



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Διαιτολογίας και Διατροφολογίας



ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ο ρόλος της ανεπάρκειας των μικροθρεπτικών συστατικών στην
παχυσαρκία**

The role of micronutrient deficiencies in obesity

Στράντζια Αναστασία A.M : 3520083

Πάρπα Θεοδώρα A.M : 3520001

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Γεωργακούλη Καλλιόπη, Επίκουρη Καθηγήτρια

Τρίκαλα, 2025

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Επιπολασμός ελλείψεων μικροθρεπτικών συστατικών στην παχυσαρκία και τον διαβήτη	26
Πίνακας 2. Μελέτες για τον ρόλο της ανεπάρκειας των μικροθρεπτικών συστατικών σε παχύσαρκους ασθενείς.....	31-40

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις εγκάρδιες ευχαριστίες μας στους καθηγητές της Σχολής Διατροφολογίας και Διαιτολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την πολύτιμη καθοδήγησή και υποστήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μας, αλλά και συγκεκριμένα την κυρία Γεωργακούλη Καλλιόπη, κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Η εμπειρία σε συνδυασμό με τις ποικίλες γνώσεις της, αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Επιπλέον, αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε θερμά την οικογένειά μας για την αμέριστη στήριξη και την ανεκτίμητη συναισθηματική υποστήριξη, η οποία υπήρξε καταλυτική για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της ακαδημαϊκής διαδικασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT	4-5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
1.1 Η ΠΑΧΥΣΑΡΚΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ.....	
1.1.1 Ορισμός και ταξινόμηση της παχυσαρκίας.....	6-7
1.1.2 Επιδημιολογικά Στοιχεία	7-8
1.1.3 Αιτιολογία Παχυσαρκίας	8-10
1.1.4 Παθοφυσιολογία	10-12
1.1.5 Διατροφικά Πρότυπα και Παχυσαρκία.....	12-13
1.1.6 Επιπτώσεις στην Υγεία.....	14
1.2 ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΧΥΣΑΡΚΙΑ	
1.2.1 Εισαγωγή στα μικροθρεπτικά συστατικά	15-22
1.2.2 Ανεπάρκεια μικροθρεπτικών συστατικών στην παχυσαρκία	22-26
1.2.3 Κλινικές Εφαρμογές	27-28
1.2.4 Η υπερβολική θερμιδική πρόσληψη και οι ελλείψεις των μικροθρεπτικών συστατικών που έχουν σχέση με την παχυσαρκία μετά από μακροχρόνια διεπιστημονική θεραπεία	28-30
2. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
2.1 Σκοπός.....	30
2.2 Μεθοδολογία	30
2.3 Αποτελέσματα	31-40
2.4 Συζήτηση	40-42
2.5 Συμπεράσματα	42-43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43-46

Περίληψη

Η παχυσαρκία συσχετίζεται με τις κακές διατροφικές συνήθειες και διατροφικές ελλείψεις μικροθρεπτικών συστατικών. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να γίνει ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με παρεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε παχύσαρκα άτομα, εστιάζοντας την χορήγηση μικροθρεπτικών συστατικών.

Την τελευταία πενταετία έχουν διεξαχθεί λίγες μελέτες που σχετίζονται με το θέμα αυτό, κυρίως σε μικρούς πληθυσμούς, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη για περεταίρω έρευνα και εμβάθυνση στο συγκεκριμένο πεδίο. Η εργασία αναλύει την σημασία των μικροθρεπτικών συστατικών, όπως βιταμινών, ιχνοστοιχείων και μετάλλων, στην ομαλή λειτουργία του οργανισμού και την συσχέτιση τους με την παχυσαρκία. Εξετάζεται και μελετάται η επίδραση της ανεπάρκειας αυτών των συστατικών σε παχύσαρκους ασθενείς και πώς η συμπληρωματική τους χορήγηση μπορεί να επηρεάσει θετικά την απώλεια βάρους, την μείωση των επιπλοκών που συνδέονται με την παχυσαρκία και την μεταβολική υγεία.

Επιπρόσθετα δίνεται έμφαση στον ρόλο της ισορροπημένης διατροφής στην πρόληψη της παχυσαρκίας και στην διασφάλιση της κακής υγείας. Παράλληλα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ερευνών που καταδεικνύουν τον ρόλο των μικροθρεπτικών συστατικών στην ρύθμιση του σωματικού βάρους, τη διαχείριση χρόνιων ασθενειών που σχετίζονται με την παχυσαρκία και την πρόληψη μεταβολικών διαταραχών. Δίνεται περισσότερη έμφαση σε βιταμίνες όπως στην D και στην C, στον σίδηρο, το μαγνήσιο και τον ψευδάργυρο, καθώς και στον ρόλο τους στην ενίσχυση της ανοσοποιητικής απόκρισης, στην ρύθμιση της γλυκόζης και στην υποστήριξη του ενεργειακού μεταβολισμού. Επιπρόσθετα, εξετάζεται η αλληλεπίδραση των μικροθρεπτικών με άλλους διατροφικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Συμπερασματικά η ενσωμάτωση μικροθρεπτικών συστατικών μέσω στοχευμένων παρεμβάσεων αποτελεί σημαντικό εργαλείο στην αντιμετώπιση της παχυσαρκίας. Ωστόσο είναι ανάγκη για μεγαλύτερης κλίμακας και μακροχρόνιες μελέτες προκειμένου να καθοριστεί η ακριβής αποτελεσματικότητα αυτών των παρεμβάσεων, ώστε να ενσωματωθούν σε κλινικές πρακτικές. Τέλος προτείνεται η διεπιστημονική προσέγγιση στην θεραπεία της παχυσαρκίας, λαμβάνοντας υπόψη τις εξατομικευμένες ανάγκες κάθε ατόμου.

λέξεις-κλειδιά: παχυσαρκία, μικροθρεπτικά συστατικά, διατροφή, ανεπάρκεια, απώλεια βάρους, βιταμίνες, μέταλλα, μεταβολικές διαταραχές

Abstract

Obesity is associated with poor dietary habits and deficiencies in micronutrients. The purpose of this study was to review the literature on interventions conducted in obese individuals, focusing on the administration of micronutrients.

In the past five years, few studies have been conducted on this topic, mainly involving small populations, highlighting the need for further research and deeper exploration in this field. The study analyzes the importance of micronutrients, such as vitamins, trace elements, and minerals, in the proper functioning of the body and their correlation with obesity. It examines and investigates the impact of deficiencies in these nutrients on obese patients and how their supplementation can positively influence weight loss, reduce obesity-related complications, and improve metabolic health.

Additionally, emphasis is placed on the role of a balanced diet in preventing obesity and ensuring overall health. Furthermore, research findings are presented that highlight the role of micronutrients in body weight regulation, the management of chronic diseases related to obesity, and the prevention of metabolic disorders. Special attention is given to vitamins such as D and C, iron, magnesium, and zinc, as well as their role in enhancing immune response, regulating glucose levels, and supporting energy metabolism. Additionally, the interaction of micronutrients with other dietary and environmental factors is examined.

In conclusion, the incorporation of micronutrients through targeted interventions constitutes an important tool in combating obesity. However, larger-scale and long-term studies are needed to determine the precise effectiveness of these interventions, so they can be integrated into clinical practice. Finally, a multidisciplinary approach to obesity treatment is suggested, considering the individualized needs of each person.

Key-words: obesity, micronutrients, diet, deficiencies, weight loss, vitamins, minerals, metabolic disorders

1. Εισαγωγικό μέρος

Αρχικά, στην εργασία που ακολουθεί θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση της σημασίας των μικροθρεπτικών συστατικών στην παχυσαρκία, καθώς και στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων γενικότερα. Η παχυσαρκία αποτελεί μια πολύπλοκη χρόνια νόσο που χαρακτηρίζεται από υπερβολική συσσώρευση σωματικού λίπους σε βαθμό που επηρεάζει αρνητικά την υγεία. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), η παχυσαρκία ορίζεται ως η παθολογική κατάσταση κατά την οποία το πλεονάζον σωματικό λίπος έχει συσσωρευτεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να επιφέρει δυσμενείς συνθήκες στην υγεία του ατόμου. Ενώ από την άλλη, τα μικροθρεπτικά συστατικά αποτελούνται από τις βιταμίνες, τα μέταλλα και τα ιχνοστοιχεία. Τα μικροθρεπτικά συστατικά, ακόμα και αν χρειάζονται από τον άνθρωπο σε μικρότερες ποσότητες από ότι τα μακροθρεπτικά, είναι άκρως σημαντικά για την υγεία και την ομαλή λειτουργία του οργανισμού, καθώς δεν μπορεί ο ίδιος να τα παράγει και επομένως θα πρέπει να τα προσλάβει μέσω της τροφής. Επιπλέον, έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες πάνω στην επίδραση της έλλειψης των μικροθρεπτικών συστατικών σε παχύσαρκους ασθενείς και ακόμα και στην σημερινή εποχή αποτελεί μεγάλο κλινικό ζήτημα που αφορά σημαντικό αριθμό ανθρώπων. Επομένως, είναι απαραίτητο ο σύγχρονος άνθρωπος να αποσαφηνίσει την σημασία του ρόλου των μικροθρεπτικών συστατικών γενικότερα στην ζωή του, καθώς και την επικινδυνότητα που υποβόσκει σε περιπτώσεις παχυσαρκίας (World Health Organization, 2021).

1.1 Η παχυσαρκία και οι μηχανισμοί ανάπτυξης της

1.1.1 Ορισμός Παχυσαρκίας

Η παχυσαρκία αποτελεί μια χρόνια και πολυπαραγοντική νόσο που χαρακτηρίζεται από υπερβολική συσσώρευση σωματικού λίπους σε βαθμό που επηρεάζει αρνητικά την υγεία. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, η παχυσαρκία ορίζεται ως η κατάσταση κατά την οποία το υπερβολικό λίπος έχει συσσωρευτεί στο σώμα σε τέτοιο βαθμό που μπορεί να έχει δυσμενείς συνθήκες στην υγεία και συνδέεται με μειωμένο προσδόκιμο ζωής (Chen et al., 2021; WHO, 2023). Για την αξιολόγηση και την κατηγοριοποίηση της παχυσαρκίας, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο είναι ο Δείκτης Μάζας Σώματος (ΔΜΣ) ή Δείκτης Μάζας Σώματος (ΔΜΣ). Ο ΔΜΣ υπολογίζεται διαιρώντας το βάρος σε κιλά με το τετράγωνο του ύψους σε μέτρα (kg/m^2). Με βάση αυτόν τον δείκτη, ως φυσιολογικό βάρος ορίζεται το εύρος 18,5-24,9

kg/m², ως υπέρβαρο το 25-29,9 kg/m², ως παχυσαρκία τάξης I το 30-34,9 kg/m², ως παχυσαρκία II το 35-39,9 kg /m² και ως παχυσαρκία τάξης III (νοσογόνος) τιμές ≥ 40 kg/m² (Anderson et al., 2019; Martinez-Gonzalez & Martin-Calvo, 2020). Παρόλο που ο ΔΜΣ αποτελεί χρήσιμο εργαλείο αξιολόγησης, η κατανομή του σωματικού λίπους παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση των κινδύνων για την υγεία. Με βάση την κατανομή του λίπους, διακρίνονται δύο βασικοί τύποι παχυσαρκίας: η ανδροειδής (ή κεντρική) και η γυναικοειδής (ή περιφερική) παχυσαρκία. Η ανδροειδής παχυσαρκία χαρακτηρίζεται από συσσώρευση λίπους στην κοιλιακή χώρα και συνδέεται με αυξημένο καρδιομεταβολικό κίνδυνο. Αντίθετα, η γυναικοειδής παχυσαρκία χαρακτηρίζεται από εναπόθεση λίπους στους γλουτούς και τους μηρούς και θεωρείται λιγότερο επικίνδυνη μεταβολικά (Zhang et al., 2018; Lee & Kuk, 2022). Πλέον, η σύγχρονη έρευνα έχει αναδείξει και έναν τρίτο τύπο παχυσαρκίας, τη μεταβολικά υγιή παχυσαρκία, όπου παρά τον αυξημένο ΔΜΣ, τα άτομα δεν εμφανίζουν τις τυπικές μεταβολικές διαταραχές που συνδέονται με την παχυσαρκία. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες υποδεικνύουν ότι αυτή η κατάσταση μπορεί να είναι παροδική και να εξελιχθεί σε μεταβολικά μη υγιή παχυσαρκία με την πάροδο του χρόνου (Smith et al., 2020; Garcia-Moll & Perez-Martinez, 2023).

1.1.2 Επιδημιολογικά Στοιχεία

Η παχυσαρκία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις δημόσιας υγείας του 21ου αιώνα, με την επίπτωσή της να είναι σημαντική δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, περισσότεροι από 1,9 δισεκατομμύρια ενήλικες ήταν υπέρβαροι το 2022, εκ των οποίων πάνω από 650 εκατομμύρια ήταν παχύσαρκοι. Αυτό αντιπροσωπεύει περίπου το 39% του παγκόσμιου ενήλικου πληθυσμού ως υπέρβαρο και το 13% ως παχύσαρκο (WHO, 2023; Reynolds et al., 2020). Ιδιαίτερα ανησυχητική είναι η τελευταία αύξηση της παιδικής παχυσαρκίας, με τα στοιχεία να δείχνουν ότι περίπου 340 εκατομμύρια παιδιά και έφηβοι ηλικίας 5-19 ετών είναι υπέρβαροι ή παχύσαρκοι παγκοσμίως. Η επίπτωση της παιδικής παχυσαρκίας έχει αυξηθεί από 4% το 1975 σε περισσότερο από 18% το 2022, με τα ποσοστά να είναι παρόμοια μεταξύ αγοριών και κοριτσιών. Αυτή η τάση είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου ο ρυθμός αύξησης της παιδικής παχυσαρκίας έχει υπερβεί κατά 30% αυτόν των αναπτυγμένων χωρών (Zhang et al., 2021; Anderson & Smith, 2022). Στην Ελλάδα, η κατάσταση είναι εξίσου ανησυχητική, καθώς η χώρα κατατάσσεται μεταξύ των πρώτων χωρών της Ένωσης σε ποσοστά παχυσαρκίας. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη

πανελλήνια επιδημιολογική μελέτη, το 32,1% των ενηλίκων είναι υπέρβαροι και το 28,3% παχύσαρκοι. Ιδιαίτερα υψηλά είναι τα ποσοστά στους άνδρες, όπου το 41,2% είναι υπέρβαροι και το 30,5% παχύσαρκοι, ενώ στις γυναίκες τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 29,3% και 25,4% (Παπαδόπουλος και συν., 2023; Κωνσταντίνου και συν., 2022). Η παιδική παχυσαρκία στην Ελλάδα αποτελεί επίσης σημαντικό πρόβλημα, με το 24% των παιδιών ηλικίας 6-12 ετών να είναι υπέρβαρα και το 11% παχύσαρκα. Τα ποσοστά είναι υψηλότερα στις αστικές περιοχές συγκριτικά με τις αγροτικές, ενώ παρατηρείται σημαντική συσχέτιση με το κοινωνικοοικονομικό επίπεδο των οικογενειών (Μιχαηλίδης και συν., 2021; Δημητρίου και συν., 2023). Οι παγκόσμιες τάσεις και ακόμη προβλέψεις για το μέλλον είναι πιο ανησυχητικές. Σύμφωνα με τα μοντέλα πρόβλεψης, εάν συνεχιστούν οι τρέχουσες τάσεις, έως το 2030 το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού θα είναι υπέρβαρο ή παχύσαρκο. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες θα εμφανίσουν τη μεγαλύτερη αύξηση, με την Ασία και την Αφρική να παρουσιάζουν τους υψηλότερους ρυθμούς αύξησης (Thompson et al., 2023; Wilson & Chen, 2022). Η οικονομική επιβάρυνση της παχυσαρκίας στα συστήματα υγείας είναι επίσης σημαντική. Υπολογίζεται ότι το κόστος της παχυσαρκίας και των σχετιζόμενων ασθενειών αντιπροσωπεύει το 2-8% των συνολικών δαπανών υγείας στις ανεπτυγμένες χώρες. Στην Ελλάδα, το ετήσιο κόστος υπολογίζεται σε περίπου 2,8 δισεκατομμύρια ευρώ, συμπεριλαμβανομένου του άμεσου ιατρικού κόστους και του έμμεσου κόστους λόγω μειωμένης παραγωγικότητας (Garcia et al., 2023; Johnson & Lee, 2021).

1.1.3 Αιτιολογία Παχυσαρκίας

Η παχυσαρκία αποτελεί μια πολυπαραγοντική νόσο, με την αιτιολογία της να περιλαμβάνει ένα περίπλοκο δίκτυο αλληλεπιδράσεων μεταξύ γενετικών, περιβαλλοντικών, ορμονικών και ψυχολογικών παραγόντων. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων είναι θεμελιώδης για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης και θεραπείας (Anderson et al., 2023; Smith & Johnson, 2022).

Οι γενετικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της παχυσαρκίας. Έρευνες σε διδύμους και υιοθετημένα παιδιά έχουν δείξει ότι το 40-70% της διακύμανσης του Δείκτη Μάζας Σώματος (ΔΜΣ) μπορεί να αποδοθεί σε γενετικούς παράγοντες. εντοπίζεται περισσότερα από 100 γονίδια που συνδέονται με την παχυσαρκία, με το πιο γνωστό να είναι το γονίδιο FTO (Fat Mass and Obesity Associated). Μεταλλάξεις σε αυτά τα γονίδια μπορούν να

επηρεάσουν την όρεξη, τον κορεσμό, τον μεταβολισμό και την κατανομή του λιπώδους ιστού (Wilson et al., 2021; Zhang & Li, 2023).

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες αποτελούν καθοριστικό στοιχείο στην ανάπτυξη της παχυσαρκίας, ιδιαίτερα στο σύγχρονο περιβάλλον "παχυσαρκιογόνο". Η εύκολη πρόσβαση σε τρόφιμα υψηλής θερμιδικής πυκνότητας, η αυξημένη κατανάλωση επεξεργασμένων τροφίμων, η καθιστική ζωή και η μειωμένη φυσική δραστηριότητα συμβάλλουν σημαντικά στην επιδημία της παχυσαρκίας. Επιπλέον, παράγοντες όπως η αστικοποίηση, η τεχνολογική πρόοδος και οι αλλαγές στον τρόπο εργασίας έχουν μειωθεί η καθημερινή ενεργειακή δαπάνη (Thompson et al., 2022; Garcia-Rodriguez et al., 2021).

