



Σχολή Επιστημών Τροφίμων – Τμήμα Επιστήμης και
Τεχνολογίας Τροφίμων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Βιοδιαθεσιμότητα Συμπληρωμάτων Διατροφής



ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ
ΧΑΣΑΠΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α.Μ: 18684076

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ
ΚΑΝΕΛΛΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ



Σχολή Επιστημών Τροφίμων - Τμήμα Επιστήμης και
Τεχνολογίας Τροφίμων

Thesis Title

Bioavailability of Dietary Supplements



AUTHORS

CHASAPIS NIKOLAOS R.N: 18684076

NAME OF THE SUPERVISOR

KANELLOU ANASTASIA



Σχολή Επιστημών Τροφίμων-Τμήμα Επιστήμης και
Τεχνολογίας Τροφίμων

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο
'Βιοδιαθεσιμότητα Συμπληρωμάτων Διατροφής' που παρουσιάστηκε από τον ΧΑΣΑΠΗ ΝΙΚΟΛΑΟ
και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

A/A	Όνοματεπώνυμο	Υπογραφή
Επιβλέπων Καθηγήτρια	ΚΑΝΕΛΛΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ	
Μέλος Επιτροπής	ΧΟΥΧΟΥΛΑ ΔΗΜΗΤΡΑ	
Μέλος Επιτροπής	ΤΣΑΚΑΛΗ ΕΥΣΤΑΘΙΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χασάπης Νικόλαος του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 18684076, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής 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 εμένα 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

Χασάπης Νικόλαος



Ευχαριστίες

<< Με το πέρας αυτής της εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Κανέλλου Αναστασία, για την εμπιστοσύνη στην ανάθεση θέματος και την βοήθεια καθ'όλη την διάρκεια της συγγραφής. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου καθώς και την Μαρία, για την συνεχή στήριξη που μου προσέφεραν και την υπομονή που μου έδειξαν σε όλο το ταξίδι των ακαδημαϊκών μου χρόνων>>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συμπληρώματα διατροφής, πλέον, έχουν εδραιωθεί στην καθημερινή διατροφή πολλών ανθρώπων, με μια αγορά και ένα ενδιαφέρον που όλο φαίνεται να αυξάνεται. Αποτελούν πηγή θρεπτικών και άλλων συστατικών και χρησιμοποιούνται για την επίτευξη διατροφικών στόχων, αύξηση απόδοσης καθώς και κλινικά, για την αντιμετώπιση ασθενειών και περιπτώσεων ανεπάρκειας.

Η βιοδιαθεσιμότητα στη διατροφή είναι ένας σημαντικός παράγοντας που όμως συχνά παραβλέπεται από τον μέσο καταναλωτή. Αναφέρεται στο ποσοστό το οποίο ένα θρεπτικό στοιχείο μπορεί να απορροφηθεί από τον οργανισμό και να αξιοποιηθεί από αυτόν, εκφέροντας βιολογικό αποτέλεσμα. Η σύνδεση των συμπληρωμάτων διατροφής με τη βιοδιαθεσιμότητα είναι πολύ σημαντική διότι έτσι καθορίζεται η ποιότητα των συμπληρωμάτων καθώς επίσης εκτιμούνται οι απαραίτητες και κατάλληλες δοσολογίες κάθε φορά.

Στη παρούσα εργασία πραγματοποιείται μια γενική βιβλιογραφική ανασκόπηση στα συμπληρώματα διατροφής, την σημασία τους, που χρησιμοποιούνται και τον σκοπό που εξυπηρετούν καθώς και ποια είδη εμφανίζονται πιο συχνά στα ράφια εμπορικών καταστημάτων. Ακόμα, επεξηγείται η βιοδιαθεσιμότητα, η σημασία της στη διατροφή γενικά καθώς και μέθοδοι μέτρησης και παράγοντες που την επηρεάζουν. Στα επόμενα κεφάλαια πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση για την εκτίμηση της βιοδιαθεσιμότητας, όπου είναι αυτή εφικτή, σε συμπληρώματα διατροφής μακροθρεπτικών συστατικών, όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λίπη · βιταμινών, όπως τις λιποδιαλυτές βιταμίνες A, D, E, K και τις υδατοδιαλυτές βιταμίνες B, C · μετάλλων και ιχνοστοιχείων, όπως ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο, σίδηρο, ψευδάργυρο.

ABSTRACT

Dietary supplements have now become established in the daily diet of many individuals, with a market and interest that seem to be continuously growing. They serve as sources of nutrients and other ingredients, used to achieve nutritional goals, enhance performance, and clinically address deficiencies and diseases.

Bioavailability in nutrition is a critical factor often overlooked by the average consumer. It refers to the proportion of a nutrient that can be absorbed by the body and utilized to exert a biological effect. The connection between dietary supplements and bioavailability is crucial as it determines the quality of the supplements and helps in evaluating the necessary and adequate dosages each time.

In the current study, a general review is conducted on dietary supplements, their importance, usage, and purpose, as well as the types that most commonly appear on commercial store shelves. Furthermore, bioavailability is explained, its significance in nutrition, and the methods of measurement and factors affecting it. The following chapters provide a literature review to assess the bioavailability, where feasible, of dietary supplements of macronutrients such as proteins, carbohydrates, and fats; vitamins, such as fat-soluble vitamins A, D, E, K and water-soluble vitamins B, C; minerals and trace elements, such as calcium, magnesium, potassium, iron, and zinc.

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
Κεφάλαιο 1 ^ο : Βιοδιαθεσιμότητα	12
1.1 Ορισμός.....	12
1.2 Σημασία στη διατροφή.....	14
1.3 Μέθοδοι μέτρησης βιοδιαθεσιμότητας.....	14
1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την βιοδιαθεσιμότητα	17
Κεφάλαιο 2 ^ο : Συμπληρώματα διατροφής.....	21
2.1 Ορισμός.....	21
2.2 Σημασία-Χρήση στη σύγχρονη διατροφή	22
2.3 Πληθυσμιακές ομάδες που χρησιμοποιούν συμπληρώματα.....	23
2.3.1 Αθλητές	23
2.3.2 Εγκυμονούσες και λακτοφορία	24
2.3.3 Παιδιά.....	24
2.3.4 Ηλικιωμένοι.....	24
2.3.5 Άλλες πληθυσμιακές ομάδες.....	25
2.4 Είδη συμπληρωμάτων διατροφής.....	25
2.4.1 Μακροθρεπτικά συστατικά	26
2.4.2 Μικροθρεπτικά συστατικά-Ιχνοστοιχεία	27
2.5 Βιοδιαθεσιμότητα και συμπληρώματα διατροφής.....	28
Κεφάλαιο 3 ^ο : Συμπληρώματα μακροθρεπτικών συστατικών και βιοδιαθεσιμότητα.....	29
3.1 Εισαγωγή	29
3.2 Πρωτεϊνικά συμπληρώματα.....	30
3.2.1 Πρωτεΐνη ορού	32
3.2.2 Καζεΐνη.....	35
3.2.3 Συμπληρώματα κρεατίνης.....	36
3.2.4 Συμπληρώματα αμινοξέων διακλαδισμένης αλυσίδας (BCAA).....	38
3.3 Συμπληρώματα υδατανθράκων.....	40
3.4 Συμπληρώματα λιπαρών οξέων	41
3.4.1 Ωμέγα-3	42

3.4.2 Ωμέγα-6.....	45
Κεφάλαιο 4 ^ο : Συμπληρώματα βιταμινών και βιοδιαθεσιμότητα.....	48
4.1 Εισαγωγή	48
4.2 Λιποδιαλυτές βιταμίνες.....	49
4.2.1 Βιταμίνη Α.....	49
4.2.2 Βιταμίνη D	51
4.2.3 Βιταμίνη Ε.....	53
4.2.4 Βιταμίνη Κ	55
4.3 Υδατοδιαλυτές βιταμίνες.....	57
4.3.1 Βιταμίνη Β.....	57
4.3.2 Βιταμίνη C.....	65
4.4 Πολυβιταμίνες.....	66
Κεφάλαιο 5 ^ο : Συμπληρώματα μετάλλων, ιχνοστοιχείων και βιοαδιαθεσιμότητα	68
5.1 Εισαγωγή	68
5.2 Μέταλλα.....	69
5.2.1 Ασβέστιο	69
5.2.2 Μαγνήσιο	71
5.2.3 Κάλιο	73
5.3 Ιχνοστοιχεία	74
5.3.1 Σίδηρος.....	74
5.3.2 Ψευδάργυρος.....	77
Κεφάλαιο 6 ^ο : Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	78
Βιβλιογραφία	80

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον σύγχρονο κόσμο, όπου ο ρυθμός της ζωής και οι διατροφικές συνήθειες βρίσκονται σε συνεχή μεταβολή, τα συμπληρώματα διατροφής έχουν κερδίσει μία σημαντική θέση στην καθημερινότητα εκατομμυρίων ανθρώπων παγκοσμίως. Στην εποχή διαρκούς ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης προς διατροφικά θέματα, ο μέσος άνθρωπος αρχίζει ολοένα και περισσότερο να αναγνωρίζει την αξία και την συμβολή αυτών στην υγεία, στη μακροζωία και στην ευεξία και τον οδηγεί στην ενσωμάτωση αυτών των προϊόντων στην καθημερινή του διατροφή. Ωστόσο, μια ζωτικής σημασίας πτυχή, που συχνά παραβλέπεται, είναι η βιοδιαθεσιμότητα των δραστικών συστατικών αυτών των συμπληρωμάτων διατροφής, μια έννοια που χρήζει ανάλογης σημασίας όσο και τα ίδια τα συμπληρώματα. Σε αυτή την εργασία θα εξεταστούν οι έννοιες των συμπληρωμάτων διατροφής και της βιοδιαθεσιμότητας, η σύνδεση που έχουν αυτές οι δύο ενώ ταυτόχρονα θα αξιολογηθούν οι παράγοντες και οι τεχνικές που βελτιώνουν ή δυσχεραίνουν την βιοδιαθεσιμότητα των συστατικών.

Τα συμπληρώματα διατροφής, όπως ορίζονται από τους επίσημους ρυθμιστικούς οργανισμούς, είναι προϊόντα που προορίζονται να συμπληρώσουν τη διατροφή και περιέχουν ένα ή περισσότερα διατροφικά συστατικά, όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, βιταμίνες, μέταλλα, ιχνοστοιχεία. Η κατανάλωση αυτών των προϊόντων έχει σκοπό να καλύψει διατροφικά κενά, να ενισχύσει τη διατροφική πρόσληψη συγκεκριμένων συστατικών ή να συμβάλλει στην υγεία και την ευεξία γενικότερα. Ωστόσο, για να επιτευχθούν οι επιθυμητές επιδράσεις, τα συστατικά αυτά πρέπει να είναι βιοδιαθέσιμα, δηλαδή να απορροφώνται και να χρησιμοποιούνται από το σώμα με τον επιθυμητό τρόπο.

Η βιοδιαθεσιμότητα ενός συστατικού αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρο που επηρεάζει την αποτελεσματικότητα των συμπληρωμάτων διατροφής. Αναφέρεται στο ποσοστό του συστατικού που μπορεί πραγματικά να απορροφηθεί από τον οργανισμό και να γίνει διαθέσιμο για την επίτευξη του επιδιωκόμενου κάθε φορά, διατροφικού στόχου. Η φυσική μορφή του συστατικού, ο συνδυασμός των συστατικών, η παρουσία ή απουσία άλλων τροφίμων και οι ατομικές διαφορές στην υγεία και την μεταβολική λειτουργία του καθενός, είναι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τη βιοδιαθεσιμότητα.

Μέσα στο πνεύμα της συνεχούς εξέλιξης, οι ανάγκες μας για διατροφή και υγεία μεταβάλλονται. Η κατανόηση της βιοδιαθεσιμότητας των συστατικών αποτελεί ένα βήμα προς την σωστή κατεύθυνση της εκπλήρωσης αυτών των αναπτυσσόμενων αναγκών, εξασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι επιλογές που κάνουμε σήμερα ωφελούν την υγεία και στο μέλλον.

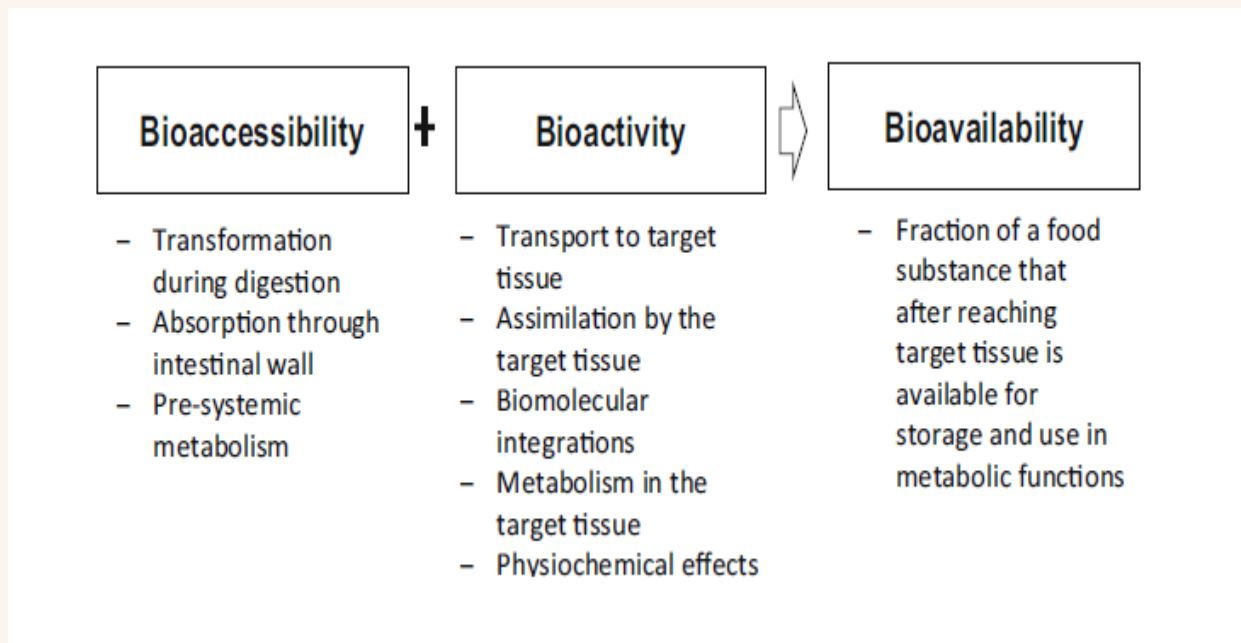
Στη παρούσα εργασία θα αναλυθούν εκτενώς η σημασία των συμπληρωμάτων διατροφής, ποια είναι τα πιο σημαντικά και που συναντιούνται περισσότερο ενώ παράλληλα θα δοθεί μια στοχευμένη μελέτη της βιοδιαθεσιμότητας και των κάθε συστατικών ξεχωριστά, όπου αυτό υφίσταται.

Κεφάλαιο 1^ο: Βιοδιαθεσιμότητα

1.1 Ορισμός

Η έννοια της βιοδιαθεσιμότητας απαντάει σε δύο πτυχές που αφορούν δύο διαφορετικούς κλάδους, αυτούς τη φαρμακολογίας και της διατροφής. Σχετικά με το πρώτο, η βιοδιαθεσιμότητα εμφανίζεται ως υποκατηγορία της απορρόφησης και αναφέρεται στο βαθμό και το ρυθμό με τον οποίο το ενεργό συστατικό ή η ενεργή μονάδα του χορηγούμενου φαρμάκου απορροφάται και φτάνει στη συστηματική κυκλοφορία του αίματος. Στην επιστήμη της διατροφής, ο όρος δανείζεται την σημασία από την φαρμακευτική του παράλληλο αλλά διαμορφώνεται διαφορετικά, όπου βιοδιαθεσιμότητα ορίζεται ως το ποσοστό των θρεπτικών συστατικών που έχουν την δυνατότητα να απορροφηθούν από το γαστρεντερικό σύστημα και να χρησιμοποιηθούν για τις φυσιολογικές λειτουργίες του σώματος. Η κύρια διαφορά των δύο προσεγγίσεων είναι ότι η βιοδιαθεσιμότητα που συναντάμε στη διατροφή, πέρα από κάποιους σταθερούς παράγοντες που θα αναφερθούν παρακάτω, επηρεάζεται και από ευμετάβλητους, όπως η φυσιολογία, οι ανάγκες του κάθε οργανισμού, συγκεκριμένα είδη διατροφής που ενδέχεται να εμποδίζουν ή να επηρεάζουν την πρόσληψη συστατικών, τα ατομικά χαρακτηριστικά που εμφανίζουν μεγάλη διαφοροποίηση στην απορρόφηση των διάφορων ουσιών και άλλα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η βιοδιαθεσιμότητα περιλαμβάνει και επηρεάζεται από την γαστρεντερική πέψη, η οποία απελευθερώνει τα συστατικά από το τροφικό πλέγμα (βιοπροσβασιμότητα), την απορρόφηση από τα επιθηλιακά κύτταρα, τον μεταβολισμό, τη διανομή στους ιστούς και τη βιοδραστικότητα (2). Η βιοπροσβασιμότητα και η βιοδραστικότητα είναι δύο έννοιες που συννοδεύουν την συνολική σημασία της βιοδιαθεσιμότητας, με την πρώτη να χαρακτηρίζει το ποσό ή το τμήμα μιας ουσίας που απελευθερώνεται από το τροφικό πλέγμα στο γαστρεντερικό σωλήνα και γίνεται προσβάσιμο για απορρόφηση. Η δεύτερη δε, αναφέρεται στην ικανότητα μιας ουσίας να εκδηλώσει βιολογικό αποτέλεσμα (Fernandez-Garcia et al. 2009).



Εικόνα 1: Βιοδιαθεσιμότητα, βιοπροσβασιμότητα και βιοδραστικότητα (Hariprasanna, 2020)

Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, ότι η ακριβή μέτρηση της βιοδιαθεσιμότητας είναι ένα δύσκολο εγχείρημα, τόσο για τα συστατικά που λαμβάνονται από την διατροφή, όσο και από αυτά που λαμβάνονται από συμπληρώματα διατροφής με τα οποία ασχολείται και η παρούσα πτυχιακή εργασία. Υπάρχει μια ευκρινής διαφορά μεταξύ της ιατρικής και της διατροφικής προσέγγισης της βιοδιαθεσιμότητας, όπου στη φαρμακολογία εννοείται η απόλυτη βιοδιαθεσιμότητα, ενώ διατροφικά συνήθως εννοείται η σχετική βιοδιαθεσιμότητα, κάνοντας σύγκριση με μια γνωστή πηγή του μετρούμενου κάθε φορά συστατικού. Η απόλυτη μέτρηση της διατροφικής βιοδιαθεσιμότητας βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε περιπτώσεις, όπου ο σκοπός είναι να δοθούν δεδομένα για την οριοθέτηση συγκεκριμένης διατροφικής πρόσληψης, όπως για παράδειγμα στην ικανοποίηση των καθημερινών αναγκών των βιταμινών.

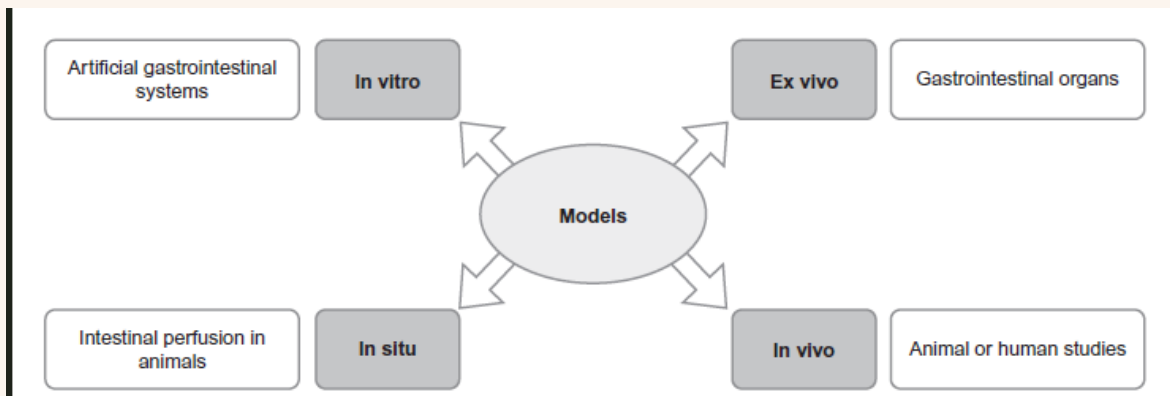
1.2 Σημασία στη διατροφή

Με βάση τα παραπάνω, η σημασία και ρόλος που έχει η βιοδιαθεσιμότητα στη καθημερινή διατροφή γίνεται εύκολα αντιληπτή. Η κατανόηση της διατροφικής βιοδιαθεσιμότητας είναι αναγκαία καθώς επηρεάζει άμεσα την επίδραση και την αποδοτικότητα των διάφορων πηγών συστατικών, όπως τροφές και συμπληρώματα διατροφής, που χρησιμοποιούμε καθημερινά για να επιτύχουμε τους διατροφικούς μας στόχους.

Αν μια θρεπτική ουσία είναι άμεσα και υψηλά βιοδιαθέσιμη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά από το σώμα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για θρεπτικές ουσίες που είναι απαραίτητες για διάφορες σωματικές λειτουργίες, όπως για παράδειγμα το ασβέστιο για την υγεία των οστών ή το σίδηρο για την παραγωγή αίματος. Πάνω σε αυτό βασίζεται και η θεωρία της διαμόρφωσης στοχευμένων διατροφών με τρόπο τέτοιο, ώστε έξυπνα να επιλέγονται τροφές, συμπληρώματα και συνδυασμός αυτών, που να προάγουν και να ενισχύουν την βιοδιαθεσιμότητα των συστατικών που χρήζουν μεγαλύτερης σημασίας κάθε φορά.

1.3 Μέθοδοι μέτρησης βιοδιαθεσιμότητας

Στη προσπάθεια μέτρησης της βιοδιαθεσιμότητας επιστρατεύονται διάφοροι τρόποι και τεχνικές, με τις πιο συνήθεις να είναι οι *in vitro* όσο και *in vivo*, ενώ πιο σπάνια παρατηρούνται και τεχνικές *ex vivo* ή *in situ*. Πιο συγκεκριμένα, *in vitro* τεχνικές περιλαμβάνουν την εργαστηριακή προσομοίωση γαστρεντερικού σωλήνα και της διαδικασίας της πέψης και την χρήση ανθρώπινων εντερικών Caco-2 κυττάρων για την προσομοίωση της απορρόφησης των βιοπροσβάσιμων συστατικών. Οι *in vivo* τεχνικές περιλαμβάνουν μετρήσεις σε ανθρώπους αλλά και σε ζώα, με πολλές τεχνικές να επικεντρώνονται κυρίως στην αύξηση του ποσού της μετρούμενης ουσίας στο πλάσμα ή στις ουρικές εκκρίσεις καθώς και τον ρυθμό εμφάνισης της ουσίας στο πλάσμα, αφού έχει προηγηθεί ραδιενεργός εμπλουτισμός για την εντόπιση του (K. Hariprasanna et al.2020).



Εικόνα 2: Μέθοδοι μέτρησης βιοδιαθεσιμότητας

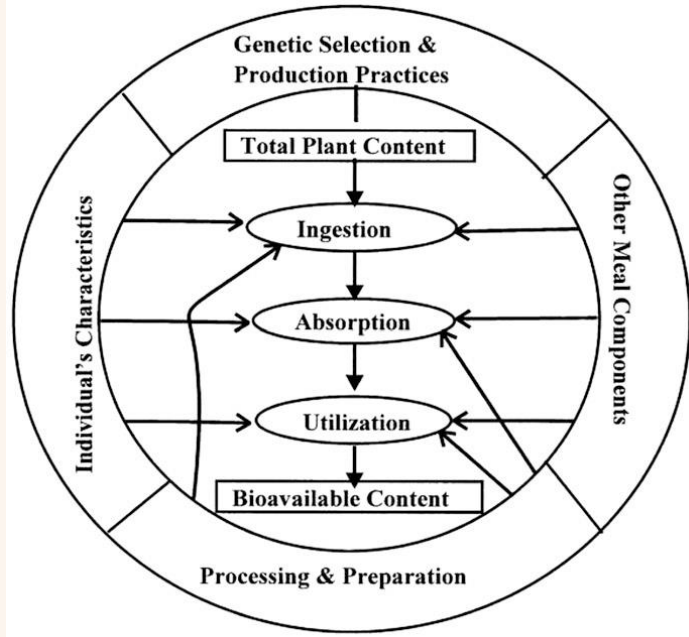
Οι δύο αυτές συνήθειες τεχνικές μέτρησης της βιοδιαθεσιμότητας παρουσιάζουν διαφορετικές προκλήσεις και θετικά. Οι *in vitro* είναι αναμενόμενα πιο οικονομικά προσιτές, πιο άμμεσες και γρήγορες στα αποτελέσματα τους, έχουν την δυνατότητα παραμορφοποίησης και βελτιστοποίησης ενώ είναι κατάλληλες για μεγάλο όγκο μετρήσεων. Τα μοντέλα αυτά ωστόσο υπολλείπονται στην ακριβή προσομοίωση της διαδικασίας της πέψης και της απορρόφησης καθώς δεν υπάρχει, ανθρώπινη αντίδραση, μικροβιακή χλωρίδα, ανοσοποιητικό σύστημα και οι συνθήκες που χρησιμοποιούνται είναι τυποποιημένες χωρίς όμως να έχουν την δυνατότητα να αντιγράψουν πιστά ένα ανθρώπινο σύστημα (2). Αυτοί οι περιορισμοί οδηγούν συνήθως σε αποτελέσματα που απαρτίζονται μόνο από προσεγγίσεις, χωρίς να μπορεί να υπάρχει ακριβής μέτρηση, κάτι το οποίο απαιτεί πολλαπλές μετρήσεις με διαφορετικούς παράγοντες και ταυτόχρονα σύγκριση και επιβεβαίωση με παρόμοιες μελέτες σε *in vivo* καταστάσεις. Οι τελευταίες προϋποθέτουν τη χρήση ανθρώπων και ζώων για να μελετηθεί η βιοδιαθεσιμότητα. Οι πολυπλοκότητες που εμφανίζονται εδώ έχουν να κάνουν με την ακρίβεια και το σε τι βαθμό είναι αντιπροσωπευτικά τα μοντέλα και οι τεχνικές που χρησιμοποιούν ζώα. Παράδειγμα αποτελούν τα ποντίκια και άλλα τρωκτικά, τα οποία χρησιμοποιούνται συχνά και εκτενώς σε διάφορες πειραματικές διαδικασίες. Έχει παρατηρηθεί πως ο μηχανισμός απορρόφησης της β-καροτίνης διαφέρει σημαντικά από αυτό των ανθρώπων (Wood, 2005). Γίνεται, λοιπόν αντιληπτό ότι απαιτείται χρόνος και συνεχής επιβεβαίωση για εξακρίβωση των μοντέλων και τη διεξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων.

Η μέτρηση της βιοδιαθεσιμότητας σε ανθρώπους χρησιμοποιείται κυρίως επιβεβαιωτικά και συνοδευτικά σε αντίστοιχες *in vitro* μεθόδους, για να επαληθεύσει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από εκεί (Santos et al. 2019). Απαιτεί πολύ χρόνο, υλικά, αυστηρό πειραματικό έλεγχο ενώ ενίοτε παρουσιάζει ηθικούς και αναλυτικούς περιορισμούς. Επίσης λόγω της ποικιλομορφίας και της αστάθειας παραγόντων που επηρεάζουν την βιοδιαθεσιμότητα στους ανθρώπους, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, μιλάμε για σχετική μέτρηση της βιοδιαθεσιμότητας, συνήθως μεταξύ διαφορετικών πηγών της ίδιας ουσίας και πιο σπάνια για απόλυτη, καθώς η ακριβής μέτρηση αποτελεί δύσκολο εγχείρημα και βρίσκει εφαρμογή σε λίγες περιπτώσεις, όπως στην αποτελεσματική διαμόρφωση των καθημερινών διατροφικών προσλήψεων (Wood, 2005). Ωστόσο, ανδιαμφισβήτητα, τα πειραματικά μοντέλα στα οποία συμμετέχουν άνθρωποι ως δείγματα και καλύπτουν τις παραπάνω προϋποθέσεις, προσδίδουν αποτελέσματα αληθοφανή και πιο κοντά στην πραγματικότητα, που σε συνδυασμό και με *in vitro* μεθόδους, όπου υπάρχει η ευκολία της επαναληψιμότητας και η παραγωγή πολλών αποτελεσμάτων για σύγκριση, εκπονείται μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση της βιοδιαθεσιμότητας (K.Hariprasanna et al.2020).

1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την βιοδιαθεσιμότητα

Η αποδοτικότητα της διατροφικής βιοδιαθεσιμότητας και η συνεχής προσπάθεια κατανόησης και βελτιστοποίησής της καθορίζεται από διάφορους παράγοντες που την επηρεάζουν σε πολλά επίπεδα. Από την χημική μορφή της ουσίας, την επεξεργασία των τροφίμων μέχρι και διάφορες σωματικές μεταβλητές, όλα συμβάλουν στο τελικό αποτέλεσμα της βιοδιαθεσιμότητας.

(C.J.Bates,1994). Παρακάτω αναλύονται οι πιο σημαντικοί παράγοντες που εμφανίζουν την μεγαλύτερη επιρροή σε αυτή και χρήζουν προσοχής.



Εικόνα 3: Παράγοντες που επηρεάζουν την βιοδιαθεσιμότητα (Graham et al. 2001)

Η χημική μορφή των θρεπτικών συστατικών αποτελεί ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που εμφανίζεται συχνά όταν αναφερόμαστε στην βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών από τροφές ή συμπληρώματα. Συχνό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του αιμικού και μη αιμικού σιδήρου, με την πρώτη μορφή να εμφανίζει μεγαλύτερα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας και καλύτερη απορόφηση, παρόλο που αποτελεί μόλις το 10% με 15% της συνολικής μέσης κατανάλωσης σιδήρου. (K. Hariprasanna et al.2020). Στο πίνακα αναγράφονται μερικά παραδείγματα συστατικών που η βιοδιαθεσιμότητα τους επηρεάζεται από τη χημική μορφή τους.

