μελέτη παρατήρησης	Μελέτη της επίδρασης της βιτ D σε δρομείς		Πάνω από 30 χλμ την εβδομάδα	Μείωση των TNF-a, IFN-γ, IL-4 και IL-10
Zebrowska et al, 2020	Τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή κλινική μελέτη	Μελέτη της επίδρασης της βιτ D σε δρομείς υπερ-αποστάσεων	2000 IU την ημέρα στο ένα γκρουπ για 3 εβδομάδες	Πάνω από 42 χιλιόμετρα	Μείωση των TNF-a, IL-6, LDH, CK
Ardestani et al, 2011	Τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή κλινική μελέτη	Μελέτη της επίδρασης της βιτ D στη VO2max			Θετική συσχέτιση μεταξύ βιτ D και VO2max
Pastuszak-Lewandoska et al.	Τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή κλινική μελέτη	Μελέτη της επίδρασης της βιτ D σε 24 δρομείς υπερ-αποστάσεων	10000 IU στο ένα γκρουπ για 2 εβδομάδες	100 χλμ	Μείωση των TNF-a, IL-6, IL-1b

Πίνακας 2. Επίδραση βιταμίνης D

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alves MDJ, Silva DDS, Pereira EVM, Pereira DD, de Sousa Fernandes MS, Santos DFC, Oliveira DPM, Vieira-Souza LM, Aidar FJ, de Souza RF. 'Changes in Cytokines Concentration Following Long-Distance Running: A Systematic Review and Meta-Analysis'. (2022). *Front Physiol.*;13:838069. doi: 10.3389/fphys.2022.838069. PMID: 35250639; PMCID: PMC8893166.
2. Ardestani A, Parker B, Mathur S, Clarkson P, Pescatello LS, Hoffman HJ, Polk DM, Thompson PD. 'Relation of vitamin D level to maximal oxygen uptake in adults'. (2011). *Am J Cardiol.* 15;107(8):1246-9. doi: 10.1016/j.amjcard.2010.12.022. Epub 2011 Feb 23. PMID: 21349488; PMCID: PMC4460985.
3. Antonio J, Candow DG, Forbes SC, Gualano B, Jagim AR, Kreider RB, Rawson ES, Smith-Ryan AE, VanDusseldorp TA, Willoughby DS, Ziegenfuss TN. 'Common questions and misconceptions about creatine supplementation: what does the scientific evidence really show?' (2021). *J Int Soc Sports Nutr.* 8;18(1):13. doi: 10.1186/s12970-021-00412-w. PMID: 33557850; PMCID: PMC7871530.
4. Bassit RA, Curi R, Costa Rosa LF. 'Creatine supplementation reduces plasma levels of pro-inflammatory cytokines and PGE2 after a half-ironman competition.' 2008 *Amino Acids.*;35(2):425-31. doi: 10.1007/s00726-007-0582-4. Epub 2007 Oct 4. PMID: 17917696.
5. Beaudart C, Buckinx F, Rabenda V, Gillain S, Cavalier E, Slomian J, Petermans J, Reginster JY, Bruyère O. 'The effects of vitamin D on skeletal muscle strength, muscle mass, and muscle power: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials.' (2014). *J Clin Endocrinol Metab.*99(11):4336-45. doi: 10.1210/jc.2014-1742. Epub 2014 Jul 17. PMID: 25033068.
6. Beis LY, Polyviou T, Malkova D, Pitsiladis YP. 'The effects of creatine and glycerol hyperhydration on running economy in well trained endurance runners'. (2011). *J Int Soc Sports Nutr.* 2011 Dec 16;8(1):24. doi: 10.1186/1550-2783-8-24. PMID: 22176668; PMCID: PMC3283512.