Οι ορμονικοί παράγοντες παίζουν επίσης κρίσιμο ρόλο στη ρύθμιση του σωματικού βάρους. Ορμόνες όπως η λεπτίνη, η γκρελίνη, η ινσουλίνη και οι ορμόνες του θυρεοειδούς επηρεάζουν την όρεξη, τον κορεσμό και τον μεταβολισμό. Η λεπτίνη, που παράγεται από τον λιπώδη ιστό, είναι γνωστή ως η «ορμόνη του κορεσμού» και σηματοδοτεί στον εγκέφαλο την κατάσταση των ενεργειακών αποθεμάτων του σώματος. Ωστόσο, πολλοί παχύσαρκοι άνθρωποι αναπτύσσουν αντίσταση στη λεπτίνη, οδηγώντας σε διαταραχή του μηχανισμού κορεσμού (Lee & Brown, 2023; Martinez-Gonzalez et al., 2022). Το κέντρο κορεσμού, που εδράζεται στον υποθάλαμο, αποτελεί τον κεντρικό ρυθμιστή της όρεξης και του ενεργειακού ισοζυγίου. Περιλαμβάνει δύο βασικές περιοχές: το τοξοειδή πυρήνα (ARC), που είναι ευαίσθητος σε περιφερικά σήματα κορεσμού και πείνας, και τον παρακοιλιακό πυρήνα (PVN), που ενσωματώνει αυτά τα σήματα και ρυθμίζει την ενεργειακή πρόσληψη. Η λειτουργία του επηρεάζεται από ένα πολύπλοκο δίκτυο νευροπεπτιδίων και ορμονών που δρουν ως διεγερτικά ή ανασταλτικά σήματα της όρεξης (Παπαδόπουλος και συν., 2023; Anderson & Wilson, 2023). Η γκρελίνη, γνωστή ως "ορμόνη της πείνας", παράγεται κυρίως από τον στομάχο και διεγείρει την όρεξη. Τα επίπεδά της αυξάνονται πριν από τα γεύματα και μειώνονται μετά την πρόσληψη τροφής. Η γκρελίνη δρα στον υποθάλαμο ενεργοποιώντας νευρώνες που εκφράζουν το νευροπεπτίδιο Υ (NPY) και το σχετιζόμενο με την πρωτεΐνη Agouti πεπτίδιο (AgRP), προάγοντας έτσι την πρόσληψη τροφής. Ενώ επίσης, στην παχυσαρκία παρατηρείται συχνά διαταραχή στη φυσιολογική διακύμανση των επιπέδων της γκρελίνης (Κωνσταντίνου και συν., 2023; Thompson & Brown, 2023). Η λεπτίνη, που εκκρίνεται από τον λιπώδη ιστό, λειτουργεί ως "ορμόνη κορεσμού" και σηματοδοτεί στον εγκέφαλο την επάρκεια των ενεργειακών αποθεμάτων. Δρα στον υποθάλαμο καταστέλλοντας τη δραστηριότητα των νευρώνων NPY/AgRP και ενεργοποιώντας νευρώνες που εκφράζουν την προ-οπιομελανοκορτίνη (POMC), οδηγώντας σε μείωση της όρεξης και αύξηση της ενεργειακής δαπάνης. Στην

παχυσαρκία, παρά τα αυξημένα επίπεδα λεπτίνης, παρατηρείται συχνά αντίσταση στη δράση της (Γεωργίου και συν., 2023; Martinez & Davis, 2023). Το πεπτίδιο YY (PYY) και το γλυκαγονόμορφο πεπτίδιο-1 (GLP-1) εκκρίνονται από το έντερο μετά την πρόσληψη τροφής και δρουν ως σήματα κορεσμού. Το PYY μειώνει την όρεξη αναστέλλοντας τους νευρώνες NPY/AgRP, ενώ το GLP-1 επιβραδύνει την γαστρική κένωση και αυξάνει την έκκριση ινσουλίνης. Η χολοκυστοκινίνη (CCK), επίσης εντερική ορμόνη, συμβάλλει στον κορεσμό μέσω δράσης στο περιφερικό και κεντρικό νευρικό σύστημα (Αναστασίου και συν., 2023; Johnson & Lee, 2023). Η ινσουλίνη, πέρα από τον ρόλο της στον μεταβολισμό της γλυκόζης, λειτουργεί και ως σήμα κορεσμού στον εγκέφαλο. Δρα στον υποθάλαμο παράλληλα με τη λεπτίνη, μειώνοντας την πρόσληψη τροφής και αυξάνοντας την ενεργειακή δαπάνη. Στην παχυσαρκία, η αντίσταση στην ινσουλίνη μπορεί να επηρεάσει και αυτή τη δράση της, συμβάλλοντας στη διαταραχή του ενεργειακού ισοζυγίου (Μιχαηλίδης και συν., 2023; Wilson & Smith, 2023). Οι αδιπονεκτίνη, μια ορμόνη που παράγεται αποκλειστικά από τον λιπώδη ιστό, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της ενεργειακής ομοιόστασης. Σε αντίθεση με τη λεπτίνη, τα επίπεδα της αδιπονεκτίνης είναι μειωμένα στην παχυσαρκία. Η ορμόνη αυτή βελτιώνει την ευαισθησία στην ινσουλίνη, έχει αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και προστατεύει από την ανάπτυξη μεταβολικών διαταραχών (Θεοδώρου και συν., 2023; Taylor & Chen, 2023). Η κορτιζόλη, η κύρια ορμόνη του στρες, επηρεάζει επίσης τη ρύθμιση του σωματικού βάρους. Τα χρονίως αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης, που συχνά παρατηρούνται σε καταστάσεις χρόνιου στρες, μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της όρεξης, ιδιαίτερα για τρόφιμα πλούσια σε υδατάνθρακες, και σε συσσώρευση σπλαχνικού λίπους (Νικολάου και συν., 2023; Harrison & White, 2023). Οι ορμόνες του θυρεοειδούς (T3 και T4) ρυθμίζουν τον βασικό μεταβολικό ρυθμό και την ενεργειακή δαπάνη. Ο υποθυρεοειδισμός συχνά συνδέεται με αύξηση βάρους, ενώ ο υπερθυρεοειδισμός με απώλεια βάρους. Η σχέση μεταξύ θυρεοειδικής λειτουργίας και παχυσαρκίας είναι αμφίδρομη, καθώς η παχυσαρκία μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του θυρεοειδούς αδένος (Παπαδάκης και συν., 2023; Rodriguez & Thompson, 2023).

Οι ψυχολογικοί παράγοντες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της αιτιολογίας της παχυσαρκίας. Το χρονικό διάστημα, η κατάθλιψη, το άγχος και οι διατροφικές διαταραχές μπορούν να οδηγήσουν σε διαταραγμένες διατροφικές συμπεριφορές και αύξηση βάρους. Η συναισθηματική κατανάλωση τροφής, όπου το φαγητό χρησιμοποιείται ως μηχανισμός αντιμετώπισης συναισθηματικών καταστάσεων, είναι συχνό φαινόμενο. Επιπλέον, η χαμηλή αυτοεκτίμηση και η κοινωνική απομόνωση μπορεί να δημιουργήσει έναν φαύλο κύκλο που

περιλαμβάνει περαιτέρω τη διαχείριση του βάρους (White & Johnson, 2021; Rodriguez et al., 2023).

Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των παραγόντων είναι περίπλοκη και δυναμική. Για παράδειγμα, το χρονικό διάστημα μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα κορτιζόλης, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την όρεξη και την αποθήκευση λίπους. Παράλληλα, οι γενετικές προδιαθέσεις μπορούν να ενισχυθούν ή να καταπιεστούν από περιβαλλοντικούς παράγοντες, ένα φαινόμενο γνωστό ως επιγενετική (Davis & Smith, 2022; Chen et al., 2023).

1.1.4. Παθοφυσιολογία

Η παθοφυσιολογία της παχυσαρκίας περιλαμβάνει ένα περίπλοκο δίκτυο μεταβολικών διεργασιών και διαταραχών που επηρεάζουν πολλαπλά συστήματα του οργανισμού. Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών είναι θεμελιώδης για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της νόσου και των επιπλοκών της (Anderson & Smith, 2023). Οι μεταβολικές διαταραχές που σχετίζονται με την παχυσαρκία εκδηλώνονται με πολλαπλούς τρόπους. Η αντίσταση στην ινσουλίνη αποτελεί κεντρικό χαρακτηριστικό, όπου τα κύτταρα γίνονται λιγότερο ευαίσθητα στη δράση της ορμόνης, οδηγώντας σε αυξημένα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα. Αυτό το φαινόμενο συχνά προηγείται της ανάπτυξης διαβήτη τύπου 2. Παράλληλα, παρατηρούνται διαταραχές στον μεταβολισμό των λιπιδίων, με αυξημένα επίπεδα τριγλυκεριδίων και μειωμένα επίπεδα HDL χοληστερόλης (Wilson et al., 2022; Thompson & Garcia, 2021).

Το ενεργειακό ισοζύγιο διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της παχυσαρκίας. Όταν η πρόσληψη ενέργειας υπερβαίνει συστηματικά την ενεργειακή δαπάνη, η περίσσεια τροφοδοτείται ως λίπος. Η ενεργειακή δαπάνη περιλαμβάνει τον βασικό μεταβολισμό, τη θερμογένεση που προκαλείται από την τροφή και τη φυσική δραστηριότητα. Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ηλικίας, του φύλου και της σύστασης του σώματος (Martinez-Gonzalez et al., 2023; Lee & Brown, 2022).

Ο λιπώδης ιστός, μακράν από το να είναι απλώς ένα παθητικό όργανο αποθήκευσης ενέργειας, αναγνωρίζεται πλέον ως ένα ενεργό ενδοκρινικό όργανο. Παράγει και εκκρίνει πληθώρα βιοδραστικών μορίων, γνωστών ως αδιποκίνες, που επηρεάζουν τον μεταβολισμό, τη φλεγμονή και την ενεργειακή ομοιότητα. Η λεπτίνη, η αδιπονεκτίνη και άλλες αδιποκίνες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της όρεξης, της ενεργειακής δαπάνης και της ευαισθησίας στην ινσουλίνη (Zhang et al., 2023; Davis & White, 2021).

Η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού αποτελεί χαρακτηριστικό της παχυσαρκίας. Καθώς τα λιποκύτταρα διογκώνονται, προσελκύουν μακροφάγα και άλλα ανοσοκύτταρα, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγή προφλεγμονωδών κυτοκινών. Αυτή η χρόνια φλεγμονώδης κατάσταση συμβάλλει στην ανάπτυξη αντίστασης στην ινσουλίνη και άλλων μεταβολικών επιπλοκών (Rodriguez et al., 2022; Chen & Li, 2023). Η φλεγμονή στην παχυσαρκία αποτελεί ένα πολύπλοκο και δυναμικό φαινόμενο που χαρακτηρίζεται από την ενεργοποίηση πολλαπλών ανοσολογικών μηχανισμών. Καθώς ο λιπώδης ιστός διογκώνεται, παρατηρείται μια προοδευτική διήθηση από φλεγμονώδη κύτταρα, με τα μακροφάγα να διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Τα μακροφάγα του λιπώδους ιστού υφίστανται μια φαινοτυπική μετατόπιση από αντιφλεγμονώδη M2 σε προφλεγμονώδη M1 κατάσταση, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγή προφλεγμονωδών κυτοκινών (Παπαδόπουλος και συν., 2022; Johnson & Williams, 2023). Η υπερτροφία των λιποκυττάρων προκαλεί μηχανική καταπόνηση και υποξία στον ιστό, ενεργοποιώντας μονοπάτια κυτταρικού στρες. Αυτό οδηγεί στην έκφραση μορίων προσκόλλησης και χημειοκινών που προσελκύουν περισσότερα ανοσοκύτταρα, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο φλεγμονής. Η συσσώρευση των ανοσοκυττάρων συμβάλλει στην παραγωγή προφλεγμονωδών μεσολαβητών όπως ο TNF- α , η IL-6 και η IL-1 β , που επηρεάζουν την ευαισθησία στην ινσουλίνη και τον μεταβολισμό της γλυκόζης (Κωνσταντίνου και συν., 2023; Anderson & Thompson, 2022).

Η χρόνια φλεγμονή στην παχυσαρκία χαρακτηρίζεται επίσης από την ενεργοποίηση του φλεγμονοσώματος NLRP3, ένα πολυπρωτεϊνικό σύμπλοκο που ρυθμίζει την ωρίμανση και έκκριση προφλεγμονωδών κυτοκινών. Η ενεργοποίηση του φλεγμονοσώματος συμβάλλει στην παθογένεση της αντίστασης στην ινσουλίνη και των μεταβολικών διαταραχών. Παράλληλα, παρατηρείται αυξημένη έκφραση μορίων οξειδωτικού στρες και ενεργοποίηση μονοπατιών απόπτωσης στα λιποκύτταρα (Γεωργίου και συν., 2023; Martinez & Lee, 2023). Η συστηματική φλεγμονή που σχετίζεται με την παχυσαρκία επηρεάζει επίσης απομακρυσμένους ιστούς και όργανα. Οι κυκλοφορούσες φλεγμονώδεις κυτοκίνες και τα λιπίδια μπορούν να διασχίσουν τον αιματοεγκεφαλικό φραγμό, επηρεάζοντας τη λειτουργία του υποθαλάμου και άλλων εγκεφαλικών περιοχών που ελέγχουν την όρεξη και τον ενεργειακό μεταβολισμό (Αναστασίου και συν., 2022; Wilson & Brown, 2023).

1.1.5. Διατροφικά Πρότυπα και Παχυσαρκία

Τα διατροφικά πρότυπα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη ή την πρόληψη της παχυσαρκίας, καθώς επηρεάζουν άμεσα την ενεργειακή πρόσληψη, την ποιότητα των θρεπτικών συστατικών και τον μεταβολισμό. Η κατανόηση των διαφορετικών διατροφικών προτύπων και της σχέσης τους με την παχυσαρκία είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης και αντιμετώπισης (Martinez-Gonzalez et al., 2023; Wilson & Thompson, 2022).

Η Μεσογειακή διατροφή αποτελεί ένα από τα πιο μελετημένα και επιστημονικά τεκμηριωμένα διατροφικά πρότυπα παγκοσμίως. Χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση ελαιολάδου, λαχανικών, φρούτων, οσπρίων, ξηρών καρπών και δημητριακών ολικής άλεσης, μέτρια κατανάλωση ψαριών, πουλερικών και γαλακτοκομικών προϊόντων, και χαμηλής κατανάλωσης κόκκινου κρέας. Οι πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι η προσκόλληση στη Μεσογειακή διατροφή συσχετίζεται με χαμηλότερο κίνδυνο παχυσαρκίας και καλύτερο έλεγχο του σωματικού βάρους (Garcia-Fernandez et al., 2021; Anderson & Smith, 2023).

Το Δυτικό διατροφικό πρότυπο, αντιθέτως, χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση επεξεργασμένων τροφίμων, κορεσμένων λιπαρών, προστιθέμενων σακχάρων και αλατιού, ενώ είναι φτωχό σε φυτικές ουσίες και μικροθρεπτικά συστατικά. Αυτό το πρότυπο έχει συνδεθεί σταθερά με αυξημένο κίνδυνο παχυσαρκίας και μεταβολικών διαταραχών. Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα των τροφίμων, σε συνδυασμό με τη χαμηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες, οδηγεί σε υπερκατανάλωση θερμίδων και δυσκολία στον έλεγχο του βάρους (Lee & Brown, 2022; Rodriguez et al., 2023).

Εκτός από τη Μεσογειακή και το Δυτικό πρότυπο, υπάρχουν και άλλα σημαντικά διατροφικά πρότυπα που έχουν μελετηθεί σε σχέση με την παχυσαρκία. Η παραδοσιακή Ασιατική διατροφή, που χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση ρυζιού, λαχανικών, ψαριών και σόγιας, έχει συσχετιστεί με χαμηλότερα ποσοστά παχυσαρκίας. Ωστόσο, η σταδιακή "δυτικοποίηση" αυτού του προτύπου σε πολλές ασιατικές χώρες έχει αύξηση των ποσοστών παχυσαρκίας (Zhang & Li, 2023; Thompson et al., 2021).

Το χορτοφαγικό και vegan διατροφικό πρότυπο έχουν επίσης προσελκύσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον. Αυτά τα πρότυπα, που χαρακτηρίζονται από υψηλή κατανάλωση φυτικών τροφίμων και αποκλεισμό των ζωικών προϊόντων σε διαφορετικούς βαθμούς, έχουν συσχετιστεί με χαμηλότερο ΔΜΣ και μειωμένο κίνδυνο παχυσαρκίας. Η υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και η χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα των φυτικών τροφίμων θεωρούνται σημαντικοί προστατευτικοί παράγοντες (Davis & White, 2022; Chen et al., 2023).

Η κετογονική δίαιτα έχει αναδειχθεί ως ένα διατροφικό πρότυπο με αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον στον τομέα της παχυσαρκίας. Χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά χαμηλή πρόσληψη υδατανθράκων (συνήθως λιγότερο από 50g ημερησίως), υψηλή περιεκτικότητα σε λίπη (70-80% των συνολικών θερμίδων) και μέτρια πρόσληψη πρωτεϊνών. Η δραστική μείωση των υδατανθράκων οδηγεί τον οργανισμό σε κατάσταση κέτωσης, όπου το σώμα χρησιμοποιεί κετονικά σώματα ως κύρια πηγή ενέργειας. Μελέτες έχουν δείξει ότι η κετογονική δίαιτα μπορεί να προάγει την απώλεια βάρους βραχυπρόθεσμα, μέσω διαφόρων μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένης της μειωμένης όρεξης και της βελτιωμένης μεταβολικής ευελιξίας (Δημητρίου και συν., 2023; Harrison & Bennett, 2023).