Nutrient	Forms
Iron	Heme iron (bound in a porphyrin ring) in hemoglobin and myoglobin from meat, poultry, and fish is more readily absorbed than nonheme iron found in foods of plant and animal origin. Bio-availability of iron from fortificants or supplements depends on their chemical form
Selenium	Main food sources of selenium are the organic forms, selenocysteine and selenomethionine. These tend to be better absorbed than the inorganic form of selenium, selenite
Zinc	Organic zinc complexes (e.g., from oysters) are more readily absorbed than inorganic zinc salts
Folate	Polyglutamates (mainly 5-methyl tetrahydrofolate [5MeTHF] in fresh food) are less well absorbed than synthetic monoglutamate form (i.e., folic acid used as fortificant and supplements)
Vitamin B ₆	Free pyridoxine, pyridoxamine (plus phosphorylated forms) in plants and pyridoxal (plus phosphorylated forms in animal foods) are better absorbed than pyridoxine β-D-glucoside in heat-processed milk products
Niacin	Niacin in mature maize is present as niacytin (nicotinic acid esterified to polysaccharides), which is unavailable for absorption

Εικόνα 4:Βιοδιαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και χημική μορφή (Gibson et al. 2007)

Οι τεχνικές επεξεργασίας και μαγειρέματος συμβάλλουν επίσης στη διαμόρφωση της βιοδιαθεσιμότητας, επηρεάζοντας σημαντικά, είτε θετικά είτε αρνητικά, την απορρόφηση των συστατικών από το πεπτικό σύστημα. Απλές καθημερινές τεχνικές όπως χρήση θερμότητας για το μαγείρεμα, το άλεσμα, η χήλωση, το μούλιασμα μέχρι τεχνικές εργοστασιακού επιπέδου όπως η παστερίωση ή η μακροσκελής μικροβιακή ζύμωση παίζουν ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. (Platel and Srinivasan, 2016). Ένα απλό παράδειγμα αποτελεί η επεξεργασία των τροφίμων με θερμότητα, όπου μπορεί να βελτιώσει την βιοδιαθεσιμότητα μειώνοντας και καταστρέφοντας μη-θρεπτικούς παράγοντες, όπως το φυτικό οξύ, που αναστέλλει την απορρόφηση θρεπτικών μετάλλων. Από την άλλη, χρήση θερμότητας σε τροφές που περιέχουν θρεπτικά συστατικά ευαίσθητα στη θερμική επεξεργασία όπως για παράδειγμα η θειαμίνη, η βιταμίνη C και η ριβοφλαβίνη, οδηγεί σε καταστροφή αυτών (Gibson et al. 2006)

Ανασταλτικοί και βελτιωτικοί παράγοντες και οι αλληλεπιδράσεις των συστατικών μεταξύ τους παίζουν κείμερο ρόλο στην βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Ανασταλτικοί παράγοντες, αλλιώς και μη-διατροφικοί παράγοντες, ορίζονται τα συστατικά τροφίμων τα οποία εμποδίζουν ή επηρεάζουν μερικώς της απορρόφηση συγκεκριμένων, κάθε φορά, θρεπτικών συστατικών. (K. Hariprasanna et al.2020). Οι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται αυτό είναι είτε λειτουργώντας ανταγωνιστικά, εμποδίζοντας τα θρεπτικά συστατικά να προσαρτηστούν στους αντίστοιχους μεταφορείς και να περάσουν στη κυκλοφορία του αίματος, είτε αλληλεπιδρώντας χημικά, σχηματίζοντας σχετικά αδιάλυτα συμπλέγματα δυσχεραίνοντας έτσι την απορρόφησή τους (R.J.Wood,2005). Παράδειγμα αποτελεί το φυτικό οξύ που αναφέρθηκε προηγουμένως, όπως επίσης και οι πολυφαινόλες, που σε αυτή την περίπτωση εμποδίζουν την απορρόφηση μεταλλικών στοιχείων καθώς και άλλων συστατικών, όπως πρωτεϊνών, αμύλου και λιπιδίων, δεσμεύοντας και αναστέλλοντας την λειτουργία ενζύμων κρίσιμων για την πέψη αυτών (Gibson et al. 2006).

Nutritional factors	Major dietary sources	Nutritional consequences
Phytate (<i>myo</i> -inositol hexaphosphate)/phytic acid or phytin	Whole legume seeds, cereal grains, high-extraction flour, nuts, oil seeds	Forms insoluble complexes with certain cations in gut regions; results in poor absorption of iron, zinc, calcium, and magnesium
Dietary fiber (e.g., cellulose, hemicellulose, lignin, pectin, cutin, suberin, etc.)	Whole cereal grain products, legumes, nuts, oilseeds, fruits, and vegetables	Lignin and pectin bind to the bile acids thus reducing the absorption of fats, fat-soluble vitamins, and carotenoids. The dietary fibers slow gastric emptying and digestion and absorption of nutrients
Certain tannins and other polyphenolics	Tea, coffee, cocoa, legumes, sorghum (tannin), herbal infusions in general, certain spices (e.g., oregano), and some vegetables like spinach	Form insoluble complexes with iron and inhibit non-heme iron absorption; inactivate thiamin and reduce absorption; bind to certain salivary and digestive enzymes and reduce digestibility of starch, protein, and lipids; interfere with protein digestibility
Oxalic acid	Spinach leaves, rhubarb, amaranth, yam, taro, sweet potato, sesame seeds	Oxalates form insoluble complexes with calcium and iron; reduces absorption

Εικόνα 5:Ανασταλτικοί παράγοντες, προέλευση και επιπτώσεις

Οι βελτιωτικοί παράγοντες ενισχύουν την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών από τα εντερικά κύτταρα με τη δημιουργία ιδανικών συνθηκών ή αντιδρώντας χημικά προς ενίσχυση αυτών. Συχνοί παράγοντες που δρουν βελτιωτικά προς τη βιοδιαθεσιμότητα είναι διάφορα οργανικά οξέα, πρωτεΐνες και λίπη. Παράδειγμα αποτελεί το ασκορβικό οξύ που χαρακτηριστικό του είναι η ένωση και δημιουργία χηλικών ενώσεων με θρεπτικά συστατικά, προσδίδοντας μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα από ότι η ελεύθερη μορφή τους. (Teucher et al. 2004). Η παρουσία λιπαρών ουσιών βοηθάει στη καλύτερη απορρόφηση συνήθως λιποδιαλυτών βιταμινών και καροτενοειδών ενώ ζωικές πρωτεΐνες φαίνεται να έχουν επίδραση στην βιοδιαθεσιμότητα μεταλλικών στοιχείων με τη δημιουργία διαλυτών ενώσεων (Κ. Hariprasanna et al.2020).

Substance	Nutrient	Major dietary sources
Organic/polyoxycarbonic acids (e.g., ascorbic, fumaric, maleic, citric, lactic, acetic, butyric, propionic, formic acids)	Iron and/or zinc	Fresh fruits and vegetables, green leaves, peppers May form soluble ligands with trace minerals like iron and zinc in the gut and enhance absorption Ascorbic acid reduces ferric iron to more soluble ferrous iron, forms iron–ascorbate chelate; enhances non-heme iron absorption
Hemoglobin	Iron	Animal meat
Protein/amino acids (e.g., methionine, cysteine, histidine, and lysine)	Iron and/or zinc	Animal meat; enhance bioavailability of zinc, iron, and copper
Long-chain fatty acids (e.g., palmitate)	Zinc	Human breast milk
Fats and lipids	Vitamin A	Animal fats, vegetable fats; enhance absorption of fat-soluble vitamins and provitamin A carotenoids
Selenium	Iodine	Sea foods, tropical nuts
Iron, zinc	Vitamin A	Animal meats
β -carotene	Iron, zinc	Green and orange vegetables
Inulin and other nondigestible carbohydrates (prebiotics)	Calcium	Chicory, garlic, onion, wheat, Jerusalem artichoke
Fermented/germinated food and condiments	Iron and/or zinc	(Fermentation, germination or cooking of food reduces the amount of phytates)
Caseinophosphopeptides (CPPs)	Iron	Fruit beverage (grape and orange) with added CPPs

Εικόνα 6: Παράγοντες ενίσχυσης βιοδιαθεσιμότητας σιδήρου, ψευδαργύρου και βιταμίνης Α

Τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά είναι επίσης παράγοντες που διαμορφώνουν την βιοδιαθεσιμότητα. Η ηλικία, το φύλο, η διατροφή, το ποιοτικό επίπεδο θρεπτικών συστατικών του καταναλωτή, γενότυπο, η έκκριση υδροχλωρικού και γαστρικού οξέος, η ακεραιότητα και η διαπερατότητα των γαστρικών κυττάρων, μολύνσεις, παθολογίες, ασθένειες, όλα παίζουν σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα απορρόφησης (Gibson, 2007). Απλό παράδειγμα των παραπάνω αποτελεί η μείωση της αποτελεσματικότητας του πεπτικού συστήματος και της παραγωγής γαστρικού οξέος με την ηλικία (Brown, B. 2022). Ακόμα, αλλαγές στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών μπορούν να προκύψουν όταν υπάρχει αυξημένη ανάγκη, όπως για παράδειγμα σε περιόδους κύησης ή θηλασμού, όπου συνήθως επιτυγχάνεται με την αυξημένη εντερική απορρόφηση και τη βελτιωμένη νεφρική διατήρηση των θρεπτικών ουσιών (Krebs, 2001).

Κεφάλαιο 2^ο: Συμπληρώματα διατροφής

2.1 Ορισμός

Τα συμπληρώματα διατροφής είναι προϊόντα που προορίζονται να συμπληρώσουν τη διαίτα και να παρέχουν βασικά θρεπτικά συστατικά που μπορεί να λείπουν ή να είναι ανεπαρκή στην διατροφή κάποιου. Αξιοποιούνται σε ποικίλες μορφές, όπως χάπια, κάψουλες, σκόνες και υγρά, και συνήθως αφορούν βιταμίνες, μέταλλα, αμινοξέα, βότανα ή άλλα βοτανικά. Αν και τα συμπληρώματα διατροφής δεν προορίζονται να αντικαταστήσουν

μια ισορροπημένη διατροφή, μπορούν να βοηθήσουν στη γεφύρωση των διατροφικών κενών και στη στήριξη της συνολικής υγείας και ευεξίας. Παρακάτω αναλύονται οι



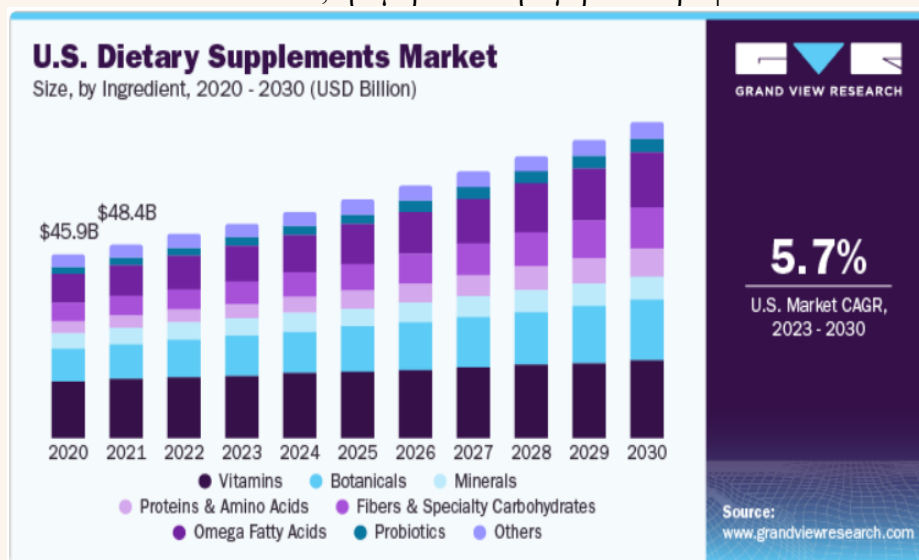
Εικόνα 7: Διάφορα διατροφικά συμπληρώματα

διαφορετικές προσεγγίσεις στον ορισμό των συμπληρωμάτων διατροφής από τις κανονιστικές αρχές των Η.Π.Α και της Ε.Ε.

Σύμφωνα με τον Αμερικάνικο Οργανισμό Φαρμάκων και Τροφίμων (FDA, 1994) ως συμπλήρωμα διατροφής ορίζεται το προϊόν που, μεταξύ άλλων, περιέχει ένα διατροφικό συστατικό όπως βιταμίνες, μέταλλα, αμινοξέα, λιπαρά οξέα και προορίζεται να συμπληρώσει την διατροφή. Η λήψη των προϊόντων αυτών πρέπει να πραγματοποιείται αποκλειστικά από την στοματική οδό για να έχουν την δυνατότητα να ονομάζονται συμπληρώματα διατροφής. Η Ευρωπαϊκή Αρχή Ασφάλειας Τροφίμων, σύμφωνα με την Οδηγία 2002/46/ΕΚ (30.9.2002) ορίζει τα συμπληρώματα ως συμπυκνωμένες πηγές θρεπτικών συστατικών ή άλλων συστατικών με θρεπτική ή φυσιολογική επίδραση, τα οποία παρέχονται σε δοσομετρικές μορφές (χάπι, κάψουλες, δισκία, σκόνη, υγρά). Σε κάθε περίπτωση, ξεκαθαρίζεται πάντα ότι τέτοια προϊόντα πρέπει να επισημαίνονται αυστηρά ως συμπληρώματα και να μην έχουν εγκεκριμένη φαρμακευτική δράση.

2.2 Σημασία-Χρήση στη σύγχρονη διατροφή

Η χρήση συμπληρωμάτων διατροφής έχει αυξηθεί και συνεχίζει να αυξάνει σταθερά παγκοσμίως. Η άμεση ενημέρωση, η διατροφική συνειδητοποίηση των καταναλωτών, η επέκταση των μέσων διανομής μέσω διάφορων διαδικτυακών μορφών καθώς και παράγοντες όπως η αυξανόμενη γενική ευαισθητοποίηση για την υγεία, η γήρανση του πληθυσμού και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την προληπτική υγεία, αποτελούν τους κύριους λόγους για τους οποίους, για παράδειγμα στην Αμερική το 2023, παρατηρήθηκε ότι πάνω από το 74% χρησιμοποιούν συμπληρώματα διατροφής ενώ 55% δηλώνουν συστηματικοί χρήστες αυτών. (Council of Responsible Nutrition, IPSOS poll, 2023). Το ενδιαφέρον για τις θετικές και ευεργετικές ιδιότητες των συμπληρωμάτων διατροφής αυξάνεται σταθερά από το 1970 (Lam et al.2021) κάτι που αποτυπώνεται εύκολα και από τα χρηματικά νούμερα που σημειώνονται κάθε χρόνο από τις αντίστοιχες αγορές παγκοσμίως. Για παράδειγμα, σύμφωνα με το Grand View Research, η αμερικάνικη αγορά διατροφικών συμπληρωμάτων εκτιμήθηκε στα 50.91 δις δολάρια το 2020 και υπολογίζεται να αυξάνεται κατά 5,7% ετησίως, επιβεβαιώνοντας έτσι την αυξανόμενη ανάγκη και το ενδιαφέρον των καταναλωτών.

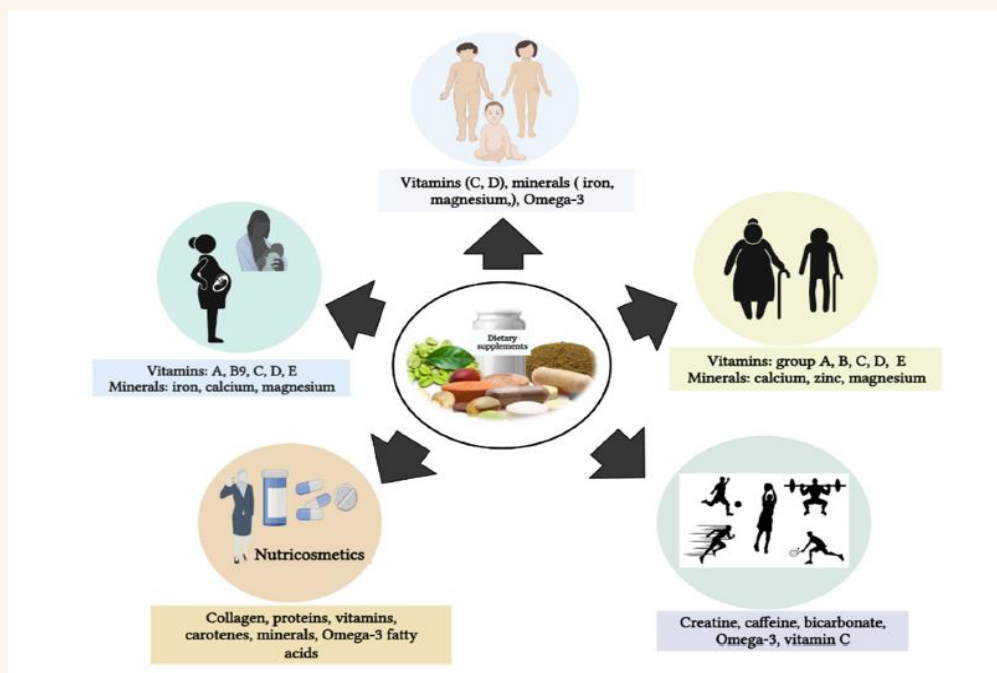


Εικόνα 8: Αμερικάνικη αγορά συμπληρωμάτων διατροφής (GVR)

Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, ιδιαίτερα λόγω αυτής της αύξησης χρήσης συμπληρωμάτων, πρέπει να τονιστεί ότι σε καμία περίπτωση δεν αντικαθιστούν τα τρόφιμα ενώ μια καλή ισορροπημένη διατροφή αποτελεί ακόμα υψίστης σημασίας για την υγεία και την ευεξία του καθενός. Αναγκαία κρίνεται επίσης η ενημέρωση και η σύσταση από επαγγελματίες, όπως διατροφολόγους και άλλες παραϊατρικές ειδικότητες, για την καλύτερη κατανόηση των αναγκών και την καθοδήγηση προς τα σωστά συμπληρώματα.

2.3 Πληθυσμιακές ομάδες που χρησιμοποιούν συμπληρώματα

Τα συμπληρώματα διατροφής απαντούν σε μια μεγάλη γκάμα διαφόρων θρεπτικών συστατικών, που καλύπτουν αντίστοιχα ένα μεγάλο εύρος χρηστών. Οι διαφορετικές διατροφικές ανάγκες των ανθρώπων και η πρόθεση και ανάγκη για κάλυψη αυτών, έχουν δημιουργήσει διαφορετικές πληθυσμιακές ομάδες που φαίνονται πιθανότερες να χρησιμοποιήσουν κάποιο συμπλήρωμα.



Εικόνα 9: Χρήση συμπληρωμάτων από διάφορες πληθυσμιακές ομάδες (Djaoudene, O. et al. 2023)

2.3.1 Αθλητές

Μία από τις πρώτες -δημογραφικές- ομάδες που είναι στενά συνδεδεμένη η χρήση των συμπληρωμάτων διατροφής είναι των αθλητών. Ανεξάρτητα το επίπεδο, επαγγελματικό ή ερασιτεχνικό, υπάρχει ολοένα και περισσότερη κατανάλωση αλλά και εμπιστοσύνη στις θετικές ιδιότητες των συμπληρωμάτων διατροφής, με τις πιο κύριες να βασίζονται στη μείωση του χρόνου ανάρρωσης, τη βελτιστοποίηση δύναμης και έντασης κατά τη διάρκεια της προπόνησης/γυμναστικής, την ισορροπία στις απαιτητικές ανάγκες διατροφής ενώ έχει

παρατηρηθεί και η αύξηση μυικότητας (Rodríguez and Fernandez-García, 2020). Συνολικά, ο στόχος παραμένει η υγεία και η αύξηση της επίδοσης. Τα πιο διαδεδομένα συμπληρώματα που παρατηρούνται είναι πρωτεϊνικής φύσης, κρεατίνη, καφεΐνη, λιπαρά οξέα και σε λιγότερη ποσότητα κάποιες βιταμίνες, όπως η C και η D (Vitale and Getzin, 2019)

2.3.2 Εγκυμονούσες και λακτοφορία

Η λήψη συμπληρωμάτων διατροφής κατά την περίοδο εγκυμοσύνης και θηλασμού είναι συχνό φαινόμενο, με σκοπό την εξισορρόπηση της διατροφής, την ενίσχυση εγκυμονούσων με μεγαλύτερη πιθανότητα διατροφικών ανεπαρκειών η επιπλοκών κατά τη κύηση και γενικά την επιβεβαίωση της γέννησης υγιών βρεφών. Σύμφωνα με την έρευνα στην Αμερική των Jun et al, 2020, παρατηρήθηκε ότι το 50% των εγκυμονούσων γυναικών και το 40% των θηλάζουσων έπαιρναν συμπληρώματα διατροφής κατά την διάρκεια, με τα τρία πιο συχνά συμπληρώματα να είναι το ασβέστιο, το φολικό οξύ και ο σίδηρος.

2.3.3 Παιδιά

Πάντα με τις σωστές δοσολογίες, η χρήση συμπληρωμάτων διατροφής στα παιδιά ακολουθεί παρόμοια στατιστικά με αυτά των ενηλίκων, δείχνοντας αύξηση και συχνή χρήση. Η λήψη διάφορων συμπληρωμάτων και κυρίως πολυβιταμινών και λιπαρών οξέων καθώς και ασβεστίου και σιδήρου, γίνεται με σκοπό την ενίσχυση των οστών και του μυϊκού ιστού κατά τη περίοδο της ανάπτυξης (Smolinske, 2017).

2.3.4 Ηλικιωμένοι

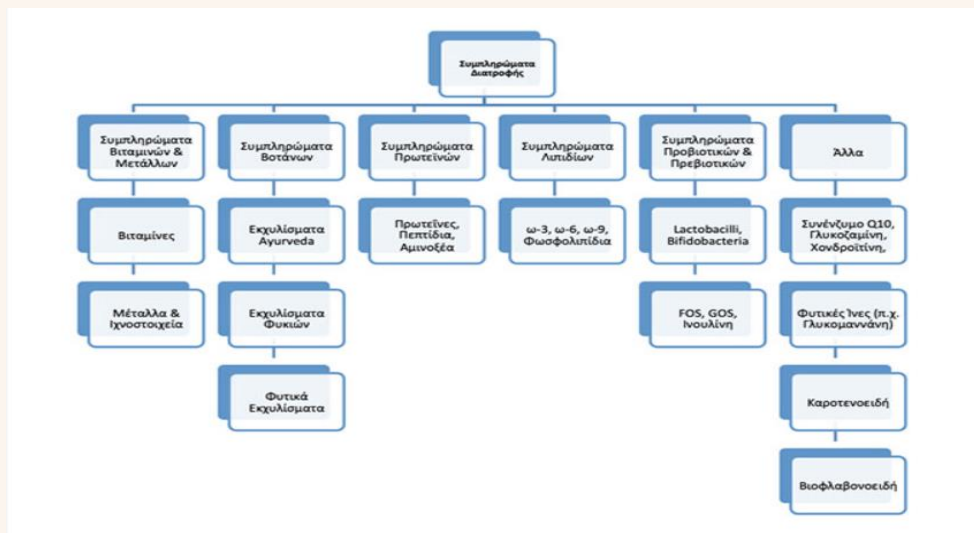
Ο κύριος σκοπός για τη λήψη διατροφικών συμπληρωμάτων από ηλικιωμένα άτομα είναι αφενός η ασφάλεια και η ευεργετικές ιδιότητες που προσδίδουν αλλά και η ανάγκη για περαιτέρω εξισορρόπηση της καθημερινής τους διατροφής, καθώς μελέτες δείχνουν ότι μεγάλο ποσοστό αδυνατεί να εκπληρώσει τις καθημερινές διατροφικές ανάγκες (Sebastian et al. 2007). Ακόμα, κυριαρχεί η πεποίθηση ότι βοηθάνε στη μείωση παθήσεων σχετικές με την ηλικία, στοχεύοντας κυρίως σε νοητικές και καρδιοαγγειακές παθήσεις, ωστόσο κρίνεται απαραίτητη περαιτέρω έρευνα για την εξακρίβωση αυτής της προοπτικής.

2.3.5 Άλλες πληθυσμιακές ομάδες

Υπάρχουν περαιτέρω ομάδες ανθρώπων που επωφελούνται από τη λήψη συμπληρωμάτων διατροφής, με κύρια έμφαση σε αυτούς που μπορεί να εμφανίσουν ανεπάρκειες στη διατροφή τους, είτε λόγω διατροφικών επιλογών είτε από παθήσεις. Παραδείγματα αποτελούν οι περιπτώσεις αναιμίας το οποίο είναι συχνό φαινόμενο σε πολλές γυναίκες, λόγω της απώλειας σιδήρου κατά την έμμηνο ρύση. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) προτείνει, βάση μελετών, την λήψη συμπληρωμάτων σιδήρου για την μείωση της πιθανότητας εμφάνισης αναιμίας. Ακόμα, μελετάται η χορτοφαγική επιλογή διατροφής, όπου μελέτες προτείνουν την χρήση συμπληρωμάτων διατροφής, παραμένοντας ωστόσο ένα θέμα που χρήζει περαιτέρω έρευνας και επιβεβαίωσης (Bakaloudi et al. 2020).

2.4 Είδη συμπληρωμάτων διατροφής

Γίνεται αντιληπτό ότι οι διατροφικές ανάγκες όπως και οι λόγοι που οδηγούν στη χρήση συμπληρωμάτων διατροφής μπορούν να διαφέρουν σημαντικά σε κάθε άνθρωπο. Για την κάλυψη αυτών των αναγκών έχει δημιουργηθεί μια μεγάλη γκάμα διάφορων συμπληρωμάτων. Τα συμπληρώματα διατροφής καλύπτουν όλες τις βασικές κατηγορίες θρεπτικών συστατικών, τόσο σε μακροθρεπτικό όσο και σε μικροθρεπτικό επίπεδο, με τις πιο σημαντικές και χρησιμοποιημένα συμπληρώματα να αναλύονται στις παρακάτω ενότητες.



Εικόνα 10: Αντιπροσωπευτικά συμπληρώματα διατροφής

2.4.1 Μακροθρεπτικά συστατικά

Στα μακροθρεπτικά συστατικά συγκαταλέγονται όλα εκείνα τα συστατικά που παρέχουν ενέργεια στον οργανισμό και διακρίνονται σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λίπη. Υπάρχουν πολλά σημαντικά συμπληρώματα διατροφής που στοχεύουν στην ενίσχυση της καθημερινής πρόσληψης αυτών των συστατικών.

Η πρωτεΐνη είναι απαραίτητη για την δόμηση και την επιδιόρθωση των μυϊκών ιστών, την υποστήριξη του ανοσοποιητικού και την διεργασία ενζυματικών διαδικασιών. Πολύ συχνά πρωτεϊνικά συμπληρώματα αποτελούν η απομονωμένη πρωτεΐνη ορού γάλακτος, μίγμα ελεύθερων αμινοξέων, ή απομονωμένα αμινοξέα όπως η κρεατίνη και η καζεΐνη.

Οι υδατάνθρακες λειτουργούν ως την κύρια πηγή ενέργειας του σώματος και αξιοποιούνται στις πολύ έντονες δραστηριότητες, καθώς επίσης παίζουν σημαντικό ρόλο στις διεργασίες του εγκεφάλου. Τα κύρια συμπληρώματα υδατανθράκων περιέχουν δεξτρόζη, μαλτοδεξτρίνη και φρουκτόζη.

Τα λίπη προσφέρουν την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε ενέργεια από τα τρία θρεπτικά μακροσυστατικά και εξυπηρετούν σε διάφορες λειτουργίες όπως στην ενίσχυση της κυτταρικής δομής και λειτουργίας, στην διαχείριση των ορμονών και στην καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Τα πιο διαδεδομένα συμπληρώματα λιπαρών οξέων εμπεριέχουν ωμέγα-3 και ωμέγα-6.

2.4.2 Μικροθρεπτικά συστατικά-Ιχνοστοιχεία

Τα μικροθρεπτικά συστατικά, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) είναι βιταμίνες, μέταλλα και ιχνοστοιχεία που αποτελούν απαραίτητες ουσίες στη διατροφή του ανθρώπου και δεν συνθέτονται από τον οργανισμό. Απαιτούνται σε πολύ μικρές ποσότητες αλλά η έλλειψη τους μπορεί να προκαλέσει σοβαρές παθήσεις. Η σημασία τους έγκειται σε ένα εύρος λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένου του να επιτρέπει στο σώμα να παράγει ένζυμα, ορμόνες και άλλες ουσίες που χρειάζονται για τη φυσιολογική ανάπτυξη.

Στις βιταμίνες συγκαταλέγονται οι λιποδιαλυτές βιταμίνες Α, D, E και Κ καθώς και οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες C και οι βιταμίνες του συμπλέγματος Β.

Τα μέταλλα και τα ιχνοστοιχεία αποτελούνται από μη οργανικές ενώσεις με τις πιο διαδεδομένες και σημαντικές να είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και το κάλιο.

Τα συμπληρώματα των μικροθρεπτικών συστατικών είναι ίσως τα πιο πολυχρησιμοποιημένα στο κόσμο των συμπληρωμάτων. Ιδιαίτερως διάσημες επιλογές αποτελούν τα συμπληρώματα βιταμίνης D, C και πολυβιταμινούχα καθώς και μαγνησίου, ασβεστίου, σιδήρου και ψευδαργύρου.