7. Choi M, Park H, Cho S, Lee M. Vitamin D3 supplementation modulates inflammatory responses from the muscle damage induced by high-intensity exercise in SD rats.(2013). *Cytokine*.63(1):27-35. doi: 10.1016/j.cyto.2013.03.018. Epub 2013 May 10. PMID: 23669253.
8. Cooke MB, Rybalka E, Williams AD, Cribb PJ, Hayes A. Creatine supplementation enhances muscle force recovery after eccentrically-induced muscle damage in healthy individuals.(2009). *J Int Soc Sports Nutr.* 2;6:13. doi: 10.1186/1550-2783-6-13. PMID: 19490606; PMCID: PMC2697134.
9. Dawson-Hughes B. Vitamin D and muscle function. (2017). *J Steroid Biochem Mol Biol*.173:313-316. doi: 10.1016/j.jsmb.2017.03.018. Epub 2017 Mar 22. PMID: 28341251.
10. Das M, Karnam A, Stephen-Victor E, Gilardin L, Bhatt B, Kumar Sharma V, Rambabu N, Patil V, Lecerf M, Käsermann F, Bruneval P, Narayanaswamy Balaji K, Benveniste O, Kaveri SV, Bayry J. ‘Intravenous immunoglobulin mediates anti-inflammatory effects in peripheral blood mononuclear cells by inducing autophagy’. (2020). *Cell Death Dis.* 23;11(1):50. doi: 10.1038/s41419-020-2249-y. PMID: 31974400; PMCID: PMC6978335.
11. Deminice R, Rosa FT, Franco GS, Jordao AA, de Freitas EC. ‘Effects of creatine supplementation on oxidative stress and inflammatory markers after repeated-sprint exercise in humans’. (2013). *Nutrition.* 29(9):1127-32. doi: 10.1016/j.nut.2013.03.003. Epub 2013 Jun 22. PMID: 23800565.
12. de Lima Tavares Toscano L, Silva AS, de França ACL, de Sousa BRV, de Almeida Filho EJB, da Silveira Costa M, Marques ATB, da Silva DF, de Farias Sena K, Cerqueira GS, da Conceição Rodrigues Gonçalves M. ‘A single dose of purple grape juice improves physical performance and antioxidant activity in runners: a randomized, crossover, double-blind, placebo study’. (2020). *Eur J Nutr.*59(7):2997-3007. doi: 10.1007/s00394-019-02139-6. Epub 2019 Nov 15.
13. de Sousa CAZ, Sierra APR, Martínez Galán BS, Maciel JFS, Manoel R, Barbeiro HV, de Souza HP, Cury-Boaventura MF. ‘Time Course and Role of Exercise-Induced Cytokines in Muscle Damage and Repair After a Marathon Race’. (2021) *Front Physiol.* 15;12:752144. doi: 10.3389/fphys.2021.752144. PMID: 34721075; PMCID: PMC8554198.
14. Dzik KP, Kaczor JJ. ‘Mechanisms of vitamin D on skeletal muscle function: oxidative stress, energy metabolism and anabolic state’. (2019). *Eur J Appl Physiol.*119(4):825-839. doi: 10.1007/s00421-019-04104-x. Epub 2019 Mar 4. PMID: 30830277; PMCID: PMC6422984.
15. Ghazzawi HA, Hussain MA, Raziq KM, Alsendi KK, Alaamer RO, Jaradat M, Alobaidi S, Al Aqili R, Trabelsi K, Jahrami H. ‘Exploring the Relationship between Micronutrients and Athletic Performance: A Comprehensive Scientific Systematic Review of

- the Literature in Sports Medicine'. (2023) Sports (Basel). 24;11(6):109. doi: 10.3390/sports11060109. PMID: 37368559; PMCID: PMC10302780.
16. Gomasasca M, Banfi G, Lombardi G. 'Myokines: The endocrine coupling of skeletal muscle and bone'. (2020) Adv Clin Chem.94:155-218. doi: 10.1016/bs.acc.2019.07.010. Epub 2019 Aug 8. PMID: 31952571.
 17. Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. 'Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits'. (2019). Front Physiol. 3;10:536. doi: 10.3389/fphys.2019.00536. PMID: 31130877; PMCID: PMC6510035.
 18. Ekblom-Bak E, Björkman F, Hellenius ML, Ekblom B. 'A new submaximal cycle ergometer test for prediction of VO₂max'. (2014). Scand J Med Sci Sports.24(2):319-26. doi: 10.1111/sms.12014. Epub 2012 Nov 6. PMID: 23126417.
 19. Forbes SC, Candow DG, Neto JHF, Kennedy MD, Forbes JL, Machado M, Bustillo E, Gomez-Lopez J, Zapata A, Antonio J. 'Creatine supplementation and endurance performance: surges and sprints to win the race'. (2023).J Int Soc Sports Nutr.20(1):2204071. doi: 10.1080/15502783.2023.2204071. PMID: 37096381; PMCID: PMC10132248.
 20. Jones AW, Davison G. 'Exercise, Immunity, and Illness'. (2019). Muscle and Exercise Physiology. 2019:317–44. doi: 10.1016/B978-0-12-814593-7.00015-3. Epub 2018 Nov 9. PMCID: PMC7149380.
 21. Kasprowicz K, Ratkowski W, Wołyniec W, Kaczmarczyk M, Witek K, Żmijewski P, Renke M, Jastrzębski Z, Rosemann T, Nikolaidis PT, Knechtle B. 'The Effect of Vitamin D3 Supplementation on Hepcidin, Iron, and IL-6 Responses after a 100 km Ultra-Marathon'. (2020). Int J Environ Res Public Health.24;17(8):2962. doi: 10.3390/ijerph17082962. PMID: 32344650; PMCID: PMC7215841.
 22. Kerkick, C.M., Wilborn, C.D., Roberts, M.D. et al. 'ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations'. (2018). J Int Soc Sports Nutr 15, 38 <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>.
 23. Kersch-Schindl K, Thalmann M, Sodeck GH, Skenderi K, Matalas AL, Grampp S, Ebner C, Pietschmann P. 'A 246-km continuous running race causes significant changes in bone metabolism'. (2009). Bone.45(6):1079-83. doi: 10.1016/j.bone.2009.07.088. Epub 2009 Aug 7. PMID: 19665602.
 24. López-Torres O, Rodríguez-Longobardo C, Capel-Escoriza R, Fernández-Elías VE. 'Ergogenic Aids to Improve Physical Performance in Female Athletes: A Systematic Review with Meta-Analysis'. (2022). Nutrients. 24;15(1):81. doi: 10.3390/nu15010081. PMID: 36615738; PMCID: PMC9823656.