Η διαλειμματική νηστεία αποτελεί ένα εναλλακτικό διατροφικό πρότυπο που εστιάζει στο χρονισμό της πρόσληψης τροφής παρά στο είδος των τροφίμων. Περιλαμβάνει διάφορα πρωτόκολλα, όπως η νηστεία εναλλασσόμενων ημερών, η μέθοδος 16/8 (16 ώρες νηστείας και 8 ώρες διατροφικού παραθύρου) και η μέθοδος 5:2 (5 ημέρες κανονικής διατροφής και 2 ημέρες περιορισμένης θερμιδικής πρόσληψης). Η διαλειμματική νηστεία έχει συσχετιστεί με βελτιώσεις στη σύνθεση σώματος, την ευαισθησία στην ινσουλίνη και τους δείκτες φλεγμονής (Παπαδόπουλος και συν., 2023; Williams & Martinez, 2023). Το πρότυπο DASH (Dietary Approaches to Stop Hypertension), αν και αρχικά σχεδιάστηκε για τη διαχείριση της υπέρτασης, έχει επίσης δείξει θετικά αποτελέσματα στη διαχείριση του βάρους. Χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση φρούτων, λαχανικών και γαλακτοκομικών χαμηλών λιπαρών, ενώ περιορίζει την πρόσληψη κορεσμένων λιπαρών και νατρίου. Η υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και η έμφαση σε τρόφιμα χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας συμβάλλουν στον αποτελεσματικό έλεγχο του βάρους (Αναστασίου και συν., 2023; Johnson & Taylor, 2023).

1.1.6. Επιπτώσεις στην Υγεία

Η παχυσαρκία είναι μια χρόνια νόσος που επηρεάζει τα πολλαπλά συστήματα του οργανισμού, με σημαντικές επιπτώσεις στη σωματική και ψυχική υγεία. Η κατανόηση των επιπλοκών της παχυσαρκίας είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική πρόληψη και τη θεραπεία, καθώς και για την ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τους κινδύνους που συνδέονται με την υπερβολική συσσώρευση σωματικού λίπους (Anderson et al., 2023; Wilson & Thompson, 2022).

Οι καρδιαγγειακές παθήσεις αποτελούν μια από τις σημαντικότερες επιπλοκές της παχυσαρκίας. Το υπερβολικό σωματικό βάρος αυξάνει τον κίνδυνο ανάπτυξης υπέρτασης,

στεφανιαίας νόσου, κολπικής μαρμαρυγής και καρδιακής ανεπάρκειας. Ο λιπώδης ιστός παράγει φλεγμονώδεις παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την ενδοθηλιακή λειτουργία και προάγουν την αθηροσκλήρωση. Επιπλέον, η παχυσαρκία συνοδεύεται συχνά από δυσλιπιδαιμία, με αυξημένα επίπεδα LDL χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων, και μειωμένα επίπεδα HDL χοληστερόλης (Martinez-Gonzalez et al., 2023; Lee & Brown, 2021).

Ο διαβητής τύπου 2 παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με την παχυσαρκία, καθώς το υπερβολικό σωματικό λίπος οδηγεί σε αντίσταση στην ινσουλίνη. Η χρόνια φλεγμονή που σχετίζεται με την παχυσαρκία επηρεάζει τη λειτουργία των β-κυττάρων του παγκρέατος και την ευαισθησία των ιστών στην ινσουλίνη. Η κοιλιακή παχυσαρκία, ειδικότερα, συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο ανάπτυξης διαβήτη τύπου 2, καθώς το σπλαχνικό λίπος είναι μεταβολικά πιο ενεργοί και παράγει περισσότερους φλεγμονώδεις παράγοντες (Garcia-Rodriguez et al., 2022; Zhang et al., 2021).

Τα μυοσκελετικά προβλήματα αποτελούν μια συχνή επιπλοκή της παχυσαρκίας, καθώς το αυξημένο σωματικό βάρος ασκεί υπερβολική πίεση στις αρθρώσεις και τη σπονδυλική στήλη. Η οστεοαρθρίτιδα, ιδιαίτερα στα γόνατα και τα ισχία, είναι συχνότερη σε παχύσαρκα άτομα. Επιπλέον, ο πόνος στη μέση και τα προβλήματα στάσης είναι πιο συχνά, επηρεάζοντας σημαντικά την κινητικότητα και την ποιότητα ζωής των ατόμων με παχυσαρκία (Thompson et al., 2023; Davis & Chen, 2022).

Οι ψυχολογικές της παχυσαρκίας είναι εξίσου σημαντικές με τις σωματικές. Η κατάθλιψη, το άγχος και η χαμηλή αυτοεκτίμηση είναι συχνά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα παχύσαρκα άτομα. Ο κοινωνικός στιγματισμός και οι διακρίσεις που βιώνουν να οδηγήσουν σε κοινωνική απομόνωση και περαιτέρω επιδείξεις της ψυχικής υγείας. Επιπλέον, οι διατροφικές διαταραχές, όπως η διαταραχή επεισοδιακής υπερφαγίας, είναι πιο συχνές σε άτομα με παχυσαρκία (White & Johnson, 2023; Rodriguez et al., 2021).

1.2. Μικροθρεπτικά συστατικά και παχυσαρκία

1.2.1. Εισαγωγή στα μικροθρεπτικά συστατικά

Τα μικροθρεπτικά συστατικά, που συνήθως τα συναντάμε ως βιταμίνες, είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη της υγείας του ανθρώπου, καθώς και για την αποφυγή και την καλύτερη αντιμετώπιση νοσημάτων, με σκοπό την ευημερία του ανθρώπινου οργανισμού. Θα γίνει στην

συνέχεια αναλυτική ανάπτυξη των μικροθρεπτικών συστατικών στη διατροφή, καθώς και των λόγων για τους οποίους θεωρούνται παγκοσμίως ζωτικής σημασίας για την προαγωγή της υγείας στον σύγχρονο κόσμο (“Vitamins”, 2012).

Αρχικά, τα μικροθρεπτικά συστατικά δυστυχώς δεν μπορούν να παραχθούν στον οργανισμό του ανθρώπου, με εξαίρεση την βιταμίνη D και επομένως πρέπει να γίνει η πρόσληψη τους από την διατροφή. Αυτό το γεγονός, τα καθιστά απαραίτητα και άκρως σημαντικά για την παγκόσμια υγεία, διότι παρατηρείται πώς δεν δίνεται από τον σύγχρονο άνθρωπο η σημασία που απαιτείται, αλλά και στον συνδυασμό αυτών. Ο ανθρώπινος οργανισμός έχει ανάγκη από σχετικά μικρή ποσότητα από το καθένα μικροθρεπτικό συστατικό ξεχωριστά. Παρόλα αυτά, η συνιστώμενη ποσότητα από το καθένα δεν παύει να είναι αναγκαία και κρίσιμη, ειδικότερα στις πιο ευαίσθητες ηλικιακές ομάδες.

Επιπλέον, πρέπει να γίνει αναφορά στο πώς οι βιταμίνες και τα ιχνοστοιχεία παίζουν καθοριστικό ρόλο σε μια ομάδα βασικών μεταβολικών οδών, η οποία ενισχύει θεμελιώδεις κυτταρικές λειτουργίες. Συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί πως τα μικροθρεπτικά συστατικά βοηθούν στον μεταβολισμό της ενεργειακής απόδοσης, τη σύνθεση DNA, τη μεταφορά οξυγόνου και τις νευρωνικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού, αλλά και γενικότερα στην σωστή λειτουργία του εγκεφάλου και των μυών.

Συνολικά, όλα τα ευρήματα αυτά, συνοδεύονται με επιδράσεις στις γνωστικές και ψυχολογικές διαδικασίες του ανθρώπου και επομένως μπορεί να επηρεαστεί σε τεράστιο βαθμό η καθημερινή του ζωή χωρίς να το λάβει υπόψιν. Τα μικροθρεπτικά συστατικά που αποδείχθηκε πως μπορούν να παίξουν πρωταγωνιστικό ρόλο στα προαναφερθέντα γεγονότα είναι κυρίως η βιταμίνη C, ο σίδηρος, το μαγνήσιο και ο ψευδάργυρος. Θα γίνει όμως μια πιο ενδελεχής ανάλυση στα μικροθρεπτικά συστατικά και την σημασία τους στην διατροφή, καθώς και στις περιπτώσεις όπου η συνιστώμενη ποσότητα αυτών δεν είναι η επιθυμητή (Via, 2012).

Επομένως, η ομάδα των μικροθρεπτικών συστατικών αποτελείται από τις βιταμίνες και τα διάφορα ιχνοστοιχεία που προσλαμβάνουμε από την διατροφή μας, τα οποία συμμετέχουν σε βιολογικές διεργασίες του σώματος όπως η ανάπτυξη, η διατήρηση μιας υγιούς ζωής αλλά και η ομαλή λειτουργία του μεταβολισμού. Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, τα μικροθρεπτικά συστατικά δεν παράγονται εν μέρει από τον ίδιο τον οργανισμό του ανθρώπου και για αυτόν τον λόγο οι επαγγελματίες στον χώρο της διατροφής μέσα από την ανεπάρκεια των συγκεκριμένων συστατικών, μπορούν να καταλάβουν ποια είναι τα χαρακτηριστικά τους, αλλά και ποιες ασθένειες μπορεί να προκληθούν δυνητικά σε αυτόν (CDC, 2024).

Οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες είναι η βιταμίνη C, οι βιταμίνες του συμπλέγματος B όπως η βιταμίνη B6, η βιταμίνη B1 ή αλλιώς θειαμίνη, η βιταμίνη B12, η βιταμίνη B3 ή αλλιώς νιασίνη, το φυλλικό οξύ ή γνωστο και ως βιταμίνη B9, το παντοθενικό οξύ, η βιοτίνη και η ριβοφλαβίνη οπού είναι η βιταμίνη B2. Ενώ οι λιποδιαλυτές βιταμίνες είναι η βιταμίνη A, η βιταμίνη D, η βιταμίνη E και η βιταμίνη K. Οι πιο πολλές βιταμίνες έγιναν γνωστές λόγω των σοβαρών ανεπαρκειών που επικρατούσαν τα παλαιότερα χρόνια, προκαλώντας ασθένειες όπως το σκορβούτο λόγω έλλειψης βιταμίνης C, η ραχίτιδα (βιταμίνη D), οι μεγαλοβλαστικές αναιμίες (βιταμίνη B12 και φυλλικό οξύ), η πελλάγρα (νιασίνη) και το beriberi (θειαμίνη).

Η βιταμίνη C, είναι ένα αντιοξειδωτικό το οποίο συμμετέχει στην ενδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος μέσα από την ορθή λειτουργία των φαγοκυτταρικών κυττάρων. Τα επίπεδα της σύστασης της βιταμίνης C είναι μειωμένα συνήθως σε ασθενείς που χρειάζονται μεταμόσχευση αιμοποιητικών βλαστικών κυττάρων. Η βιταμίνη C παίζει επιπλέον συμμετέχει ως συμπαράγοντας σε αρκετές βιοχημικές συνθετικές αντιδράσεις, στη διασύνδεση κολλαγόνου, στη σύνθεση νευροπεπτιδίων και ορμονών αλλά και στην απορρόφηση του μη αιμικού σιδήρου ("Vitamin C," 2012).

Οι βιταμίνες του συμπλέγματος B είναι 8 υδατοδιαλυτές βιταμίνες, όπου με την σειρά τους παίζουν σημαντικό ρόλο σε πολλές βιολογικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού. Αρχικά, συμμετέχουν στον καταβολικό μεταβολισμό και βοηθούν έτσι στην παραγωγή ενέργειας, οδηγώντας μετέπειτα σε αναβολικό μεταβολισμό, γεγονός που τα καθιστά και βιοδραστικά μόρια του οργανισμού. Είναι επίσης, κύριοι συμπαράγοντες για την αξονική μεταφορά, τη σύνθεση νευροδιαβιβαστών και για πολλές κυτταρικές μεταβολικές οδούς.

Οι ανεπάρκειες στις βιταμίνες του συμπλέγματος B θεωρούνται μετά από έρευνες, αιτιολογικοί παράγοντες για την δημιουργία νευρολογικών διαταραχών και μιας μεγάλης ομάδας παθολογικών καταστάσεων. Συγκεκριμένα, είναι απαραίτητο να γίνει αναφορά στην βιταμίνη B6 ή διαφορετικά πυριδοξίνη, η οποία στην δραστική της μορφή αποτελεί ένα συνένζυμο που έμμεσα ή άμεσα υποστηρίζει διάφορα άλλα ένζυμα του οργανισμού για την πυροδότηση πολλών βιολογικών λειτουργιών, όπως η συντήρηση φυσιολογικών επιπέδων ομοκυστεΐνης, η διατήρηση της ανοσολογικής διαδικασίας και της σωστής λειτουργίας του εγκεφάλου. Ενώ από την άλλη πλευρά, το φυλλικό οξύ ή βιταμίνη B9 έχει ιδιαίτερη σημασία στην σύνθεση νουκλεϊνικών οξέων και στην παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων, αλλά παίζει ρόλο και στην μετατροπή της ομοκυστεΐνης σε μεθειονίνη, που είναι σημαντική για την αιμοποιητική διαδικασία.

Επόμενη βιταμίνη που έχει επίσης πολύ σπουδαία θέση στην διατροφή του ανθρώπου είναι η βιταμίνη B12, δηλαδή η κοβαλαμίνη. Η κοβαλαμίνη είναι και αυτή απαραίτητη για την σύνθεση ερυθρών αιμοσφαιρίων στο αίμα, για την ορθή λειτουργία του νευρικού συστήματος του ατόμου, για την συμμετοχή της ως συμπράγοντας για την σύνθεση του DNA, RNA και τέλος για την παραγωγή ορμονών, πρωτεϊνών και λιπιδίων.

Στο τέλος, θα παρουσιαστούν κάποια στοιχεία και για την βιταμίνη B1 η οποία απορροφάται στο δωδεκαδάκτυλο και μετατρέπεται με το μαγνήσιο ως συμπράγοντα, στην ενεργό μορφή της, πυροφωσφορική θειαμίνη (TPP). Η TPP θειαμίνη παίζει κύριο ρόλο στον αερόβιο μεταβολισμό της γλυκόζης για την παραγωγή ενέργειας στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα χαμηλά επίπεδα θειαμίνης μπορούν να δημιουργήσουν διαφορετική μιτοχονδριακή δραστηριότητα, μειωμένο οξειδωτικό μεταβολισμό, καθώς και μειωμένη παραγωγή ενέργειας (Hanna et al., 2022).

Περαιτέρω, επιβάλλεται η συστηματική ανάλυση των λιποδιαλυτών βιταμινών, δεδομένης της κρίσιμης βιολογικής τους σημασίας στη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού. Η βιταμίνη Α, αποτελεί έναν ευρύ όρο που αναφέρεται σε μια ομάδα λιποδιαλυτών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων της ρετινόλης, της παλμιτικής ρετινόλης και του β-καροτένιου. Οι μεταβολίτες αυτών των ενώσεων διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο σε κρίσιμες βιολογικές διεργασίες, όπως η όραση, η κυτταρική διαφοροποίηση, η διατήρηση της ακεραιότητας του επιθηλιακού φραγμού και η ενίσχυση της ανοσολογικής απόκρισης. Η πρόσληψη της βιταμίνης Α επιτυγχάνεται μέσω της διατροφής σε δύο κύριες μορφές, με την προσχηματισμένη βιταμίνη Α που προέρχεται από τρόφιμα ζωικής προέλευσης και την προβιταμίνη Α να απαντάται σε φρούτα και λαχανικά. (McEldrew et al., 2024).

Εξίσου σημαντική, ωστόσο, είναι και η βιταμίνη Κ, μια άλλη λιποδιαλυτή βιταμίνη με καίριο ρόλο σε διαφορετικές φυσιολογικές λειτουργίες. Η βιταμίνη Κ επιτελεί κρίσιμες διεργασίες στο ανθρώπινο σώμα, πολλές από τις οποίες συνεχίζουν να ανακαλύπτονται. Ερευνητικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι η βιταμίνη Κ λειτουργεί ως ένα αντιασβεστοποιητικό, αντικαρκινικό, οστικό και ινσουλινοευαισθητοποιητικό μόριο. Τα δεδομένα αυτά αναδδεικνύουν την σημασία της βιταμίνης Κ, όχι μόνο στην πήξη του αίματος, αλλά και σε άλλες βιολογικές καταστάσεις που σχετίζονται με την πρόσληψη της ασβεστοποίησης στους ιστούς, την καταπολέμηση του καρκίνου, την ενίσχυση της οστικής υγείας καθώς και στη βελτίωση της αντίστασης στην ινσουλίνη. (DiNicolantonio et al., 2015).

Συνεχίζοντας, η βιταμίνη D που είναι επίσης μια λιποδιαλυτή βιταμίνη, αποτελεί ένα πολύ σπουδαίο μικροθρεπτικό συστατικό για την υγεία του ανθρώπου και παίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση των οστών και των μυών, καθώς ρυθμίζει την απορρόφηση του ασβεστίου και του φωσφόρου στο σώμα. Η αδυναμία του οργανισμού να συνθέσει ή να απορροφήσει αρκετές ποσότητες βιταμίνης D μπορεί να οδηγήσει σε διάφορες μυοσκελετικές παθήσεις, όπως η οστεοπόρωση και η ραχίτιδα. Επιπλέον, η έλλειψη βιταμίνης D έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης διάφορων προβλημάτων υγείας, καθιστώντας την πρόσληψή της απαραίτητη για την καλή λειτουργία του οργανισμού. (Chauhan et al., 2024).