2.5 Βιοδιαθεσιμότητα και συμπληρώματα διατροφής

Η βιοδιαθεσιμότητα παίζει ένα καθοριστικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα των διατροφικών συμπληρωμάτων. Αναφέρεται ουσιαστικά στο ποσοστό του θρεπτικού συστατικού που απορροφάται και χρησιμοποιείται από το σώμα μετά την κατανάλωση. Η κατανόηση και η βελτιστοποίηση της βιοδιαθεσιμότητας είναι ζωτικής σημασίας διότι επηρεάζει άμεσα το βαθμό με τον οποίο το σώμα μπορεί να αξιοποιήσει και να επωφεληθεί από τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στα συμπληρώματα διατροφής. Ένα συμπλήρωμα μπορεί να περιέχει υψηλά επίπεδα απαραίτητων βιταμινών, μετάλλων ή άλλων θρεπτικών συστατικών, αλλά αν αυτά τα θρεπτικά συστατικά δεν διοχετευτούν αποτελεσματικά στην κυκλοφορία του αίματος και χρησιμοποιηθούν από τα κύτταρα και τα ιστούς, οι δυνητικά θεραπευτικές τους επιδράσεις μειώνονται. Επομένως, η μέγιστη βιοδιαθεσιμότητα εξασφαλίζει ότι τα θρεπτικά συστατικά από τα διατροφικά συμπληρώματα απορροφώνται αποτελεσματικά, οδηγώντας σε βελτιωμένη διατροφική υποστήριξη και καλύτερα αποτελέσματα υγείας.

Επιπλέον, είναι ουσιώδους σημασίας να ληφθεί υπόψη η βιοδιαθεσιμότητα για τον σχεδιασμό διατροφικών συμπληρωμάτων που παρέχουν αξιόπιστα και συνεπή οφέλη για την υγεία. Διαφορετικά θρεπτικά συστατικά εκδηλώνουν διαφορετικούς βαθμούς βιοδιαθεσιμότητας βάσει παραγόντων όπως η χημική μορφή, η φόρμουλα και οι αλληλεπιδράσεις με άλλες ουσίες. Μέσω της κατανόησης αυτών των παραγόντων, οι κατασκευαστές μπορούν να αναπτύξουν συμπληρώματα με βελτιστοποιημένες φόρμουλες και μεθόδους για να βελτιώσουν τη βιοδιαθεσιμότητα. Αυτό μπορεί να συμπεριλαμβάνει την επιλογή συγκεκριμένων μορφών θρεπτικών συστατικών ή το συνδυασμό θρεπτικών συστατικών με ενισχυτικά που βελτιώνουν την απορρόφηση. Δίνοντας προτεραιότητα στη βιοδιαθεσιμότητα κατά τον σχεδιασμό συμπληρωμάτων, οι κατασκευαστές μπορούν να εξασφαλίσουν ότι οι καταναλωτές λαμβάνουν τα μέγιστα διατροφικά οφέλη από τα προϊόντα τους, προωθώντας τη συνολική υγεία και ευεξία.

Κεφάλαιο 3^ο: Συμπληρώματα μακροθρεπτικών συστατικών και βιοδιαθεσιμότητα

3.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο εμβαθύνει στις συγκεκριμένες τιμές βιοδιαθεσιμότητας διαφόρων συμπληρωμάτων διατροφής που περιέχουν μακροθρεπτικά συστατικά—πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες. Η βιοδιαθεσιμότητα είναι ένα κρίσιμο μέτρο για το πόσο αποτελεσματικά αυτά τα θρεπτικά συστατικά απορροφώνται και χρησιμοποιούνται από τον οργανισμό, καθορίζοντας την πραγματική διατροφική τους αξία. Κάθε μακροθρεπτικό συστατικό παίζει ζωτικό ρόλο στη διατήρηση της υγείας, με πρωτεΐνες που υποστηρίζουν την επισκευή και ανάπτυξη των μυών, τα λιπίδια που παρέχουν απαραίτητα λιπαρά οξέα και ενέργεια και τους υδατάνθρακες που χρησιμεύουν ως πρωταρχική πηγή ενέργειας. Η κατανόηση της βιοδιαθεσιμότητας αυτών των συμπληρωμάτων είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους στην παροχή αυτών των κρίσιμων θρεπτικών συστατικών.

Παρακάτω θα αναλυθούν τα πιο κύρια συμπληρώματα διατροφής από κάθε κατηγορία, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων συμπληρωμάτων. Αυτή η ανάλυση θα περιλαμβάνει απόλυτες τιμές βιοδιαθεσιμότητας, όπου υπάρχουν, καθώς και συγκρίσεις διαφορετικών σκευασμάτων συμπληρωμάτων και των αντίστοιχων τιμών βιοδιαθεσιμότητάς τους, βοηθώντας στην πληροφόρηση και στην εκπόνηση καλύτερων διατροφικών επιλογών και συστάσεων συμπληρωμάτων

3.2 Πρωτεϊνικά συμπληρώματα

Τα συμπληρώματα πρωτεΐνης έχουν βρει τη θέση τους στα πιο πολυχρησιμοποιημένα συμπληρώματα τόσο μεταξύ αθλητών όσο και ανθρώπων που γυμνάζονται ενεργά, καθώς αποσκοπούν στην βελτίωση της διαδικασίας την μυϊκής σύνθεσης (Philips 2012). Ένας σημαντικός παράγοντας που τα συμπληρώματα αυτά έχουν γίνει τόσο διαδεδομένα είναι η ευκολία παροχής των 9 απαραίτητων αμινοξέων που δεν συντίθενται από θηλαστικά και ως εκ τούτου είναι διαιτητικά απαραίτητα. Αυτά είναι η βαλίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, θρεονίνη, ιστιδίνη, λυσίνη, μεθιονίνη, τρυπτοφάνη και η φαινυλαλανίνη (RDA, 1989). Οι ποιοτικές διαφορές που μπορεί να προκύψουν μεταξύ διαφορετικών πρωτεϊνικών συμπληρωμάτων έγκεινται στην ικανότητα αυτών να καλύψουν επαρκώς το προφίλ των απαραίτητων αμινοξέων. Η ποιότητα αυτών ωστόσο μετρείται με συγκεκριμένες μεθόδους που υποδεικνύουν την αποτελεσματικότητά τους, λαμβάνοντας υπόψη και την βιοδιαθεσιμότητα αυτών των αμινοξέων από τα καταναλισκόμενα συμπληρώματα.

Σχετικά με τις μεθόδους μέτρησης ποιότητας των πρωτεϊνών, θα αναλυθούν συνοπτικά οι δύο κύριες μέθοδοι καθώς και ορισμένες βοηθητικές. Ο λόγος αυτού είναι ότι στη προσπάθεια καταγραφής της βιοδιαθεσιμότητας των πρωτεϊνικών συμπληρωμάτων μπορεί να χρειαστεί η επίκληση σε αυτές, για περαιτέρω κατανόηση. Επίσης είναι σημαντικό να γίνει ξεκάθαρο ότι η απόλυτη βιοδιαθεσιμότητα στα συμπληρώματα πρωτεΐνης δεν έχει πρακτική σημασία, τόσο λόγω των ασταθών παραγόντων που την επηρεάζουν καθώς και λόγω του ότι ο κύριος σκοπός αυτών των συμπληρωμάτων είναι η προαγωγή της μυϊκής σύνθεσης. Είναι συνετό λοιπόν να εξαγάγουμε τα συμπεράσματα περί βιοδιαθεσιμότητας πάνω σε αυτές τις βάσεις.

Η πρωταρχική κύρια μέθοδος είναι η διορθωμένη ως προς την πεπτικότητα βαθμολογία αμινοξέων ή αλλιώς PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) η οποία υιοθετήθηκε από τον FDA και τον WHO το 1993. Αναφέρεται στις πρωτεΐνες, που μετά την πέψη, αποδίδουν ένα συγκεκριμένο ποσοστό των απαραίτητων αμινοξέων ανά μονάδα πρωτεΐνης, με το 100% να είναι ένα πλήρες προφίλ αμινοξέων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται διότι βασίζεται τόσο στις ανθρώπινες ανάγκες όσο και στη δυνατότητα πέψης των αμινοξέων.

Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της παραπάνω μεθόδου έχει αναθεωρηθεί και αμφισβητηθεί πολλές φορές. Στην προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα εγκυρότερο μοντέλο για την ταξινόμηση της ποιότητας των πρωτεϊνών, η Διεθνής Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization) πρότεινε τον Μάρτιο του 2013 την μέθοδο DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score). Η μέθοδος αυτή, σε αντίθεση με την PDCAAS, μετράει μόνο την πέψη των αμινοξέων στο τέλος του λεπτού εντέρου(ειλεό), οδηγώντας σε πιο έγκυρα αποτελέσματα.

Συμπληρωματικά των προαναφερθέντων υπάρχουν κάποιοι ακόμη δείκτες:

- Βιολογική αξία: Αποτελεί δείκτη της αναλογίας απορροφούμενης πρωτεΐνης προς την πρωτεΐνη που εν τέλει ενσωματώνεται στις πρωτεΐνες του οργανισμού, υποδεικνύοντας την διαθεσιμότητα χρήσης των πρωτεϊνών που έχουν υποστεί πέψη, προς σύνθεση μυϊκής μάζας. Η μέθοδος αυτή υποθέτει ότι η πρωτεΐνη είναι η μοναδική πηγή αζώτου για τον οργανισμό και μετράει το απορροφούμενο άζωτο σε σχέση με το άζωτο που αποβάλλεται.

- Καθαρή χρήση πρωτεΐνης ή Net Protein Utilization (NPU): Δείχνει το ποσοστό του προσλαμβανόμενου αζώτου που κατακρατείται στο σώμα. Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με την βιολογική αξία, ωστόσο περιλαμβάνει μια άμεση μέτρηση της κατακράτησης του αζώτου από τον οργανισμό

Σε φυσιολογικές συνθήκες, όταν οι πεπτικές δυνατότητες δεν έχουν επηρεαστεί από αρνητικούς παράγοντες, ο κύριος καθοριστικός άξονας της πεπτικής βιοδιαθεσιμότητας είναι η μορφή της πρωτεΐνης καθώς και το τροφικό σύμπλεγμα στο οποίο βρίσκεται. Όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό κομμάτι για την κατανόηση της βιοδιαθεσιμότητας των πρωτεϊνών είναι η μέτρηση της πέψης στο τέλος του λεπτού εντέρου, τον ειλεό, καθώς εκεί τα αμινοξέα περνάνε στην συστηματική κυκλοφορία του αίματος. Τα αμινοξέα που φθάνουν στο παχύ έντερο υφίστανται ζύμωση ή μετασχηματίζονται μερικώς σε άλλα αμινοξέα ή μεταβολίτες όπως αμμωνία, αζωτούχα μόρια, ινδόλες και άλλα (Pillai et al. 2023)

Η βιοδιαθεσιμότητα αναφέρεται σε τρεις κύριες ιδιότητες των τροφίμων που επηρεάζουν την ποσότητα ενός αμινοξέος που μπορεί να αξιοποιηθεί από τον οργανισμό. Αυτές οι ιδιότητες είναι:

1. Η ικανότητα του οργανισμού να αφομοιώσει ένα αμινοξύ, που ονομάζεται πεπτικότητα.
2. Η χημική ακεραιότητα του αμινοξέος, δηλαδή το κατά πόσο το αμινοξύ παραμένει σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφού απορροφηθεί.
3. Η απουσία ουσιών στο τρόφιμο που θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν τον μεταβολισμό του αμινοξέος, επηρεάζοντας έτσι την αξιοποίησή του.

Από τις τρεις αυτές ιδιότητες, η πεπτικότητα είναι συνήθως η μεγαλύτερη πηγή διαφοροποίησης στη βιοδιαθεσιμότητα των αμινοξέων.

3.2.1 Πρωτεΐνη ορού

Τα συμπληρώματα πρωτεΐνης ορού αποτελούν τα πιο διαδεδομένα πρωτεϊνικά συμπληρώματα μεταξύ αθλητών και ανθρώπων που ασκούνται, καθώς έχει καίριο ρόλο στη ανάπτυξη μυϊκής μάζας και στην προαγωγή της μυϊκής σύνθεσης (Pasiakos et al.2015)

Ο ορός γάλακτος είναι παραπροϊόν που προκύπτει ως αποτέλεσμα της διαδικασίας που χρησιμοποιείται για να φτιαχτεί το τυρί στη βιομηχανία των γαλακτοκομικών. Αποτελεί το 20% του γάλακτος και αποτελεί το υγρό προϊόν που παράγεται όταν το γάλα πήξει και στραγγιστεί για να γίνει τυρί (Pillai et al, 2023).

Υπάρχουν διάφορα είδη συμπληρωμάτων ορού γάλακτος, με τα πιο κοινά να είναι τα whey protein concentrate και whey protein isolate. Οι διαφορές του είναι στο τρόπο παραγωγής τους, όπου περαιτέρω επεξεργασία όπως υπερφιλτράρισμα και ξήρανση οδηγούν τον απλό ορό γάλακτος σε προϊόντα concentrate, με ποσοστά από 25% έως 90% καθαρής πρωτεΐνης, ενώ πρόσθετες διαδικασίες, όπως επιλεκτική έκλυση ή χρωματογραφία ανταλλαγής ιόντων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω παραγωγή ενός πιο καθαρού και κλασματοποιημένου προϊόντος απομονωμένου ορού γάλακτος που περιέχει 90% και πάνω καθαρή πρωτεΐνη. (Fernando Naclerio & Marcos Seijo 2019). Τα συμπληρώματα ορού γάλακτος βρίσκονται σε μορφή σκόνης.



Εικόνα 11: Συμπλήρωμα ορού γάλακτος σε μορφή σκόνης

Όπως προαναφέρθηκε, η βιοδιαθεσιμότητα σχετικά με τα συμπληρώματα ορού γάλακτος εμπεριέχει πολλούς παράγοντες που την απαρτίζουν, μεταξύ των οποίων είναι η δόση, η πέψη, η απορρόφηση και η αξιοποίηση από το σώμα. Επίσης δεν έχει νόημα να καταγραφεί η απόλυτη βιοδιαθεσιμότητα του ορού γάλακτος καθώς πέρα από την μυϊκή σύνθεση, οι πρωτεΐνες μπορεί να οξειδωθούν προς ενέργεια ή άλλους μεταβολίτες, που αποτελούν δευτερεύοντες διεργασίες που δεν είναι επιθυμητές. Επομένως η βιοδιαθεσιμότητα εδώ θα καταγραφεί παραπλήσια, με μεθόδους που επικεντρώνονται στην πέψη και την απορρόφηση, σχετιζόμενες και με την ποιότητα του προφίλ αμινοξέων.

Οι μέθοδοι PDCAAS και DIAAS είναι οι πιο κοινώς χρησιμοποιούμενοι για να γίνει αναφορά στην βιοδιαθεσιμότητα του ορού γάλακτος από συμπληρώματα διατροφής. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλαπλές έρευνες, καταλήγοντας ότι η πρωτεΐνη ορού γάλακτος επιτυγχάνει το ύψιστο σκορ του 1.0, τόσο η συμπυκνωμένη (concentrate) όσο και η απομονωμένη (isolate) (Philips, 2016). Ωστόσο η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ελαττώματα, καθώς το σκορ οποιασδήποτε πηγή πρωτεΐνης ξεπερνάει τα όρια της αντίστοιχης πηγής πρωτεΐνης που χρησιμοποιεί η PDCAAS στρογγυλεύεται στο 1.0, διευκρινίζοντας αόριστα έτσι την πραγματική ποιότητα και δυνατότητα πέψης και χρήσης αυτής. Επίσης η PDCAAS προσμετράει το αμμωνιακό περιεχόμενο των κοπράνων στην μέτρησή της, ενώ η πραγματική απορρόφηση των αμινοξέων που χρησιμοποιούνται πραγματοποιείται στον ειλεό. Αυτά τα προβλήματα τα αντιμετωπίζει η πιο σύγχρονη μέθοδος DIAAS (Pillai et al, 2023). Επομένως, όπως διακρίνεται στον πίνακα της εικόνας 12, τα αντίστοιχα σκορ της συμπυκνωμένης και απομονωμένης πρωτεΐνης είναι 0.97 και 1.09, (Philips, 2016)(Rutherford, 2014), υποδεικνύοντας την ποιότητα του προφίλ αμινοξέων και την μεγάλη δυνατότητα της πέψης στον ειλεό.

Protein source	PDCAAS	DIAAS
Whey PI	1.00	1.09
Whey PC	1.00	0.97
Soy PI A	1.00	0.91
Soy PI B	0.98	0.90
Pea P	0.89	0.82
Rice PC	0.42	0.37

Εικόνα 12: PDCAAS και DIAAS διάφορων πρωτεϊνικών πηγών (Philips, 2016)

Στη συνέχεια, το σχετικό σκορ βιολογικής αξίας της πρωτεΐνης ορού γάλακτος είναι 104, ενώ το NPU είναι 92 (Hoffman, 2004).

Protein Type	Protein Efficiency Ratio	Biological Value	Net Protein Utilization	Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score
Beef	2.9	80	73	0.92
Black Beans	0		0	0.75
Casein	2.5	77	76	1.00
Egg	3.9	100	94	1.00
Milk	2.5	91	82	1.00
Peanuts	1.8			0.52
Soy protein	2.2	74	61	1.00
Wheat gluten	0.8	64	67	0.25
Whey protein	3.2	104	92	1.00

Εικόνα: 13 Βιολογική αξία και npu scores ορού γάλακτος και άλλων πηγών πρωτεΐνης (Hoffman, 2004)

Τέλος πρέπει να αναφερθεί πώς η πρωτεΐνη ορού γάλακτος θεωρείται πηγή πρωτεΐνης “ταχείας δράσης” καθώς εμφανίζει την μεγαλύτερη απορρόφηση g/h σχετικά με άλλες πρωτεΐνες. Σύμφωνα με την έρευνα του Boirie et al. η πρωτεΐνη ορού γάλακτος απορροφάτε με ταχύτητα 8-10 g/h. Ωστόσο, σύμφωνα με την έρευνα Areta et al 2013, βρέθηκε ότι, η κατάποση απομονωμένης πρωτεΐνης ορού γάλακτος σε δόσεις των 20 γραμμαρίων ανά γεύμα, εμφάνισε την αποδοτικότερη διέγερση μυϊκής σύνθεσης σε σχέση με διαφορετικές δοσολογίες ίδιας συνολικής ποσότητας, κάτι που ερμηνεύεται εν τέλει και ως η βέλτιστη δόση για την επίτευξη της μεγαλύτερης βιοδιαθεσιμότητας, πρώτου οι πρωτεΐνες να οξειδωθούν προς ενέργεια ή να σχηματίσουν ουρία και άλλα οργανικά οξέα. Ωστόσο, περαιτέρω έρευνα είναι απαραίτητη για να ποσοτικοποιηθεί ένα συγκεκριμένο ανώτατο όριο για την πρόσληψη πρωτεΐνης ανά γεύμα.

3.2.2 Καζεΐνη

Η καζεΐνη αποτελεί και αυτή πρωτεΐνη γάλακτος, καταλαμβάνοντας το υπόλοιπο 80% στο αγελαδινό γάλα. Τα συμπληρώματα καζεΐνης έχουν αρχίσει και αποκτούν όλο και περισσότερη δημοτικότητα καθώς πέρα από το εξαιρετικό προφίλ αμινοξέων που διαθέτουν, αντίστοιχο των πρωτεϊνών ορού γάλακτος, ερευνάται και η ευεργετική τους ιδιότητα στους αθλητές και τους αθλούμενους ως συμπλήρωμα πριν τον ύπνο, λόγω του τρόπου με τον οποίο αξιοποιείται από τον οργανισμό.

Το χαρακτηριστικό των συμπληρωμάτων καζεΐνης σε σχέση με τα συμπληρώματα ορού γάλακτος είναι ότι θεωρείται πρωτεΐνη βραδείας δράσης ή διάσπασης, καθώς η καζεΐνη είναι αδιάλυτη στο νερό και πήζει, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε έναν μηχανισμό αργής απελευθέρωσης αμινοξέων τα οποία διατηρούνται σε αυξημένα επίπεδα στο σώμα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Cambel et al. 2007). Αυτό έχει σαν αρνητικό ότι, σαν συμπλήρωμα μετά την άσκηση, δεν προσφέρει άμεσα τα απαραίτητα αμινοξέα στον οργανισμό, ωστόσο σαν συμπλήρωμα πριν τον ύπνο φαίνεται να βοηθάει στην ανάκαμψη, στο μεταβολισμό της πρωτεΐνης και στην απόδοση στην άσκηση (Kim, 2020)

Σχετικά με την κατανόηση της βιοδιαθεσιμότητας των συμπληρωμάτων καζεΐνης θα αναφερθούμε, όπως και προηγουμένως, σε μεθόδους διάκρισης ποιότητας πρωτεϊνών και κυρίως στην δυνατότητα πέψης. Έτσι λοιπόν, όπως και με την πρωτεΐνη ορού γάλακτος, η καζεΐνη επιτυγχάνει σκορ PDCAAS 1.0 ενώ σκορ DIAAS έχει 1.45 (Guillin et al. 2023). Ωστόσο, σχετικά με την βιολογική αξία και το NPU η καζεΐνη εμφανίζει νούμερα μικρότερα από αυτά της πρωτεΐνης ορού γάλακτος. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και απο την εικόνα 13, οι τιμές BV και NPU είναι 77 και 76 αντίστοιχα, σύμφωνα με το Εγχειρίδιο Αναφοράς για τα Προϊόντα Ορού Γάλακτος των ΗΠΑ, 2η Έκδοση, 1999. Πιο σύγχρονες έρευνες έχουν δείξει τιμές NPU να είναι 71,2 (Guillin et al. 2023). Η διαφορά στα νούμερα της βιολογικής αξίας και της NPU μεταξύ πρωτεΐνης ορού γάλακτος και καζεΐνης είναι αναμενόμενη, καθώς η αργή διάσπαση των πρωτεϊνών και η συνεχής τροφοδότηση της συστημικής κυκλοφορίας με απαραίτητα αμινοξέα δεν εμφανίζει μεγάλη αρχική αύξηση στα αμινοξέα του πλάσματος, το οποίο αποτελεί παράγοντα για τις τιμές της βιολογικής αξίας και του NPU.

Επίσης σχετικά με την απορρόφηση της καζεΐνης, σύμφωνα πάλι με την έρευνα του Boirie et al, βρέθηκε ότι η μέγιστη απορρόφηση της καζεΐνης φτάνει τα 6,1 g/h και μπορεί να διαρκέσει έως και 7 ώρες μετά την κατάποση, κάνοντας την ιδανική για καταστάσεις όπου επιθυμείται μια παρατεταμένη απελευθέρωση αμινοξέων, όπως πριν τον ύπνο, για να υποστηριχθεί η σύνθεση πρωτεΐνης κατά τη διάρκεια της νύχτας και να μειωθεί η διάσπαση της μυϊκής πρωτεΐνης. Επίσης λόγω της αργής διάσπασης, δεν προωθείται η οξείδωση των αμινοξέων προς ενέργεια όπως στην πρωτεΐνη ορού γάλακτος, οδηγώντας σε μια συνολικά θετική ισορροπία πρωτεϊνών-αμμωνίας στο σώμα (Bilborough-Mann, 2006) το οποίο είναι επιθυμητό και υποδεικνύει ότι τα συμπληρώματα καζεΐνης μπορούν να χαρακτηριστούν ως πιο βιοδιαθέσιμα για μεγαλύτερες δοσολογίες σε σχέση με τα συμπληρώματα πρωτεΐνης ορού. Περαιτέρω έρευνα απαιτείται για την ποσοτικοποίηση της ακριβούς μέγιστης δοσολογίας καζεΐνης που μπορεί να απορροφήσει το ανθρώπινο πεπτικό σύστημα σε ένα γεύμα, ωστόσο οι συστάσεις φαίνεται να προτείνουν έως 40g.

3.2.3 Συμπληρώματα κρεατίνης

Η κρεατίνη βρίσκεται κυρίως στους σκελετικούς μύες, ενώ μικρότερες ποσότητες βρίσκονται στον εγκέφαλο, στα νεφρά και στο ήπαρ (Kreider, Jung, 2011). Είναι ένα πολύ διαδεδομένο συμπλήρωμα που χρησιμοποιείται συχνά από αθλητές, καθώς παρουσιάζει πολλά θετικά ενώ ακόμα δεν έχουν βρεθεί αρνητικές συνέπειες (Miller et al. 2013). Τα οφέλη από τη συμπλήρωση με κρεατίνη στην απόδοση περιλαμβάνουν: (α) αυξημένη κυτταρική ενέργεια για σύντομες εκρήξεις άσκησης υψηλής έντασης, (β) βελτιωμένη μεταφορά ενέργειας στα μυϊκά κύτταρα και (γ) μεγαλύτερη ικανότητα ρυθμιστικού διαλύματος, οδηγώντας σε λιγότερη κόπωση και ταχύτερη ανάκαμψη μετά από έντονη άσκηση (Kreider et al. 1998).

Πρέπει να σημειωθεί πως η κρεατίνη δεν αποτελεί ακριβώς αμινοξύ καθώς δεν χρησιμεύει ως δομικό στοιχείο των πρωτεϊνών, ωστόσο είναι παράγωγο αμινοξέων καθώς συντίθεται ενδογενώς από τα αμινοξέα αργινίνη, γλυκίνη και μεθειονίνη (Kreider et al. 2022). Η κρεατίνη στα συμπληρώματα συντίθεται με τεχνικό τρόπο, από μια χημική αντίδραση μεταξύ της σαρκosίνης και του κυαναμιδίου. Η πιο συχνή μορφή που συναντάται στα συμπληρώματα διατροφής είναι η μονοϋδρική κρεατίνη σε μορφή σκόνης.

Βάση πολλαπλών ερευνών, η μονοϋδρική κρεατίνη είναι η πιο αποτελεσματική και βιοδιαθέσιμη μορφή πρωτεΐνης σε συμπληρώματα διατροφής σε σχέση με άλλες μορφές, πετυχαίνοντας ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας από 95% έως 100%, σχετικά με δόσεις χορηγούμενες στοματικά [(Harris et al. 1992)(Jager et al. 2011)(Persky et al.2003)(Dedlicque et al.2007)]. Η βιοδιαθεσιμότητα μετριέται συνήθως με τον υπολογισμό της περιοχής μιας καπύλης σε ένα διάγραμμα με μεταβλητές την συγκέντρωση στο πλάσμα και τον χρόνο. Μια έρευνα του Alraddadi et al. 2018 έρχεται να αντικρούσει ό,τι είναι γνωστό για την βιοδιαθεσιμότητα της μονοϋδρικής κρεατίνης, προτείνοντας ότι οι πεποιθήσεις περί βιοδιαθεσιμότητας κοντά στο 100% είναι λανθασμένες, υποδुकνειοντας πως η βιοδιαθεσιμότητα είναι εξαρτώμενη απο την δόση, υποστηρίζοντας ότι για μια δόση των 5g που θεωρείται η συνιστώμενη, η βιοδιαθεσιμότητα είναι μόλις 16%. Επίσης εξετάζει και καταλήγει ότι μια διαφορετική μορφή κρεατίνης που επίσης συνανταται σε συμπληρώματα, η CrHCL (Υδροχλωρική κρεατίνη), μπορεί να είναι εως και 37 φορές πιο βιοδιαθέσιμη απο την αντίστοιχη μονοϋδρική. Τα αποτελέσματα αυτά εμφανίζουν μεγάλο ενδιαφέρον και περαιτέρω έρευνα με χρήση διαφορετικών μοντέλων απαιτούνται για να επιβεβαιώσουν αυτά τα νούμερα. Ωστόσο για την εκπόνηση αυτών των αποτελεσμάτων οι πειραματικές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν με αρουραίους, όπου είναι γνωστό πως υπάρχουν διαφορές στον μεταβολισμό και την αποθήκευση της κρεατίνης σε σύγκριση με το ανθρώπινο σύστημα (Kreider 2003) και επομένως η σύγκριση των αποτελεσμάτων σε ανθρώπινο επίπεδο είναι αβάσιμη, απαιτώντας την ίδια έρευνα σε ανθρώπινα δείγματα.



Εικόνα: 14 Συμπλήρωμα κρεατίνης και χημικός τύπος

3.2.4 Συμπληρώματα αμινοξέων διακλαδισμένης αλυσίδας (BCAA)

Τα διακλαδισμένα αμινοξέα (BCAAs) είναι μια ομάδα τριών απαραίτητων αμινοξέων: λευκίνη, ισολευκίνη και βαλίνη. Ονομάζονται "διακλαδισμένα" λόγω της χημικής τους δομής, η οποία περιλαμβάνει μια διακλαδισμένη πλευρική αλυσίδα.

Τα συμπληρώματα BCAA αποτελούν έως και σήμερα μια από τις πιο κερδοφόρες πλευρές στη βιομηχανία των συμπληρωμάτων με πάνω από 1.45 δις έσοδα ετησίως (Global Market Insights). Ωστόσο η αποτελεσματικότητά τους και εν γένει, η χρηστικότητα τους ως συμπληρώματα αμφισβητείται ακόμη, καθώς δεν υπάρχουν βάσιμες έρευνες που να αποδυναμώνουν τα ευρήματα που υπόσχεται η βιομηχανία (Wolfe et al. 2017). Η κύρια ιδέα των BCAAs είναι ότι τα τρία αυτά αμινοξέα και κυρίως η λευκίνη αποτελούν πρόδρομο για τη σύνθεση μυϊκής πρωτεΐνης, καθώς επίσης κατέχουν ρόλο ρυθμιστή στη σήμανση νέων και διαφορετικών μονοπατιών στην διαδικασία την μυϊκής σύνθεσης (Blomstrand et al. 2006). Οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για να συσχετίσουν την σημασία των συμπληρωμάτων BCAA με την μυϊκή σύνθεση και την σύνθεση πρωτεΐνης αναδεικνύουν την αύξηση στη σύνθεση μυϊκής πρωτεΐνης ωστόσο είτε 1) στις έρευνες αυτές χρησιμοποιήθηκαν ως πειραματικά μοντέλα αρρουνταίοι, όπου το ποσοστό σκελετικών μυών είναι πολύ μικρότερο από αυτό των ανθρώπων και συνεπώς τα αποτελέσματα δεν μεταφέρονται αυτούσια για τα ανθρώπινα δεδομένα (Buse 1982 και Kobayashi et al. 2006) και 2) είτε οι έρευνες πραγματοποιήθηκαν με ενδοφλέβια έγχυση και όχι με λήψη μέσω της στοματικής οδού, όπου είναι το αναμενόμενο από αυτά τα συμπληρώματα καθώς βρισκονται σε μορφή σκόνης. Στις τελευταίες έρευνες δε, το συνολικό αποτέλεσμα ήταν ότι υπήρξε ουσιαστικά μείωση στην συνολική απόδοση σύνθεσης πρωτεΐνης (Louard et al. 1990 και 1995).