25. Mieszkowski J, Brzezińska P, Stankiewicz B, Kochanowicz A, Zolodkiewicz K, Niespodziński B, Reczkowicz J, Kowalik T, Waldziński T, Antosiewicz J. 'Vitamin D Supplementation Influences Ultramarathon-Induced Changes in Serum Amino Acid Levels, Tryptophan/Branched-Chain Amino Acid Ratio, and Arginine/Asymmetric Dimethylarginine Ratio'. (2023) *Nutrients*. 11;15(16):3536. doi: 10.3390/nu15163536. PMID: 37630726; PMCID: PMC10459061.
26. Mieszkowski J, Borkowska A, Stankiewicz B, Kochanowicz A, Niespodziński B, Surmiak M, Waldziński T, Rola R, Petr M, Antosiewicz J. 'Single High-Dose Vitamin D Supplementation as an Approach for Reducing Ultramarathon-Induced Inflammation: A Double-Blind Randomized Controlled Trial'. (2021) *Nutrients*. 13;13(4):1280. doi: 10.3390/nu13041280. PMID: 33924645; PMCID: PMC8069287.
27. Mieszkowski J, Stankiewicz B, Kochanowicz A, Niespodziński B, Kowalik T, Żmijewski M, Kowalski K, Rola R, Bieńkowski T, Antosiewicz J. 'Ultra-Marathon-Induced Increase in Serum Levels of Vitamin D Metabolites: A Double-Blind Randomized Controlled Trial'. (2020). *Nutrients*. 25;12(12):3629. doi: 10.3390/nu12123629. PMID: 33255807; PMCID: PMC7760943.
28. Nieman DC, Mitmesser SH. 'Potential Impact of Nutrition on Immune System Recovery from Heavy Exertion: A Metabolomics Perspective'. (2017) *Nutrients*. 18;9(5):513. doi: 10.3390/nu9050513. PMID: 28524103; PMCID: PMC5452243.
29. Passos BN, Lima MC, Sierra APR, Oliveira RA, Maciel JFS, Manoel R, Rogante JI, Pesquero JB, Cury-Boaventura MF. 'Association of Daily Dietary Intake and Inflammation Induced by Marathon Race'. (2019). *Mediators Inflamm*. 7;2019:1537274. doi: 10.1155/2019/1537274. PMID: 31686980; PMCID: PMC6800895.
30. Pastuszek-Lewandoska, D. Domańska-Senderowska, J. Kiszalkiewicz, P. Szmigielska, A. Snochowska, W. Ratkowski, M. Spieszny, T. Klocek, P. Godlewski, P. Ciężczyk, E. Brzezińska-Lasota, A. V. September & M. J. Laguet. 'Expression levels of selected cytokines and microRNAs in response to vitamin D supplementation in ultra-marathon runners.' (2020). *European Journal of Sport Science*, 20:2, 219-228, DOI: 10.1080/17461391.2019.1635649.
31. Peake JM, Gandevia SC. 'Replace, restore, revive: the keys to recovery after exercise'. (2017). *J Appl Physiol* Mar 1;122(3):531-532. doi: 10.1152/jappphysiol.00086.2017. Epub 2017 Feb 2. PMID: 28153939.
32. Pedersen BK. 'Physical activity and muscle-brain crosstalk' (2017). *Nat Rev Endocrinol*. 15(7):383-392. doi: 10.1038/s41574-019-0174-x. PMID: 30837717.