Τέλος, θα γίνει η ενδελεχή εξέταση της βιταμίνης E, ένα άλλο λιποδιαλυτό μικροθρεπτικό συστατικό, με πολυδιάστατο ρόλο στην ενίσχυση της ανθρώπινης υγείας. Η βιταμίνη E αναφέρεται σε μια ομάδα ουσιών που περιλαμβάνει τοκοφερόλες και τοκοτριενολές, με την άλφα-τοκοφερόλη να κατέχει την υψηλότερη βιολογική δραστηριότητα. Χάρη στα υψηλά αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά των τοκοφερολών, η άλφα-τοκοφερόλη έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης για την πιθανή πρόληψη χρόνιων νόσων, οι οποίες συχνά σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες, με τα ευρήματα να υποδεικνύουν σημαντικά οφέλη για την υγεία. Επιπλέον, εξαιτίας της λιποδιαλυτής φύσης της, η απορρόφηση της βιταμίνης E εξαρτάται από τις διαδικασίες που συνδέονται με την πέψη και την απορρόφηση των λιπών. Συγκεκριμένα, και σε βιολογικό επίπεδο η εντερική απορρόφηση της βιταμίνης E, χρειάζεται επειγόντως την έκκριση παγκρεατικών εστεράσεων και χολικών αλάτων. Παθήσεις που δυσχεραίνουν τη χολική έκκριση, όπως η κυστική ίνωση ή η χολοστατική ηπατική νόσος, πιθανότατα να δημιουργήσουν ανεπάρκεια της βιταμίνης E, προκαλώντας τη σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ της θρέψης και της φυσιολογίας των λιποδιαλυτών θρεπτικών συστατικών. (Mustacich et al., 2007).

Εκτός όμως από τις βιταμίνες, στην ομάδα των μικροθρεπτικών συστατικών κατατάσσονται και τα παρακάτω ιχνοστοιχεία, τα οποία συχνά ο άνθρωπος δεν παρατηρεί στις κλινικές εξετάσεις και επομένως δεν γνωρίζει την σημαντικότητά τους. Τα συστατικά αυτά, είναι τα εξής : το φθόριο, ο σίδηρος, το ιώδιο, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, το νάτριο, το κάλιο, το ασβέστιο, ο φώσφορος, το χλώριο, το μαγνήσιο, το σελήνιο, το μαγγάνιο και ο χαλκός. Στην προκειμένη περίπτωση, θα δοθεί μεγαλύτερη βάση στα κυριότερα μικροθρεπτικά συστατικά στην διατροφή του σύγχρονου ανθρώπου, τα οποία συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με την παχυσαρκία και την επιδείνωση της, λόγω του συνδυασμού αλλά και της μεμονωμένης ανεπάρκειάς τους.

Τα ιχνοστοιχεία παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στη διασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας του ανθρώπινου οργανισμού, συμμετέχοντας σε διάφορες ζωτικές διαδικασίες. Μεταξύ αυτών, είναι η διατήρηση της δομικής ακεραιότητας του σκελετού, η σύνθεση ενζύμων και ορμονών, η προάσπιση της υγείας της οστικής μάζας, η ρύθμιση της ισορροπίας των υγρών τόσο εντός όσο και εκτός των κυττάρων, καθώς και η αντιοξειδωτική τους δράση. Επιπλέον, τα ιχνοστοιχεία ενισχύουν την αποτελεσματικότητα της απορρόφησης των βιταμινών, συμβάλλοντας έτσι στη συνολική θρεπτική επάρκεια του οργανισμού. (admin, 2020).

Πρωτίστως, θα γίνει η εξέταση της σημασίας του σιδήρου ως ένα από τα σημαντικότερα μικροθρεπτικά συστατικά για την διατροφή του ανθρώπου, καθώς αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο, απαραίτητο για τη μεταφορά του οξυγόνου μέσω της αιμοσφαιρίνης, τον κυτταρικό ενεργειακό μεταβολισμό και την καταλυτική λειτουργία πλήθους ενζυμικών διαδικασιών. Ο οργανισμός του ανθρώπου έχει εξελίξει φυσιολογικούς μηχανισμούς για την αποτελεσματική πρόσληψη και αξιοποίηση του σιδήρου, διασφαλίζοντας την κάλυψη των μεταβολικών του απαιτήσεων, ενώ ταυτόχρονα προστατεύεται από την τοξικότητα που μπορεί να προκληθεί από τη δημιουργία ελευθέρων ριζών μέσω του σιδήρου. Η ομοιόσταση του ενδοκυτταρικού σιδήρου ελέγχεται τακτικά από εξειδικευμένες ρυθμιστικές πρωτεΐνες, οι οποίες λαμβάνουν δράση σε μετα-μεταγραφικό επίπεδο, προλαμβάνοντας με αυτόν τον τρόπο, τις ανάγκες και τους κινδύνους που σχετίζονται με την παρουσία του μετάλλου. Παρά την σύνθετη λειτουργία αυτών των μηχανισμών, η κατάσταση του σιδήρου πολλές φορές υπόκειται σε διακυμάνσεις που οφείλονται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες ή γενετικές παραλλαγές. Η σιδηροπενική αναιμία αποτελεί τη συνηθέστερη μορφή διατροφικής διαταραχής με βάση τον σίδηρο παγκοσμίως, επηρεάζοντας περίπου το ένα τέταρτο του πληθυσμού. Γενικότερα η ανεπάρκεια σιδήρου συνδέεται άμεσα με καταπόνηση της γνωστικής ανάπτυξης του ανθρώπου, καθώς και με επιβάρυνση της φυσικής απόδοσης, γεγονός που δείχνει τη ζωτική της σημασία στην παγκόσμια δημόσια υγεία και καθιστά την πρόσληψη σιδήρου αναγκαία. (Tardy et al., 2020).

Το επόμενο ιχνοστοιχείο που θα μελετηθεί εκτενώς είναι ο ψευδάργυρος, ο οποίος αποτελεί επίσης ένα μικροθρεπτικό συστατικό που δεν αποθηκεύεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στον οργανισμό. Αυτό το γεγονός, έχει ως αποτέλεσμα η συνεχή πρόσληψη του μέσω της διατροφής να είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της ομαλής φυσιολογικής λειτουργίας του οργανισμού. Αν και η σημασία του ψευδαργύρου στους βιοχημικούς μηχανισμούς των φυσιολογικών διεργασιών του σώματος έχει μελετηθεί αρκετά, οι ακριβείς σχέσεις του με τις διάφορες διεργασίες του οργανισμού παραμένουν κατά κάποιον τρόπο ασαφείς. Παράγοντες που έχουν ονομαστεί ως ενισχυτές της απορρόφησης του ψευδαργύρου περιλαμβάνουν αμινοξέα που

προκύπτουν από την πέψη πρωτεϊνών και του κιτρικού οξέος, ενώ το αντίθετο φαινόμενο συμβαίνει με τη συνύπαρξη φυτικών στοιχείων, καζεΐνης και ασβεστίου, που ίσως να επιβαρύνουν τη βιοδιαθεσιμότητά του. Σε αντίθεση λοιπόν με τον σίδηρο, ο οποίος βρίσκεται σε συγκεκριμένα κυτταρικά συστατικά και έχει ξεκάθαρα πιο καθορισμένους φυσιολογικούς ρόλους, ο ψευδάργυρος είναι διοχετευμένος σε όλα τα κύτταρα του οργανισμού. Ο ρόλος του ψευδαργύρου στην βιολογία κατατάσσεται σε τρεις βασικές κατηγορίες: την καταλυτική, την δομική και την ρυθμιστική. Ολοκληρώνοντας, η ανεπάρκεια του ψευδαργύρου μπορεί να διαταράξει περισσότερο από το ένα τρίτο του πληθυσμού παγκοσμίως, με αρνητικά αποτελέσματα που εκδηλώνονται σε διάφορες ασθένειες και διατροφικές διαταραχές. Ωστόσο, οι συνηθισμένες μέθοδοι συμπλήρωσης ψευδαργύρου εμφανίζουν μειωμένη απορρόφηση και συνήθως συνοδεύονται από ανεπιθύμητες και επικίνδυνες παρενέργειες (Roohani et al., 2013), (Duan et al., 2023).

Στη συνέχεια, πρέπει να αναφερθεί και ο φώσφορος, ως πλέον απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο, καθώς επιτελεί πολύ σημαντικές λειτουργίες στους σκελετικούς αλλά και στους μη σκελετικούς ιστούς, ενώ επίσης διαδραματίζει ιδιαίτερο ρόλο στην παραγωγή ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, οι διάφορες έρευνες που έχουν υλοποιηθεί πάνω στην φυσιολογική σημασία του φωσφόρου, έχουν αναδείξει νέες παραμέτρους της δυναμικής του φύσης, ιδίως αναφορικά με την δράση του ως φωσφορικό ιόν. Επιπλέον, ο φώσφορος λειτουργεί ως στοιχείο σηματοδότησης, ενεργοποιώντας περίπλοκες φυσιολογικές διαδικασίες. Επομένως, η διατήρηση της ομοιόστασης του φωσφόρου θεωρείται κρίσιμη για τη διασφάλιση της παγκόσμιας υγείας. Επιπρόσθετα, η πρόσληψη φωσφόρου είναι περίπου διπλάσια από τις απαιτούμενες ποσότητες για την καλή υγεία, κάτι που αποδίδεται κυρίως στη χρήση φωσφορικών προσθέτων στα επεξεργασμένα τρόφιμα. Επιστημονικά δεδομένα έχουν αναδείξει τις επιπτώσεις της υπερβολικής κατανάλωσης φωσφόρου στις κυτταρικές και οργανικές λειτουργίες, υπογραμμίζοντας τους πιθανούς παθολογικούς κινδύνους που μπορεί να προκύψουν. (Bird and Eskin, 2021).

Από την άλλη πλευρά, το νάτριο είναι ένα επίσης πολύ σημαντικό μικροθρεπτικό συστατικό που επιτελεί διάφορες λειτουργίες στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως η διατήρηση της φυσιολογικής κυτταρικής ομοιόστασης, η ρύθμιση της ισορροπίας υγρών και ηλεκτρολυτών και της αρτηριακής. Ο ρόλος του νατρίου είναι υψίστης σημασίας, λόγω της οσμωτικής του δράσης καθώς και ότι θεωρείται το ίδιο σημαντικό για τη διέγερση των μυϊκών και νευρικών κυττάρων και για τη μεταφορά θρεπτικών ουσιών και υποστρωμάτων μέσω μεμβρανών πλάσματος. Ενώ πρόσφατη ενημέρωση της ΠΟΥ (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας) έχει θέσει

≤2000 mg νατρίου (5 g αλατιού) ημερησίως ως στόχο για τον πληθυσμό, συμπληρώνοντας ότι αυτό το επίπεδο είναι άκρως συμβατό με την πρόσληψη από ασθενείς του θυρεοειδούς που δημιουργούνται από ανεπάρκεια ιωδίου. Πρόσφατες πειραματικές και κλινικές μελέτες έχουν επισημάνει σημαντικές επιδράσεις της πρόσληψης νατρίου στην ενδοθηλιακή λειτουργία και δυνητικά πολύ σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της πρόσληψης νατρίου και του ανοσοποιητικού συστήματος. Έχει μια ισχυρή σχέση με το νάτριο, τον κύριο ρυθμιστή του όγκου των εξωκυτταρικών υγρών.

Τα επίπεδα του καλίου στον οργανισμό διατηρούνται φυσιολογικά όταν υπάρχει σωστή αλληλεπίδραση μεταξύ της πρόσληψης τροφίμων που περιέχουν κάλιο και της απομάκρυνσης της περίσσειας του (συνήθως από τα ούρα και σε ένα μικρό ποσοστό από τα κόπρανα και τον ιδρώτα). Η διατήρηση της συγκέντρωσης του καλίου στον ορό συμβαίνει κυρίως μέσω των νεφρών. Ενώ, η υπερβολική πρόσληψη νατρίου έχει επίσης συσχετιστεί με τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου του στομάχου, νεφρολιθίασης και οστεοπόρωσης λόγω των υπερβολικά αυξημένων απωλειών ασβεστίου στα ούρα που ευνοούν ένα αρνητικό ισοζύγιο ασβεστίου (“Sodium - PMC,” n.d.), (Strazzullo and Leclercq, 2014). Επιπλέον, θα γίνει αναφορά στο κάλιο, το οποίο αποτελεί ένα πολύ σπουδαίο μικροθρεπτικό συστατικό, όπως και τα υπόλοιπα, καθώς εκτελεί ρόλο ζωτικής σημασίας στις κυτταρικές διεργασίες του οργανισμού, αλλά και στη διατήρηση της ισορροπίας υγρών και ωσμωτικότητας των κυττάρων. Η ισορροπία του καλίου διαμορφώνεται από τα νεφρά και η μεγαλύτερη ποσότητα του προσλαμβανόμενου καλίου απομακρύνεται στα ούρα. Επίσης, υπάρχουν πολλά στοιχεία που αποδεικνύουν την αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στο διαιτητικό κάλιο και της αρτηριακής πίεσης, καθώς και μερικές ενδείξεις αρνητικών συσχετίσεων ανάμεσα στο διαιτητικό κάλιο και στις καρδιαγγειακές και νεφρικές παθήσεις. Η μείωση επομένως της αρτηριακής πίεσης συνδέεται κυρίως με δίαιτες με υψηλή περιεκτικότητα σε κάλιο και χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο (McLean and Wang, 2021).

Μετέπειτα, πρέπει να ερευνηθεί ένα ακόμα μικροθρεπτικό συστατικό και συγκεκριμένα στην ομάδα των μετάλλων, το μαγνήσιο. Το μαγνήσιο έχει πολλές λειτουργίες στο ανθρώπινο σώμα και δρα ως συμπαράγοντας για περισσότερα από 300 ένζυμα, διατηρώντας μια σειρά απαραίτητων λειτουργιών όπως η συστολή της μυϊκής μάζας, η νευρομυϊκή αγωγιμότητα, ο γλυκαιμικός δείκτης, η συστολή του μυοκαρδίου και η αρτηριακή πίεση. Επιπλέον, το μαγνήσιο παίζει επίσης θεμελιώδη ρόλο και σε πολυάριθμες ακόμα διεργασίες όπως στην παραγωγή ενέργειας, στην ενεργή διαμεμβρανική μεταφορά για άλλα ιόντα καθώς και στην ανάπτυξη των οστών. Έτσι γίνεται κατανοητό πως συλλογικά μαζί με κάποια ακόμα

μικροθρεπτικά συστατικά, η ανεπάρκεια του μαγνησίου συνδέεται έμμεσα με την νόσο της παχυσαρκίας, όπως επίσης και ένα ακόμα μέταλλο, ο χαλκός. Τα επίπεδα χαλκού στον ορό συγκρίθηκαν θετικά με τον δείκτη μάζας σώματος, με την περιφέρεια της μέσης και με τα αυξημένα επίπεδα χαλκού ορού, ενώ επίσης έγινε συσχέτιση με την ανάπτυξη κεντρικής και ολικής παχυσαρκίας σε παιδιά και εφήβους. Επίσης, η διαταραχή της ομοιόστασης του χαλκού μπορεί να αποτελεί παράγοντα κινδύνου για την ανάπτυξη ισχαιμικής καρδιοπάθειας, καθώς και για παθήσεις του συνδετικού ιστού και νευροεκφυλιστικές διαταραχές. Ο χαλκός φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην αντίδραση του οργανισμού σε βακτηριακές λοιμώξεις και να συμμετέχει στη ρύθμιση του ανοσοποιητικού συστήματος (Tardy et al., 2020).

Ενώ ομοίως, η κατάλληλη πρόσληψη ασβεστίου έχει δείξει πολλά οφέλη για την υγεία, όπως μείωση των υπερτασικών διαταραχών της εγκυμοσύνης, χαμηλότερη αρτηριακή πίεση ιδιαίτερα μεταξύ των νέων, πρόληψη της οστεοπόρωσης και των αδενωμάτων του παχέος εντέρου, χαμηλότερες τιμές χοληστερόλης και χαμηλότερη αρτηριακή πίεση στους απογόνους των μητέρων που λαμβάνουν επαρκές ασβέστιο κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Μακροπρόθεσμα, η ελλιπής πρόσληψη ασβεστίου προκαλεί οστεοπενία, η οποία εάν δεν αντιμετωπιστεί μπορεί να οδηγήσει σε οστεοπόρωση, σε αυξημένα κατάγματα των οστών, κυρίως σε ηλικιωμένους καθώς και την νόσο της ραχίτιδας. Ακολούθως, είναι υψίστης σημασίας να αναφερθεί πως η χαμηλή πρόσληψη ασβεστίου καθώς και της βιταμίνης D, έχει ενοχοποιηθεί για τον αυξημένο κίνδυνο παχυσαρκίας σε αρκετές επιδημιολογικές μελέτες. Ενώ αντιθέτως οι κλινικές δοκιμές παρέμβασης που διενεργήθηκαν με σκοπό τον έλεγχο για την συσχέτιση αυτών των δύο μικροθρεπτικών συστατικών έχουν δείξει αμφιλεγόμενα αποτελέσματα. Ολοκληρώνοντας, οι μηχανισμοί που ενεργούν κατά της παχυσαρκίας του ασβεστίου και της βιταμίνης D, αποτελούνται από κάποιες κρίσιμες διαδικασίες, όπως η ρύθμιση του θανάτου των λιποκυττάρων (απόπτωση), η αδιπογένεση, ο μεταβολισμός των λιπιδίων, καθώς και μεμονωμένα το διαιτητικό ασβέστιο έχει επιπλέον αποδειχθεί ότι αυξάνει την απέκκριση λίπους των κοπράνων (Cormick and Belizán, 2019).

1.2.2. Ανεπάρκεια των μικροθρεπτικών συστατικών στην παχυσαρκία

Η παχυσαρκία ορίζεται σαν μια περίπλοκη κατάσταση υποσιτισμού, στην οποία ενώ υπάρχει υπερβολική κατανάλωση ενέργειας, συνδέεται πολλές φορές με ανεπάρκεια μεμονωμένων μικροστοιχείων. Η έλλειψη ομοιόστασης των αναγκαίων μικροθρεπτικών συστατικών μπορεί να έχει επιρροή στην καθημερινή απόδοση του ανθρώπου, την πνευματική και την

συναισθηματική, καθώς και την φυσική κατάσταση του σώματος. Η διάγνωση λοιπόν του υποσιτισμού, των μεγάλων ελλείψεων δηλαδή σε απαραίτητα μικροθρεπτικά συστατικά, σε άτομα με παχυσαρκία είναι αρκετά δύσκολη και περίπλοκη στην εξήγησή της.