Η βιοδιαθεσιμότητα των συμπληρωμάτων αμινοξέων διακλαδισμένης αλυσίδας δεν θα μελετηθεί. Αυτό συμβαίνει διότι:

- 1) Έως την παρούσα στιγμή, δεν υπάρχουν έρευνες που να στοχεύουν συγκεκριμένα στη βιοδιαθεσιμότητα αυτών.
- 2) Ο χαρακτηρισμός της βιοδιαθεσιμότητας μόνο για αυτά τα τρία αμινοξέα είναι πολύ δύσκολος , καθώς δεν είναι δυνατή η ακριβής μέτρησης τους. Επίσης, συνηθίζεται να συνδυάζεται με άλλα συμπληρώματα, όπως πρωτεΐνης ορού γάλακτος, όπου περιέχονται ήδη BCAA. Ο μόνος τρόπος μέτρησης είναι η επιστροφή αποτελέσματος σε μυϊκή σύνθεση και στην αύξηση της αναβολικής περιόδου, κάτι το οποίο επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και δεν είναι εφικτή η πειραματική του μέτρηση για συγκεκριμένα αμινοξέα.
- 3) Η άφθονη διαθεσιμότητα όλων των απαραίτητων αμινοξέων (EAAs) είναι προαπαιτούμενο για τη σημαντική διέγερση της σύνθεσης μυϊκής πρωτεΐνης. Η σύνθεση μυϊκής πρωτεΐνης θα περιοριστεί αν υπάρχει έλλειψη διαθεσιμότητας των υπόλοιπων απαραίτητων αμινοξέων.
- 4) Δεν υπάρχει βάσιμη έρευνα που να υποστηρίζει την αυτούσια συμβολή των συμπληρωμάτων αυτών στην σύνθεση μυϊκής πρωτεΐνης επομένως δεν έχει νόημα να γίνει έρευνα στη βιοδιαθεσιμότητα τους.

3.3 Συμπληρώματα υδατανθράκων

Τα συμπληρώματα υδατανθράκων είναι εξειδικευμένα προϊόντα σχεδιασμένα για να παρέχουν μια συμπυκνωμένη πηγή υδατανθράκων, οι οποίοι αποτελούν κύρια πηγή ενέργειας για το σώμα. Αυτά τα συμπληρώματα διατίθενται σε διάφορες μορφές, όπως σκόνες, ζελέ, ποτά και μπάρες, κάθε μία από τις οποίες είναι προσαρμοσμένη για να ικανοποιήσει διαφορετικές ανάγκες και προτιμήσεις. Ο κύριος σκοπός των συμπληρωμάτων υδατανθράκων είναι να προσφέρουν γρήγορη και αποδοτική ενέργεια, ιδιαίτερα για άτομα που ασχολούνται με παρατεταμένες ή έντονες σωματικές δραστηριότητες. Βοηθούν στη διατήρηση των βέλτιστων επιπέδων γλυκόζης στο αίμα, καθυστερούν την κόπωση και ενισχύουν τη συνολική απόδοση και ανάκαμψη. Για αθλητές και άτομα με ενεργό τρόπο ζωής, τα συμπληρώματα υδατανθράκων αποτελούν ουσιαστικό μέρος της διατροφικής τους ρουτίνας, υποστηρίζοντας τόσο την αντοχή όσο και την προπόνηση δύναμης.

Τα συμπληρώματα υδατανθράκων χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε αθλητικά πλαίσια, όπου παίζουν κρίσιμο ρόλο τόσο στην απόδοση όσο και στην ανάκαμψη. Οι αθλητές τα καταναλώνουν για να διατηρούν τα επίπεδα ενέργειας και να αναπληρώνουν τα αποθέματα γλυκογόνου στους μύες. Πέρα από τον αθλητισμό, τα συμπληρώματα υδατανθράκων χρησιμοποιούνται επίσης σε κλινικά περιβάλλοντα για την υποστήριξη ασθενών με συγκεκριμένες διατροφικές ανάγκες. Είναι πολύτιμα στη διαχείριση της υπογλυκαιμίας σε διαβητικούς ασθενείς παρέχοντας μια γρήγορη πηγή γλυκόζης. Επιπλέον, στα προγράμματα διαχείρισης βάρους χρησιμοποιούνται ως εργαλεία για τον έλεγχο της όρεξης. Συνολικά, η ευελιξία των συμπληρωμάτων υδατανθράκων τα καθιστά ένα βασικό συστατικό σε διάφορες εφαρμογές υγείας, φυσικής κατάστασης και ιατρικής.

Ωστόσο τα συμπληρώματα υδατανθράκων δεν θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία. Ο κύριος σκοπός των συμπληρωμάτων αυτών είναι η παροχή ενέργειας και γλυκογόνου στους μύες, χωρίς να έχουν ιδιαίτερη εφαρμογή κλινικά ή σε διεργασίες σημασίας στον ανθρώπινο οργανισμό. Ακόμα τα συμπληρώματα αυτά στοχεύουν στη παροχή υδατανθράκων (συνήθως μαλτοδεξτρίνη, δεξτρόζη, φρουκτόζη) για την μετατροπή τους σε γλυκόζη, επομένως εμφανίζουν και παρόμοια χαρακτηριστικά απορρόφησης και αξιοποίησης από τον οργανισμό. Λόγω αυτών, η μελέτη της βιοδιαθεσιμότητας τέτοιων συμπληρωμάτων είναι δεύτερης μοίρας και συνεπώς δεν υπάρχουν διαθέσιμες έρευνες που να επικεντρώνονται σε αυτό.

3.4 Συμπληρώματα λιπαρών οξέων

Τα συμπληρώματα λιπαρών οξέων έχουν αποκτήσει σημαντική θέση στη διατροφή πολλών ανθρώπων λόγω των ποικίλων ωφελειών που προσφέρουν για την υγεία. Τα πιο κοινά συμπληρώματα αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν τα ωμέγα-3, ωμέγα-6 και ωμέγα-9 λιπαρά οξέα, τα οποία βρίσκονται σε πηγές όπως το ιχθυέλαιο, το λιναρόσπορο και το ελαιόλαδο. Τα ωμέγα-9 λιπαρά οξέα δεν θεωρούνται απαραίτητα καθώς μπορούν να συντεθούν στο ανθρώπινο σώμα σε αντίθεση με τα άλλα δύο, για αυτό και δεν θα μελετηθούν. Μεταξύ όλων των λιπαρών οξέων, μόνο το λινολεϊκό και το λινολενικό χαρακτηρίζονται ως απαραίτητα λιπαρά οξέα. Αυτά τα λιπαρά οξέα είναι απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού, συμβάλλοντας στην υγεία της καρδιάς, στη μείωση των φλεγμονών, στην καλή λειτουργία του εγκεφάλου και στη διατήρηση της υγείας των αρθρώσεων και του δέρματος.

Τα συμπληρώματα λιπαρών οξέων χρησιμοποιούνται ευρέως από διάφορες ομάδες ανθρώπων, όπως αθλητές που επιδιώκουν βελτίωση της απόδοσης και της ανάρρωσης, άτομα με χρόνια φλεγμονώδη νοσήματα, καθώς και από όσους αναζητούν γενική ενίσχυση της υγείας τους. Η χρήση τους μπορεί να είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη σε περιπτώσεις όπου η διατροφή δεν παρέχει επαρκή ποσότητα αυτών των θρεπτικών συστατικών, όπως σε δίαιτες χαμηλές σε λιπαρά ή σε φυτοφαγικές δίαιτες. Η σημασία των λιπαρών οξέων στη διατροφή είναι αδιαμφισβήτητη, καθώς εμπλέκονται σε πληθώρα βιολογικών διεργασιών που είναι κρίσιμες για την ευεξία και τη μακροχρόνια υγεία του ανθρώπινου οργανισμού. Η πιο συνήθης μορφή κατανάλωσης των συμπληρωμάτων λιπαρών οξέων είναι σε κάψουλες.



Εικόνα:15 Συμπλήρωμα ωμέγα-3 σε μορφή χαπιών

3.4.1 Ωμέγα-3

Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα είναι σημαντικά λιπαρά οξέα με ποικίλες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία και σε διάφορες ασθένειες. Είναι απαραίτητα για την υγεία, ωστόσο δεν μπορούν να συντεθούν από τον ανθρώπινο οργανισμό και επομένως πρέπει να λαμβάνονται μέσω της διατροφής. Τα πολυακόρεστα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα (PUFAs) βρίσκονται σε ψάρια όπως ο σολομός, ο τόνος και ο ιππόγλωσσος, σε θαλάσσιους οργανισμούς όπως τα φύκια και το κριλ, καθώς και σε συγκεκριμένα φυτά και έλαια ξηρών καρπών. Τα οφέλη των ωμέγα-3 για την καρδιακή υγεία είναι ευρέως αναγνωρισμένα, καθώς συμβάλλουν στην πρόληψη των καρδιαγγειακών παθήσεων, της φλεγμονής, της υπέρτασης και άλλων χρόνιων καταστάσεων (Senanayake 2013).

Υπάρχουν τρία κύρια ωμέγα-3 λιπαρά οξέα: ALA, EPA, DHA. Το α-λινολενικό οξύ (ALA) είναι ο απαραίτητος πρόδρομος του εικοσαπενταενοϊκού οξέος (EPA) και του δοκοσαεξαενοϊκού οξέος (DHA). Η κύρια τοποθεσία για τη σύνθεση των EPA και DHA από το ALA είναι το ήπαρ, με ποσοστό μετατροπής περίπου 8% για το EPA και 1% για το DHA. Τα λιπαρά οξέα EPA και DHA είναι σημαντικά για την πρόληψη και τη θεραπεία διαφόρων προβλημάτων υγείας και ευεξίας και θεωρούνται ότι έχουν ευεργετικές επιδράσεις (Punia et.al 2019). Το ALA συναντάται κυρίως σε φυτικά έλαια ενώ τα EPA και DHA θαλάσσια έλαια. Για αυτό το λόγο συμπληρώματα όπως το ιχθυέλαιο και το λάδι κριλ είναι τα πιο κοινά συμπληρώματα λιπαρών οξέων.

Για τη διατήρηση και την προαγωγή της υγείας, συνιστάται η πρόσληψη 200 mg/ημέρα έως 1 g/ημέρα ωμέγα-3 λιπαρών οξέων. Υψηλές δόσεις ωμέγα-3 λιπαρών οξέων ενδέχεται να προκαλέσουν οξειδωτικό στρες (Patten et al. 2012), ενώ χαμηλότερες και πιο κατάλληλες δόσεις έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Giordano & Visioli, 2013).

Η βιοδιαθεσιμότητα των ωμέγα-3 λιπαρών οξέων μέσω διατροφικών συμπληρωμάτων μπορεί να ποικίλλει σημαντικά, βασισμένο σε αρκετούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της μορφής του συμπληρώματος, του τρόπου επεξεργασίας του, την κατάποση του συμπληρώματος με άλλες τροφές και των ατομικών διαφορών στην απορρόφηση (Punia et.al 2019).

Οι μορφές στις οποίες βρίσκονται τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα είναι οι αιθυλεστέρες (EE), τα τριγλυκερίδια (TAG), τα φωσφολιπίδια (PL) και τα ελεύθερα λιπαρά οξέα (FFAs) με τα τελευταία να είναι στην πιο βιοδιαθέσιμη μορφή (Schuchardt&Hahn 2013). Οι αιθυλεστέρες εμφανίζουν την πιο φτωχή βιοδιαθεσιμότητα, η οποία όμως μπορεί να ενισχυθεί εάν καταποθούν μαζί με τροφές ψηλές σε λιπαρό περιεχόμενο (Kohler 2017).

Η πλειονότητα των ωμέγα-3 λιπαρών οξέων DHA και EPA που προέρχονται από τα ψάρια, εμφανίζονται με την μορφή τριγλυκεριδίων, με μικρότερο ποσοστό να βρίσκεται στη μορφή φωσφολιπιδίων. Το ιχθυέλαιο, που προέρχεται από τα ψάρια, επεξεργάζεται και πωλείται συνήθως σε μορφή κάψουλας, παρέχοντας DHA και EPA κυρίως στη μορφή τριγλυκεριδίων.

Έχουν υπάρξει αρκετές έρευνες πάνω στη απορρόφηση και τη βιοδιαθεσιμότητα των ωμέγα-3 DHA και EPA, οι οποίες κατα κύριο λόγο βασίζονται σε χρονικά σύντομα πειράματα χρησιμοποιώντας ανθρώπους για να εκπονήσουν τα αποτελέσματα. Οι έρευνες αυτές στοχεύουν στην μέτρηση της βιοδιαθεσιμότητας, συγκριτικά και μή, των συμπληρωμάτων σε σχέση με τα έλαια που βρίσκονται φυσικά στα ψάρια, καθώς και την σύγκριση μεταξύ των ωμέγα-3 σε μορφές τριγλυκεριδίων και αιθυλεστέρων, καθώς είναι οι δύο πιο εμπορικές και χρησιμοποιήσιμες μορφές. Λόγω της σύντομης μορφής τους πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη ότι τα αποτελέσματα από τέτοιες μελέτες φαίνεται να επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από τα πειραματικά σχέδια που χρησιμοποιούνται για αυτές τις αξιολογήσεις, συμπεριλαμβανομένων των δόσεων, της διάρκειας και του χρόνου των μετρήσεων αίματος για τις συσσωρεύσεις ωμέγα-3 που προκύπτουν μετά τη κατάποση των συμπληρωμάτων.

Οι έρευνες των Lawson and Hughes, 1988, κατέληξαν στην επίδειξη μιας πολύ καλύτερης απορρόφησης και των δύο μελετούμενων ωμέγα-3 DHA-EPA σε μορφές τριγλυκεριδίων σε αντίθεση με αυτή των αιθυλεστέρων. Ωστόσο σημειώνεται ότι επίσης κατέδειξαν τό ότι οι διαφορές στην απορρόφηση μεταξύ των δύο ήταν λιγότερο σημαντικές εάν η χρήση των συμπληρωμάτων γινόταν μαζί με γεύμα υψηλό σε λιπαρά.

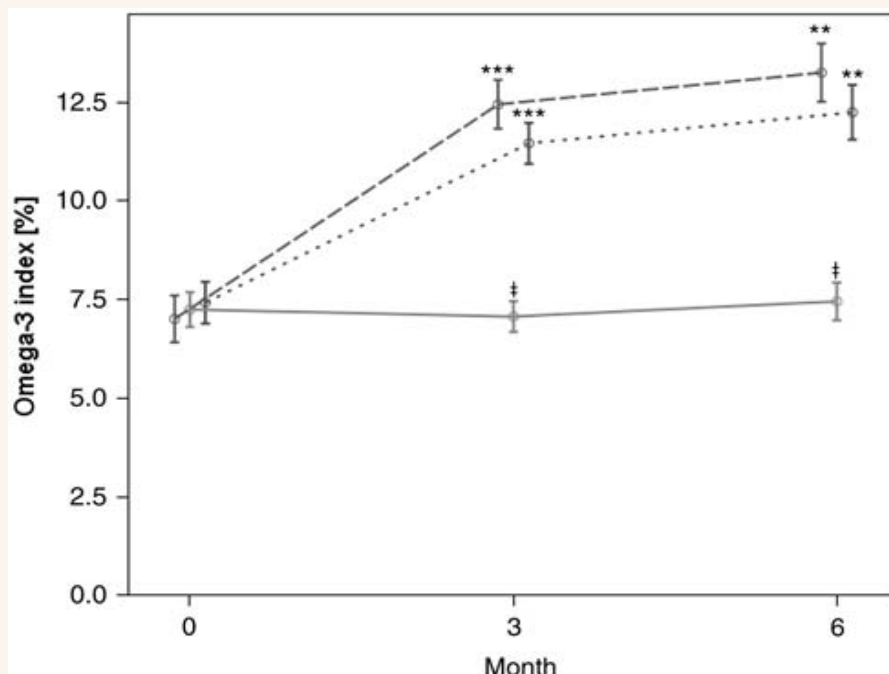
Στον αντίποδα, στην έρευνα των Nordoy et al. 1991 στην οποία δόθηκαν δείγματα με μεγάλες ποσότητες ωμέγα-3 (28 γραμμάρια) και με μέτρηση μετά απο 24 ώρες από την κατάποση, ο συγγραφέας κατέληξε ότι τα ωμέγα-3 που υπήρχαν στο δείγματα που

χρησιμοποιήθηκαν, είχαν την ίδια απορρόφηση τόσο στη μορφή τριγλυκεριδίων όσο και αιθυλεστερών.

Ωστόσο, για την κατανόηση της βιοδιαθεσιμότητας, κρίνεται απαραίτητη η μελέτη μακροχρόνιων ερευνών που περιλαμβάνουν πολλούς ανθρώπους ως δείγματα ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκριτικά με πραγματικές συνθήκες. Τέτοιες έρευνες είναι των Dyerberg et al.2010 και των Neubronner et al. 2010.

Στην πρώτη έρευνα, των Dyerberg et al.2010, το πείραμα περιείχε 72 εθελοντές στους οποίους δίνονταν κάψουλες ιχθυέλαιου με EPA+DHA των 3.3 γραμμαρίων για δύο εβδομάδες, χωρισμένοι σε ομάδες όπου στην μία δόθηκε σε μορφή τριγλυκεριδίων και στην άλλη σε μορφή αιθυλεστερών. Θεωρήθηκε ως βάση 100% το φυσικό ιχθυέλαιο. Στα αποτελέσματα φάνηκε ότι η βιοδιαθεσιμότητα των EPA και DHA σε μορφή τριγλυκεριδίων υπερίσχυσε των υπολοίπων με σκορ 124%. Σε αντίθεση, οι αιθυλεστερές πέτυχαν σκορ 73% ενώ τα ελεύθερα λιπαρά οξέα σκορ 91%.

Στην δεύτερη έρευνα, Neubronner et al. 2010, βασισμένοι στην ίδια λογική, πραγματοποίησαν πείραμα που περιείχε 150 (εξήχθησαν αποτελέσματα για τους 129) εθελοντές για έξι μήνες. Επίσης χωρισμένοι σε ομάδες, στην μία δόθηκαν κάψουλες ιχθυελαίου με ωμέγα-3 σε μορφή τριγλυκεριδίων και στην άλλη σε μορφή αιθυλεστερών. Σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ωμέγα-3 (omega-3 index) ο οποίος μετράει την συγκέντρωση των EPA και DHA στο αίμα και πιο συγκεκριμένα, στις μεμβράνες των ερυθρών αιμοσφαιρίων και είναι πιο έγκυρος για την εκτίμηση των λιπαρών οξέων σε μακροχρόνιες έρευνες. Στα αποτελέσματα αυτής της έρευνας βρέθηκε ότι, στο πέρας των έξι μηνών και με βάση τον δείκτη ωμέγα-3 που είχαν οι ομάδες στην αρχή του πειράματος, υπήρξε συγκριτική αύξηση 197% για το γκρουπ με τα τριγλυκερίδια και 71% για το γκρουπ με τους αιθυλεστερές, όπως διακρίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα. Τα ευρήματα φαίνεται να συμφωνούν μερικώς με την έρευνα των Dyerberg et al.2010, υποδεικνύοντας ωστόσο ότι για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, οι διαφορές της βιοδιαθεσιμότητας από συμπληρώματα μεταξύ των δύο μορφών φαίνεται να μειώνονται.



Εικόνα: 16 Διάγραμμα δείκτη ωμέγα-3 μεταξύ 0-6 μήνες (Neubronner et al. 2010)

3.4.2 Ωμέγα-6

Τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα αποτελούν μια κατηγορία πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA), τα οποία είναι απαραίτητα για την ανθρώπινη υγεία, καθώς το σώμα δεν μπορεί να τα παράγει και πρέπει να τα λαμβάνει από τη διατροφή. Το κύριο ωμέγα-6 λιπαρό οξύ είναι το λινολεϊκό οξύ (LA), το οποίο λειτουργεί ως πρόδρομος για την σύνθεση ωμέγα-6 λιπαρών οξέων όπως το γαμμα-λινολεϊκό οξύ (GLA), το δίομο-γαμμα-λινολεϊκό οξύ (DGLA) και το αραχιδονικό οξύ (AA). Αυτά τα λιπαρά οξέα έχουν κρίσιμο ρόλο στην κυτταρική λειτουργία, τη ρύθμιση και αντιμετώπιση φλεγμονών και τη διατήρηση της ακεραιότητας των κυτταρικών μεμβρανών.

Το λινολεϊκό οξύ (LA) είναι πλούσιο σε φυτικά έλαια όπως τα ηλιέλαιο, το λάδι από σπόρους ηλιάνθου και το καλαμποκέλαιο, καθώς και σε καρπούς και σπόρους. Μόλις καταναλωθεί, το LA μετατρέπεται από το σώμα σε GLA, ένα ωμέγα-6 λιπαρό οξύ που βρίσκεται σε ορισμένα φυτικά έλαια όπως το έλαιο οινοθήρα και το έλαιο από μποράγκο. Το GLA μεταβάλλεται περαιτέρω σε DGLA, το οποίο εμπλέκεται σε αντιφλεγμονώδεις

διαδικασίες και υποστηρίζει την υγεία του δέρματος. Το αραχιδονικό οξύ (AA), που βρίσκεται σε ζωικά προϊόντα όπως το κρέας και τα αυγά, είναι ένα άλλο παράγωγο του LA και λειτουργεί ως πρόδρομος για τους εικοσανοειδείς, που είναι λιπιδικοί μεσολαβητές που εμπλέκονται σε φλεγμονές και ανοσολογικές αποκρίσεις (Saini and Keum,2018). Ενώ τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα είναι απαραίτητα για την υγεία, η ανισορροπία μεταξύ της κατανάλωσης ωμέγα-6 και ωμέγα-3, η οποία παρατηρείται συχνά στις δυτικές διατροφές όπου υπάρχει υπερβολική κατανάλωση ωμέγα-6, έχει συσχετιστεί με αυξημένες πιθανότητες εμφάνισης φλεγμονών και κίνδυνο για χρόνια νοσήματα. Συνεπώς, η διατήρηση μιας ισορροπημένης κατανάλωσης των λιπαρών οξέων ωμέγα-6 και ωμέγα-3 είναι κρίσιμη για τη βέλτιστη υγεία και ευημερία.

Τα πιο σύνηθη συμπληρώματα ωμεγα-6 λιπαρών οξέων περιλαμβάνουν λινολεϊκό οξύ και γάμμα-λινολενικό οξύ και βρίσκονται σε κάψουλες μαλακής γέλης.

Ύστερα από εκτενή ανασκόπηση στις βιβλιογραφία που υπάρχει έως σήμερα, δεν υπάρχει καμία έρευνα που να αντικατοπτρίζει και να επικεντρώνεται στην βιοδιαθεσιμότητα και στην απορρόφηση των ωμέγα-6 λιπαρών οξέων σαν σύνολο, καθώς ούτε και συγκεκριμένα για το λινολεϊκό οξύ και το γ-λινολενικό οξύ. Αυτό εν μέρει δικαιολογείται από τα παρακάτω σημεία:

- 1) Υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα και συγκεκριμένα για τα DHA και EPA λόγω της σημασίας τους και των καρδιαγγειακών, αντιφλεγμονώδων και νευρολογικών οφελών που παρέχουν.
- 2) Υπάρχει πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το πώς τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα ανταγωνίζονται τα ωμέγα-3 στην διατροφή, καθώς μοιράζονται τα ίδια ένζυμα για τον μεταβολισμό τους σε λιπαρά οξέα μεγαλύτερης αλυσίδας (Balic et al.2020). Αν και μοιράζονται τα ίδια ένζυμα και τα ίδια μεταβολικά μονοπάτια, τα προϊόντα που δημιουργούνται μπορούν να παρουσιάσουν αντίθετα χαρακτηριστικά. Παράδειγμα αποτελούν τα μερικά εικοσανοειδή που παράγονται από το αραχιδονικό οξύ, τα οποία συνδέονται στενά με φλεγμονές, σε σχέση με τα εικοσανοειδή που παράγονται από τα EPA που έχουν αντιφλεγμονώδη και ρυθμιστική δράση (Higgins and Lees, 1984).

3) Υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την υπερκατανάλωση των ωμέγα-6 λιπαρών οξέων σε σχέση με τα ωμέγα-3, και την σύνδεση αυτής της υπερκατανάλωσης με την προώθηση φλεγμονών, αλλεργιών και θρομβώσεων. Η ιδανική ισορροπία μεταξύ των δύο είναι μεταξύ 1:1 έως 4:1 ωμέγα-6 : ωμέγα-3, ωστόσο ένα τυπικό δυτικό διατροφολόγιο πλέον παρουσιάζει σχέσεις έως και 20:1, κυρίως από την μη ελεγχόμενη κατανάλωση λινολεϊκού οξέος από σπορέλαια και επεξεργασμένα έλαια (DiNicolantonio and O'Keefe, 2021)

Όπως γίνεται αντιληπτό, τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα συνεχίζουν να ανήκουν στα απαραίτητα λιπαρά οξέα και μπορούν να επηρεάσουν θετικά την υγεία, καθώς είναι σημαντικά για τη σωστή λειτουργία του εγκεφάλου, τη δομή των κυττάρων ενώ ταυτόχρονα ενισχύουν το ανοσοποιητικό και κατά περιπτώσεις βοηθάνε στην περίθαλψη χρόνιων ασθενειών. Ωστόσο η υπερκατανάλωση τους, το οποίο αποτελεί καίριο ζήτημα λόγω των διατροφικών επιλογών που διέπουν κυρίως το δυτικό διατροφολόγιο, μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία με την μορφή κυρίως φλεγμονών και καρδιακών παθήσεων.

Κεφάλαιο 4^ο: Συμπληρώματα βιταμινών και βιοδιαθεσιμότητα

4.1 Εισαγωγή

Οι βιταμίνες είναι απαραίτητα μικροθρεπτικά συστατικά που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της συνολικής υγείας και ευεξίας. Συμμετέχουν σε πληθώρα φυσιολογικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένων της παραγωγής ενέργειας, της ανοσολογικής λειτουργίας και της κυτταρικής επισκευής. Κάθε βιταμίνη έχει ξεχωριστές βιολογικές λειτουργίες: για παράδειγμα, η Βιταμίνη Α είναι κρίσιμη για την όραση και την ανοσολογική λειτουργία, η Βιταμίνη C είναι ένας ισχυρός αντιοξειδωτικός παράγοντας που υποστηρίζει την υγεία του δέρματος και βοηθά στη σύνθεση κολλαγόνου, και οι βιταμίνες του συμπλέγματος Β είναι θεμελιώδεις για το μεταβολισμό της ενέργειας και την νευρολογική υγεία. Η επαρκής πρόσληψη αυτών των βιταμινών είναι ζωτικής σημασίας, καθώς οι ελλείψεις μπορούν να οδηγήσουν σε μια σειρά από προβλήματα υγείας, από εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα και κόπωση έως πιο σοβαρές καταστάσεις όπως σκορβούτο (έλλειψη Βιταμίνης C), ραχίτιδα (έλλειψη Βιταμίνης D) και κακοήθη αναιμία (έλλειψη Βιταμίνης Β12).

Η βιοδιαθεσιμότητα των βιταμινών, η οποία αναφέρεται στο ποσοστό του θρεπτικού συστατικού που απορροφάται και χρησιμοποιείται από το σώμα, είναι κρίσιμος παράγοντας για την αποτελεσματικότητά τους. Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητα, συμπεριλαμβανομένης της χημικής μορφής της βιταμίνης, της παρουσίας άλλων θρεπτικών συστατικών ή ενώσεων, και των ατομικών φυσιολογικών συνθηκών όπως η ηλικία και η κατάσταση υγείας. Για παράδειγμα, οι λιποδιαλυτές βιταμίνες όπως οι Α, D, Ε και Κ απαιτούν διατροφικά λίπη για σωστή απορρόφηση, ενώ οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες όπως η C και το σύμπλεγμα Β απορροφώνται πιο εύκολα αλλά μπορούν να χαθούν κατά τις διεργασίες του μαγειρέματος ή της παρατεταμένης αποθήκευσης. Τα συμπληρώματα παρέχουν μια αξιόπιστη πηγή αυτών των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών, αλλά η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεσή τους και την παρουσία βιοενισχυτικών συστατικών που μπορούν να βελτιώσουν την απορρόφηση και τη αξιοποίησή τους.

4.2 Λιποδιαλυτές βιταμίνες

4.2.1 Βιταμίνη Α

Αν και συνηθίζεται να αναφέρεται κοινώς ως βιταμίνη Α, στην πραγματικότητα αποτελείται από δύο μορφές, την ενεργή βιταμίνη Α, ή αλλιώς ρετινοειδή και τα καροτενοειδή. Στη πρώτη μορφή συναντάται σαν ρετινόλη και εστέρες ρετινόλης τα οποία βρίσκονται αποκλειστικά σε ζωικά προϊόντα πχ. γαλακτοκομικά, συκώτι ψάρια και άλλα. Στη δεύτερη μορφή συναντάται κυρίως ως β-καροτένιο, το οποίο βρίσκεται σε φυτικά προϊόντα όπως φρούτα, λαχανικά και λάδια. Τα καροτενοειδή αποτελούν πρόδρομο για τη δημιουργία της ρετινόλης, η οποία είναι και η μορφή στην οποία αξιοποιείται η βιταμίνη Α από τον ανθρώπινο οργανισμό (O'Byrne and Blainers , 2013).