33. Ribeiro F, Longobardi I, Perim P, Duarte B, Ferreira P, Gualano B, Roschel H, Saunders B. 'Timing of Creatine Supplementation around Exercise: A Real Concern?' (2021) *Nutrients*.19;13(8):2844. doi: 10.3390/nu13082844. PMID: 34445003; PMCID: PMC8401986.
34. Rico-Sanz J, Mendez Marco MT. 'Creatine enhances oxygen uptake and performance during alternating intensity exercise'. (2000) *Med Sci Sports Exerc*. 32(2):379-85. doi: 10.1097/00005768-200002000-00018. PMID: 10694120.
35. Santos RV, Bassit RA, Caperuto EC, Costa Rosa LF. 'The effect of creatine supplementation upon inflammatory and muscle soreness markers after a 30km race'.(2004). *Life Sci*. 3;75(16):1917-24. doi: 10.1016/j.lfs.2003.11.036. PMID: 15306159.
36. Schleithoff SS, Zittermann A, Tenderich G, Berthold HK, Stehle P, Koerfer R. 'Vitamin D supplementation improves cytokine profiles in patients with congestive heart failure: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial.' (2006). *Am J Clin Nutr*.83(4):754-9. doi: 10.1093/ajcn/83.4.754. PMID: 16600924.
37. Shoemaker ME, Salmon OF, Smith CM, Duarte-Gardea MO, Cramer JT. 'Influences of Vitamin D and Iron Status on Skeletal Muscle Health: A Narrative Review'.(2022). *Nutrients*. 29;14(13):2717. doi: 10.3390/nu14132717. PMID: 35807896; PMCID: PMC9268405.
38. Smith RN, Agharkar AS, Gonzales EB. 'A review of creatine supplementation in age-related diseases: more than a supplement for athletes'. (2014). *F1000Res*.15;3:222. doi: 10.12688/f1000research.5218.1. PMID: 25664170; PMCID: PMC4304302.
39. Todd JJ, Pourshahidi LK, McSorley EM, Madigan SM, Magee PJ. 'Vitamin D: recent advances and implications for athletes'. (2015). *Sports Med*.45(2):213-29. doi: 10.1007/s40279-014-0266-7. PMID: 25252613.
40. Tyka AK, Chwastowski M, Cison T, Palka T, Tyka A, Szygula Z, Pilch W, Strzala M, Cepero M. 'Effect of creatine malate supplementation on physical performance, body composition and selected hormone levels in sprinters and long-distance runners'. (2015). *Acta Physiol Hung*. 102(1):114-22. doi: 10.1556/APhysiol.102.2015.1.12. PMID: 25804393.
41. Volek JS. 'Essentials of Creatine in Sports and Health' (2008),. Humana Press Inc. Totowa, New Jersey
42. von Hurst PR, Beck KL. Vitamin D and skeletal muscle function in athletes. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2014 Nov;17(6):539-45. doi: 10.1097/MCO.0000000000000105. PMID: 25137505.

43. Wacker M, Holick MF. 'Sunlight and Vitamin D: A global perspective for health'. (2013). *Dermatoendocrinol.*5(1):51-108. doi: 10.4161/derm.24494. PMID: 24494042; PMCID: PMC3897598.
44. Walsh B, Tonkonogi M, Söderlund K, Hultman E, Saks V, Sahlin K. 'The role of phosphorylcreatine and creatine in the regulation of mitochondrial respiration in human skeletal muscle'. (2001) *J Physiol.* 15;537(Pt 3):971-8. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.00971.x. PMID: 11744769; PMCID: PMC2278998.
45. Willis KS, Smith DT, Broughton KS, Larson-Meyer DE. 'Vitamin D status and biomarkers of inflammation in runners'. (2012). *Open Access J Sports Med.* 27;3:35-42. doi: 10.2147/OAJSM.S31022. PMID: 24198585; PMCID: PMC3781897.
46. Żebrowska A, Sadowska-Krępa E, Stanula A, Waśkiewicz Z, Łakomy O, Bezuglov E, Nikolaidis PT, Rosemann T, Knechtle B. 'The effect of vitamin D supplementation on serum total 25(OH) levels and biochemical markers of skeletal muscles in runners'. (2020). *J Int Soc Sports Nutr.*17(1):18. doi: 10.1186/s12970-020-00347-8. PMID: 32272973; PMCID: PMC7144051.