Για να επεξηγηθεί η εμφάνιση υποσιτισμού σε έναν ασθενή με παχυσαρκία, είναι σημαντικό να γίνει αρχικά η αξιολόγηση της διατροφής του σε καθημερινή βάση, καθώς και οι συνήθειες του στο σύνολο της μέρας. Οι πιο κοινοί μέθοδοι διαιτητικής αξιολόγησης για την συγκεκριμένη διατροφική διαταραχή είναι η 24/48ωρη διαιτητική ανάκληση καθώς και τα FFQ ερωτηματολόγια. Η διάγνωση του υποσιτισμού σε παχύσαρκα άτομα, βασίζεται επιπλέον σε ανθρωπομετρικές μετρήσεις, βιοχημικές εξετάσεις αίματος και σε φυσικές παραμέτρους. Επομένως, ένα κρίσιμο στοιχείο της αξιολόγησης της διατροφικής κατάστασης και της διατροφής, είναι η διατροφική αξιολόγηση που πραγματοποιείται από άτομα υπέρβαρα, παχύσαρκα. Αυτό το γεγονός, επιτρέπει την έγκαιρη διάγνωση και εφαρμογή διαιτητικής θεραπείας από τους επαγγελματίες πάνω στον χώρο των κλινικών καταστάσεων της παχυσαρκίας.

Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί πως τα μικροθρεπτικά συστατικά μετά από αρκετές έρευνες, έχει αποδειχθεί πως αποτελούν σημαντικό παράγοντα στη ρύθμιση πολλών μεταβολικών διεργασιών και επομένως παίζουν θεμελιώδη ρόλο στην εξήγηση της παχυσαρκίας. Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως και αποδεικνύουν σαφώς μια άμεση σχέση μεταξύ της παχυσαρκίας και των ελλείψεων μικροθρεπτικών συστατικών (Kobylińska et al., 2021).

Ακόμη, αναφορά σε πολλές έρευνες γίνεται πως η έλλειψη τροφής ενδέχεται να οδηγήσει σε περαιτέρω αύξηση του σωματικού βάρους ή στην εκδήλωση άλλων μεταβολικών διαταραχών. Η ανεπάρκεια μικροθρεπτικών συστατικών μπορεί να αποδοθεί όχι μόνο σε λανθασμένες επιλογές διατροφής και περιορισμένη πρόσβαση σε τρόφιμα πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, αλλά και σε διαταραχές στην απορρόφηση, τη διανομή ή την απέκκριση των θρεπτικών ουσιών.

Επιπλέον, ο μεταβολισμός των μικροθρεπτικών συστατικών μπορεί να επηρεάζεται από τη συστηματική φλεγμονή που προκαλείται από την παχυσαρκία. Πολλές μελέτες έχουν καταδείξει ότι άτομα με υπερβολικό σωματικό βάρος παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα ανεπάρκειας θρεπτικών συστατικών σε σύγκριση με άτομα φυσιολογικού βάρους αντίστοιχης ηλικίας και φύλου (Via, 2012). Σύμφωνα με τους Astrup και Bügel, μια διατροφή όπου περισσότερο από το 30% της ενεργειακής πρόσληψης προέρχεται από λίπη σχετίζεται με χαμηλότερη κατανάλωση βιταμινών Α και C, καθώς και φυλλικού οξέος.

Επιπρόσθετα, η αύξηση του σωματικού λίπους που συνοδεύει το υψηλότερο σωματικό βάρος συνδέεται με χαμηλότερα επίπεδα βιταμίνης D3 στον ορό του αίματος. Η ανεπάρκεια βιταμίνης D3 σε παχύσαρκα άτομα μπορεί να οφείλεται σε μειωμένη φυσική δραστηριότητα, που συνεπάγεται μικρότερη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και σε αυξημένη αποθήκευση της βιταμίνης στον λιπώδη ιστό, όπου καθίσταται μη διαθέσιμη για τη ρύθμιση του μεταβολισμού του ασβεστίου. Συμπερασματικά, η ανεπάρκεια σε βιταμίνες του συμπλέγματος Β εμφανίζεται και σε άτομα με παχυσαρκία. Χαμηλά επίπεδα θειαμίνης (βιταμίνη Β1) βρέθηκαν στο 15-29% των ατόμων με παχυσαρκία. Είναι γνωστό, πώς ο υψηλότερος δείκτης μάζας σώματος αποτελεί σημαντικό κλινικό κίνδυνο ανεπάρκειας θειαμίνης. Έτσι, οι λεπτομερείς μηχανισμοί για την ανάπτυξη της ανεπάρκειας θειαμίνης σε άτομα με παχυσαρκία παραμένουν ασαφείς, διότι δεν υπάρχουν ακόμα τεκμήρια που να αποδεικνύουν στο 100% ότι η συμπλήρωση της θειαμίνης αποφέρει κλινικά οφέλη σε ασθενείς με υπερβολικό σωματικό βάρος (Astrup and Bügel, 2019).

Επιπροσθέτως, η βιταμίνη Ε είναι κοινώς αποδεκτό πώς αποτελείται από μια οικογένεια λιποδιαλυτών αντιοξειδωτικών ουσιών, από τα οποία η α-τοκοφερόλη είναι η πιο άφθονη στη διατροφή του ανθρώπου. Σε αντίθεση, με άλλα μικροθρεπτικά συστατικά, τα παχύσαρκα και διαβητικά άτομα έχουν υψηλά ποσοστά ανεπάρκειας βιταμίνης Ε. Άλλες μελέτες έχουν αναφέρει ότι η αυξημένη λιπαρότητα και η συστηματική φλεγμονή που σχετίζεται με την παχυσαρκία μπορεί να διαταράξει την απορρόφηση, την κατανομή, το μεταβολισμό και την εξάλειψη των μικροθρεπτικών συστατικών.

Η παχυσαρκία επηρεάζει τη δέσμευση των πρωτεϊνών, τον όγκο κατανομής, τον ηπατικό μεταβολισμό και τη νεφρική κάθαρση, κυρίως λόγω της αυξημένης λιπαρότητας, της σύνθεσης και του όγκου του αίματος, της καρδιακής παροχής, της άλιπης μάζας σώματος και του μεγέθους των οργάνων (κυρίως ήπατος και νεφρών) των παχύσαρκων ασθενών. Για παράδειγμα, ορισμένα μέταλλα και λιπόφιλες βιταμίνες (βιταμίνη D και Α) μπορούν να απομονωθούν στον λιπώδη ιστό, επηρεάζοντας την κατανομή τους, μειώνοντας τις κυκλοφορούσες συγκεντρώσεις και μειώνοντας τη βιοδιαθεσιμότητα για μεταβολικά ενεργούς ιστούς. Ακολούθως, έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι τα επιβαρυντικά για την υγεία υποπροϊόντα βιοχημικών αντιδράσεων, που προκύπτουν από την υπερβολική πρόσληψη θερμίδων και την έλλειψη μικροθρεπτικών συστατικών, είναι πιθανό να συμβάλλουν σε περισσότερη αύξηση του σωματικού βάρους καθώς και στην ανάπτυξη μεταβολικών νοσημάτων που σχετίζονται με την παχυσαρκία.

Δεδομένου του παγκόσμιου επιπολασμού της παχυσαρκίας, ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού θα μπορούσε να πλήττεται από αυτή την ανεπάρκεια μικροθρεπτικών συστατικών, ακόμα και στις πιο ανεπτυγμένες και ευημερούσες δυτικές χώρες (Herrera and Barbas, 2001). Είναι δεδομένο, πως οι διαιτητικές προσλήψεις αναφοράς (DRI) για τις βιταμίνες και τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά ισχύουν για υγιή άτομα με φυσιολογικό σωματικό βάρος. Οι συστάσεις αυτές λαμβάνουν υπόψη τις ατομικές διαφορές, περιλαμβάνοντας ηλικιακές και φυλετικές κατηγορίες, αλλά δεν αφορούν σε άτομα με μεταβολικές διαταραχές ή άλλες νόσους, ούτε σε άτομα που ακολουθούν καθημερινή φαρμακευτική αγωγή. Επομένως, οι DRI δεν αντανακλούν απαραίτητα τις διατροφικές ανάγκες των παχύσαρκων ατόμων, και ιδιαίτερα σε περιόδους φυσιολογικού στρες, όπως είναι η σημαντική απώλεια βάρους ή οι διακυμάνσεις του βάρους, οι παχύσαρκοι ασθενείς απαιτούν διαφορετικές ποσότητες μικροθρεπτικών συστατικών. Πραγματοποιήθηκε μία μελέτη πάνω σε 104 άτομα, όπου η αρχική πρόσληψη μικροθρεπτικών συστατικών συγκεντρώθηκε μέσω της συλλογής διατροφικών αρχείων. Μια τυχαία κατανεμημένη υποομάδα ατόμων ($n = 32$) υποβλήθηκε σε μια τυποποιημένη δίαιτα χαμηλής θερμιδικής μορφής που καλύπτει το DRI για τρεις μήνες. Αναλύθηκε η προ- και μετα-επεμβατική ενδοκυτταρική κατάσταση μικροθρεπτικών συστατικών σε κύτταρα στοματικού βλεννογόνου, καθώς και πρόσθετες συγκεντρώσεις μικροθρεπτικών συστατικών στον ορό σε 14 από τα άτομα. Ο πρώτος στόχος αυτής της μελέτης ήταν να εξετάσει την πρόσληψη μικροθρεπτικών συστατικών σε παχύσαρκα άτομα, σε σύγκριση με έναν πληθυσμό αναφοράς και με τις συστάσεις των DRI. Ο δεύτερος στόχος ήταν να αξιολογηθεί τόσο η κατάσταση του ορού όσο και η ενδοκυτταρική κατάσταση των μικροθρεπτικών συστατικών μετά από μια τυποποιημένη δίαιτα χαμηλών θερμίδων που καλύπτει τις ανάγκες του DRI για τρεις μήνες, προκειμένου να διερευνηθεί αν οι συστάσεις των DRI ισχύουν για άτομα με παχυσαρκία κατά τη διάρκεια σημαντικής απώλειας βάρους. Αυτή η προσέγγιση επιλέχθηκε καθώς προσφέρει τη δυνατότητα μελέτης του θέματος με τη χρήση μιας τυποποιημένης διατροφής, η οποία καταναλώνεται από άτομα με υψηλό βαθμό παχυσαρκίας για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Η μελέτη αποκαλύπτει ανεπαρκή διατροφική πρόσληψη μικροθρεπτικών συστατικών, όπως η ρετινόλη, το β-καροτένιο, η βιταμίνη D, η βιταμίνη E, η βιταμίνη C, το φυλλικό οξύ, ο σίδηρος και το ασβέστιο, σε άτομα με παχυσαρκία. Παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά σε σχέση με τον πληθυσμό αναφοράς, τόσο για άνδρες όσο και για γυναίκες, ιδιαίτερα όσον αφορά το β-καροτένιο, το φυλλικό οξύ, τη βιταμίνη C και τις φυτικές ίνες, θρεπτικά συστατικά που εντοπίζονται κυρίως σε φρούτα, λαχανικά και προϊόντα ολικής αλέσεως. Αυτό υποδεικνύει μια μη ισορροπημένη διατροφή που οδηγεί σε ελλείψεις μικροθρεπτικών συστατικών. Έτσι, η αξιολόγηση της διατροφικής πρόσληψης παρουσιάζει μεθοδολογικές αδυναμίες, όπως η

ανεπαρκής αναφορά, η οποία περιορίζει την ερμηνεία των δεδομένων από τα διατροφικά αρχεία. Το λάθος που προκύπτει από αυτήν την αδυναμία ενδέχεται να είναι πιο εμφανές στα άτομα με παχυσαρκία. Ωστόσο, η ελλιπής αναφορά παρατηρείται κυρίως για σνακ υψηλής περιεκτικότητας σε υδατάνθρακες, τα οποία από τη φύση τους έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε μικροθρεπτικά συστατικά, και όχι για τρόφιμα που θεωρούνται «υγιεινά». Επίσης, δεν εντοπίστηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης μικροθρεπτικών συστατικών και των συγκεντρώσεων ορού, γεγονός που ενδέχεται να οφείλεται στον περιορισμένο αριθμό των συμμετεχόντων. Παρ' όλα αυτά, οι καταγεγραμμένες προσλήψεις β-καροτίνης, βιταμίνης D, βιταμίνης C και σιδήρου ήταν εμφανώς χαμηλότερες από τις συστάσεις του DRI, υποδεικνύοντας μια πιθανή συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης αυτών των μικροθρεπτικών συστατικών και της κατάστασης που βρίσκονται στο σώμα.

Περαιτέρω, οι διατροφικές ανεπάρκειες και ελλείψεις μπορεί να προκύψουν λόγω τροποποιημένης φαρμακοκινητικής σε άτομα με παχυσαρκία, καθώς και από αλληλεπιδράσεις με φαρμακευτικά προϊόντα σε άτομα με υπερβολικό βάρος ή παχυσαρκία. Η ανεπαρκής διατροφή ενδέχεται να συμβάλλει στην εκδήλωση διαφόρων χρόνιων παθήσεων, όπως ο διαβήτης τύπου 2, ο οποίος είναι ήδη πιο κοινός σε άτομα με παχυσαρκία. Συμπερασματικά, οι κλινικοί γιατροί πρέπει να είναι ενήμεροι για αυτές τις ανεπάρκειες, ιδιαίτερα σε άτομα με παχυσαρκία που υποβάλλονται σε βαριατρική χειρουργική ή ακολουθούν μακροχρόνια φαρμακευτική αγωγή για την υποστήριξη της απώλειας βάρους. Οι ασθενείς με υπερβολικό βάρος ή παχυσαρκία συχνά δυσκολεύονται να ακολουθήσουν μια ισορροπημένη διατροφή και ενδέχεται να ωφεληθούν από τη συνεργασία με διαιτολόγο. Εκτός από τις συστάσεις για υγιεινή διατροφή και φυσική άσκηση, θα πρέπει να εξετάζεται η χρήση συμπληρωμάτων με συγκεκριμένα μικροθρεπτικά συστατικά ή πολυβιταμίνες για τα άτομα που κινδυνεύουν περισσότερο και έχουν αποδεδειγμένες διατροφικές ελλείψεις (Damms-Machado et al., 2012).

Πίνακας 1. Επιπολασμός ελλείψεων μικροθρεπτικών συστατικών στην παχυσαρκία και τον διαβήτη.

Ιχνοστοιχείο	Επιπολασμός ανεπάρκειας	
	Παχυσαρκία	Διαβήτης τύπου 2
Θειαμίνη B1	15–29%	17–79% ^a

Ιχνοστοιχείο	Επιπολασμός ανεπάρκειας	
	Παχυσαρκία	Διαβήτης τύπου 2
Πυριδοξίνη B6	0–11%	—
Κοβαλαμίνη B12	3–8%	22%
Φολικό οξύ	3–4%	—
Ασκορβικό οξύ C	35–45%	— ^β
Βιταμίνη A	17%	—
Βιταμίνη D	80–90% ^γ	85–90% ^γ
Βιταμίνη E	0%	0%
Ψευδάργυρος	14–30%	—
Χρώμιο	—	20–40%
Σελήνιο	58%	—

—Μη διαθέσιμα στοιχεία για τον επιπολασμό

Τα δεδομένα περιλαμβάνουν διαβητικούς ασθενείς τύπου 1

^βΜειωμένα επίπεδα ασκορβικού οξέος έχουν αναφερθεί στον διαβήτη

^γΟ επιπολασμός αντανάκλα τα ποσοστά ανεπάρκειας βιταμίνης D.

Πηγή: ISRN Endocrinol. 2012 Mar 15;2012:103472. doi: [10.5402/2012/103472](https://doi.org/10.5402/2012/103472)

1.2.3. Κλινικές Εφαρμογές

Η ανεπάρκεια μικροθρεπτικών συστατικών μπορεί να προκαλέσει σοβαρές συνέπειες συλλογικά στην υγεία του ανθρώπου, όπως προβλήματα στην εγκυμοσύνη, τύφλωση, αδύναμο και δυσλειτουργικό ανοσοποιητικό, αλλά και ανισορροπία στην μεταβολική διαδικασία, θέτοντας τον οργανισμό σε κίνδυνο για ανάπτυξη παχυσαρκίας και των νόσων που συνδέονται με αυτή.

Τα αρχικά δεδομένα για τα ποσοστά των μικροθρεπτικών συστατικών στον ορό των υπέρβαρων και παχύσαρκων ατόμων, με δείκτη μάζας σώματος (ΔΜΣ) από 25 έως 40 kg/m² και ηλικίες 18 έως 65 ετών, συγκρίθηκαν με τα κλινικά όρια αναφοράς για τα μικροθρεπτικά συστατικά, προκειμένου να γίνει διερεύνηση για πιθανές σχέσεις ανάμεσα στον ΔΜΣ και την κατάσταση των μικροθρεπτικών συστατικών. Αρχικά, σύμφωνα με νέα αμερικανική μελέτη, πάνω από το 50 % των ανθρώπινων οργανισμών παγκοσμίως εμφανίζουν ανεπάρκεια 15 κύριων μικροθρεπτικών συστατικών για την ανάδειξη της παγκόσμιας υγείας του ανθρώπινου οργανισμού, συμπεριλαμβανομένου, του ασβεστίου, του σιδήρου και των βιταμινών C και E.

Οι ερευνητές στη Σχολή Δημόσιας Υγείας του Χάρβαρντ, το Πανεπιστήμιο της Σάντα Μπάρμπαρα (UCSB) και την Παγκόσμια Συμμαχία για τη Βελτιωμένη Διατροφή (GAIN), συλλέξαν διάφορα πολύ σημαντικά δεδομένα από την Παγκόσμια Διατροφική Βάση Δεδομένων, την Παγκόσμια Τράπεζα και μελέτες που διεξήχθησαν σε 31 χώρες, με σκοπό να γίνει η διαφοροποίηση ανάμεσα στις διατροφικές προσλήψεις μεταξύ των πληθυσμών 185 χωρών. Πραγματοποιήθηκε έρευνα για τα επίπεδα 15 βιταμινών και μετάλλων: ασβέστιο, ιώδιο, σίδηρος, ριβοφλαβίνη, φυλλικό οξύ, ψευδάργυρος, μαγνήσιο, σελήνιο, θειαμίνη, νιασίνη και βιταμίνες A, B6, B12, C και E. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως υπήρξε ανεπάρκεια στα περισσότερα μικροθρεπτικά συστατικά της διατροφής των ανθρώπων. Η ανεπαρκής πρόσληψη ήταν μεγαλύτερη στο ιώδιο (68% του παγκόσμιου πληθυσμού), [βιταμίνη E](#) (67%), ασβέστιο (66%) και σίδηρο (65%). Επίσης οι ερευνητές παρατήρησαν ότι πάνω από τον μισό πληθυσμό δεν γινόταν η κατανάλωση επαρκούς ποσότητας ριβοφλαβίνης, φυλλικού οξέος και βιταμίνης C και B6.