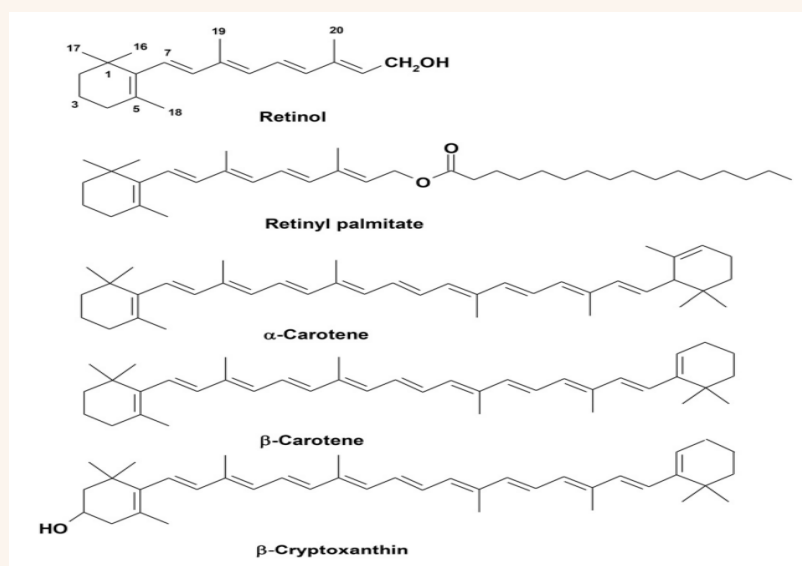
Τα θετικά οφέλη της βιταμίνης Α είναι πολλά, με το πιο γνωστό να είναι η σημασία της στην υγεία της όρασης. Μεταξύ άλλων εμφανίζει ευεργετικές ιδιότητες στην ανάπτυξη των κυττάρων, τη σωστή λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και την εμβρυϊκή ανάπτυξη. Η υποβιταμίνωση από βιταμίνη Α οδηγεί σε ασθένειες σχετικά με τα μάτια καθώς και σε αυξημένη ευαισθησία σε λοιμώξεις λόγω εξασθένησης του ανοσοποιητικού συστήματος. Στον αντίποδα, η υπερβιταμίνωση από ρετινοειδή μπορεί να αποβεί επίσης τοξική, με συμπτώματα όπως ναυτία, πονοκέφαλο και ζάλη, ενώ η μακροχρόνια υπερβιταμίνωση οδηγεί σε ηπατική βλάβη, ανωμαλίες των οστών και διαταραχές του κεντρικού νευρικού συστήματος (Gilbert, 2013).

Οι ενεργές μορφές βιταμίνης Α (ρετινόλη, ρετινάλη, ρετινοϊκό οξύ και εστέρες ρετινυλίου) είναι οι πιο δραστικές μορφές στον άνθρωπο. Στα συμπληρώματα βιταμίνης Α χρησιμοποιούνται κυρίως μορφές εστέρων ρετινυλίου (Mayo-Wilson et al. 2010). Υπάρχουν και συμπληρώματα βιταμίνης Α με καροτενοειδή όπως και με ανάμειξη των δύο, ωστόσο η βιοδιαθεσιμότητα και το ποσοστό μετατροπής των καροτενοειδών σε ενεργή βιταμίνη Α έχει αποδειχθεί πως δεν είναι τα επιθυμητά, όπως θεωρούταν παλαιότερα (Tang 2010).

Τα συμπληρώματα βιταμίνης Α βρίσκονται συνήθως σε κάψουλες μαλακής γέλης, ταμπλέτες ή σε σταγονίδια υγρή μορφής, το οποίο στοχεύει κυρίως σε χρήση σε μωρά και παιδιά.

Η μέτρηση της βιοδιαθεσιμότητας της βιταμίνης A, οποιασδήποτε μορφής αποτελεί έργο δύσκολο, καθώς λόγω της φύσης τους αποθηκεύονται στον λιπώδη ιστό του σώματος και δεν εκρίνονται αμέσως. Επίσης οι διαφορετικές μορφές μεταξύ τους φαίνεται να παρουσιάζουν μερικές διαφορές ως προς την ευκολία απορρόφησης, με το ρετινοϊκό οξύ να είναι η ελεύθερη και ίσως πιο βιοδιαθέσιμη μορφή της ρετινόλης. Επίσης το β-καροτένιο φαίνεται να έχει ένα μεγάλο εύρος σχέσης μετατροπής σε ρετινόλη, το οποίο κυμαίνεται από 6:1 έως και 26:1 (mg β-καροτένιο: mg ρετινόλης), σημαντικά επηρεαζόμενο από τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά και τις προσωπικές μεταβλητές μεταξύ των ατόμων (όπως βάρος, ηλικία, φύλο, ήδη υπάρχων συγκέντρωση σε βιταμίνη A (Haskell, 2012).

Σύμφωνα με το National Institute of Health (NIH) και τις έρευνες των Tanumihardjo et al.2016 και Haskell,2016 αναφέρεται ότι η βιοδιαθεσιμότητα των συμπληρωμάτων βιταμίνης A κυμαίνεται μεταξύ του 70% και 90%, για συμπληρώματα που αφορούν ρετινόλη και εστέρες ρετινόλης (Retinyl Acetate, Retinyl Palmitate). Αντίστοιχα για συμπληρώματα β-καροτένιου η βιοδιαθεσιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 8,5% και 65%. Όπως αναφέρεται στην έρευνα του Haskell, 2012 παρατηρείται μεγάλη απόκλιση η οποία οφείλεται εν μέρει σε ανθρώπινο λάθος στις μετρήσεις καθώς όμως και στην δόση που χορηγήθηκε κάθε φορά, όπου για μεγαλύτερες δόσεις παρατηρήθηκε μικρότερη απορρόφηση. Η μετρήσεις έγιναν χορηγώντας σημασμένο β-καροτένιο και μετρώντας την ραδιοενεργότητα στα κόπρανα.



Εικόνα: 16 Οι δομές των κύριων διατροφικών μορφών της βιταμίνης A (Tanumihardjo et al. 2010)

4.2.2 Βιταμίνη D

Η βιταμίνη D (επίσης γνωστή και ως καλσιφερόλη) είναι μια λιποδιαλυτή βιταμίνη απαραίτητη για τη διατήρηση της υγείας των οστών και την υποστήριξη του ανοσοποιητικού συστήματος. Σε αντίθεση με άλλες βιταμίνες, μπορεί να συντεθεί από το σώμα όταν το δέρμα εκτίθεται στο ηλιακό φως, και συγκεκριμένα στις υπεριώδεις ακτίνες B (UVB). Η βιταμίνη D προάγει την απορρόφηση του ασβεστίου στο έντερο και διατηρεί επαρκείς τις συγκεντρώσεις ασβεστίου και φωσφορικών στο αίμα (NIH).

Υπάρχουν δύο κύριες μορφές βιταμίνης D:

- 1) Βιταμίνη D₂ (εργοκαλσιφερόλη) η οποία συναντάται σε φυτικές πηγές και μανιτάρια.
- 2) Βιταμίνη D₃ (χοληκαλσιφερόλη) η οποία συντίθεται στο δέρμα αντιδρώντας στις υπεριώδεις ακτίνες B του ηλιακού φωτός.

Η βιταμίνη D που προσλαμβάνεται από τρόφιμα, ηλιακό φως και συμπληρώματα διατροφής, ανεξαρτήτως μορφής, είναι βιολογικά ανενεργή και πρέπει να πραγματοποιηθούν πρώτα δύο υδροξυλιώσεις. Η πρώτη πραγματοποιείται στο συκώτι και μετατρέπει την βιταμίνη D καλσιδιόλη (25(OH)D). Η δεύτερη υδροξυλίωση συμβαίνει κυρίως στα νεφρά και σχηματίζει την καλσιτριόλη (1,25(OH)₂D) η οποία είναι και η ενεργή μορφή της βιταμίνης D η οποία αξιοποιείται από το σώμα (NIH)(Borell et al .2014). Για την μέτρηση της βιταμίνης D, χρησιμοποιείται κυρίως σαν δείκτης η συγκέντρωση της καλσιδιόλης στο αίμα, καθώς παραμένει στην κυκλοφορία του αίματος για 15 μέρες σε σχέση με την καλσιτριόλη που παραμένει για μερικές ώρες (Ross et al. 2011)

Τα οφέλη της βιταμίνης D εκτείνονται από την έντονη σημασία της στην υγεία των οστών, έως στην αντιμετώπιση φλεγμονών, στην βοήθεια κυτταρικής ανάπτυξης, σε νευρομυϊκές και ανοσοποιητικές λειτουργίες και τον μεταβολισμό της γλυκόζης.

Η ανεπάρκεια βιταμίνης D μπορεί να προκύψει από μειωμένη πρόσληψη, ανεπαρκής έκθεση σε ηλιακό φως ή από αδυναμία των νεφρών να μετατρέψουν το 25(OH)D στην ενεργό μορφή της βιταμίνης D. Η ανεπάρκεια οδηγεί σε πληθώρα προβλημάτων μεταξύ των οποίων είναι η ραχίτιδα, η οστεομαλακία, η οστεοπόρωση καθώς και δυσλειτουργίες του ανοσοποιητικού συστήματος και αυξημένο ρίσκο για χρόνιες παθήσεις.

Στα συμπληρώματα διατροφής που υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμα χρησιμοποιούνται και βιταμίνη D₂ και βιταμίνη D₃. Έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει καλή απορρόφηση και των δύο από το έντερο και ότι αυξάνουν και οι δύο τα επίπεδα συγκέντρωσης της καλσιδιόλης στο αίμα. Ωστόσο τα περισσότερα ευρήματα φαίνεται να υποδυκνείουν μεγαλύτερη αύξηση συγκέντρωσης καλσιδιόλης και περαιτέρω παραμονή στην κυκλοφορία του αίματος με τη βιταμίνη D₃ (Logan et al.2012) (Lehmann et al. 2013). Τα συμπληρώματα βιταμίνης D συνήθως έχουν την μορφή κάψουλας ή ταμπλέτας.

Σύμφωνα με την έρευνα των Lehmann et al. 2013, πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου χορηγούνταν 50μg βιταμίνης D₂ και D₃ σε 107 εθελοντές καθημερινά για 8 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνονται στη παρακάτω εικόνα.

	Vitamin D ₂ Group	Vitamin D ₃ Group	Placebo Group	P (ANOVA)
n	46	42	19	
Total 25(OH)D				
Baseline, nmol/L	37.6 ± 13.3	43.7 ± 23.3	40.7 ± 14.5	.292
4 wk, nmol/L	59.9 ± 15.2 ^a	77.1 ± 23.5 ^b	33.1 ± 13.9	.001
8 wk, nmol/L	67.8 ± 20.1 ^a	89.2 ± 22.1 ^b	32.1 ± 12.8	.001
Repeated measure analysis				<.001
25(OH)D ₃				
Baseline, nmol/L	36.4 ± 13.3	41.5 ± 22.8	39.4 ± 14.2	.409
4 wk, nmol/L	20.3 ± 8.1 ^a	75.7 ± 23.2 ^b	31.1 ± 13.9	.001
8 wk, nmol/L	16.6 ± 6.3 ^a	88.0 ± 22.1 ^b	31.1 ± 12.4	.001
Repeated measure analysis				.001
25(OH)D ₂				
Baseline, nmol/L	<7.5 ^c	<7.5	<7.5	.110
4 wk, nmol/L	39.6 ± 11.7 ^a	<7.5	<7.5	.001
8 wk, nmol/L	51.2 ± 18.5 ^a	<7.5	<7.5	.001
Repeated measure analysis				.001
PTH				
Baseline, ng/mL	69.8 ± 45.2	59.3 ± 22.6	79.4 ± 49.2	.334
4 wk, ng/mL	63.0 ± 33.2	49.1 ± 19.5	65.0 ± 40.0	.086
8 wk, ng/mL	56.8 ± 26.5	40.3 ± 19.5	60.8 ± 38.1	.007
Repeated measure analysis				.651

Εικόνα: 17 Αποτελέσματα έρευνας Lehmann et al.2013. Τιμές συγκέντρωσης καλσιδιόλης σε 4 και 8 εβδομάδες χορήγησης συμπληρωμάτων

Παρατηρείται ότι στο γκρουπ που χορηγήθηκε βιταμίνη D₂ είχε αρχική συγκέντρωση καλσιδιόλης 37,6 nmol/L και ύστερα από 8 εβδομάδες είχε φτάσει τα 67,8 nmol/L. Αντίστοιχα στο γκρουπ που χορηγήθηκε βιταμίνη D₃ είχε αρχική συγκέντρωση καλσιδιόλης 43,7 nmol/L και ύστερα από 8 εβδομάδες είχε φτάσει τα 89,2 nmol/L.

Μπορούν να εξαχθούν 2 αποτελέσματα εκ των παραπάνω. Με βάση τα αποτελέσματα και την αύξηση της συγκέντρωσης της καλσιδιόλης, θεωρώντας την αρχική συγκέντρωση ως βάση και χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι αποκλίσεις, η έρευνα προτείνει μια τιμή

βιοδιαθεσιμότητας της βιταμίνη D₂ της τάξης του 80,3% για την βιταμίνη D₃ της τάξης του 104,1%

Επίσης αναδεικνύεται ότι η βιταμίνη D₃ φαίνεται να είναι πιο σημαντική, καθώς ανεβάζει την συνολική συγκέντρωση της καλσιδιόλης περισσότερο από την αντίστοιχη βιταμίνη D₂.

Πρέπει να σημειωθεί πως η χορηγούμενη ποσότητα στη συγκεκριμένη έρευνα ξεπερνά κατά πολύ την προτεινόμενη ημερήσια πρόσληψη, η οποία επηρεάζεται από την ηλικία και συνήθως βρίσκεται μεταξύ 10-20 μg/μέρα. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα με δοσολογίες πιο κοντινές στις προτεινόμενες.

Το παραπάνω εύρημα ότι η βιταμίνη D₃ φαίνεται να υπερτερεί της D₂ σε συνολική βιοδιαθεσιμότητα, αντικρούουν οι έρευνες των Holick et al. 2008 και Armas et al. 2004 όπου παρατήρησαν παρόμοια αύξηση στη συγκέντρωση της καλσιδιόλης ύστερα από χορήγηση των αντίστοιχων μορφών της βιταμίνης D, ωστόσο μετρώντας την συγκέντρωση σε άμεσο χρονικό διάστημα. Για μεγαλύτερα διαστήματα (14-28 ημερών) τα ευρήματα έδειξαν πως η ισχύς της βιταμίνης D₂ ήταν λιγότερη από το ένα τρίτο αυτής της βιταμίνης D₃.

4.2.3 Βιταμίνη E

Η βιταμίνη E βρίσκεται φυσικά σε ορισμένα τρόφιμα, όπως ξηρούς καρπούς, σπόρους φυτικά έλαια και πράσινα φυλώδη λαχανικά. Επίσης προστίθεται σε άλλα και είναι διαθέσιμη και ως συμπλήρωμα διατροφής. Η βιταμίνη E είναι η συλλογική ονομασία για μια ομάδα λιποδιαλυτών ενώσεων με ξεχωριστές αντιοξειδωτικές ιδιότητες (NIH)

Η βιταμίνη E που απαντάται φυσικά στα τρόφιμα διακρίνεται σε οκτώ χημικές μορφές, την α-,β-,γ-,δ- τοκοφερόλη και αντίστοιχα την α-,β-,γ-,δ- τοκοτριενόλη. Από αυτές η α-τοκοφερόλη είναι η πιο σημαντική, καθώς έχει αναγνωριστεί ως η πιο καίρια για την επίτευξη της προτεινόμενης πρόσληψης βιταμίνης E, η οποία κυμαίνεται από 4mg έως 15 mg, ανάλογα την ηλικία (Blaner, 2013)

Όπως προαναφέρθηκε στα κύρια θετικά οφέλη που προσφέρει η βιταμίνη E είναι οι αντιοξειδωτικές στις ιδιότητες ενώ βοηθάει ενισχύοντας το ανοσοποιητικό σύστημα και διάφορες αντιφλεγμονώδεις δράσεις. Επίσης οι θετικές του ιδιότητες φαίνεται να παίζουν

ρόλο στην καταπολέμηση της στεφανιαίας νόσου και κατά περιπτώσεις στην αντιμετώπιση του καρκίνου και διάφορων ασθενειών των οφθαλμών.

Στα συμπληρώματα διατροφής συναντάται κύριως η α-τοκοφερόλη η οποία όμως δημιουργείται συνθετικά. Σε αντίθεση με την φυσική α-τοκοφερόλη η οποία παρουσιάζεται σε μία στερεοισομερή μορφή, η συνθετική α-τοκοφερόλη παρουσιάζεται με 8 στερεοισομερείς μορφές, από τις οποίες μόνο οι 4 παραμένουν στο αίμα και στους ιστούς και αξιοποιούνται. Επομένως, θεωρείται πώς η συνθετική α-τοκοφερόλη έχει την μισή ενεργή αξιοποίηση σε σχέση με την φυσική, σε παρόμοιο βάρος δόσης (Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids, 2000).

Τα συμπληρώματα βιταμίνης E, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούνται συνήθως από συνθετική α-τοκοφερόλη, ωστόσο υπάρχουν και συμπληρώματα με ανάμειξη διαφόρων μορφών και τοκοφερόλης και τοκοτριενόλης. Τα εμπορικά συμπληρώματα βιταμίνης E βρισκονται συνήθως σε κάψουλες, κάψουλες μαλακής γέλης και πιο σπάνια σε υγρή μορφή σταγονιδίων. Επειδή οι εστέρες τοκοφερόλης, όπως η οξική α-τοκοφερόλη, είναι οξειδωτικά πιο σταθερή από τις ελεύθερες τοκοφερόλες, τα συμπληρώματα α-τοκοφερόλης συνήθως περιέχουν εστέρες α-τοκοφερόλης (NIH). Οι εστέρες α-τοκοφερόλης παρουσιάζει την ίδια απορρόφηση όπως οι ελεύθερες μορφές της (Weber et.al, 2019)

Σύμφωνα με την έρευνα των Machmahon & Neale, 1970, σε πείραμα όπου χορηγήθηκε ραδιονεργά σημασμένη δόση α-τοκοφερόλης από την στοματική οδό, βρέθηκε ότι το 55-79% απορροφήθηκε και εμφανίστηκε στο πλάσμα του αίματος, ύστερα από 5-9 ώρες της χορήγησης. Η έρευνα μπορεί να θεωρηθεί πεπερασμένη λόγω της χρονολογίας της, ωστόσο παρόμοια ευρήματα εμφανίστηκαν σε πιο πρόσφατη έρευνα των Novotny et al. 2012, όπου πραγματοποιήθηκε πείραμα σε 12 ενήλικους ανθρώπους, με χορήγηση δόσης 0.78mg ραδιονεργά σημασμένης φυσικής α-τοκοφερόλης. Από τα αποτελέσματα της έρευνας βρέθηκε ότι η βιοδιαθεσιμότητα της α-τοκοφερόλης ήταν 81% +-1%.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η απορρόφηση στο λεπτό έντερο και συνεπώς η βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης E η της α-τοκοφερόλης επηρεάζεται από το εάν καταποθεί ταυτόχρονα με τροφή που περιέχει λιπιδικό περιεχόμενο, καθώς και την μορφή του διατροφικού πλέγματος αυτού. Έχει παρατηρηθεί αύξηση στην απορρόφηση έως και 3 φορές παραπάνω εάν καταναλωθεί μαζί με λιπαρά (Bruno et al. 2006).

4.2.4 Βιταμίνη Κ

Η βιταμίνη Κ αποτελεί το γενικό όνομα για μια οικογένεια λιποδιαλυτών ενώσεων που απαντάται φυσικά σε ορισμένα τρόφιμα και προσφέρεται και σαν συμπλήρωμα διατροφής. Βρίσκεται σε δύο μορφές, την βιταμίνη Κ1 ή φυλλοκινόνη και την βιταμίνη Κ2 ή μενακινόνη, η οποία χωρίζεται περαιτέρω σε ΜΚ-4 έως ΜΚ-13, ανάλογα το μήκος των ακόρεστων πλευρικών αλυσίδων ισοπρενυλίου.

Η πρώτη βρίσκεται κυρίως σε πράσινα φυλλώδη λαχανικά και είναι η κύρια μορφή της βιταμίνης Κ. Η δεύτερη είναι κυρίως αποτέλεσμα βακτηριακής δραστηριότητας και συναντάται σε διάφορες ζωικές τροφές, καθώς και προϊόντα που έχουν υποστεί ζύμωση. Η μενακινόνη παράγεται επίσης και από βακτήρια στο ανθρώπινο έντερο (NIH).

Στα θετικά που προσφέρει η βιταμίνη Κ συγκαταλέγονται η πηκτική της δράση, η διατήρηση της υγείας των οστών καθώς και της καρδιάς. Η πιο σημαντική της λειτουργίας είναι η συμμετοχή στη δημιουργία πρωτεϊνών που χρειάζονται για την πήξη του αίματος.

Η βιταμίνη Κ βρίσκεται κυρίως σε συμπληρώματα πολυβιταμινών καθώς και ατομικά συμπληρώματα, ωστόσο πιο σπάνια. Χρησιμοποιούνται και οι δύο μορφές της, δηλαδή για την Κ1 παρατηρείται η φυλλοκίνη ή η φυτομεναδιόνη όπου είναι η συνθετική μορφή της φυλλοκίνης και αντίστοιχα για την Κ2 χρησιμοποιούνται κυρίως οι μορφές της μενακινόνης από ΜΚ-4 έως ΜΚ-7. Η πιο σημαντική κρίνεται η φυλλοκινόνη καθώς η μενακινόνη παράγεται ήδη στο ανθρώπινο έντερο.

Τα συμπληρώματα βιταμίνης Κ βρίσκονται συνήθως σε μορφή κάψουλας ή ταμπλέτας.

Υπάρχουν πολύ λίγες πληροφορίες διαθέσιμες για την βιοδιαθεσιμότητα και την απορρόφηση της βιταμίνης Κ.

Αυτό συμβαίνει διότι: 1) Σε σχέση με τις υπόλοιπες λιποδιαλυτές βιταμίνες, η βιταμίνη Κ μεταβολίζεται και εκκρίνεται ραγδαίως, με αποτέλεσμα να παραμένει μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό, τόσο στη κυκλοφορία του αίματος όσο και στους ιστούς.

2) Η ποσότητα της βιταμίνης Κ δεν αξιολογείται συχνώς εκτός από περιπτώσεις που απαιτείται, όπως στην πρόσληψη αντιπηκτικών ή διαταραχές που περιλαμβάνουν αιμοραγία.

3)Ο μόνος σημαντικός δείκτης για την αξιολόγηση της βιταμίνης K είναι ο χρόνος προθρομβίνης, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την εξαρτώμενη από τη βιταμίνη K προθρομβίνη να γίνει θρομβίνη και να πήξει το αίμα. Φυσιολογικές αλλαγές στη βιταμίνη K δεν φαίνεται να επηρεάζουν τον χρόνο προθρομβίνης.

4)Πιστεύεται ότι οι μενακινόνες που παράγονται από τα βακτήρια του εντέρου ικανοποιούν μερικώς τις ανάγκες για βιταμίνη K (Sarah, 2012). Ωστόσο δεν υπάρχουν πληροφορίες για την παραγωγή και την απορρόφηση αυτών και συνεπώς ούτε για τις φυσιολογικές τιμές μενακινόνης.

5)Χρησιμοποιώντας σαν βάση το αμερικάνικο διατροφολόγιο, η παρατήρηση ανεπάρκειας σε βιταμίνη K σε υγιή ενήλικα άτομα είναι σπάνιο φαινόμενο.

Λόγω έλλειψης πληροφοριών, δεν υπάρχει τιμή συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης, αλλά τιμές επαρκούς πρόσληψης οι οποίες βασίζονται στις τιμές πρόσληψης βιταμίνης K σε γκρουπ υγιών ανθρώπων. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 2mcg έως 190mcg, σχετιζόμενες κάθε φορά με την ηλικία και το φύλο.

Σύμφωνα με τους Ferland και Guylaine στο Present Knowledge in Nutrition αναφέρουν ότι η φυλλοκινόνη στην ελεύθερη μορφή της, εμφανίζει τιμές απορρόφησης έως 80%, ενώ όταν βρίσκεται σε διατροφικά πλέγματα όπως τα φυλλώδη πράσινα λαχανικά, είναι πολύ λιγότερη διότι η φυλλοκινόνη είναι στενά συνδεδεμένη με τους χλωροπλάστες. Επίσης αναφέρεται ότι το σώμα κρατάει μόλις το 30% της βιταμίνης K, από δόση μέσα από την στοματική οδό, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό το εκκρίνει.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μενακινόνη MK-7. Στην έρευνα των Schurger et al.2007 βρέθηκε ότι η MK-7 σε σχέση με την K1, παραμένει στο αίμα 3 φορές περισσότερο από ότι η K1. Συγκριτικά η μέτρηση AUC (Area Under Curve) που υποδηλώνει την συγκέντρωση μια ουσίας στο αίμα συναρτήσει του χρόνου, ήταν 6 φορές μεγαλύτερη για την MK-7 σε σχέση με την K1. Το ενδιαφέρον έγκειται στο ότι η παράταση παραμονής στο αίμα κάνει την MK-7 προσβάσιμη στο σώμα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, υποδηλώνοντας, εν τέλει, καλύτερη βιοδιαθεσιμότητα σε σχέση με την φυλλοκινόνη ή τις άλλες μορφές μενακινόνης.

Περαιτέρω έρευνα κρίνεται απαραίτητη για την διευκρίνιση της βιοδιαθεσιμότητας και εν γένει τον ορισμό τιμών ημερήσιας πρόσληψης.

4.3 Υδατοδιαλυτές βιταμίνες

4.3.1 Βιταμίνη Β

Οι βιταμίνες Β είναι μια ομάδα από 8 υδατοδιαλυτές βιταμίνες που πρέπει να αναπληρώνονται καθημερινά, καθώς το σώμα δεν έχει την δυνατότητα να τις αποθηκεύει. Βρίσκονται σε διάφορα τρόφιμα, όπως ζωικές πρωτεΐνες, γαλακτοκομικά προϊόντα, πράσινα φυλλώδη λαχανικά και φασόλια. Οι ενέργειες τους διακρίνονται σε καταβολικές, προς παραγωγή ενέργειας ή αναβολικές, προς δημιουργία βιοενεργών μορίων (Hanna et al. 2022)

Οι βιταμίνες Β αναγνωρίζονται ως εξής: θειαμίνη (B1), ριβοφλαβίνη (B2), νιασίνη (B3), παντοθενικό οξύ (B5), πυριδοξίνη (B6), βιοτίνη (B7), φυλλικό οξύ (B9) και κοβαλαμίνη (B12). Στα συμπληρώματα διατροφής είναι συνηθέστερο να υπάρχουν σε συμπληρώματα πολυβιταμινών ή σε συμπληρώματα συμπλόκου βιταμίνης Β, όπου περιλαμβάνονται όλες οι μορφές, ωστόσο υπάρχουν και εμπορικά συμπληρώματα στα οποία περιέχονται ξεχωριστά κάθε μορφή.

4.3.1.1 B1 – Θειαμίνη

Η θειαμίνη παίζει καίριο ρόλο στο μεταβολισμό της ενέργειας και επομένως στην ανάπτυξη την εξέλιξη και τη λειτουργία των κυττάρων. Βρίσκεται φυσικά σε κάποια τρόφιμα, όπως προϊόντα ολικής, κρέατα και ψάρια, σε ενισχυμένα τρόφιμα όπως τα δημητριακά πρωϊνού ή σε συμπληρώματα διατροφής.

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 0.2 mg έως 1.4mg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής, η θειαμίνη απαντάται κυρίως ως μονονιτρική και υδροχλωρική θειαμίνη, οι οποίες και οι δύο μορφές είναι σταθερές και υδατοδιαλυτές.

Έχει εκτιμηθεί η βιοδιαθεσιμότητα της υδροχλωρικής θειαμίνης, η οποία με βάση τις έρευνες των Tallaksen et al.1993 και Weber et al.1985 κυμαίνεται μεταξύ 3,7% και 5,3%. Οι δοσολογίες που δόθηκαν ήταν μεταξύ 50mg και 200mg.

4.3.1.2 B2 – Ριβοφλαβίνη

Η ριβοφλαβίνη αποτελεί βασικό συστατικό δύο συνενζύμων, FMN και FAD, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στη παραγωγή ενέργειας, στη λειτουργία, την ανάπτυξη και την εξέλιξη των κυττάρων, καθώς και στον μεταβολισμό των λιπών, των φαρμάκων και των στεροειδών. Επιπλέον, η ριβοφλαβίνη βοηθά στη διατήρηση των φυσιολογικών επιπέδων της ομοκυστεΐνης, ενός αμινοξέος στο αίμα (NIH).

Βρίσκεται φυσικά σε τρόφιμα όπως αυγά, νεφρά, συκώτι, άπαχα κρέατα και γάλα. Όπως και τις υπόλοιπες βιταμίνες Β, συναντάται και σε ενισχυμένα τρόφιμα αλλά και σε συμπληρώματα διατροφής.

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη είναι από 0.3mg έως 1.6mg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής συναντάται κυρίως ριβοφλαβίνη στην ελεύθερη μορφή της.

Η βιοδιαθεσιμότητα ριβοφλαβίνης σε μορφές FAD και FMN εκτιμάται στο 95%, για μονές δόσεις επί της στοματικής οδού, μέχρι 27mg, καθώς μετά παρατηρείται κορεσμός και η περίσσεια ριβοφλαβίνης είτε δεν απορροφάται είτε το ποσό που απορροφάται εκκρίνεται ραγδαίως μέσω των ούρων. (Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Riboflavin, 1998). Σύμφωνα με τις έρευνες των Gregory, 2012 και Dainty et al.2007, οι ελεύθερες μορφές ριβοφλαβίνης που παρατηρούνται στα συμπληρώματα διατροφής εμφανίζουν παρόμοια βιοδιαθεσιμότητα με τις μορφές FAD και FMN.

4.3.1.3 B3 – Νιασίνη

Η νιασίνη είναι το γενικό όνομα για το νικοτινικό οξύ, την νικοτιναμίδη και τα παράγωγά τους. Η νιασίνη που απορροφάται στον ιστό του σώματος μετατρέπεται στη κύρια μεταβολικά ενεργή μορφή της, το συνένζυμο νικοτιναμιδικό αδενινο-δινουκλεοτίδιο NAD, το οποίο απαιτείται για πάνω από 400 ένζυμα που καταλύουν αντιδράσεις στο σώμα.

Η πιο σημαντική του λειτουργία είναι η συμμετοχή του σε διαδικασίες μεταφοράς ενέργειας των μακροθρεπτικών συστατικών στο ATP που αποτελεί το κύριο ενεργειακό νόμισμα των κυττάρων. Ακόμα, είναι απαραίτητο για την ομαλή διεξαγωγή κρίσιμων κυτταρικών λειτουργιών, όπως η διατήρηση της ακεραιότητας του γονιδιώματος, ο έλεγχος της γονιδιακής έκφρασης και η κυτταρική επικοινωνία (NIH)

Το NAD επίσης μετατρέπεται σε NADP το οποίο παίζει ρόλο στην σύνθεση χοληστερόλης και λιπαρών οξέων καθώς και στη διατήρηση των κυτταρικών αντιοξειδοτικών λειτουργιών.

Το ανθρώπινο σώμα έχει την δυνατότητα να μετατρέψει το αμινοξύ τρυπτοφάνη σε NAD με αναλογία 60:1.

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 2mg έως 18mg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Συνήθως συναντάται σε πληθώρα τροφών, όπως πολλά κρέατα, ψάρια καθώς και φυτικές τροφές, όπως ξηρούς καρπούς, φασόλια και σιτηρά. Όπως και τις υπόλοιπες βιταμίνες B, συναντάται και σε ενισχυμένα τρόφιμα αλλά και σε συμπληρώματα διατροφής.

Στα συμπληρώματα διατροφής συναντάται κυρίως ως νικοτινικό οξύ ή νικοτιναμίδη.

Η σοβαρή ανεπάρκεια νιασίνης οδηγεί σε πελλάγρα, ενώ η λήψη πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων από το επιτρεπτό οδηγεί σε εξάψεις του δέρματος.

Δεν υπάρχει επίσημο νούμερο που να καταλογίζει το ποσοστό βιοδιαθεσιμότητας της νιασίνης. Ωστόσο, τόσο το νικοτινικό οξύ όσο και η νικοτιναμίδη θεωρούνται υψηλώς και άμεσα βιοδιαθέσιμες καθώς φαίνεται να απορροφούνται πλήρως από το στομάχι και το έντερο, ακόμα και σε πολύ μεγάλες ποσότητες όπως δόσεις 3-4g, με την ανάλογη ανταπόκριση να παρατηρείται στη συγκέντρωση της νιασίνης στο αίμα (Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Niacin, 1998)

4.3.1.4 B5 – Παντοθενικό Οξύ

Η κύρια λειτουργία του παντοθενικού οξέος είναι η σύνθεση του συνενζύμου A και της πρωτεΐνης μεταφορέα ακυλίου. Βρίσκεται φυσικά σε σχεδόν όλες τις ζωικές και φυτικές τροφές σε διαφορετικές ποσότητες, με τις πιο πλούσιες να είναι το μοσχαρίσιο κρέας, το κοτόπουλο, τα εντόσθια, τα προϊόντα ολικής καθώς και κάποια λαχανικά.

Το συνένζυμο A είναι απαραίτητο για την σύνθεση και αποσύνθεση των λιπαρών οξέων καθώς και σε πολλές καταβολικές και αναβολικές διαδικασίες. Στη διαδικασία σύνθεσης λιπαρών οξέων σημαντικό ρόλο έχει και η πρωτεΐνη μεταφορέας ακυλίου (Miller & Rucker, 2012).

Οι πληροφορίες που υπάρχουν ως τώρα δεν επαρκούν για την εκτίμηση της προτεινόμενης ημερήσιας πρόσληψης, επομένως οι τιμές επαρκούς πρόσληψης κυμαίνονται από 1,7-7mg επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής συναντάται ως παντοθενικό οξύ, παντεθίνη ή παντοθενικό ασβέστιο.

Υπάρχουν πολύ λίγες πληροφορίες σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα του παντοθενικού οξέος. Αυτό συμβαίνει διότι η αξιολόγηση του παντοθενικού οξέος στους ανθρώπους δεν μετριέται συχνά καθώς οι ανεπάρκειες από αυτή τη βιταμίνη είναι πολύ σπάνιο φαινόμενο λόγω των πολλών διαφορετικών διαδεδομένων πηγών πρόσληψης. Επίσης για να εμφανιστεί ανεπάρκεια θα πρέπει να υπάρχει γενικός υποσιτισμός, επομένως δεν μπορούν να διακριθούν συγκεκριμένα τα συμπτώματα ανεπάρκειας.

Σε μια έρευνα των Tarr et al.1981, μία ομάδα ανθρώπων χορηγήθηκε παντοθενικό ασβέστιο σε ταμπλέτες και σε μία άλλη ένα διατροφολόγιο με συγκεκριμένη τιμή βιταμίνης B5. Βρέθηκε ότι η σχετική βιοδιαθεσιμότητα του παντοθενικού ασβεστίου ήταν 2 φορές μεγαλύτερη από αυτή που προσλαμβάνεται από τα τρόφιμα.

4.3.1.5 B6 – Βιταμερή

Η βιταμίνη B6 είναι το γενικό όνομα 6 διαφορετικών συμπλόκων (βιταμερών) που διενεργούν ως βιταμίνες B6. Από τις 6 μορφές η πυριδοξίνη είναι η πιο συνήθης και πολυχρησιμοποιημένη.

Η βιταμίνη B6 και τα συνένζυμα που δημιουργεί εκτελούν πολλές διαφορετικές λειτουργίες με τις κυριότερες να αφορούν τον μεταβολισμό της πρωτεΐνης. Η βιταμίνη B6 παίζει επίσης ρόλο στην ανάπτυξη της γνωστικής λειτουργίας μέσω της βιοσύνθεσης των νευροδιαβιβαστών (NIH).

Η βιταμίνη B6 βρίσκεται σε μια πληθώρα τροφών με τι πτώ πλούσιες να είναι τα ψάρια, το μοσχαρίσιο συκώτι καθώς και άλλα όργανα, πατάτες, λαχανικά και φρούτα. Όπως και τις υπόλοιπες βιταμίνες B, συναντάται και σε ενισχυμένα τρόφιμα αλλά και σε συμπληρώματα διατροφής.

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 0.1mg έως 2 mg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής, η υδροχλωρική πυριδοξίνη είναι η πιο σύνηθες μορφή στην οποία συναντάται η βιταμίνη B6. Η απορρόφηση της βιταμίνης B6 που βρίσκεται στα συμπληρώματα διατροφής είναι παρόμοια με αυτή που βρίσκεται στα τρόφιμα. (Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Vitamin B6, 1998)

Σύμφωνα με τις έρευνες των Saz-Leal et al.2023 και Gill et al. 2011 η υδροχλωρική μορφή της πυριδοξίνης σε συμπληρώματα με μορφή κάψουλας φαίνεται να πετυχαίνει τιμές σχετικής βιοδιαθεσιμότητας έως και 100%, σχετικά με τιμές βιοδιαθεσιμότητας που επιτυγχάνονται με ενδοφλέβια χορήγηση. Στα παραπάνω συμφωνεί και η έρευνα του Gregory, 2012 όπου αναφέρεται ότι η υδροχλωρική μορφή της πυριδοξίνης είναι άμεσα απορροφήσιμη και βιοδιαθέσιμη.

4.3.1.6 B7 – Βιοτίνη

Η βιοτίνη είναι παράγοντας δημιουργίας 5 καρβοξυλασών οι οποίες καταλύουν κρίσιμα κρίσιμα στάδια στο μεταβολισμό λιπαρών οξέων, γλυκόζης και αμινοξέων. Η βιοτίνη επίσης παίζει ρόλο στη ρύθμιση των γονιδίων και στη σηματοδότηση των κυττάρων (NIH)

Απαντάται σε πολλά τρόφιμα εκ των οποίων τα όργανα, τα αυγά, κρέας, σπόροι, ξηροί καρποί και μερικά λαχανικά όπως η γλυκοπατάτα είναι τα πιο πλούσια σε βιοτίνη. Στα τρόφιμα η βιοτίνη είναι συνδεδεμένη με πρωτεΐνες. Εντερικές πρωτεάσες καταλύουν αυτή την σύνδεση και η ελεύθερη μορφή της βιοτίνης απορροφάται από το μικρό έντερο. (Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Biotin, 1998)

Οι πληροφορίες που υπάρχουν ως τώρα δεν επαρκούν για την εκτίμηση της προτεινόμενης ημερήσιας πρόσληψης, επομένως οι τιμές επαρκούς πρόσληψης κυμαίνονται από 5-35 mcg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής συναντάται στην ελεύθερη μορφή της.

Σύμφωνα με την έρευνα των Zemleni & Mock 1998, πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου χορηγήθηκε ελεύθερη μορφή βιοτίνης (κρυσταλλική) σε διάλυμα καθώς και ενδοφλέβια. Με βάση τις ουρικές εκκρίσεις που παρατηρήθηκαν, οι οποίες ήταν παρόμοιες και για τις δύο χορηγήσεις, θεωρήθηκε ότι η σχετική βιοδιαθεσιμότητα της ελεύθερης μορφής της βιοτίνης κυμαίνεται πολύ κοντά στο 100% σε σχέση με την ενδοφλέβια χορήγηση η οποία παρέχει 100% βιοδιαθεσιμότητα λόγω της ανεμπόδιστης εισαγωγής της ουσίας στο αίμα.

4.3.1.7 B9 – Φυλλικό Οξύ

Το φυλλικό οξύ είναι το γενικό όνομα φυλλικών που παρατηρούνται σε τρόφιμα και συμπληρώματα διατροφής. Το πιο κοινό είναι το φολικό όξύ που είναι η πλήρως οξειδωμένη μονογλουταμινική μορφή της βιταμίνης, το οποίο χρησιμοποιείται σε συμπληρώματα διατροφής και την διατροφική ενίσχυση τροφίμων. (NIH)

Τα φυλλικά είναι απαραίτητα στη σύνθεση νουκλεοτιδίων καθώς και στο μεταβολισμό αμινοξέων. Απαντώνται φυσικά σε πληθώρα τροφών, μεταξύ των οποίων σκούρων πράσινων φυλλώδων λαχανικών, φρούτων και χυμών, ξηρούς καρπούς, φασόλια, γαλακτοκομικά, αυγά και άλλα.

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 65mcg έως 600 mcg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία. Τα παραπάνω διαμορφώνονται διαφορετικά εάν η πρόσληψη προκύπτει από συμπληρώματα και ενισχυμένα τρόφιμα, καθώς αλλάζει η βιοδιαθεσιμότητα.

Η ανεπάρκεια φυλλικού οξέος δεν είναι συχνό φαινόμενο, κυρίως γιατί συνοδεύεται και από ανεπάρκεια άλλων βιταμινών και στοιχείων. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που δημιουργεί η ανεπάρκεια είναι η μεγαλοβλαστική αναιμία, όπου οδηγεί σε αδυναμία, κόπωση, δυσκολία συγκέντρωσης, ευερεθιστότητα, πονοκέφαλο και δύσπνοια . (Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Folate, 1998)

Όπως προαναφέρθηκε, στα συμπληρώματα διατροφής χρησιμοποιείται το φολικό οξύ που αποτελεί την μορφή στην οποία μεταβολίζονται όλα τα φυλλικά και απορροφάται από τον οργανισμό.

Σύμφωνα με το Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Folate, 1998 και την έρευνα των Pfeiffer et al.1997 η βιοδιαθεσιμότητα του φολικού οξέος βρέθηκε να είναι 100% σε αποκλειστική χορήγηση, χωρίς φαγητό σε άδειο στομάχι, ενώ φαίνεται να μειώθηκε στο 85% όταν χορηγήθηκε μαζί με γεύμα. Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με την εκτίμηση ότι τα φυλλικά που προσλαμβάνονται φυσικά από τροφές εμφανίζουν μέση βιοδιαθεσιμότητα 50%, με πολλούς παράγοντες να παίζουν ρόλο, όπως το

είδος της τροφής, το διατροφικό πλέγμα καθώς και την διαδικασία μεταβολισμού των πολυγλουταμινικών φυλλικών σε μονογλουταμινικό (Ohrvik & Witthoft, 2011)

4.3.1.8 B12 – Κοβαλαμίνη

Η κοβαλαμίνη είναι το γενικό όνομα συμπλόκων που περιέχουν κοβάλτιο και εμφανίζουν λειτουργίες B12. Η βιταμίνη B12 είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη, τη μυελίνωση και τη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος, τη δημιουργία υγιών ερυθρών αιμοσφαιρίων και τη σύνθεση του DNA (NIH).

Συναντάται φυσικά σε προϊόντα ζωϊκής προέλευσης όπως ψάρια, κρέας, πουλερικά, αυγά και γαλακτοκομικά προϊόντα. Η βιοδιαθεσιμότητα μεταξύ των διαφορετικών πηγών φαίνεται να διαφέρει σημαντικά, όπου τα γαλακτοκομικά εμφανίζουν τρεις φορές μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα από τα υπόλοιπα (Watanabe 2007).

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 0.4mcg έως 2.8 mcg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Η πιο σύνηθης μορφή που συναντάται η βιταμίνη B12 στα συμπληρώματα διατροφής είναι αυτή της κυανοκοβαλαμίνης, ενώ λιγότερο συχνά παρατηρούνται οι αδενουλοκοβαλαμίνη, μεθυλοκοβαλαμίνη και υδροξυκοβαλαμίνη. Η απορρόφηση της βιταμίνης B12 είναι στενά συνδεδεμένη με τον ενδογενή παράγοντα, μια γλυκοπρωτεΐνη που είναι απαραίτητη για την απορρόφηση της βιταμίνης B12. Σε μεγάλες δοσολογίες υπάρχει κορεσμός στην ικανότητα απορρόφησης, ξεκινώντας από δόσεις μεγαλύτερες των 2 mcg.

Σύμφωνα με την έρευνα των Devi et al. 2020 σε πείραμα που διεξήχθη, χορηγήθηκε ραδιενεργά σημασμένη κυανοκοβαλαμίνη σε μικρές και μεγάλες δόσεις, ακολουθώντας με μέτρηση της συγκέντρωσης στο αίμα ύστερα. Για δόση 2,3 μg, η οποία παρομοιάζει μια σύνηθης δοσολογία από διατροφικές πηγές, εκτιμήθηκε η τιμή της βιοδιαθεσιμότητας σε 46.2 ± 12.8 . Για μεγαλύτερη δόση 18.3 μg η τιμή της βιοδιαθεσιμότητας ήταν αρκετά χαμηλότερη, δηλαδή 7.6 ± 1.7 , ωστόσο ποσοτικά αποτελεί παρόμοια μέτρηση με την μικρή δόση, επιβεβαιώνοντας και εδώ την αδυναμία απορρόφησης από τον ενδογενή παράγοντα λόγω κορεσμού για ποσότητες απορρόφησης άνω των 1,5 μg.

4.3.2 Βιταμίνη C

Η βιταμίνη C ή αλλιώς L-ασκορβικό οξύ, είναι μια υδατοδιαλυτή βιταμίνη η οποία ο άνθρωπος, σε αντίθεση με τα περισσότερα ζώα, δεν συνθέτει ενδογενώς, κάτι που την κάνει απαραίτητη στο διατροφολόγιο των ανθρώπων. (NIH)

Οι καλύτερες πηγές βιταμίνης C είναι τα φρούτα και τα λαχανικά. Επίσης προστίθεται σε ορισμένα δημητριακά ενώ βρίσκεται και σε συμπληρώματα διατροφής.

Η βιταμίνη C αποτελεί αναγκαίο κομμάτι στη βιοσύνθεση του κολλαγόνου, της L-καρνιτίνης και συγκεκριμένων νευροδιαβιβαστών καθώς επίσης συμμετέχει στο μεταβολισμό των πρωτεϊνών. Ακόμα, έχει σημαντική αντιοξειδωτική δράση, έχει καίριο ρόλο στο ανοσοποιητικό σύστημα και βοηθάει στην απορρόφηση του μη αιμικού σιδήρου (Li & Schellhorn, 2007). Ανεπάρκεια της βιταμίνης οδηγεί σε σκορβούτο.

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 15mg έως 120 mg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής βιταμίνης C, η πιο σύνηθης μορφή είναι αυτή του ασκορβικού οξέος, ωστόσο υπάρχουν και συμπληρώματα με άλατα ασκορβικού και άλλα.

Στην έρευνα των Levine et al. 1996, πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου χορηγήθηκαν διαφορετικές ποσότητες ασκορβικού οξέος, με δόσεις από το στόματος καθώς και ενδοφλέβια, από 30 μg έως 2500μg. Η βιοδιαθεσιμότητα του ασκορβικού οξέος εκτιμηθηκε να είναι πλήρης (100%) για δόση 200μg, ύστερα από την οποία άρχισε να μειώνεται, όπως διακρίνεται από την τιμή F στον παρακάτω πίνακα. Η βιοδιαθεσιμότητα υπολογίστηκε διαιρώντας το AUC της κάθε δόσης, θεωρώντας ότι η ενδοφλέβια δόση επιστρέφει πάντα 100% βιοδιαθεσιμότητα καθώς περνάει άμεσα στην συστημακή κυκλοφορία του αίματος.

Table 2. Ascorbic acid bioavailability

Parameter	Dose, mg	Subject 1	Subject 2	Subject 3	Subject 4	Subject 5	Subject 6	Subject 7	Mean ± SD
AUC _{po}	200	25.53	20.85	29.20	NS	24.57	22.21	25.96	24.72 ± 2.95
AUC _{iv}		31.83	13.55	30.80	NS	21.04	20.43	22.64	23.38 ± 6.90
F, %		80	154	95	NS	117	109	115	112 ± 25
AUC _{po}	500	15.22	NS	33.22	23.46	47.54	41.24	43.64	34.05 ± 12.59
AUC _{iv}		38.10	NS	54.70	34.06	39.48	52.97	60.09	46.57 ± 10.66
F, %		40	NS	61	69	120	78	73	73 ± 27
AUC _{po}	1250	NS	NS	48.63	44.43	70.68	NS	NS	54.58 ± 14.10
AUC _{iv}		NS	NS	147.53	121.56	90.93	NS	NS	120.01 ± 28.33
F, %		NS	NS	33	37	78	NS	NS	49 ± 25

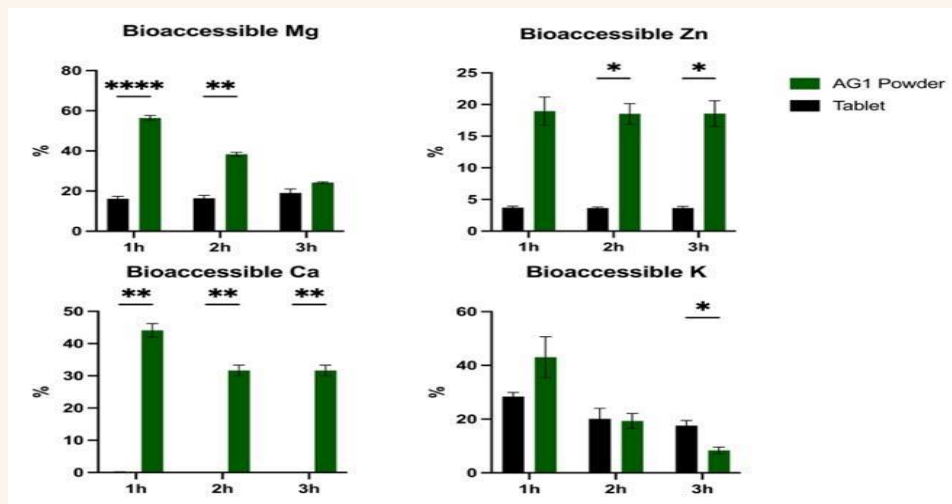
Εικόνα: 18 Τιμές βιοδιαθεσιμότητας σε διαφορετικές χορηγούμενες ποσότητες ασκορβικού οξέος (Levine et al. 1996)

4.4 Πολυβιταμίνες

Οι πολυβιταμίνες αναφέρονται σε συμπληρώματα διατροφής τα οποία εμπεριέχουν διαφορετικές πολλαπλές βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία σε διαφορετικές ποσότητες. Οι πολυβιταμίνες είναι μια πολύ συχνη εμπορική επιλογή λόγω της ευκολίας και της ελαστικότητας που προσφέρουν στην πρόσληψη επαρκούς ποσότητας διαφορετικών διατροφικών στοιχείων που καλύπτουν τις συνιστώμενες τιμές πρόσληψης. Στην αμερικάνικη αγορά αποτελεί το 38% των πωλήσεων συμπληρωμάτων βιταμινών και μεταλλικών στοιχείων (NIH).

Οι εμπορικές πολυβιταμίνες βρίσκονται συνήθως σε μορφή κάψουλας ή ταμπλέτας. Ωστόσο, τα σύγχρονα πολυβιταμινούχα και πολυμεταλλικά συμπληρώματα αρχίζουν να διατίθενται σε μορφή σκόνης, με κύριο λόγο τις πιθανές βελτιώσεις στη βιοδιαθεσιμότητα (Sapp et al.2023).

Στην έρευνα των Sapp et al.2023 αξιολογήθηκε η βιοδιαθεσιμότητα τεσσάρων μεταλλικών στοιχείων, μαγγάνιο, ψευδάργυρο, ασβέστιο και ποτάσσιο σε μορφή σκόνης σε σχέση με συμβατικές εμπορικές ταμπλέτες, σε ένα μοντέλο προσομοίωσης του ανθρώπινου εντερικού μικροβιακού οικοσυστήματος (SHIME). Τα αποτελέσματα του πειράματος ενέδειξαν πολύ καλύτερη βιοδιαθεσιμότητα των παραπάνω μεταλλικών στοιχείων σε μορφή σκόνης έναντι της ταμπλέτας. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές βιοδιαθεσιμότητας σε % για την κάθε μορφή που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα: 19 Τιμές βιοδιαθεσιμότητας των μεταλλικών στοιχείων, σύγκριση σκόνης και ταμπλέτας (Sapp et al. 2023)

Όπως είναι λογικό, λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης μεταξύ των διαφορετικών πολυβιταμινούχων συμπληρωμάτων, η αξιολόγηση της βιοδιαθεσιμότητας αποτελεί δύσκολο και περιορισμένο έργο. Οι διαφορετικές, κάθε φορά, παρεχόμενες βιταμίνες, η διαφοροποίηση στην δοσολογία αυτών, καθώς και ο ατομικός παράγοντας κάθε μίας στην απορρόφηση και την αξιοποίηση της μαζί με τις διαφορετικές αντιδράσεις μεταξύ βιταμινών ή μεταλλικών στοιχείων, περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τον ακριβή εντοπισμό της βιοδιαθεσιμότητας στα πολυβιταμινούχα συμπληρώματα.

Επίσης οι ορισμοί και η κατηγοριοποίηση των πολυβιταμινούχων συμπληρωμάτων δεν είναι τυποποιημένοι. Οι διαφορές που μπορεί να προκύψουν επηρεάζουν τις εκτιμήσεις τόσο της συχνότητας όσο και των προσλήψεων ενώ δυσκολεύουν την άμεση σύγκριση από μία μελέτη ή έρευνα σε άλλη, ή τη γενίκευση από τα δημοσιευμένα αποτελέσματα στα προϊόντα που κυκλοφορούν στην αγορά. (Yetley, 2007)

Ακόμα, οι πραγματικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών σε ένα προϊόν μπορεί να ποικίλλουν και να διαφέρουν από τις τιμές που αναφέρονται στην ετικέτα. Σύμφωνα με μετρήσεις της USDA έχει παρατηρηθεί ότι οι αναφερόμενες ποσότητες μπορεί να διαφέρουν έως και πάνω από 25% από την πραγματική περιεχόμενη ποσότητα, δυσκολεύοντας έτσι ακόμα περισσότερο την ακριβή αποτίμηση απορρόφησης και βιοδιαθεσιμότητας αυτών των συμπληρωμάτων (Comerford, 2013)

Απαραίτητη κρίνεται η περαιτέρω και εκτενής έρευνα για την βιοδιαθεσιμότητα των διάφορων πολυβιταμινούχων συμπληρωμάτων, καθώς αποτελεί την κύρια ένδειξη ποιότητας αυτών. Ακόμα, είναι σημαντικό να οριοθετηθούν και να σημανθούν σωστά αυτά τα προϊόντα προς αποφυγή εμπορικών παρεξηγήσεων καθώς και για την ενίσχυση σε ερευνητικό επίπεδο

Ανεξαρτήτως των παραπάνω, υπάρχει περιορισμένη βιβλιογραφία για την χρήση διαφορετικών μορφών πολυβιταμινούχων συμπληρωμάτων, όπως ταμπλέτες-διαλυμένες ταμπλέτες ή λιποσωματικά-μη λιποσωματικά πολυβιταμινούχα σκευάσματα, συγκρίνοντας την αποδοτικότητα του και προωθώντας καινοτόμες τεχνολογίες για την βελτιστοποίηση της βιοδιαθεσιμότητας από τα συμπληρώματα αυτά. Επίσης υπάρχει έρευνα για την αξιοποίηση πολυβιταμινούχων και συγκεκριμένων βιταμινών κατά την περίοδο κύησης. (Ko et al.2023) (Navarro & Wood,2003) (Dawson et al.2000). Οι έρευνες αυτές δεν θα σχολιαστούν περαιτέρω στην παρούσα εργασία καθώς παρεκτρέπονται από το κεντρικό θέμα.

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπληρώματα μετάλλων, ιχνοστοιχείων και βιοδιαθεσιμότητα

5.1 Εισαγωγή

Τα μέταλλα είναι ανόργανα στοιχεία που παίζουν κρίσιμο ρόλο σε πολλές φυσιολογικές διαδικασίες απαραίτητες για τη διατήρηση της υγείας και της ευεξίας. Είναι απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που το σώμα δεν μπορεί να παράγει από μόνο του και συνεπώς πρέπει να λαμβάνονται μέσω της διατροφής ή συμπληρωμάτων. Τα κύρια μέταλλα, όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο, απαιτούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες, ενώ τα ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και το σελήνιο χρειάζονται σε μικρότερες ποσότητες. Αυτά τα μέταλλα συμβάλλουν σε διάφορες σωματικές λειτουργίες, όπως ο σχηματισμός οστών και δοντιών, η σύσπαση των μυών, η μετάδοση νευρικών σημάτων, η ενεργοποίηση ενζύμων και η ρύθμιση της ισορροπίας των υγρών. Χωρίς επαρκή πρόσληψη μετάλλων, διάφορα συστήματα του σώματος μπορεί να διαταραχθούν, οδηγώντας σε μια σειρά από προβλήματα υγείας.

Στις σύγχρονες δίαιτες, η επαρκής λήψη μετάλλων αποκλειστικά από τις τροφές μπορεί να είναι δύσκολη λόγω παραγόντων όπως η γεωρική εξάντληση, η επεξεργασία των τροφίμων και οι διατροφικές επιλογές. Για παράδειγμα, η ανεπαρκής πρόσληψη ασβεστίου και μαγνησίου μπορεί να επηρεάσει την οστική πυκνότητα, ενώ η έλλειψη σιδήρου μπορεί να οδηγήσει σε αναιμία. Ως εκ τούτου, η συμπλήρωση με μέταλλα μπορεί να είναι κρίσιμη, ιδιαίτερα για άτομα με συγκεκριμένους διατροφικούς περιορισμούς, προβλήματα υγείας ή αυξημένες φυσιολογικές απαιτήσεις, όπως η εγκυμοσύνη ή η έντονη σωματική δραστηριότητα. Αν και η συμπλήρωση μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη των διατροφικών ελλείψεων, είναι σημαντικό να προσεγγίζεται με προσοχή, καθώς η υπερβολική λήψη ορισμένων μετάλλων μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητα και ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην υγεία. Συνεπώς, η κατανόηση της βιοδιαθεσιμότητας αυτών των συμπληρωμάτων είναι κλειδί για να διασφαλιστεί ότι αξιοποιούνται αποτελεσματικά από το σώμα.

5.2 Μέταλλα

5.2.1 Ασβέστιο

Το ασβέστιο αποτελεί από το πιο άφθονο μέταλλο που συναντάται στο ανθρώπινο σώμα. Αξιοποιείται για την σύνθεση της δομής των οστών και των δοντιών ενώ παράλληλα διατηρεί τους ιστούς δυνατούς και εύκαμπτους. Ακόμα, τα ιόντα ασβεστίου που υπάρχουν στην κυκλοφορία του αίματος έχουν καίριο ρόλο στην συστολή και διαστολή των αιμοφόρων αγγείων, στη μυϊκή λειτουργία, στη πήξη του αίματος και στη μετάδοση νευρολογικών σημάτων (Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D, 2011).

Το ασβέστιο συναντάται φυσικά σε τρόφιμα, κυρίως σε γαλακτοκομικά. Το γάλα, το γιαούρτι και το τυρί είναι οι πιο πλούσιες πηγές ασβεστίου. Ακόμα χρησιμοποιείται για να ενισχύσει τροφές, όπως σιτηρά προϊόντα ή χυμούς, ενώ βρίσκεται και σε συμπληρώματα διατροφής.

Το 98% της ποσότητας ασβεστίου στο σώμα βρίσκεται αποθηκευμένο στα οστά, τα οποία λειτουργούν ως πηγές και αποθήκες. Η απορρόφηση του ασβεστίου πραγματοποιείται με ενεργή και παθητική μεταφορά. Η πρώτη είναι υπεύθυνη για μικρότερες δοσολογικές ποσότητες ασβεστίου ενώ η δεύτερη για μεγαλύτερες. Για την απορρόφηση του ασβεστίου από το έντερο με ενεργή μεταφορά είναι απαραίτητη η βιταμίνη D. (Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D, 2011). Η απορρόφηση του ασβεστίου επηρεάζεται από την ηλικία και την ποσότητα της δόσης κάθε φορά. Για μεγαλύτερες δόσεις η απορρόφηση μειώνεται σημαντικά, όπως επίσης μειώνεται και με την ηλικία, όπου στα βρέφη και στα παιδιά παρατηρείται η μεγαλύτερη απορρόφηση.