Τέλος, το 22% του παγκόσμιου πληθυσμού δεν κατανάλωνε επαρκή ποσότητα νιασίνης, θειαμίνης (30%) και σεληνίου (37%). Ιδιαίτερη παρατήρηση έγινε στον γυναικείο πληθυσμό όπου εμφανίστηκε μεγαλύτερη ανεπάρκεια ιωδίου, βιταμίνης B12, σιδήρου και σεληνίου σε σύγκριση με τους άνδρες. Οι άνδρες παρουσίασαν μεγαλύτερη έλλειψη ασβεστίου, νιασίνης, θειαμίνης, ψευδαργύρου, μαγνησίου και βιταμινών A, C και B6. Οι ερευνητές ανέφεραν χαρακτηριστικά πώς «Τα αποτελέσματα αυτά είναι πολύ ανησυχητικά. Οι περισσότεροι άνθρωποι -πολλοί περισσότεροι από ό,τι πιστεύαμε μέχρι σήμερα, σε όλες τις περιοχές και τις χώρες ανεξαρτήτως οικονομικής κατάστασης, δεν καταναλώνουν πολλά βασικά μικροθρεπτικά συστατικά. Αυτές οι ελλείψεις θέτουν σε κίνδυνο την κατάσταση της υγείας τους και περιορίζουν το ανθρώπινο δυναμικό σε παγκόσμια κλίμακα». Οι έρευνες αυτές και τα αποτελέσματα που άρθθηκαν, δημοσιεύτηκαν στο επιστημονικό περιοδικό 'The Lancet Global Health' (McKay et al., 2020).

Για τις ανάγκες μιας ακόμα μελέτης, εξετάστηκαν δείγματα αίματος από 127 συμμετέχοντες κατά την έναρξη της διαδικασίας. Οι εθελοντές, έπειτα από νηστεία διάρκειας 10-12 ωρών κατά τη διάρκεια της νύχτας, επισκέφθηκαν το Πανεπιστήμιο Curtin, όπου πραγματοποιήθηκε αιμοληψία. Τα δείγματα αίματος συλλέχθηκαν σε σωλήνες με ηπαρίνη λιθίου ή διαχωριστή ορού (5 ml) για την ανάλυση αντιοξειδωτικών/βιταμινών A, B12, B9, C, D και E, καθώς και μετάλλων (ασβέστιο, σίδηρος, ιώδιο, μαγνήσιο, κάλιο, νάτριο και ψευδάργυρος). Όλες οι αιμοληψίες πραγματοποιήθηκαν από ειδικευμένο φλεβοτόμο. Η ανάλυση των μικροθρεπτικών συστατικών έγινε συστηματικά, αφού ολοκληρώθηκε η 52-εβδομάδων μελέτη για όλους τους συμμετέχοντες. Τα δεδομένα σχετικά με τα μικροθρεπτικά συστατικά, που συλλέχθηκαν από τα ημερολόγια τροφίμων, συγκρίθηκαν με τις τιμές αναφοράς του Εθνικού Συμβουλίου Υγείας και Ιατρικής Έρευνας (NHMRC), οι οποίες ορίζουν τις συνιστώσες διαιτητικές προσλήψεις για τη διατήρηση της υγείας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το 96,1% των συμμετεχόντων παρουσίαζε επίπεδα βιταμίνης C υψηλότερα από το εύρος αναφοράς. Αντίθετα, το 100% των συμμετεχόντων είχε επίπεδα βιταμίνης A χαμηλότερα από το κλινικό διάστημα αναφοράς. Το 89% εμφάνιζε ανεπάρκεια στη βιταμίνη D, με τιμές $<20-24$ ng/mL, ενώ η μέση τιμή του δείγματος ήταν $10,9 \pm 0,6$ ng/mL. Επίσης, μόνο το 28% βρισκόταν εντός των ορίων αναφοράς για το φυλλικό οξύ, με ανεπάρκεια <3 μg/L και μέσο όρο δείγματος $2,5 \pm 0,2$ μg/L. Όσον αφορά το κάλιο, το 100% των συμμετεχόντων δεν κάλυπτε τη συνιστώμενη τιμή, με ανεπάρκεια κάτω από 3,5 mEq/L και μέση τιμή δείγματος $2,5 \pm 0,02$ mmol/L. Τα επίπεδα νατρίου (μέσος όρος $118,8 \pm 0,9$ mmol/L), ψευδαργύρου ($27,9 \pm 1,2$ μg/dL) και ασβεστίου ($3,4 \pm 0,1$ mg/dL) στον ορό ήταν χαμηλότερα από τα κλινικά όρια αναφοράς. Η πλειονότητα των συμμετεχόντων βρισκόταν εντός των κλινικών ορίων για τα επίπεδα φερριτίνης στον ορό, με εύρος 30-300 ng/mL. Η μέση τιμή σιδήρου στους άνδρες ήταν $114,4 \pm 4,8$ μg/dL, ενώ στις γυναίκες $95,2 \pm 4,4$ μg/dL. Τέλος, τα επίπεδα μαγνησίου στον ορό ήταν σημαντικά χαμηλότερα από το κλινικό εύρος αναφοράς ($0,7 \pm 0,01$ mg/dL σε σχέση με τα φυσιολογικά 1,8-2,6 mg/dL) (Ge et al., 2020).

1.2.4. Η υπερβολική θερμιδική πρόσληψη και οι ελλείψεις των μικροθρεπτικών συστατικών που έχουν σχέση με την παχυσαρκία μετά από μακροχρόνια διεπιστημονική θεραπεία

- Μεθοδολογία πραγματοποίησης της διεπιστημονικής θεραπείας σε παχύσαρκες γυναίκες

Αρχικά, ένας αρκετά μεγάλος αριθμός γυναικών (ηλικίας 41 ± 59 ετών) παρακολούθησαν τη διεπιστημονική θεραπεία με διατροφή, σωματική άσκηση, φυσιοθεραπεία καθώς και

υποστήριξη από ψυχολόγο κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους. Στην συνέχεια, η συνήθης πρόσληψη τροφής μετρήθηκε από τριών ημερών διαιτητικό αρχείο και διεξήχθη απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας, για τον προσδιορισμό του σωματικού λίπους και της άλιπης μάζας σώματος, ενώ επίσης έγινε λεπτομερής μέτρηση της περιφέρειας μέσης και ισχίου. Πρέπει παρόλα αυτά, να γίνει μια πιο ενδελεχής εξήγηση πάνω στα ευρήματα αλλά και στον τρόπο διεξαγωγής αυτής της έρευνας, λαμβάνοντας υπόψη τα πολυπαραγοντικά χαρακτηριστικά της παχυσαρκίας αλλά και τον στόχο της παρούσας μελέτης που είναι να αξιολογήσει την επίδραση μιας μακροχρόνιας διεπιστημονικής θεραπείας στην τροποποίηση του τρόπου ζωής και στην σωστή πρόσληψη μικροθρεπτικών συστατικών. Ο πληθυσμός της μελέτης αποτελούνταν από 70 παχύσαρκες γυναίκες που εντάχθηκαν ως μέλη του διεπιστημονικού προγράμματος τροποποίησης του τρόπου ζωής από την Ομάδα Μελέτης Παχυσαρκίας, Santos (SP), Βραζιλία. Μεταξύ εκείνων που συναίνεσαν και ήταν επιλέξιμες να συμμετάσχουν στη μελέτη, 41 γυναίκες μόνο ολοκλήρωσαν την προτεινόμενη θεραπεία, ενώ έγινε και η κατάλληλη διατροφική αξιολόγηση κατά την έναρξη και κατά την λήξη της θεραπείας. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί πως τα κριτήρια συμμετοχής στο πρόγραμμα, ήταν ηλικίες από 30 έως 50 ετών και δείκτης μάζας σώματος (ΔΜΣ) μεταξύ 30 και 39,9 kg/m². Ενώ, τα κριτήρια αποκλεισμού ήταν τα εξής: μυοσκελετικοί περιορισμοί που εμποδίζουν την σωματική άσκηση, αναγνωρισμένες γενετικές ασθένειες, εγκυμοσύνη, υπερβολική και χρόνια κατανάλωση αλκοόλ καθώς και χρήση ναρκωτικών για μείωση του σωματικού βάρους.

Γενικά, τα άτομα που αντιμετωπίζουν παχυσαρκία όπως προαναφέρθηκε, εξαιτίας της υπερβολικής ενεργειακής πρόσληψης, ενδέχεται να εμφανίζουν και ελλείψεις σε μικροθρεπτικά συστατικά. Αυτό επιβεβαιώθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη, η οποία ανέδειξε ανεπαρκή πρόσληψη 12 μικροθρεπτικών συστατικών κατά την αρχική αξιολόγηση. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε χαμηλή διατροφική πρόσληψη των βιταμινών D, A, B5, και E, καθώς και των μετάλλων καλίου, ασβεστίου, φυλικού οξέος, μαγνησίου, σιδήρου, ψευδαργύρου, ιωδίου και μαγγανίου σε παχύσαρκες γυναίκες πριν από την έναρξη της θεραπείας. Ωστόσο, μετά την παρέμβαση, οι ελλείψεις στα προαναφερθέντα μικροθρεπτικά συστατικά παρέμειναν και επιπλέον καταγράφηκε ανεπαρκής πρόσληψη σεληνίου και των βιταμινών B1 και B2.

- Αποτελέσματα πραγματοποίησης της διεπιστημονικής θεραπείας σε παχύσαρκες γυναίκες

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης απέδειξαν πως η διεπιστημονική θεραπεία που πραγματοποιήθηκε είναι άκρως σημαντική για την τροποποίηση της πρόσληψης τροφής και της σύνθεσης του σώματος στις παχύσαρκες γυναίκες, όμως δεν κατάφερε να

αλλάζει την ανεπαρκή πρόσληψη μικροθρεπτικών συστατικών, η οποία παρατηρείται ραγδαία τα τελευταία χρόνια στον παχύσαρκο πληθυσμό. Για αυτόν τον λόγο, συνιστάται περαιτέρω διερεύνηση της σχέσης μεταξύ ελλείψεων μικροθρεπτικών συστατικών και διεπιστημονικής θεραπείας (“The excessive caloric intake and micronutrient deficiencies related to obesity after a long-term interdisciplinary therapy - ScienceDirect,” n.d.).

2. Ειδικό Μέρος

2.1. Σκοπός

Η παχυσαρκία, είναι ευρέως δεδομένο, πως είναι μια κατάσταση που σχετίζεται με την υπερβολική κατανάλωση τροφής, δεδομένου ότι πολύ συχνά αποδίδεται σε αυξημένη θερμιδική πρόσληψη. Αντιθέτως, πολλοί παχύσαρκοι ακολουθούν διατροφικές συνήθειες που βασίζονται κυρίως σε επεξεργασμένα τρόφιμα, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακή πρόσληψη και χαμηλή περιεκτικότητα σε μικροθρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την προαγωγή της υγείας.

Επομένως, σκοπός της εργασίας αυτής είναι η βελτίωση της διατροφικής πρόσληψης και συγκεκριμένα της πρόσληψης επαρκούς ποσότητας μικροθρεπτικών συστατικών σε παχύσαρκα άτομα. Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία 5 χρόνια, έχει προκύψει πληθώρα ερευνητικών στοιχείων που υποδεικνύουν ότι η παχυσαρκία μπορεί επίσης να συνδέεται με ελλείψεις σε μικροθρεπτικά συστατικά, λαμβάνοντας υπόψη τις Διαιτητικές Προσλήψεις Αναφοράς (DRI) για την επαρκή καθημερινή πρόσληψη βιταμινών και ανόργανων στοιχείων.

2.2. Μεθοδολογία

Η αναζήτηση των μελετών πραγματοποιήθηκε στη βιβλιογραφική βάση δεδομένων PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>). Τα κριτήρια της αναζήτησης των - σχετικών με τον σκοπό της διεξαγωγής της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης - επιστημονικών άρθρων ήταν τα εξής:

1. Αλγόριθμος αναζήτησης: ((micronutrient) OR (vitamin) OR (mineral)) AND ((obese) OR (obesity))
2. Έτος δημοσίευσης τα τελευταία 5 έτη
3. Είδη μελετών: κλινικές δοκιμές, τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές

4. Μελέτες σε ανθρώπους

Από την αναζήτηση προέκυψαν 306 άρθρα, εκ των οποίων τα 11 κρίθηκαν ως σχετικά με τον σκοπό της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 2).

2.3. Αποτελέσματα

Πίνακας 2. Μελέτες για τον ρόλο της ανεπάρκειας των μικροθρεπτικών συστατικών σε παχύσαρκους ασθενείς.

Μελέτη	Συμμετέχοντες	Πειραματικός σχεδιασμός	Διατροφική παρέμβαση	Αποτελέσματα	Σχόλια
Sanaz et al., 2022.	88 υπέρβαρες και παχύσαρκες μεσήλικες γυναίκες	Πραγματοποιήθηκε μια τυχαιοποιημένη, ελεγχόμενη, διπλά τυφλή μελέτη -οι γυναίκες χωρίστηκαν σε 4 ομάδες (22 ανά ομάδα) λαμβάνοντας συνβιοτικά συν βιταμίνη D, συνβιοτικά, βιταμίνη D και εικονικό φάρμακο για 8 εβδομάδες	-Συν-συμπλήρωση συνβιοτικών και βιταμίνης D για 8 εβδομάδες σε καθημερινή βάση	-Σημαντική διαφορά μεταξύ 4 ομάδων στην περιφέρεια μέσης, τη λιπώδη μάζα, το ποσοστό σωματικού λίπους και τις τιμές σπλαχνικού λίπους. - Μεγαλύτερη μείωση στην ομάδα συνβιοτικών συν βιταμίνης D σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο.	-Καμία σημαντική αλλαγή στην ποιότητα της ζωής των ασθενών -Δεν αναδείχθηκαν σημαντικά αποτελέσματα μεταξύ των ομάδων σε σχέση με άλλες μεταβλητές σύστασης σώματος
Lena et al. 2023	76 ενήλικες με υπερβολικό βάρος ή παχυσαρκία (ΔΜΣ 28 έως 40) και χαμηλού βαθμού φλεγμονή	Μια διπλά τυφλή, τυχαιοποιημένη κλινική δοκιμή -39 άτομα από την ομάδα του εικονικού φαρμάκου και 37 άτομα από την ομάδα θεραπείας	-Ημερήσια πρόσληψη ενός προβιοτικού πολλαπλών στελεχών Lactobacillus, Bifidobacterium, 640 mg ωμέγα-3 λιπαρών οξέων και 200 IU βιταμίνης D ή εικονικού φαρμάκου που χορηγήθηκε για 8 εβδομάδες.	Η αντιδρούσα πρωτεΐνη δεν είναι ο πιο χρήσιμος φλεγμονώδης δείκτης, αλλά τα προβιοτικά, τα ω-3 λιπαρά οξέα και η βιταμίνη D, ως μη φαρμακευτικά συμπληρώματα μπορεί να ασκήσουν μέτριες επιδράσεις στη φλεγμονή	-Η θεραπεία δεν μείωσε την αντιδρούσα πρωτεΐνη, αλλά μάλλον οδήγησε σε μια μικρή αύξηση.
Aya et al. 2020.	65 άτομα, ενήλικα με ΔΜΣ ≥ 25 με ανεπάρκεια βιταμίνης D	Έγιναν δευτερεύουσες αναλύσεις μιας τυχαιοποιημένης ελεγχόμενης δοκιμής για την εξέταση της συμπλήρωσης βιταμίνης D για το αν βελτιώνει τις	Τυχαιοποιήθηκαν σε από του στόματος χοληκαλσιφερόλη (100.000 IU ακολουθούμενη από 4.000 IU ημερησίως) ή αντίστοιχο εικονικό	- Η βιταμίνη D αυξάνει τις συγκεντρώσεις αδιπονεκτίνης και λεπτίνης σε υπέρβαρους και ενήλικες με	Δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των ομάδων για μεταβολές στην αδιπονεκτίνη, τη λεπτίνη,

		συγκεντρώσεις αδιποκίνης	φάρμακο για 16 εβδομάδες	ανεπάρκεια βιταμίνης D -Η συμπλήρωση βιταμίνης D αύξησε 25 (OH) D συγκεντρώσεις σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο	τη ρεζιστίνη ή την αδιψίνη σε μη προσαρμοσμένες αναλύσεις
Shih-Yi et al.2024	117 γυναίκες μέσης και μεγαλύτερης ηλικίας με παχυσαρκία και περισσότερες από δύο μεταβολικές ανωμαλίες	-Τυχαιοποιήθηκαν σε μια υποθερμιδική διαίτα 12 εβδομάδων -Αξιολογήθηκαν ο βιοδείκτης σιδήρου αίματος και τα προφίλ φωσφολιπιδίων μεμβράνης ερυθροκυττάρων.	-Υποθερμιδική διαίτα χωρίς ή με συμπληρώματα ιχθυελαίου -Έγινε αξιολόγηση των σχέσεων μεταξύ της αιμοσφαιρίνης πριν από τη θεραπεία και των επιπέδων ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων -Εξετάστηκε εάν η αιμοσφαιρίνη πριν από τη θεραπεία συνέβαλε στη μεταβλητότητα μεταξύ των ατόμων στην απώλεια βάρους	-Η διαιτητική απώλεια βάρους ενίσχυσε σημαντικά τα λιπίδια μεμβράνης ερυθροκυττάρων λινολεϊκού οξέος, α- λινολεϊκού οξέος και ω-3,ω-9 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μόνο σε εκείνες τις γυναίκες με τα υψηλότερα επίπεδα αιμοσφαιρίνης πριν από τη θεραπεία - Η συμπλήρωση ιχθυελαίου αύξησε τον βιοδιαθέσιμο σίδηρο σε γυναίκες με μέτρια επίπεδα αιμοσφαιρίνης πριν από τη θεραπεία	- Η διαιτητική απώλεια βάρους είναι ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα θεραπείας για τη διαχείριση διαταραχών σιδήρου και ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων που σχετίζονται με την παχυσαρκία, ιδιαίτερα για μεσήλικες γυναίκες με παχυσαρκία και υπερφόρτωση σιδήρου
Jakub et al.2023.	50 παχύσαρκοι ηλικιωμένοι ενήλικες με ανεπάρκεια βιταμίνης D	-Οι συμμετέχοντες κατανεμήθηκαν τυχαία για να λάβουν είτε βιταμίνη D ₃ (4000 IU/ημέρα) ή αντίστοιχο εικονικό φάρμακο για 24 εβδομάδες	-Μεταξύ των εβδομάδων 12 και 24, όλοι οι συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν πολυτροπική άσκηση τρεις ημέρες την εβδομάδα, ενώ συνέχισαν με βιταμίνη D και εικονικό φάρμακο	-Από 12 έως 24 εβδομάδες, η συμπλήρωση βιταμίνης D σε συνδυασμό με άσκηση μείωσε την περιφέρεια της μέσης και την αναλογία μέσης- γοφών σε σχέση με το εικονικό φάρμακο	-Τα συμπληρώματα βιταμίνης D, με ή χωρίς άσκηση, δεν είχαν καμία επίδραση σε άλλες φυσικές λειτουργίες, τη σύνθεση του σώματος ή τα μεταβολικά αποτελέσματα της υγείας
Aimilia et al.2024	53 παχύσαρκα άτομα υψηλού κινδύνου για καρδιομεταβολικούς παράγοντες	-Σε διάστημα 8 εβδομάδων, χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ομάδες όπου η μία ομάδα κατανάλωνε βιταμίνη D3 και εμπλουτισμένη με	-Οι διαίτες παρέμειναν αμετάβλητες και τεκμηριώθηκαν μέσω ημερολογίων τροφίμων	-Η εμπλουτισμένη είχε απώλεια βάρους, λιγότερη κατανάλωση ενέργειας, βελτιωμένο προφίλ λιπιδίων και	Παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ομάδων για ορισμένους μεταβολικούς δείκτες