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 200mg έως 1300 mg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Η ανεπάρκεια σε ασβέστιο οδηγεί σε οστεοπόρωση η οποία χαρακτηρίζεται από εύθραυστα κόκκαλα και γενική αδυναμία. Μία ακόμα πάθηση που προκύπτει από την ανεπάρκεια ασβεστίου είναι η οστεομαλακία, που χαρακτηρίζεται από την μαλάκωση των οστών.

Στα συμπληρώματα διατροφής, το ασβέστιο συνήθως είναι μέρος πολυβιταμινούχων με ποσότητες από 200mg έως 300mg ή βρίσκεται σε συμπληρώματα ασβεστίου και βιταμίνης D σε ποσότητες 500mg – 600mg. Οι πιο συχνές μορφές ασβεστίου στα συμπληρώματα διατροφής είναι το ανθρακικό και το κιτρικό ασβέστιο.

Σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα, δοσολογίες συμπληρωμάτων 300mg φαίνεται να απορροφούνται έως και το 36% ενώ για δόσεις μεγαλύτερες από 500mg η απορρόφηση φαίνεται να μειώνεται(Heaney, 1999). Ύστερα από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας δεν φαίνεται να υπάρχει ποσοτικός προσδιορισμός συγκεκριμένα της βιοδιαθεσιμότητας του ασβεστίου ή η βιοδιαθεσιμότητα του συνδέεται στενά με το ποσοστό απορρόφησης. Στους παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση και κατά επέκταση την βιοδιαθεσιμότητα, είναι η δοσολογία, η ηλικία, το φύλο, η ήδη υπάρχων ποσότητα ασβεστίου, η συγκέντρωση βιταμίνης D καθώς και ο ανταγωνισμός στην απορρόφηση με άλλα στοιχεία, όπως το μαγνησιο και το ψευδάργυρο. Δεδομένου επίσης ότι κύριο χαρακτηριστικό του ασβεστίου είναι η αποθήκευση του στα οστά δυσκολεύει πολύ την ποσοτική μέτρηση της βιοδιαθεσιμότητας.

Συγκριτικά ωστόσο, σύμφωνα με τις έρευνες των Nicar et al.1985 και Sakhaee et al.1999 έχει φανεί ότι το κιτρικό ασβέστιο φαίνεται να έχει 22% με 27% καλύτερη απορρόφηση σε σχέση με το ανθρακικό, ανεξαρτήτως τρόπου κατάποσης. Αυτό μπορεί να αποδίδεται ωστόσο και στο γεγονός ότι το κιτρικό ασβέστιο περιέχει 21% στοιχειώδες ασβέστιο σε σχέση με το ανθρακικό που αποτελείται από 40%. Όμως, λόγω της καλύτερης απορρόφησης, μαζί και με την εξάλειψη μερικών γαστροεντερικών παρενεργειών, το κιτρικό ασβέστιο φαίνεται να προτιμάται.

5.2.2 Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο είναι επίσης ένα άφθονο μεταλλικό στοιχείο στον ανθρώπινο οργανισμό. Αποτελεί παράγοντα για πάνω από 300 ενζυμικά συστήματα που ρυθμίζουν διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις στο σώμα, συμπεριλαμβανομένης της πρωτεϊνικής σύνθεσης, της λειτουργίας των μυών και των νεύρων, του ελέγχου της γλυκόζης στο αίμα και της ρύθμισης της αρτηριακής πίεσης. Ακόμα απαιτείται για την παραγωγή ενέργειας, την οξειδωτική φωσφορυλίωση και την γλυκόλυση (Institute of Medicine (IOM). Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D and Fluoride, 1997).

Το μαγνήσιο συναντάται φυσικά σε ποικιλία τροφίμων όπως ζωϊκές και φυτικές τροφές. Τα πράσινα φυλλώδη λαχανικά αποτελούν την καλύτερη πηγή μαγνησίου και γενικώς τροφές που περιέχουν διαιτητικές ίνες. Ακόμα χρησιμοποιείται για να ενισχύσει τροφές, δημητριακά πρωϊνού, ενώ βρίσκεται και σε συμπληρώματα διατροφής.

Η πλειοψηφία του μαγνησίου στο σώμα συνήθως εντοπίζεται στα κόκκαλα (50%-60%) ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται σε μαλακούς ιστούς. Μόλις το 1% του μαγνησίου βρίσκεται στη κυκλοφορία του αίματος. Η αξιολόγηση της ένδειξης μαγνησίου λοιπόν είναι δύσκολη, καθώς σχεδόν όλη η ποσότητα βρίσκεται στα κόκκαλα ή στους ιστούς, ενώ η ποσότητα που υπάρχει στον ορό του αίματος δεν είναι απαραίτητα αντιπροσωπευτική της συνολικής ποσότητας (NIH).

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 30mg έως 420 mg, επηρεαζόμενη από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής, το μαγνήσιο βρίσκεται σε διάφορες μορφές, όπως οξείδιο μαγνησίου, κιτρικό και χλωριούχο οξείδιο. Συνήθως τα συμπληρώματα μαγνησίου έχουν την μορφή ταμπλέτας ή δισκίου.

Σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα, όπως προαναφέρθηκε, λόγω της συσσώρευσης σχεδόν όλης της ποσότητας του μαγνησίου στα κόκκαλα και τους ιστούς, η ποσοτική μέτρηση της βιοδιαθεσιμότητας δεν νοείται. Είναι κοινή πρακτική να μετρείται η AUC (Area Under Curve) του ορού αίματος και κατά επέκταση να εκπονούνται αποτελέσματα για την

βιοδιαθεσιμότητα από εκεί, ωστόσο η συγκέντρωση του μαγνησίου στο αίμα αποτελεί μόλις το 1% της συνολικής ποσότητας και δεν μπορεί να είναι αντιρροσωπευτική της βιοδιαθεσιμότητας του μαγνησίου. Βάση των παραπάνω όμως μπορεί να μετρηθεί το ποσοστό απορρόφησης καθώς και να συγκριθούν διάφορες μορφές μαγνησίου μεταξύ τους. Η μέση απορρόφηση του μαγνησίου είναι μεταξύ 30% και 40% (Witkowski et al.2011), κάτι το οποίο φαίνεται να διαφοροποιείται για τις διαφορετικές μορφές του μαγνησίου καθώς και πόσο υδατοδιαλυτή είναι η δόση. Ακόμα παρατηρήθηκε πως οι μη οργανικές μορφές του μαγνησίου σε σχέση με τις οργανικές, εμφανίζουν μικρότερη απορρόφηση και κατά επέκταση συγκέντρωση στο αίμα, κάτι που ίσως μπορεί να συσχετιστεί και με μικρότερη συνολικά βιοδιαθεσιμότητα (Pardo et al.2021). Ακόμα, ανάμεσα στις δύο κύριες μορφές που συναντιούνται στα εμπορικά συμπληρώματα διατροφής, δηλαδή το οξικό και κιτρικό μαγνήσιο, το δεύτερο εμφανίζει σταθερά καλύτερη απορρόφηση και μεγαλύτερη τιμή AUC, υπονοώντας καλύτερη βιοδιαθεσιμότητα (Ranade & Somberg, 2001) (Lindberg et al.1990) (Karpeler et al.2017)(Blancquaert et al.2019). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένας πίνακας από την έρευνα των Ranade & Somberg, 2001 με τις ανάλογες εκτιμήσεις για την βιοδιαθεσιμότητα διαφορετικών αλάτων μαγνησίου.

Magnesium salts	Carbonate ⁴⁶	Chloride ^{38*}	Citrate ^{39,40†}	Fumarate ⁴³	Gluconate ^{38*}	Glycinate ⁴⁵
Elemental Mg ⁺⁺ /dose, mg (mEq)	232 (19.0)	64 (5.26)	—(25)	530 (44.16)	27 (2.2, tablets) 54 (4.4, liquid)	100 (8.33)
Solubility in water	Nearly insoluble	High	Very good	Good	Moderate	Good
Bioavail- ability	Extremely low	Good	Good	Good	Good; similar to chloride	Good
Oral absorption, % (mEq)		19.68 (1.04)	29.64 (ionic)		19.25 (0.82–0.43)	23.5
Delivery system	Tablets	Enteric coated tablets	Liquid, tablets	Tablets	Tablets, liquid	Ingestion
Dosage	70 mg elemental Mg (each tablet)	640 mg/d, 1–2 tabs TID	25 mEq Mg, 2–5 tablets	1 Tablet	648 mg/d, 2–4 tablets TID	100 mg

Εικόνα: 20 Σύγκριση διαφορετικών αλάτων μαγνησίου (Ranade & Somberg, 2001)

5.2.3 Κάλιο

Το κάλιο αποτελεί το πιο άφθονο ενδοκυτταρικό κατιόν. Βρίσκεται παρών σε όλους τους ιστούς του σώματος και απαιτείται για την διασφάλιση της φυσιολογικής λειτουργίας των κυττάρων λόγω του ρόλου του στην διαχείριση των ενδοκυτταρικών υγρών και στις διαμεμβρανικές ηλεκτροχημικές διαβαθμίσεις (Stone et al.2016).

Το κάλιο συναντάται σε ποικιλία ζωικών και φυτικών τροφών, με τις καλύτερες να είναι τα φρούτα και τα λαχανικά όπως και μερικά φασόλια.

Η αξιολόγηση της ένδειξης του καλίου δεν είναι συνηθης πρακτική λόγω των δυσκολιών που εμφανίζει. Το μεγαλύτερο μέρος του καλίου βρίσκεται μέσα στα κύτταρα. Όπως και με το μαγνήσιο, μπορούν να εκπονηθούν κάποια αποτελέσματα από την συγκέντρωση του καλίου στο αίμα, ωστόσο δεν είναι αντιπροσωπευτικά της συνολικής ποσότητας και λειτουργίας του.

Οι πληροφορίες που υπάρχουν ως τώρα δεν επαρκούν για την εκτίμηση της προτεινόμενης ημερήσιας πρόσληψης, επομένως οι τιμές επαρκούς πρόσληψης κυμαίνονται από 400-3400mg, επηρεαζόμενο από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής το κάλιο εμφανίζεται συνήθως ως υδροχλωρικό κάλιο, ενώ χρησιμοποιούνται και άλλες μορφές του όπως κιτρικό, φωσφορικό, ασπαρτικό, διττανθρακικό καθώς και το γλυκονικό κάλιο, το οποίο συναντάται επίσης συχνά. Τα συμπληρώματα καλίου περιορίζονται σε μόνο 99mg στοιχειακού καλίου ανά δόση καθώς ο FDA έχει κρίνει μη ασφαλή την κατάποση μεγαλύτερης δόσης λόγω συσχέτισης με βλάβες στο λεπτό έντερο.

Ανεπάρκεια σε κάλιο μπορεί να αυξήσει την αρτηριακή πίεση, τον κίνδυνο για εμφάνιση πέτρας στα νεφρά, την απέκκριση ασβεστίου στα ούρα και την ευαισθησία στο αλάτι. Ακόμα μπορεί να οδηγήσει στην υποκαλιαιμία, όπου χαρακτηρίζεται από δυσκοιλιότητα, κόπωση, μυϊκή αδυναμία και γενική δυσφορία. Η ανεπάρκεια σε κάλιο εμφανίζεται σπάνια σε υγιής ανθρώπους και συνήθως συσχετίζεται με δυσλειτουργία του νεφρού.

Σχετικά με την βιοδιαθεσιμότητα, παρομοιάζεται με την περίπτωση του μαγνησίου. Λόγω της φτωχής συσχέτισης της συγκέντρωσης του καλίου στο αίμα με την πραγματική ποσότητα και διενέργεια του καλίου, η προσπάθεια ποσοτικής μέτρησης της βιοδιαθεσιμότητας είναι πολύ δύσκολη και επομένως δεν υπάρχουν έρευνες πάνω σε αυτό. Επίσης, υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το ποσό του καλίου που εκκρίνεται από τα ούρα, καθώς αποτελεί το 90% του παρεχόμενου καλίου (Stone et al.2016), μιας και αποτελεί δείκτη για την διάγνωση της υποκαλιαιμίας (Picard, 2018).

Σύμφωνα με την έρευνα των Macdonald-Clarke et al.2016, πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου συγκρίθηκε συμπλήρωμα γλυκονικού καλίου σε σχέση με το κάλιο που απορροφάται από πατάτες. Μετρώντας το AUC και τις ουρικές αποκρίσεις παρατηρήθηκε ότι η απορρόφηση, η συγκέντρωση στο αίμα, οι ουρικές αποκρίσεις και κατά επέκταση η βιοδιαθεσιμότητα του καλίου ήταν στα ίδια επίπεδα και στις δύο ομάδες.

5.3 Ιχνοστοιχεία

5.3.1 Σίδηρος

Ο σίδηρος είναι είναι απαραίτητο ανόργανο στοιχείο για όλους τους οργανισμούς. Είναι σημαντικό κομμάτι των αιμοσφαιρινών, οι οποίες μεταφέρουν το οξυγόνο από τους πνεύμονες στους ιστούς. Επίσης, αποτελεί και κομμάτι των μυοσφαιρινών, υποστηρίζοντας τον μυϊκό μεταβολισμό και το υγιή συνδετικό ιστό. Ακόμα είναι απαραίτητος για τη φυσική και νευρολογική ανάπτυξη, την κυτταρική λειτουργία και τη σύνθεση ορισμένων ορμονών (NIH).

Ο διαιτητικός σίδηρος υπάρχει σε δύο μορφές, τον αιμικό και μη αιμικό. Ο αιμικός σίδηρος αποτελεί το 10-15% της συνολικής πρόσληψης σιδήρου (Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes for Iron, 2001)

Ο αιμικός σίδηρος βρίσκεται φυσικά σε κρέατα, πουλερικά και θαλασσινά, με τις πιο πλούσιες πηγές να είναι τα άπαχα κρέατα και τα θαλασσινά. Ο μη αιμικός σίδηρος περιλαμβάνεται κυρίως σε φυτικές τροφές, όπως ξηρούς καρπούς, φασόλια, λαχανικά. Ακόμα είναι σύνηθης πρακτική η ενίσχυση τροφίμων και κυρίως σιτηρών με σίδηρο.

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 0,27mg έως 27 mg, επηρεαζόμενη από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Στα συμπληρώματα διατροφής ο σίδηρος βρίσκεται είτε σε πολυβιταμίνες, συνήθως σε ποσότητες 18mg, είτε σε ατομικά συμπληρώματα σε ποσότητες 65mg. Οι συχνότερες χρησιμοποιούμενες μορφές του στα συμπληρώματα διατροφής περιλαμβάνουν άλατα δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου, με τα πρώτα να παρουσιάζουν καλύτερη γενική βιοδιαθεσιμότητα λόγω της υψηλότερης διαλυτότητάς τους. (Encyclopedia of Dietary Supplements. 2nd ed., Iron)

Η ανεπάρκεια σιδήρου δεν είναι σπάνιο φαινόμενο, αλλά συνήθως συσχετίζεται με κακή διατροφή και διατροφικές διαταραχές. Επηρεάζει πιο συχνά μικρά παιδιά, γυναίκες που βρίσκονται σε αναπαραγωγική ηλικία και εγκυμονούσες. Περνάει από στάδια γραμμικής απώλειας, με το τελευταίο να είναι η ολοκληρωτική εξασθένηση των αποθηκών σιδήρου (αναιμία), όπου χαρακτηρίζεται και από γαστρεντερικές διαταραχές, αδυναμία, κούραση, δυσκολία συγκέντρωσης και εξασθένηση γνωστικής λειτουργίας, ανοσοποιητικής λειτουργίας, απόδοσης άσκησης ή εργασίας και ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος (Camaschella, 2015)

Όπως και με τα υπόλοιπα μέταλλα και ιχνοστοχεία, η ακριβής ποσοτικοποίηση της βιοδιαθεσιμότητας του σιδήρου αποτελεί δύσκολο έργο, καθώς η πλειοψηφία χρησιμοποιείται στις αιμοσφαιρίνες, ενώ ο υπόλοιπος σίδηρος αποθηκεύεται με της μορφή φεριτίνης στο συκώτι, στη σπλήνα, και στο μεδούλι των κοκκάλων ή εντοπίζεται στις μυοσφαιρίνες των μυϊκών ιστών (Taylor & Brannon,2017). Ακόμα, ο ανθρώπινος οργανισμός εκκρίνει πολύ μικρές ποσότητες σιδήρου, επομένως έρευνες ισορροπίας δεν μπορούν να αποτελέσουν αξιόπιστη μέθοδο για την μέτρηση της απορρόφησης και της συγκέντρωσης του σιδήρου. Επίσης υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την μέτρηση των αιμοσφαιρινών και του αιματοκρίτη ως τρόπος κατανόησης και πρόληψης της αναιμίας.

Ωστόσο , στην έρευνα των Christides et al.2014 πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου εκτιμήθηκε η σχετική βιοδιαθεσιμότητα διαφορετικών εμπορικών συμπληρωμάτων σιδήρου χρησιμοποιώντας ένα in vitro μοντέλο με καλλιέργεια Caco-2 κυττάρων, εκτιμώντας της συσσώρευση φεριτίνης στο πέρας. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τρία συμπληρώματα σε υγρή μορφή, ένα συμπλήρωμα σε μορφή ταμπλέτας και ένα συμπλήρωμα πολυβιταμινών

σε μορφή ταμπλέτας. Οι μορφές του σιδήρου που υπήρχαν στα συμπληρώματα καθώς και οι τελικές συγκεντρώσεις σε φερριτίνη αποδίδονται στους παρακάτω πίνακες.

Product name	Reported iron content	Manufacturer
Spatone®	0.25 mg FeSO ₄ /mL	A Nelson and Co Ltd (UK)
Spatone Apple®	0.20 mg FeSO ₄ /mL	A Nelson and Co Ltd (UK)
Iron Vital F®	1 mg iron-II-gluconate/mL	Anton Hübner GmbH and Co (Germany)
Pregnacare Original®	51.4 mg ferrous fumarate equivalent to 17 mg ferrous iron/tablet	Vitabiotics Ltd (UK)
Almus ferrous sulphate tablets	200 mg FeSO ₄ equivalent to 65 mg ferrous iron/tablet	Almus Pharmaceuticals (UK)

Εικόνα: 21 Συμπληρώματα και μορφές σιδήρου που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα των Christides et al.2014

Product name	Digest iron concentrations (mg/L)	ng ferritin/mg protein (unadjusted)
FeSO ₄	2.80 ± 0.10 (0 %)	11.82 ± 0.67 (0 %)
Iron Vital F® (IVF)	2.90 ± 0.37 (4 %)	25.76 ± 2.07 ^a (118 %)
Pregnacare Original® (PG)	2.83 ± 0.68 (1 %)	10.35 ± 0.82 (-12 %)
Spatone®	3.40 ± 0.62 (18 %)	12.24 ± 0.91 (4 %)
Spatone Apple®	4.00 ± 0.75* (30 %)	83.94 ± 4.46 ^b (610 %)

Εικόνα: 22 Συγκεντρώσεις φερριτίνης στα Caco-2 κύτταρα και σύγκριση μεταξύ του χρησιμοποιώντας ως βάση το FeSO₄ (Christides et al.2014)

Όπως παρατηρείται, στο δεύτερο και το τελευταίο συμπλήρωμα υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά σχετικά με την βάση που είναι το FeSO₄. Πρέπει να σημειωθεί πως σε αυτά τα συμπληρώματα υπάρχει προσθήκη ασκορβικού σε αναλογίες 1:6 και 1:16 σιδήρου:ασκορβικού αντίστοιχα, γεγονός που δικαιολογεί και τις μεγάλες διαφορές, καθώς το ασκορβικό ενισχύει την πρόσληψη του σιδήρου και είναι ανάλογο της δόσης. Ακόμα στο τρίτο συμπλήρωμα που ήταν πολυβιταμίνες, υπήρχε ψευδάργυρος που δυσχαιρένει μερικώς την πρόσληψη του σιδήρου. Η σύνοψη του πειράματος αυτού υπέδειξε ότι φόρμουλες συμπληρωμάτων σιδήρου με θεικό σίδηρο σε υγρή μορφή και εμπλουτισμένο με ασκορβικό αποδίδουν πολύ καλύτερα από τις απλές συμβατικές ταμπλέτες σιδήρου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερες δόσεις σιδήρου με καλύτερη βιοδιαθεσιμότητα και να μετριάσει κάποιες παρενέργειες που συνδέονται με την κατάποση συμπληρωμάτων σιδήρου, όπως γαστροεντερικές διαταραχές.

5.3.2 Ψευδάργυρος

Ο ψευδάργυρος είναι ένα απαραίτητο ισχυοστοιχείο το οποίο εμπλέκεται σε πολλές λειτουργίες του κυτταρικού μεταβολισμού. Απαιτείται για την δραστηριότητα εκατοντάδων ενζύμων και παίζει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος, στη σύνθεση πρωτεϊνών και DNA, στην επούλωση πληγών καθώς και στη κυτταρική σήμανση και διάσπαση (Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes for Zinc, 2001)

Ο ψευδάργυρος συναντάται φυσικά σε ποικίλες τροφές, με τις πιο πλούσιες πηγές να είναι τα κρέατα, τα ψάρια και τα θαλασσινά. Ακόμα, ο ψευδάργυρος περιέχεται σε αυγά και γαλακτοκομικά καθώς και σε φασόλια, ξηρούς καρπούς και σιτηρα, ωστόσο δεν θεωρούνται καλές πηγές λόγω των φυτικών οξέων τα οποία δεσμεύουν έντονα τα μέταλλα και τα ισχυοστοιχεία (King et al. 2016).

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμαίνεται από 02 mg έως 13 mg, επηρεαζόμενη από παράγοντες όπως ηλικία, φύλο, εγκυμοσύνη και λακτοφορία.

Λόγω της πληθώρας των λειτουργιών που έχει ο ψευδάργυρος στα διάφορα οργανικά συστήματα, η ανεπάρκεια του επηρεάζει πολλούς ιστούς και όργανα, όπως το δέρμα, τα κόκκαλα, το πεπτικό, αναπαραγωγικό, κεντρικό νευρικό και ανοσοποιητικό σύστημα.

Στα συμπληρώματα διατροφής, ο ψευδάργυρος βρίσκεται συχνά σε πολυβιταμίνες αλλά υπάρχει και ατομικά. Βρίσκεται σε πολλές μορφές, μεταξύ των οποίων οι πιο συχνές είναι ο θειικός, ο οξικός και ο γλυκονικός ψευδάργυρος.

Σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα, όπως και με τα υπόλοιπα μέταλλα η ακριβής ποσοτική εκτίμηση της βιοδιαθεσιμότητας είναι δύσκολη, καθώς ο μόνος δείκτης είναι η συγκέντρωση στο αίμα ενώ ο περισσότερος ψευδάργυρος αποθηκεύεται στους σκελετικούς μύες και στα κόκκαλα. Ο ψευδάργυρος επίσης έχει την ιδιαιτερότητα ότι η συγκέντρωση στο αίμα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες όπως, το φύλο, η ηλικία, η ώρα της δοσολογίας, οι αλλαγές στο μυϊκό καταβολισμό και στις στεροειδής ορμόνες. Ωστόσο υπάρχει ενδιαφέρον για την μεταξύ σύγκριση των διαφορετικών μορφών ψευδαργύρου που παρουσιάζονται στα συμπληρώματα. Στη έρευνα των Gandia et al. 2006 συγκρίθηκε ο διγλυκινικός ψευδάργυρος με τον γλυκονικό ψευδάργυρο, όπου βρέθηκε μια διαφορά 43,4%

στην βιοδιαθεσιμότητα υπέρ του πρώτου. Ακόμα στην έρευνα των Wegmuller et al. 2014 μελετήθηκε η απορρόφηση διαφορετικών μορφών ψευδαργύρου σε δοσολογίες των 10mg, όπου το οξειδίο ψευδαργύρου εμφάνισε την μικρότερη απορρόφηση με ποσοστό 49,9%, ενώ ο κιτρικός και γλυκονικός ψευδάργυρος εκτιμήθηκαν στα 61,3% και 60,9% αντίστοιχα.

Τέλος στην έρευνα των Osko et al. 2023 εκτιμήθηκε η βιοπροσβασιμότητα, η οποία όπως έχει προαναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρεται στο κλάσμα της συνολικής ποσότητας μιας ουσίας που είναι δυννητικά διαθέσιμη για απορρόφηση. Την μεγαλύτερη τιμή φάνηκε να εκφέρει συμπλήρωμα με διγλυκινικό ψευδάργυρο, όπου εκτιμήθηκε πιθανή βιοπροσβασιμότητα 9,38% και επομένως συγκριτικά, αντίστοιχη καλύτερη βιοδιαθεσιμότητα σε σχέση με τις άλλες μορφές που μελετήθηκαν.

Κεφάλαιο 6^ο: Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η μελέτη της βιοδιαθεσιμότητας των διατροφικών συμπληρωμάτων έχει αποκαλύψει πολλές πληροφορίες για την απορρόφηση και την αποτελεσματικότητα των διαφόρων θρεπτικών συστατικών. Παρά τις σημαντικές προόδους, υπάρχουν ακόμη πολλά που χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση. Μια σημαντική περιοχή για μελλοντική έρευνα είναι η βιοδιαθεσιμότητα των συμπληρωμάτων σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία. Συχνά, τα συμπληρώματα καταναλώνονται μαζί με άλλα θρεπτικά συστατικά, αλλά δεν γνωρίζουμε πλήρως πώς οι συνδυασμοί αυτοί επηρεάζουν την απορρόφηση και την αποτελεσματικότητα. Οι μελέτες θα πρέπει να εστιάσουν στο πώς αυτά τα μείγματα μπορούν να βελτιστοποιηθούν για να προσφέρουν μέγιστα οφέλη υγείας.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να μελετηθούν οι ατομικές διαφορές στη βιοδιαθεσιμότητα των συμπληρωμάτων. Παράγοντες όπως η ηλικία, το φύλο, το γενετικό υπόβαθρο και το εντερικό μικροβίωμα μπορούν να επηρεάσουν την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Η εξατομικευμένη διατροφή, που προσαρμόζει τις συστάσεις στις ιδιαίτερες ανάγκες του κάθε ατόμου, είναι ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο που θα μπορούσε να βελτιώσει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των συμπληρωμάτων. Ακόμα ο έντονος διαπροσωπικός παράγοντας σε σχέση με την διαφοροποίηση ανάλογα το θρεπτικό συστατικό είναι επίσης ένα πεδίο έρευνας που πρέπει να εδραιωθεί περισσότερο καθώς λόγω της έντονης επιρροής που έχει στη βιοδιαθεσιμότητα.

Τέλος, απαιτούνται περισσότερες μακροπρόθεσμες μελέτες και τυποποίηση αυτών, σε πληθυσμιακό σύνολο τέτοιο που να επιτρέπει την μετάφραση των αποτελεσμάτων σε πραγματικές συνθήκες. Παρόλο που οι βραχυπρόθεσμες μελέτες είναι χρήσιμες για να εξαχθούν κυρίως ποιοτικά αποτελέσματα, η κατανόηση των μακροπρόθεσμων επιρροών των συμπληρωμάτων διατροφής στη συνολική ευεξία και την πρόληψη ασθενειών είναι κρίσιμη. Αυτές οι μελέτες πρέπει να περιλαμβάνουν διάφορους πληθυσμούς και πραγματικά πρότυπα κατανάλωσης. Με αυτόν τον τρόπο, η μελλοντική έρευνα μπορεί να προωθήσει σημαντικά την κατανόησή μας για τη βιοδιαθεσιμότητα των διατροφικών συμπληρωμάτων και να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικές και εξατομικευμένες διατροφικές παρεμβάσεις.

Βιβλιογραφία

R.J.Wood, (2005), Bioavailability, Encyclopedia of Human Nutrition (Second Edition), Pages 195-201, Available at: <https://doi.org/10.1016/B0-12-226694-3/00026-0>

Alonso, M.R. and Fernández-García, B. (2020) 'Evolution of the use of sports supplements', *PharmaNutrition*, 14, p. 100239. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2020.100239>.

Alraddadi, E. *et al.* (2018) 'Absolute Oral Bioavailability of Creatine Monohydrate in Rats: Debunking a Myth', *Pharmaceutics*, 10(1), p. 31. Available at: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10010031>.

Alraddadi, E.A. *et al.* (2019) 'Oral Bioavailability of Creatine Supplements', in *Nutrition and Enhanced Sports Performance*. Elsevier, pp. 595–604. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813922-6.00050-3>.

Areta, J.L. *et al.* (2013) 'Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis', *The Journal of Physiology*, 591(9), pp. 2319–2331. Available at: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.244897>.

Balić, A. *et al.* (2020) 'Omega-3 Versus Omega-6 Polyunsaturated Fatty Acids in the Prevention and Treatment of Inflammatory Skin Diseases', *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), p. 741. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms21030741>.

Bates, C.J. and Hesecker, H. (1994) 'Human Bioavailability of Vitamins: Members of EC Flair Concerted Action No. 10: "Measurement of micronutrient absorption and status"', *Nutrition Research Reviews*, 7(1), pp. 93–127. Available at: <https://doi.org/10.1079/NRR19940008>.

Bawiec, P. *et al.* (2023) 'In Vitro Evaluation of Bioavailability of Se from Daily Food Rations and Dietary Supplements', *Nutrients*, 15(6), p. 1511. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu15061511>.

Bilsborough, S. and Mann, N. (2006) 'A Review of Issues of Dietary Protein Intake in Humans', *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16(2), pp. 129–152. Available at: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.16.2.129>.

Allam, Ahmed. (2011). Bioavailability: A Pharmaceutical Review. J Novel Drug Deliv Tech. 1.

'Bioavailability and Bioactivity of Vitamin C - A Review' (2021) *International Journal of Pharmaceutical Research*, 13(02). Available at: <https://doi.org/10.31838/ijpr/2021.13.02.036>.

Blancquaert, L., Vervaet, C. and Derave, W. (2019a) 'Predicting and Testing Bioavailability of Magnesium Supplements', *Nutrients*, 11(7), p. 1663. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu11071663>.

Blancquaert, L., Vervaet, C. and Derave, W. (2019b) 'Predicting and Testing Bioavailability of Magnesium Supplements', *Nutrients*, 11(7), p. 1663. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu11071663>.

- Blaner, W.S. (2013) 'Vitamin E: the enigmatic one!', *Journal of Lipid Research*, 54(9), pp. 2293–2294. Available at: <https://doi.org/10.1194/jlr.E042267>.
- Borel, P., Caillaud, D. and Cano, N.J. (2015) 'Vitamin D Bioavailability: State of the Art', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(9), pp. 1193–1205. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.688897>.
- Brown, Benjamin. (2022). Bioavailability, Food Supplements, and Clinical Efficacy Editorial.
- Bruno, R.S. *et al.* (2018) 'Human vitamin E requirements assessed with the use of apples fortified with deuterium-labeled α -tocopheryl acetate1–3'. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.688897>.
- Camaschella, C. (2015) 'Iron-Deficiency Anemia', *New England Journal of Medicine*. Edited by D.L. Longo, 372(19), pp. 1832–1843. Available at: <https://doi.org/10.1056/NEJMra1401038>.
- Cardoso, C. *et al.* (2015) 'Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk–benefit evaluation of food', *Trends in Food Science & Technology*, 41(1), pp. 5–23. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.08.008>.
- Carr, A. and Vissers, M. (2013) 'Synthetic or Food-Derived Vitamin C—Are They Equally Bioavailable?', *Nutrients*, 5(11), pp. 4284–4304. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu5114284>.
- Charles, P. (1992) 'Calcium absorption and calcium bioavailability', *Journal of Internal Medicine*, 231(2), pp. 161–168. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.1992.tb00519.x>.
- Chen ML, Shah V, Patnaik R, Adams W, Hussain A, Conner D, Mehta M, Malinowski H, Lazor J, Huang SM, Hare D, Lesko L, Sporn D, Williams R. Bioavailability and bioequivalence: an FDA regulatory overview. *Pharm Res*. 2001 Dec;18(12):1645-50. doi: 10.1023/a:1013319408893. PMID: 11785681.
- Chow, S. (2014) 'Bioavailability and bioequivalence in drug development', *WIREs Computational Statistics*, 6(4), pp. 304–312. Available at: <https://doi.org/10.1002/wics.1310>.
- Christides, T. *et al.* (2015a) 'Iron bioavailability from commercially available iron supplements', *European Journal of Nutrition*, 54(8), pp. 1345–1352. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00394-014-0815-8>.
- Christides, T. *et al.* (2015b) 'Iron bioavailability from commercially available iron supplements', *European Journal of Nutrition*, 54(8), pp. 1345–1352. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00394-014-0815-8>.
- Comerford, K.B. (2013a) 'Recent Developments in Multivitamin/Mineral Research', *Advances in Nutrition*, 4(6), pp. 644–656. Available at: <https://doi.org/10.3945/an.113.004523>.
- Comerford, K.B. (2013b) 'Recent Developments in Multivitamin/Mineral Research', *Advances in Nutrition*, 4(6), pp. 644–656. Available at: <https://doi.org/10.3945/an.113.004523>.
- Davidsson, L. and Tanumihardjo, S.A. (2013) 'Bioavailability', in *Encyclopedia of Human Nutrition*. Elsevier, pp. 149–155. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375083-9.00024-6>.

Dawson, E.B. *et al.* (2000) 'VITAMIN B12 AND FOLATE BIOAVAILABILITY FROM TWO PRENATAL MULTIVITAMIN/MULTIMINERAL SUPPLEMENTS', *American Journal of Perinatology*, Volume 17(Number 04), pp. 193–200. Available at: <https://doi.org/10.1055/s-2000-9420>.

Deldicque, L. *et al.* (2007) 'Kinetics of creatine ingested as a food ingredient', *European Journal of Applied Physiology*, 102(2), pp. 133–143. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0558-9>.

Devi, S. *et al.* (2020) 'Measuring vitamin B-12 bioavailability with [13C]-cyanocobalamin in humans', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 112(6), pp. 1504–1515. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa221>.

Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D (2011). Washington, D.C.: National Academies Press, p. 13050. Available at: <https://doi.org/10.17226/13050>.

Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline (1998). Washington, D.C.: National Academies Press, p. 6015. Available at: <https://doi.org/10.17226/6015>.

Massey PB. Dietary supplements. *Med Clin North Am.* 2002 Jan;86(1):127-47. doi: 10.1016/s0025-7125(03)00076-2. PMID: 11795085.

DiNicolantonio, J.J. and O'Keefe, J. (2021) 'The Importance of Maintaining a Low Omega-6/Omega-3 Ratio for Reducing the Risk of Autoimmune Diseases, Asthma, and Allergies'.

Djaoudene, O. *et al.* (2023) 'A Global Overview of Dietary Supplements: Regulation, Market Trends, Usage during the COVID-19 Pandemic, and Health Effects', *Nutrients*, 15(15), p. 3320. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu15153320>.

Doets, E.L. *et al.* (2013) 'Systematic Review on Daily Vitamin B12 Losses and Bioavailability for Deriving Recommendations on Vitamin B12 Intake with the Factorial Approach', *Annals of Nutrition and Metabolism*, 62(4), pp. 311–322. Available at: <https://doi.org/10.1159/000346968>.

EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS) *et al.* (2021) 'Guidance on safety evaluation of sources of nutrients and bioavailability of nutrient from the sources (Revision 1)1', *EFSA Journal*, 19(3). Available at: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6552>.

Fairweather-Tait, S.J. and Teucher, B. (2002) 'Iron and Calcium Bioavailability of Fortified Foods and Dietary Supplements', *Nutrition Reviews*, 60(11), pp. 360–367. Available at: <https://doi.org/10.1301/00296640260385801>.

Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I. and Pérez-Gálvez, A. (2009) 'In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency', *Nutrition Research*, 29(11), pp. 751–760. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.09.016>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (ed.) (2013) *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO expert consultation, 31 March-2 April, 2011, Auckland, New Zealand. FAO Expert Consultation on Protein Quality Evaluation in Human*

Nutrition, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO food and nutrition paper, 92).

Gandia *et al.* (2007) 'A Bioavailability Study Comparing Two Oral Formulations Containing Zinc (Zn Bis-Glycinate vs. Zn Gluconate) After a Single Administration to Twelve Healthy Female Volunteers', *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 77(4), pp. 243–248. Available at: <https://doi.org/10.1024/0300-9831.77.4.243>.

Gangurde, H. *et al.* (2011) 'Whey protein', *Scholars' Research Journal*, 1(2), p. 69. Available at: <https://doi.org/10.4103/2249-5975.99663>.

Garber, A.K. *et al.* (1999) 'Comparison of Phylloquinone Bioavailability from Food Sources or a Supplement in Human Subjects', *The Journal of Nutrition*, 129(6), pp. 1201–1203. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/129.6.1201>.

Gibson, R.S. (2007) 'The Role of Diet- and Host-Related Factors in Nutrient Bioavailability and Thus in Nutrient-Based Dietary Requirement Estimates', *Food and Nutrition Bulletin*, 28(1_suppl1), pp. S77–S100. Available at: <https://doi.org/10.1177/15648265070281S108>.

Gibson, R.S., Perlas, L. and Hotz, C. (2006) 'Improving the bioavailability of nutrients in plant foods at the household level', *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(2), pp. 160–168. Available at: <https://doi.org/10.1079/PNS2006489>.

Gilbert C. What is vitamin A and why do we need it? *Community Eye Health*. 2013;26(84):65. PMID: 24782580; PMCID: PMC3936685.

Graham, Robin & Welch, Ross & Bouis, Howarth. (2001). Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*. 70. 77-142. 10.1016/S0065-2113(01)70004-1.

Grossmann, R.E. and Tangpricha, V. (2010) 'Evaluation of vehicle substances on vitamin D bioavailability: A systematic review', *Molecular Nutrition & Food Research*, 54(8), pp. 1055–1061. Available at: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900578>.

Guefai, F.Z. *et al.* (2022) 'Elemental bioavailability in whey protein supplements', *Journal of Food Composition and Analysis*, 112, p. 104696. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104696>.

Guéguen, L. (1997) 'Bioavailability of calcium supplements', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 65(6), pp. 1898–1899. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/65.6.1898>.

Guéguen, L. and Pointillart, A. (2000) 'The Bioavailability of Dietary Calcium', *Journal of the American College of Nutrition*, 19(sup2), pp. 119S-136S. Available at: <https://doi.org/10.1080/07315724.2000.10718083>.

Guillin, F.M. *et al.* (2022) 'Real ileal amino acid digestibility of pea protein compared to casein in healthy humans: a randomized trial', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 115(2), pp. 353–363. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab354>.

Hall, A.G. and King, J.C. (2023) 'The Molecular Basis for Zinc Bioavailability', *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), p. 6561. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms24076561>.

Hambidge, K.M. (2010) 'Micronutrient bioavailability: Dietary Reference Intakes and a future perspective', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91(5), pp. 1430S-1432S. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.28674B>.

Hanna, M. *et al.* (2022) 'B Vitamins: Functions and Uses in Medicine', *The Permanente Journal*, 26(2), pp. 89–97. Available at: <https://doi.org/10.7812/TPP/21.204>.

Harris, R.C., Söderlund, K. and Hultman, E. (1992) 'Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation', *Clinical Science*, 83(3), pp. 367–374. Available at: <https://doi.org/10.1042/cs0830367>.

Hariprasanna, K., *et al.* (2020). Approaches for Enhancing the Nutrients Bioavailability. In: Tonapi, V.A., Talwar, H.S., Are, A.K., Bhat, B.V., Reddy, C.R., Dalton

Haskell, M.J. (2012) 'The challenge to reach nutritional adequacy for vitamin A: β -carotene bioavailability and conversion—evidence in humans', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96(5), pp. 1193S-1203S. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.034850>.

Hayes, A.W. (2017) 'Toxicology Research and Application', *Toxicology Research and Application*, 1, p. 239784731771215. Available at: <https://doi.org/10.1177/2397847317712155>.

Heaney, R.P. (2001) 'Factors Influencing the Measurement of Bioavailability, Taking Calcium as a Model', *The Journal of Nutrition*, 131(4), pp. 1344S-1348S. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/131.4.1344S>.

Hoffman JR, Falvo MJ. Protein - Which is Best? *J Sports Sci Med*. 2004 Sep 1;3(3):118-30. PMID: 24482589; PMCID: PMC3905294.

Heaney, R.P., Dowell, M.S. and Barger-Lux, M.J. (1999) 'Absorption of Calcium as the Carbonate and Citrate Salts, with Some Observations on Method', *Osteoporosis International*, 9(1), pp. 19–23. Available at: <https://doi.org/10.1007/s001980050111>.

Higgins, A.J. and Lees, P. (1984) 'The acute inflammatory process, arachidonic acid metabolism and the mode of action of anti-inflammatory drugs', *Equine Veterinary Journal*, 16(3), pp. 163–175. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1984.tb01893.x>.

lii, J.F.G. (2009) 'Ascorbic Acid Bioavailability in Foods and Supplements', *Nutrition Reviews*, 51(10), pp. 301–303. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1993.tb03059.x>.

Jäger, R. *et al.* (2011) 'Analysis of the efficacy, safety, and regulatory status of novel forms of creatine', *Amino Acids*, 40(5), pp. 1369–1383. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00726-011-0874-6>.

Jäger, R. *et al.* (2017) 'International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise', *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1), p. 20. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0177-8>.

Jun, S. *et al.* (2020) 'Dietary Supplement Use and Its Micronutrient Contribution During Pregnancy and Lactation in the United States', *Obstetrics & Gynecology*, 135(3), pp. 623–633. Available at: <https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000003657>.

Kappeler, D. *et al.* (2017) 'Higher bioavailability of magnesium citrate as compared to magnesium oxide shown by evaluation of urinary excretion and serum levels after single-dose administration in a randomized cross-over study', *BMC Nutrition*, 3(1), p. 7. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40795-016-0121-3>.

Kim, J. (2020) 'Pre-sleep casein protein ingestion: new paradigm in post-exercise recovery nutrition', *Physical Activity and Nutrition*, 24(2), pp. 6–10. Available at: <https://doi.org/10.20463/pan.2020.0009>.

King, J.C. *et al.* (2016) 'Biomarkers of Nutrition for Development (BOND)—Zinc Review', *The Journal of Nutrition*, 146(4), pp. 858S–885S. Available at: <https://doi.org/10.3945/jn.115.220079>.

Ko, J. *et al.* (2023) 'Pharmacokinetic Analyses of Liposomal and Non-Liposomal Multivitamin/Mineral Formulations', *Nutrients*, 15(13), p. 3073. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu15133073>.

Krebs, N.F. (2001) 'Bioavailability of Dietary Supplements and Impact of Physiologic State: Infants, Children and Adolescents', *The Journal of Nutrition*, 131(4), pp. 1351S–1354S. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/131.4.1351S>.

Kreider, Richard & Jung, Yanghoon. (2011). Creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *The Journal of Exercise Nutrition and Biochemistry*. 6. 53-69. [10.5717/jenb.2011.15.2.53](https://doi.org/10.5717/jenb.2011.15.2.53).

Kreider, R.B. *et al.* (1998) 'Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance', *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(1), pp. 73–82. Available at: <https://doi.org/10.1097/00005768-199801000-00011>.

Kreider, R.B. (2003) 'Species-specific responses to creatine supplementation', *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 285(4), pp. R725–R726. Available at: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00375.2003>.

Kreider, R.B., Jäger, R. and Purpura, M. (2022) 'Bioavailability, Efficacy, Safety, and Regulatory Status of Creatine and Related Compounds: A Critical Review', *Nutrients*, 14(5), p. 1035. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu14051035>.

Kreider, R.B. and Stout, J.R. (2021) 'Creatine in Health and Disease', *Nutrients*, 13(2), p. 447. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu13020447>.

L. Booth, S. (2012) 'Vitamin K: food composition and dietary intakes', *Food & Nutrition Research*, 56(1), p. 5505. Available at: <https://doi.org/10.3402/fnr.v56i0.5505>.

Lam, M. *et al.* (2022) 'In-depth multidisciplinary review of the usage, manufacturing, regulations & market of dietary supplements', *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 67, p. 102985. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2021.102985>.

Lehmann, U. *et al.* (2013) 'Bioavailability of Vitamin D₂ and D₃ in Healthy Volunteers, a Randomized Placebo-Controlled Trial', *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 98(11), pp. 4339–4345. Available at: <https://doi.org/10.1210/jc.2012-4287>.

Levine, M. *et al.* (1996) 'Vitamin C pharmacokinetics in healthy volunteers: evidence for a recommended dietary allowance.', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(8), pp. 3704–3709. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.93.8.3704>.

Li, Y. and Schellhorn, H.E. (2007) 'New Developments and Novel Therapeutic Perspectives for Vitamin C', *The Journal of Nutrition*, 137(10), pp. 2171–2184. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/137.10.2171>.

Lindberg, J.S. *et al.* (1990) 'Magnesium bioavailability from magnesium citrate and magnesium oxide.', *Journal of the American College of Nutrition*, 9(1), pp. 48–55. Available at: <https://doi.org/10.1080/07315724.1990.10720349>.

Logan, V.F. *et al.* (2013) 'Long-term vitamin D₃ supplementation is more effective than vitamin D₂ in maintaining serum 25-hydroxyvitamin D status over the winter months', *British Journal of Nutrition*, 109(6), pp. 1082–1088. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0007114512002851>.

Macdonald-Clarke, C.J. *et al.* (2016) 'Bioavailability of potassium from potatoes and potassium gluconate: a randomized dose response trial', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 104(2), pp. 346–353. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.127225>.

MacMahon, M.T. and Neale, G. (1970) 'The Absorption of a-Tocopherol in Control Subjects and in Patients with Intestinal Malabsorption'. doi: 10.1042/cs0380197. PMID: 5416150

Mathai, J.K., Liu, Y. and Stein, H.H. (2017) 'Values for digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) for some dairy and plant proteins may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS)', *British Journal of Nutrition*, 117(4), pp. 490–499. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0007114517000125>.

Mayo-Wilson, E. *et al.* (2011) 'Vitamin A supplements for preventing mortality, illness, and blindness in children aged under 5: systematic review and meta-analysis', *BMJ*, 343(aug25 1), pp. d5094–d5094. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.d5094>.

Miller, D.W. *et al.* (2013) 'Oral Bioavailability of Creatine Supplements', in *Nutrition and Enhanced Sports Performance*. Elsevier, pp. 395–403. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396454-0.00040-0>.

Morgovan, C. (2019) 'NUTRIVIGILANCE: A NEW ACTIVITY IN THE FIELD OF DIETARY SUPPLEMENTS', *FARMACIA*, 67(3), pp. 537–544. Available at: <https://doi.org/10.31925/farmacia.2019.3.24>.

Naclerio, F. and Seijo, M. (2019) 'Whey protein supplementation and muscle mass: current perspectives', *Nutrition and Dietary Supplements*, Volume 11, pp. 37–48. Available at: <https://doi.org/10.2147/NDS.S166195>.

Navarro, M. and Wood, R.J. (2003) 'Plasma Changes in Micronutrients Following a Multivitamin and Mineral Supplement in Healthy Adults', *Journal of the American College of Nutrition*, 22(2), pp. 124–132. Available at: <https://doi.org/10.1080/07315724.2003.10719285>.

Neubronner J, Schuchardt JP, Kressel G, Merkel M, von Schacky C, Hahn A. Enhanced increase of omega-3 index in response to long-term n-3 fatty acid supplementation from triacylglycerides versus ethyl esters. *Eur J Clin Nutr*. 2011 Feb;65(2):247-54. doi: 10.1038/ejcn.2010.239. Epub 2010 Nov 10. PMID: 21063431.

Novotny, J.A. *et al.* (2012) 'This Kinetic, Bioavailability, and Metabolism Study of RRR- α -Tocopherol in Healthy Adults Suggests Lower Intake Requirements than Previous Estimates', *The Journal of Nutrition*, 142(12), pp. 2105–2111. Available at: <https://doi.org/10.3945/jn.112.166462>.

O'Byrne, S.M. and Blaner, W.S. (2013) 'Retinol and retinyl esters: biochemistry and physiology', *Journal of Lipid Research*, 54(7), pp. 1731–1743. Available at: <https://doi.org/10.1194/jlr.R037648>.

Ohrvik, V.E. and Witthoft, C.M. (2011) 'Human Folate Bioavailability', *Nutrients*, 3(4), pp. 475–490. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu3040475>.

Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds *et al.* (2000) *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. Washington, D.C.: National Academies Press, p. 9810. Available at: <https://doi.org/10.17226/9810>.

Pardo, M.R. *et al.* (2021) 'Bioavailability of magnesium food supplements: A systematic review', *Nutrition*, 89, p. 111294. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111294>.

Persky, A.M., Brazeau, G.A. and Hochhaus, G. (2003) 'Pharmacokinetics of the Dietary Supplement Creatine', *Clinical Pharmacokinetics*, 42(6), pp. 557–574. Available at: <https://doi.org/10.2165/00003088-200342060-00005>.

Pfeiffer, C. *et al.* (1997) 'Absorption of folate from fortified cereal-grain products and of supplemental folate consumed with or without food determined by using a dual-label stable-isotope protocol', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 66(6), pp. 1388–1397. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/66.6.1388>.

Phillips, S.M. (2016) 'The impact of protein quality on the promotion of resistance exercise-induced changes in muscle mass', *Nutrition & Metabolism*, 13(1), p. 64. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12986-016-0124-8>.

Picard, K. (2019) 'Potassium Additives and Bioavailability: Are We Missing Something in Hyperkalemia Management?', *Journal of Renal Nutrition*, 29(4), pp. 350–353. Available at: <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2018.10.003>.

Pillai, A.T., Morya, S. and Kasankala, L.M. (2024) 'Emerging Trends in Bioavailability and Pharma-Nutraceutical Potential of Whey Bioactives', *Journal of Nutrition and Metabolism*. Edited by A. Md Akim, 2024, pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.1155/2024/8455666>.

Phillips SM. Current Concepts and Unresolved Questions in Dietary Protein Requirements and Supplements in Adults. *Front Nutr*. 2017 May 8;4:13. doi: 10.3389/fnut.2017.00013. Erratum in:

Front Nutr. 2023 Apr 12;9:1078528. doi: 10.3389/fnut.2022.1078528. PMID: 28534027; PMCID: PMC5420553.

Platel, K. and Srinivasan, K. (2016) 'Bioavailability of Micronutrients from Plant Foods: An Update', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(10), pp. 1608–1619. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.781011>.

Pressman, P., Clemens, R.A. and Hayes, A.W. (2017) 'Bioavailability of micronutrients obtained from supplements and food: A survey and case study of the polyphenols', *Toxicology Research and Application*, 1, p. 239784731769636. Available at: <https://doi.org/10.1177/2397847317696366>.

Ranade, V.V. and Somberg, J.C. (2001) 'Bioavailability and Pharmacokinetics of Magnesium After Administration of Magnesium Salts to Humans', *American Journal of Therapeutics*, 8(5), pp. 345–357. Available at: <https://doi.org/10.1097/00045391-200109000-00008>.

Rein, M.J. *et al.* (2013) 'Bioavailability of bioactive food compounds: a challenging journey to bioefficacy', *British Journal of Clinical Pharmacology*, 75(3), pp. 588–602. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04425.x>.

Ross, A.C. *et al.* (eds) (2011) *Dietary reference intakes: Calcium and Vitamin D*. Washington, D.C: National Academies Press.

Rutherford, S.M. *et al.* (2015) 'Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scores and Digestible Indispensable Amino Acid Scores Differentially Describe Protein Quality in Growing Male Rats', *The Journal of Nutrition*, 145(2), pp. 372–379. Available at: <https://doi.org/10.3945/jn.114.195438>.

Rutherford, S.M. and Moughan, P.J. (2012) 'Available versus digestible dietary amino acids', *British Journal of Nutrition*, 108(S2), pp. S298–S305. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0007114512002528>.

Saini, R.K. and Keum, Y.-S. (2018) 'Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance — A review', *Life Sciences*, 203, pp. 255–267. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>.

Sakhaee, Khashayar & BHUKET, TAFT & Adams-Huet, Beverley & Rao, Sudhaker. (2001). Meta-analysis of Calcium Bioavailability. *American Journal of Therapeutics*. 8. 77. 10.1097/00045391-200101000-00012.

Sandström, B. (2001) 'Micronutrient interactions: effects on absorption and bioavailability', *British Journal of Nutrition*, 85(S2), p. S181. Available at: <https://doi.org/10.1079/BJN2000312>.

Santos, D.I. *et al.* (2019) 'Methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds and nutrients', in *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*. Elsevier, pp. 23–54. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814174-8.00002-0>.

Sapp, P.A. *et al.* (2023) 'AG1, a Novel Foundational Nutrition Supplement, Demonstrates the Increased Bioaccessibility and Bioavailability of Minerals Compared to a Multivitamin Tablet In Vitro', in *IECN 2023*. *IECN 2023*, MDPI, p. 5. Available at: <https://doi.org/10.3390/IECN2023-15523>.

Schoenfeld, B.J. and Aragon, A.A. (2018a) 'How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution', *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), p. 10. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0215-1>.

Schoenfeld, B.J. and Aragon, A.A. (2018b) 'How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution', *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), p. 10. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0215-1>.

Schönfeldt, H.C., Pretorius, B. and Hall, N. (2016) 'Bioavailability of Nutrients', in *Encyclopedia of Food and Health*. Elsevier, pp. 401–406. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00068-4>.

Sebastian, R.S. *et al.* (2007) 'Older Adults Who Use Vitamin/Mineral Supplements Differ from Nonusers in Nutrient Intake Adequacy and Dietary Attitudes', *Journal of the American Dietetic Association*, 107(8), pp. 1322–1332. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.05.010>.

Shivashankara, K.S. and Acharya, S.N. (2010) 'Bioavailability of Dietary Polyphenols and the Cardiovascular Diseases', *The Open Nutraceuticals Journal*, 3(1), pp. 227–241. Available at: <https://doi.org/10.2174/1876396001003010227>.

Šimoliūnas, E. *et al.* (2019) 'Bioavailability of Different Vitamin D Oral Supplements in Laboratory Animal Model', *Medicina*, 55(6), p. 265. Available at: <https://doi.org/10.3390/medicina55060265>.

Smolinske, S.C. (2017) 'Dietary Supplements in Children', *Pediatric Clinics of North America*, 64(6), pp. 1243–1255. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2017.09.001>.

Srinivasan, V.S. (2001) 'Bioavailability of Nutrients: A Practical Approach to In Vitro Demonstration of the Availability of Nutrients in Multivitamin-Mineral Combination Products', *The Journal of Nutrition*, 131(4), pp. 1349S-1350S. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/131.4.1349S>.

Stahl, W. (2002) 'Bioavailability and metabolism', *Molecular Aspects of Medicine*, 23(1–3), pp. 39–100. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0098-2997\(02\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0098-2997(02)00016-X).

Stone, M., Martyn, L. and Weaver, C. (2016) 'Potassium Intake, Bioavailability, Hypertension, and Glucose Control', *Nutrients*, 8(7), p. 444. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu8070444>.

Tallaksen, C.M.E. *et al.* (1993) 'Kinetics of thiamin and thiamin phosphate esters in human blood, plasma and urine after 50 mg intravenously or orally', *European Journal of Clinical Pharmacology*, 44(1), pp. 73–78. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00315284>.

Tang, G. (2010) 'Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91(5), pp. 1468S-1473S. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.28674G>.

Tanumihardjo, S.A. *et al.* (2016) 'Biomarkers of Nutrition for Development (BOND)—Vitamin A Review', *The Journal of Nutrition*, 146(9), pp. 1816S-1848S. Available at: <https://doi.org/10.3945/jn.115.229708>.

Tanumihardjo, Sherry & Palacios Rojas, Natalia & Pixley, Kevin. (2010). Provitamin A Carotenoid Bioavailability: What Really Matters?. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition.* 80. 336-50. 10.1024/0300-9831/a000042.

Taylor, C.L. and Brannon, P.M. (2017) 'Introduction to workshop on iron screening and supplementation in iron-replete pregnant women and young children', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 106, pp. 1547S-1554S. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.155747>.

Teucher, Olivares, and Cori (2004) 'Enhancers of Iron Absorption: Ascorbic Acid and other Organic Acids', *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 74(6), pp. 403–419. Available at: <https://doi.org/10.1024/0300-9831.74.6.403>.

Thilakarathna, S. and Rupasinghe, H. (2013) 'Flavonoid Bioavailability and Attempts for Bioavailability Enhancement', *Nutrients*, 5(9), pp. 3367–3387. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu5093367>.

Trehan, A. *et al.* (2021) 'An Open-label Clinical Study to Determine the Effect of Enhanced Absorption Formula (MB EnzymePro®) on the Bioavailability of Whey Protein in Healthy Male Subjects', (820).

Vagni, S. *et al.* (2011) 'Vitamin E Bioavailability: Past and Present Insights', *Food and Nutrition Sciences*, 02(10), pp. 1088–1096. Available at: <https://doi.org/10.4236/fns.2011.210146>.

Vitale, K. and Getzin, A. (2019) 'Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: Review and Recommendations', *Nutrients*, 11(6), p. 1289. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu11061289>.

Mortensen L, Charles P. Bioavailability of calcium supplements and the effect of Vitamin D: comparisons between milk, calcium carbonate, and calcium carbonate plus vitamin D. *Am J Clin Nutr.* 1996 Mar;63(3):354-7. doi: 10.1093/ajcn/63.3.354. PMID: 8602592.

Wagner, D. *et al.* (2008) 'The Bioavailability of Vitamin D from Fortified Cheeses and Supplements Is Equivalent in Adults', *The Journal of Nutrition*, 138(7), pp. 1365–1371. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/138.7.1365>.

Walrand, S. (2018) 'Dietary supplement intake among the elderly: hazards and benefits', *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 21(6), pp. 465–470. Available at: <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000512>.

Watanabe, F. (2007) 'Vitamin B₁₂ Sources and Bioavailability', *Experimental Biology and Medicine*, 232(10), pp. 1266–1274. Available at: <https://doi.org/10.3181/0703-MR-67>.

Weaver, C. and Heaney, R.P. (2006) *Calcium in human health*. Totowa, N.J: Humana Press (Springer e-books).

Weber, P. *et al.* (eds) (2019) *Vitamin E in Human Health*. Cham: Springer International Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05315-4>.

Weber, W. and Kewitz, H. (1985) 'Determination of thiamine in human plasma and its pharmacokinetics', *European Journal of Clinical Pharmacology*, 28(2), pp. 213–219. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00609694>.

Wegmüller, R. *et al.* (2014) 'Zinc Absorption by Young Adults from Supplemental Zinc Citrate Is Comparable with That from Zinc Gluconate and Higher than from Zinc Oxide', *The Journal of Nutrition*, 144(2), pp. 132–136. Available at: <https://doi.org/10.3945/jn.113.181487>.

Wilborn, C.D. *et al.* (2010) 'The Effects of Pre- and Post-Exercise Whey vs. Casein Protein Consumption on Body Composition and Performance Measures in Collegiate Female Athletes: 2855 Board #206 June 4 3:30 PM - 5:00 PM', *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(5), p. 774. Available at: <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000386243.94827.4e>.

Witkowski, M., Hubert, J. and Mazur, A. (2011) 'Methods of assessment of magnesium status in humans: a systematic review', *Magnesium Research*, 24(4), pp. 163–180. Available at: <https://doi.org/10.1684/mrh.2011.0292>.

Wolfe, R.R. *et al.* (2016) 'Protein quality as determined by the Digestible Indispensable Amino Acid Score: evaluation of factors underlying the calculation: Table 1', *Nutrition Reviews*, 74(9), pp. 584–599. Available at: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw022>.

Yang, P. *et al.* (2021) 'Determination and Evaluation of Bioavailability of Vitamins from Different Multivitamin Supplements Using a Pig Model', *Agriculture*, 11(5), p. 418. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture11050418>.

Yetley, E.A. (2007) 'Multivitamin and multimineral dietary supplements: definitions, characterization, bioavailability, and drug interactions', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(1), pp. 269S-276S. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.1.269S>.