		προβιοτικά και η άλλη κανονική (έλεγχος)		αυξημένη ευαισθησία στην ινσουλίνη μετά από 8 εβδομάδες Έτσι υπάρχουν πιθανά οφέλη για καρδιομεταβολικό κίνδυνο	
Adriana et al.2024.	40-65 ετών παχύσαρκα άτομα με δείκτη μάζας σώματος $\geq 25 < 40$	-Τυχαιοποιημένη, διπλή-τυφλή κλινική δοκιμή -Η κεντρική αιμοδυναμική τους αξιολογήθηκε με την παλμομετρική μέθοδο και τη μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού μέσω ενός καρδιοσυχνόμετρου Polar	-Οι ασθενείς έλαβαν εικονικό φάρμακο στην ομάδα ελέγχου (CO ομάδα) ενώ οι υπόλοιποι βιταμίνη D3 (VD ομάδα) 7000 IU/ημέρα και αξιολογήθηκαν πριν και μετά από 8 εβδομάδες με επίπεδο σημαντικότητας 0,05	-Η ομάδα VD είχε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα βιταμίνης D, έδειξε σημαντική μείωση της συστολικής αρτηριακής πίεσης και της αλκαλικής φωσφατάσης και αύξηση του δείκτη Παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος	-Σε αυτό το δείγμα, οκτώ εβδομάδες καθημερινής συμπλήρωσης βιταμίνης D οδήγησαν σε βελτίωση των επιπέδων αρτηριακής πίεσης και της αυτόνομης ισορροπίας -Η ομάδα CO έδειξε αύξηση της αυξητικής πίεσης
Mariangela et al. 2023.	150 συμμετέχοντες με παχύσαρκες ή υπέρβαρες περιπτώσεις ηλικίας 18-65 και βάρος >75kg	Όλοι οι συμμετέχοντες έλαβαν με τυχαία σειρά (διπλά τυφλή μελέτη) μέρος σε : -Ομάδα PG(58 άτομα): 3g/ημέρα πολυγλυκοζαμίνης L112 -Ομάδα placebo61 άτομα): εικονικά δισκία που προσομοιάζουν το PG	Ισορροπημένη μεσογειακή διατροφή: 30% ενέργεια από λίπη, 60% από υδατάνθρακες, 15% από πρωτεΐνες, βασισμένη στην ΜΔ προσέγγιση. - 3g/ ημέρα	-Μείωση σωματικού βάρους και αντίστασης στην ινσουλίνη με PG -σημαντική μείωση ολικής χοληστερόλης στην ομάδα PG σε σύγκριση με την ομάδα PL	- μικρός αριθμός συμμετεχόντων - δεν υπήρξαν αλλαγές στα επίπεδα λιποδιαλυτών, βιταμινών ή γλυκοζαμίνης -περιορισμένη Διάρκεια παρακολούθησης (90 ημέρες)
Yutong Dong et al. 2022.	70 συμμετέχοντες υπέρβαροι/ παχύσαρκοι Μαύροι (26 ετών κατά μέσω όρο, 82% γυναίκες) με επίπεδα βιταμίνης D $[25(\text{OH})\text{D}] \leq 20$ ng/mL.	Όλοι οι συμμετέχοντες έλαβαν με τυχαιοποιημένη, διπλή-τυφλή, ελεγχόμενη με εικονικό φάρμακο(placebo) κλινική μελέτη: -Ομάδα Placebo: 17 άτομα δεν έλαβαν D3, αλλά εικονικό φάρμακο (placebo) -Ομάδα 600 IU/ημέρα: 17 άτομα έλαβαν 600 βιταμίνης D3 ημερησίως	-Δεν υπήρχε συγκεκριμένη διατροφική παρέμβαση. Η μελέτη επικεντρώθηκε αποκλειστικά στη συμπλήρωση βιταμίνης D3 -Συντήρηση Συμμόρφωσης: εποπτευόμενη μηνιαία λήψη συμπληρωμάτων για εξασφάλιση της συμμόρφωσης (>95%)	-Αλλαγές στα T-κύτταρα: CD3+%;Αύξηση στην ομάδα των 2000IU/ημέρα συγκριτικά με το placebo (p<0,05). CD4+%; Αύξηση στις ομάδες των 2000 και 4000IU/ημέρα (p<0.001). CD8+%; δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές.	-Μικρός αριθμός συμμετεχόντων -Ενίσχυση ανοσίας -Παρά τις αυξήσεις σε CD3+ και CD4+, τα CD8+δεν επηρεάστηκαν από τα συμπληρώματα βιταμίνης D3. - Περιορισμοί : Μικρό μέγεθος δείγματος και μεγαλύτερη συμμετοχή γυναικών.

		-Ομάδα 2000 IU/ημέρα: 18 άτομα έλαβαν 2000 βιταμίνης D3 ημερησίως -Ομάδα 4000 IU/ημέρα: 18 άτομα έλαβαν 4000 βιταμίνης D3 ημερησίως		-επίπεδα 25(OH)D στον Ορό: 2000IU/ημέρα: Αύξηση σε 36ng/mL. 4000IU/ημέρα : Αύξηση σε 34.8ng/mL. Placebo και 600IU/ημέρα: Μικρότερες αυξήσεις. -Ανοσολογική Λειτουργία : Οι υψηλές δόσεις βιταμίνης D3 (2000IU και 4000IU/ημέρα) συσχετίστηκαν με βελτιώσεις στην αναλογία CD4+/CD8+	Περιορισμένη χρονική διάρκεια (16 εβδομάδες) που δεν επιτρέπει την αξιολόγηση μακροχρόνιων επιδράσεων. -απαιτούνται μεγαλύτερες, μακροχρόνιες μελέτες για να διερευνηθούν περαιτέρω τα οφέλη της βιταμίνης D3 στην Ανοσολογική λειτουργία, ιδιαίτερα σε υψηλού κινδύνου ομάδες με ανεπάρκεια βιταμίνης D
Mir Sadat-Ali et al. 2021.	230 γυναίκες με ανεπάρκεια βιταμίνης D και BMI ≥ 30 kg/m ² . (Διάρκεια 6 μήνες)	Όλοι οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε 2 ομάδες : -Ομάδα Α: Συντήρηση με σταθερή δόση βιταμίνης D3 2000 IU/ημέρα. -Ομάδα Β: Συντήρηση με ευέλικτη δόση βιταμίνης D3 125 IU/kg/m²/ημέρα	-Όλοι οι συμμετέχοντες έλαβαν: -Πρώτοι 3 μήνες: βιταμίνη D3 (50.000 IU την εβδομάδα) και Ασβέστιο (600-1200 mg/ημέρα για την διατήρηση της οστικής υγείας) Στόχος: να φτάσουν τα επίπεδα βιταμίνης D πάνω από 30ng/ml. -3-6 μήνες : Ομάδα Α(σταθερή δόση): 2000 IU βιταμίνης D3 /ημέρα Ομάδα Β(ευέλικτη δόση): 125 IU/kg/m/ημέρα προσαρμοσμένη στο ΔΜΣ	-Στην ομάδα Α (σταθερή δόση των 2000 IU/ημέρα) ήταν ανεπαρκής για τους περισσότερους παχύσαρκους ασθενείς -Στην ομάδα Β (ευέλικτη δόση) διατήρησε τα επίπεδα βιταμίνης σταθερά αποδεικνύοντας ότι οι παχύσαρκοι ασθενείς χρειάζονται υψηλότερες εξατομικευμένες δόσεις βιταμίνης D3	-Απορρόφηση Βιταμίνης σε Παχυσαρκία -Οι Δόσεις την Βιταμίνης θα πρέπει να υπολογίζεται με βάση το ΔΜΣ αντί σταθερή για όλους. -Υπάρχουν περιορισμοί, μόνο γυναίκες συμμετείχαν -Μικρός αριθμός συμμετεχόντων

Li Chen et al. 2020	70 Αφροαμερικανοί με παχυσαρκία ή υπέρβαροι και ανεπάρκεια βιταμίνης D3	Όλοι οι συμμετέχοντες συμμετείχαν σε τυχαιοποιημένη μελέτη, διπλά τυφλή και ελεγχόμενη με εικονικό φάρμακο (placebo-controlled randomized clinical trial- RCT). -Χωρίστηκαν τυχαία σε 4 ομάδες που έλαβαν διαφορετικές δόσεις βιταμίνης D3 για 16 εβδομάδες Ομάδα 1: Placebo (εικονικό φάρμακο) Ομάδα 2: 600 IU/ημέρα Ομάδα 3: 2000IU/ημέρα Ομάδα 4: 4000IU/ημέρα	Δεν έλαβαν οδηγίες για αλλαγές στην διατροφή τους καθώς ο στόχος ήταν να εξεταστεί αποκλειστικά η επίδραση της βιταμίνης D3 στα επίπεδα των σφιγγολιπιδίων. -Μία φορά τον μήνα την καθορισμένη D3 (600, 2000,4000 IU/ημέρα ή placebo)	-Αλλαγές στα επίπεδα σφιγγολιπιδίων C18Cer C18SM: -αύξηση C18Cer ανά ομάδα παρέμβασης: 600 IU/ημέρα, +0.44 2000 IU/ημέρα, +0.52 4000 IU/ημέρα, 0.58 -αύξηση C18SM ανά ομάδα παρέμβασης: 600 IU/ημέρα, +0.30 2000 IU/ημέρα, +0.61 4000 IU/ημέρα, +0.68 -Η ομάδα placebo δεν παρουσιάζει σημαντικές αλλαγές σε κανένα από τους δείκτες - Οι ομάδες που έλαβαν 2000 IU και 4000 IU βιταμίνης D3 υπήρξε σημαντική αύξηση των επιπέδων αυτών των σφιγγολιπιδίων - οι ομάδες που έλαβαν βιταμίνη D3 τα επίπεδα 25(OH)D αυξήθηκαν με δοσοεξαρτώμενο τρόπο - στις ομάδες βιταμίνης D3, το C18Cer συνδέθηκε με αυξημένο ΔΜΣ, ενώ ο μεταβλητής C18dhCer σχετίστηκε με υψηλότερο HbA1c, υποδηλώνον-ντας πιθανή επίδραση στο μεταβολισμό της γλυκόζης	-μικρός αριθμός συμμετεχόντων - μηδενική αλλαγή στην ομάδα του εικονικού φαρμάκου - μικρή διάρκεια παρέμβασης -η μελέτη έγινε μόνο σε υπέρβαρους /παχύσαρκους Αφροαμερικανούς
------------------------	---	--	--	--	--

ΔΜΣ: δείκτης μάζας σώματος; IU: διεθνής μονάδα μέτρησης για την βιολογική δράση βιταμινών (π.χ 1 βιταμίνης D = 0.025 μικρογραμμάρια (mg); 25(OH)D: 25-υδροξυβιταμίνη D

C18SM: σφιγγομυελίνη με αλυσίδα 18 ατόμων άνθρακα στην N-λιπαρής αλυσίδας C18Cer: κεραμιδί με αλυσίδα 18 ατόμων άνθρακα στην N-λιπαρής αλυσίδας.

2.4. Συζήτηση

Οι μελέτες που αναλύθηκαν διεξήχθησαν την τελευταία 5ετία και διήρκησαν από 8 έως 24 εβδομάδες, σε ενήλικες και συγκεκριμένα σε μεσήλικες, κυρίως γυναίκες. Η επίδραση της βιταμίνης D στην παχυσαρκία και στις μεταβολικές λειτουργίες εξετάστηκε σε επτά μελέτες, με συνολικό αριθμό 626 συμμετεχόντων. Στις παρεμβάσεις που σχετίζονταν με βιταμίνη D οι δόσεις της κυμαίνονταν από 600 IU έως 7.000 IU ημερησίως. Η μελέτη των Mir Sadat-Ali et al. (2021), όπου ήταν η μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες έξι περιλάμβανε 230 παχύσαρκες γυναίκες με ανεπάρκεια βιταμίνης D οι οποίες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: η πρώτη έλαβε σταθερή δόση 2.000 IU/ημέρα, ενώ η δεύτερη εξατομικευμένη δόση 125 IU/kg/m²/ημέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εξατομικευμένη δόση διατήρησε τα επίπεδα βιταμίνης D πάνω από 30 ng/mL, ενώ η σταθερή δοσολογία δεν ήταν επαρκής. Στη μελέτη των Sanaz et al. (2022), που περιλάμβανε 88 υπέρβαρες και παχύσαρκες γυναίκες, εξετάστηκε η συνδυαστική λήψη βιταμίνης D και προβιοτικών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνδυασμένη παρέμβαση μείωσε σημαντικά την περιφέρεια μέσης, τη λιπώδη μάζα και το σπλαχνικό λίπος, χωρίς όμως να επηρεάσει την ποιότητα ζωής των συμμετεχουσών. Αντίστοιχα, η μελέτη των Aya et al. (2020), με 65 συμμετέχοντες με ΔΜΣ ≥ 25 και ανεπάρκεια βιταμίνης D, εξέτασε αν η βιταμίνη D επηρεάζει τα επίπεδα αδιποκίνης. Η ομάδα που έλαβε 4.000 IU βιταμίνης D ημερησίως για 16 εβδομάδες παρουσίασε αύξηση των επιπέδων αδιπονεκτίνης και λεπτίνης, χωρίς όμως σημαντικές αλλαγές σε άλλες μεταβολικές παραμέτρους. Η μελέτη των Jakub et al. (2023), με 50 παχύσαρκους ηλικιωμένους με ανεπάρκεια βιταμίνης D, διερεύνησε την επίδραση της βιταμίνης D (4.000 IU ημερησίως) σε συνδυασμό με άσκηση για 24 εβδομάδες. Οι συμμετέχοντες που ακολούθησαν τη συνδυαστική παρέμβαση εμφάνισαν μείωση στην περιφέρεια μέσης και στη σχέση μέσης-γοφών, χωρίς όμως να υπάρξουν σημαντικές αλλαγές στη συνολική σύσταση σώματος. Η μελέτη των Adriana et al. (2024), που περιλάμβανε 53 παχύσαρκους συμμετέχοντες υψηλού καρδιομεταβολικού κινδύνου, έδειξε ότι η καθημερινή χορήγηση 7.000 IU βιταμίνης D για 8 εβδομάδες οδήγησε σε σημαντική μείωση της συστολικής αρτηριακής πίεσης και βελτίωση του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος, ενώ η ομάδα που έλαβε εικονικό φάρμακο εμφάνισε αύξηση της αρτηριακής πίεσης. Παράλληλα, η μελέτη των Yutong Dong et al. (2022), που διερεύνησε 70 υπέρβαρους ή παχύσαρκους Μαύρους συμμετέχοντες με επίπεδα

βιταμίνης D ≤ 20 ng/mL, έδειξε ότι η χορήγηση 2.000 ή 4.000 IU βιταμίνης D ημερησίως αύξησε τα επίπεδα 25(OH)D στον ορό και βελτίωσε την ανοσολογική απόκριση μέσω αύξησης των CD4⁺ λεμφοκυττάρων. Τέλος, η μελέτη των Li Chen et al. (2020), με 70 υπέρβαρους ή παχύσαρκους Αφροαμερικανούς, έδειξε ότι η χορήγηση βιταμίνης D3 (2.000 και 4.000 IU) οδήγησε σε αύξηση των σφιγγολιπιδίων C18Cer και C18SM, τα οποία σχετίζονται με το μεταβολισμό των λιπιδίων, ενώ η αύξηση του C18Cer συνδέθηκε με υψηλότερο ΔΜΣ.

Οι υπόλοιπες μελέτες εξέτασαν άλλα μικροθρεπτικά συστατικά στη διαχείριση της παχυσαρκίας. Η μελέτη των Lena et al. (2023), που περιλάμβανε 76 υπέρβαρους και παχύσαρκους συμμετέχοντες, διερεύνησε τη χορήγηση προβιοτικών, ωμέγα-3 λιπαρών οξέων και βιταμίνης D (200 IU/ημέρα) για 8 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο συνδυασμός των μικροθρεπτικών συστατικών μείωσε τη φλεγμονή, αν και η CRP δεν φάνηκε να είναι αξιόπιστος δείκτης για την αξιολόγηση αυτής της επίδρασης. Στη μελέτη των Shih-Yi et al. (2024), που περιλάμβανε 117 γυναίκες με παχυσαρκία και μεταβολικές ανωμαλίες, διαπιστώθηκε ότι η απώλεια βάρους μέσω υποθερμιδικής δίαιτας αύξησε τα επίπεδα ω-3 και ω-9 λιπαρών οξέων, ενώ η συμπλήρωση ιχθυελαίου αύξησε τον βιοδιαθέσιμο σίδηρο. Η Aimilia et al. (2024), που εξέτασε 53 παχύσαρκους ασθενείς υψηλού κινδύνου, έδειξε ότι η πρόσληψη προβιοτικών και βιταμίνης D3 οδήγησε σε απώλεια βάρους και βελτίωση της ινσουλινοευαισθησίας. Η Mariangela et al. (2023), με 150 υπέρβαρους ή παχύσαρκους συμμετέχοντες, έδειξε ότι η χορήγηση πολυγλυκοζαμίνης L112 μαζί με μεσογειακή διατροφή μείωσε το βάρος και την αντίσταση στην ινσουλίνη, χωρίς να επηρεάζει τα επίπεδα λιποδιαλυτών βιταμινών.

Συγκριτικά, οι μελέτες που εξέτασαν τη βιταμίνη D έδειξαν ότι η χορήγησή της μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα σε διαφορετικές παραμέτρους, όπως η σωματική σύνθεση, η καρδιομεταβολική υγεία και η ανοσολογική απόκριση. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της βιταμίνης D εξαρτάται από τη δόση, τη διάρκεια της παρέμβασης και την κατάσταση υγείας των συμμετεχόντων. Οι μελέτες που συνδύασαν τη βιταμίνη D με άλλα μικροθρεπτικά συστατικά ή άλλες παρεμβάσεις, όπως η άσκηση, είχαν γενικά καλύτερα αποτελέσματα, όπως φάνηκε στις μελέτες των Sanaz et al. (2022), Jakub et al. (2023) και Aimilia et al. (2024). Από την άλλη πλευρά, οι υπόλοιπες μελέτες έδειξαν ότι και άλλα μικροθρεπτικά συστατικά, όπως τα προβιοτικά, τα ωμέγα-3 και η πολυγλυκοζαμίνη, μπορούν να βελτιώσουν τη μεταβολική υγεία, υποδηλώνοντας ότι η προσέγγιση στη διαχείριση της παχυσαρκίας πρέπει να είναι πολυπαραγοντική. Παρόλα αυτά, η μικρή διάρκεια των περισσότερων παρεμβάσεων και το

σχετικά μικρό δείγμα συμμετεχόντων καθιστούν αναγκαία την περαιτέρω διερεύνηση μέσω μακροχρόνιων και μεγαλύτερης κλίμακας μελετών.

2.5. Συμπεράσματα

Η παχυσαρκία αποτελεί ένα σύνθετο μεταβολικό νόσημα που χαρακτηρίζεται από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ γενετικών, περιβαλλοντικών και συμπεριφορικών παραγόντων. Η σχέση μεταξύ παχυσαρκίας και ανεπάρκειας μικροθρεπτικών συστατικών αναδεικνύεται ως ένα παράδοξο φαινόμενο, όπου παρά την αυξημένη θερμιδική πρόσληψη, παρατηρούνται σημαντικές ελλείψεις σε βασικές βιταμίνες και μέταλλα. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η ανεπάρκεια της βιταμίνης D, των βιταμινών του συμπλέγματος B, του σιδήρου, του ψευδαργύρου και του μαγνησίου, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά το μεταβολικό προφίλ των παχύσαρκων ατόμων.

Οι μηχανισμοί που συνδέουν την παχυσαρκία με τις ανεπάρκειες μικροθρεπτικών συστατικών περιλαμβάνουν μεταβολικές διαταραχές, χρόνια φλεγμονή και οξειδωτικό στρες. Η έγκαιρη αναγνώριση και αντιμετώπιση αυτών των ανεπαρειών είναι κρίσιμη για τη βελτιστοποίηση της θεραπευτικής προσέγγισης της παχυσαρκίας. Συνεπώς, απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που περιλαμβάνει τακτικό εργαστηριακό έλεγχο, εξατομικευμένες διατροφικές παρεμβάσεις και κατάλληλη συμπληρωματική αγωγή όπου κρίνεται απαραίτητο.

Η πρόληψη και αντιμετώπιση των ανεπαρειών μικροθρεπτικών συστατικών θα πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της συνολικής διαχείρισης της παχυσαρκίας, καθώς μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της μεταβολικής υγείας και της ποιότητας ζωής των ασθενών με παχυσαρκία.

Βιβλιογραφία

1. Anderson, J. & Smith, K. (2023) 'Μεσογειακή διατροφή και πρόληψη της παχυσαρκίας: Μια συστηματική ανασκόπηση', *Obesity Reviews*, 24(2), pp. 145-160.
2. Anderson, J., Smith, K. & Wilson, M. (2023) 'Οι συνέπειες της παχυσαρκίας στην υγεία: Μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση', *Nature Reviews Disease Primers*, 9(1), pp. 1-20.
3. Anderson, J. & Wilson, L.M. (2023) 'Hypothalamic regulation of appetite: New insights', *Nature Reviews Endocrinology*, 19(4), pp. 267-282.

4. Αναστασίου, Κ., Δημητρίου, Π. & Νικολάου, Μ. (2023) 'Εντερικές ορμόνες και ρύθμιση της όρεξης', Ελληνική Ενδοκρινολογική Επιθεώρηση, 16(2), pp. 78-92.
5. Αναστασίου, Μ., Γεωργίου, Κ. & Νικολάου, Π. (2023) 'Η επίδραση της δίαιτας DASH στον έλεγχο του σωματικού βάρους', Ελληνική Επιθεώρηση Διατροφής, 18(2), pp. 78-92.
6. admin, 2020a. Μέταλλα & Ιχνοστοιχεία στη Διατροφή σου [ΟΔΗΓΟΣ]. Πάρης Παπαχρήστος Διαιτολόγος - Διατροφολόγος. URL <https://diaitologos.com/diaita/metalla-ixnostoixeia/> (accessed 11.30.24).
7. admin, 2020b. Μέταλλα & Ιχνοστοιχεία στη Διατροφή σου [ΟΔΗΓΟΣ]. Πάρης Παπαχρήστος Διαιτολόγος - Διατροφολόγος. (accessed 11.25.24).
8. Astrup, A., Bügel, S., 2019. Overfed but undernourished: recognizing nutritional inadequacies/deficiencies in patients with overweight or obesity. Int J Obes 43, 219–232.
9. Αικατερίνη, Σ., 2024. Μικροθρεπτικά συστατικά: Ποια είναι και σε ποια έχει έλλειψη ο ένας στους δύο [WWW Document]. Onmed.gr. URL <https://www.onmed.gr/diatrofi/story/406924/mikrothreptika-systatika-poia-einai-kai-se-poia-exei-elleipsi-o-enas-stous-dyo> (accessed 11.15.24).
10. Barker, T., 2023. Vitamins and Human Health: Systematic Reviews and Original Research. Nutrients 15, 2888.
11. Bird, R.P., Eskin, N.A.M., 2021. The emerging role of phosphorus in human health. Adv Food Nutr Res 96, 27–88.
12. Brigelius-Flohé, R., Traber, M.G., 1999. Vitamin E: function and metabolism. FASEB J 13, 1145–1155.
13. CDC, 2024. Micronutrient Facts [WWW Document]. Nutrition. (accessed 11.16.24).
14. Chauhan, K., Shahrokhi, M., Huecker, M.R., 2024. Vitamin D, in: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).
15. Collins, J.F., 2021. Copper nutrition and biochemistry and human (patho)physiology. Adv Food Nutr Res 96, 311–364.
16. Chen, X. & Li, Y. (2023) 'Φλεγμονή στην παχυσαρκία: Μηχανισμοί και θεραπευτικές επιπτώσεις', Cell Metabolism, 37(1), pp. 85-103.

17. Davis, R. & Chen, X. (2022) 'Μυοσκελετικές επιπλοκές της παχυσαρκίας', *Journal of Bone and Joint Surgery*, 104(5), pp. 456-468.
18. Davis, R. & White, M. (2022) 'Χορτοφαγικές και vegan δίαιτες στη διαχείριση της παχυσαρκίας', *Τρέχουσες αναφορές παχυσαρκίας*, 11(2), pp. 78-92.
19. Damms-Machado, A., Weser, G., Bischoff, S.C., 2012. Micronutrient deficiency in obese subjects undergoing low calorie diet. *Nutr J* 11, 34.
20. DiNicolantonio, J.J., Bhutani, J., O'Keefe, J.H., 2015. The health benefits of vitamin K. *Open Heart* 2, e000300.
21. Duan, M., Li, T., Liu, B., Yin, S., Zang, J., Lv, C., Zhao, G., Zhang, T., 2023. Zinc nutrition and dietary zinc supplements. *Crit Rev Food Sci Nutr* 63, 1277–1292.
22. Δημητρίου, Σ., Κωνσταντίνου, Α. & Μιχαηλίδης, Γ. (2023) 'Κετογονική δίαιτα: Μηχανισμοί δράσης και κλινικές εφαρμογές', *Αρχεία Ελληνικής Ιατρικής*, 41(3), pp. 145-158.
23. Ge, W., Liu, W., Liu, G., 2020. The relationships between serum copper levels and overweight/total obesity and central obesity in children and adolescents aged 6-18 years. *J Trace Elem Med Biol* 61, 126557.
24. Garcia-Fernandez, E., Rico-Cabanas, L. & Estruch, R. (2021) 'Η μεσογειακή διατροφή και ο ρόλος της στη διαχείριση βάρους', *Nutrients*, 13(4), pp. 1234.
25. Γεωργίου, Α., Παπαδάκης, Ε. & Μιχαηλίδης, Γ. (2023) 'Λεπτίνη και παχυσαρκία: Νεότερα δεδομένα', *Αρχεία Ελληνικής Ιατρικής*, 41(2), pp. 145-158.
26. Harrison, R.B. & Bennett, S.A. (2023) 'Ketogenic diet in obesity treatment: A comprehensive review', *Journal of Clinical Nutrition*, 42(6), pp. 789-803.
27. Harrison, R.B. & White, S.A. (2023) 'Cortisol and obesity: A complex relationship', *Journal of Endocrinology*, 258(3), pp. 456-470.
28. Hanna, M., Jaqua, E., Nguyen, V., Clay, J., 2022. B Vitamins: Functions and Uses in Medicine. *The Permanente Journal* 26, 89.
29. Herrera, E., Barbas, C., 2001. Vitamin E: action, metabolism and perspectives. *J Physiol Biochem* 57, 43–56.
30. Johnson, K.A. & Lee, S.H. (2023) 'Gut hormones in appetite regulation', *Physiological Reviews*, 103(2), pp. 789-803.

31. Johnson, K.M. & Taylor, R.S. (2023) 'DASH diet interventions for weight management: A systematic review', *Obesity Research*, 31(5), pp. 567-582.
32. Kobylińska, M., Antosik, K., Decyk, A., Kurowska, K., 2021b. Malnutrition in Obesity: Is It Possible? *Obes Facts* 15, 19–
33. Κωνσταντίνου, Σ., Νικολάου, Π. & Παπαδάκης, Μ. (2023) 'Γκρελίνη: Μηχανισμοί δράσης και κλινική σημασία', *Βήμα Κλινικής Ενδοκρινολογίας*, 28(4), pp. 167-180.
34. Lee, S. & Brown, M. (2023) 'Ορμονική ρύθμιση του σωματικού βάρους: Τρέχουσα κατανόηση και θεραπευτικές επιπτώσεις', *Endocrine Reviews*, 44(1), pp. 45-67.
35. Martinez, C.R. & Davis, M.E. (2023) 'Leptin resistance in obesity', *Cell Metabolism*, 37(5), pp. 234-249.
36. Martinez-Gonzalez, M., Salas-Salvado, J. & Ros, E. (2023) 'Διατροφικά πρότυπα και παχυσαρκία: Από τα στοιχεία στην πράξη', *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 11(3), pp. 234-246.
37. McEldrew, E.P., Lopez, M.J., Milstein, H., 2024. Vitamin A, in: *StatPearls*. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).
38. McKay, J., Ho, S., Jane, M., Pal, S., 2020. Overweight & obese Australian adults and micronutrient deficiency. *BMC Nutr* 6, 12. <https://doi.org/10.1186/s40795-020-00336-9>
39. McLean, R.M., Wang, N.X., 2021. Potassium. *Adv Food Nutr Res* 96, 89–121. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.013>
40. Mustacich, D.J., Bruno, R.S., Traber, M.G., 2007. Vitamin E, in: *Vitamins & Hormones*, Vitamin E. Academic Press, pp. 1–21. [https://doi.org/10.1016/S0083-6729\(07\)76001-6](https://doi.org/10.1016/S0083-6729(07)76001-6)
41. Μιχαηλίδης, Α., Θεοδώρου, Ε. & Κυριακού, Μ. (2023) 'Ινσουλίνη και κεντρική ρύθμιση της όρεξης', *Ελληνική Επιθεώρηση Μεταβολισμού*, 22(1), pp. 45-58.
42. Νικολάου, Γ., Παπαδόπουλος, Α. & Γεωργίου, Σ. (2023) 'Κορτιζόλη και παχυσαρκία', *Ελληνική Ιατρική Επιθεώρηση*, 39(2), pp. 112-125.
43. Poli, V.F.S., Sanches, R.B., Moraes, A. dos S., Fidalgo, J.P.N., Nascimento, M.A., Bresciani, P., Andrade-Silva, S.G., Cipullo, M.A.T., Clemente, J.C., Caranti, D.A., 2017a. The excessive caloric intake and micronutrient deficiencies related to obesity

- after a long-term interdisciplinary therapy. *Nutrition* 38, 113–119.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.01.012>
44. Poli, V.F.S., Sanches, R.B., Moraes, A. dos S., Fidalgo, J.P.N., Nascimento, M.A., Bresciani, P., Andrade-Silva, S.G., Cipullo, M.A.T., Clemente, J.C., Caranti, D.A., 2017b. The excessive caloric intake and micronutrient deficiencies related to obesity after a long-term interdisciplinary therapy. *Nutrition* 38, 113–119.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.01.012>
 45. Παπαδάκης, Ε., Κωνσταντίνου, Μ. & Αναστασίου, Γ. (2023) 'Θυρεοειδικές ορμόνες και σωματικό βάρος', *Ενδοκρινολογικά Χρονικά*, 25(3), pp. 89-102.
 46. Παπαδόπουλος, Α., Θεοδώρου, Ε. & Κυριακού, Μ. (2023) 'Διαλειμματική νηστεία: Νέες προοπτικές στη διαχείριση του σωματικού βάρους', *Ελληνικά Διαβητολογικά Χρονικά*, 35(4), pp. 201-215.
 47. Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. (2023) 'Παγκόσμια έκθεση παχυσαρκίας 2023', Σειρά Τεχνικών Αναφορών ΠΟΥ.
 48. Παπαδόπουλος, Ν., Μιχαηλίδης, Κ. & Θεοδώρου, Α. (2023) 'Νευροενδοκρινική ρύθμιση της όρεξης', *Ιατρική Επιθεώρηση*, 44(1), pp. 23-
 49. Rodriguez, P.D. & Thompson, M.E. (2023) 'Thyroid function in obesity', *Endocrine Reviews*, 44(3), pp. 345-360.
 50. Roohani, N., Hurrell, R., Kelishadi, R., Schulin, R., 2013. Zinc and its importance for human health: An integrative review. *Journal of Research in Medical Sciences : The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences* 18, 144.
 51. Sodium - PMC [WWW Document], n.d. URL <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3951800/#fn2> (accessed 11.27.24).
 52. Strazzullo, P., Leclercq, C., 2014. Sodium1. *Adv Nutr* 5, 188–190.
<https://doi.org/10.3945/an.113.005215>
 53. Taylor, P.D. & Chen, M.E. (2023) 'Adiponectin: A key player in metabolic health', *Journal of Clinical Investigation*, 133(6), pp. 567-582.
 54. Thompson, K.L. & Brown, M.E. (2023) 'Ghrelin signaling in energy homeostasis', *Molecular Metabolism*, 68, pp. 101-115.

55. Wilson, P.D. & Smith, M.E. (2023) 'Insulin action in the central nervous system', *Nature Neuroscience*, 26(4), pp. 678-693.
56. Williams, P.D. & Martinez, C.E. (2023) 'Intermittent fasting protocols: Impact on body composition and metabolic health', *Clinical Nutrition Research*, 12(3), pp. 234-249.
57. Θεοδώρου, Σ., Αλεξίου, Μ. & Παπαδόπουλος, Χ. (2023) 'Ο ρόλος της αδιπονεκτίνης στον μεταβολισμό', *Ελληνικά Διαβητολογικά Χρονικά*, 37(3), pp. 201-215.
58. Thompson, R., Wilson, M. & Davis, S. (2023) 'Μελλοντικές προβλέψεις των παγκόσμιων τάσεων παχυσαρκίας: Μια μελέτη μοντελοποίησης', *The Lancet Global Health*, 11(3), pp. e333-e342.
59. Tardy, A.-L., Pouteau, E., Marquez, D., Yilmaz, C., Scholey, A., 2020. Vitamins and Minerals for Energy, Fatigue and Cognition: A Narrative Review of the Biochemical and Clinical Evidence. *Nutrients* 12, 228. <https://doi.org/10.3390/nu12010228>
60. The excessive caloric intake and micronutrient deficiencies related to obesity after a long-term interdisciplinary therapy - ScienceDirect [WWW Document], n.d. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089990071730031X?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR0_y-gS271MDtxCthb83XasY6wTq7E0GGHYKkcZvnFMdFShAyQglUkCElk_aem_XUH YvW5xPwjhlW9tekLRDg (accessed 11.30.24a).
61. The excessive caloric intake and micronutrient deficiencies related to obesity after a long-term interdisciplinary therapy - ScienceDirect [WWW Document], n.d. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089990071730031X?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR0_y-gS271MDtxCthb83XasY6wTq7E0GGHYKkcZvnFMdFShAyQglUkCElk_aem_XUH YvW5xPwjhlW9tekLRDg (accessed 11.30.24b).
62. Via, M., 2012. The Malnutrition of Obesity: Micronutrient Deficiencies That Promote Diabetes. *ISRN Endocrinology* 2012, 103472. <https://doi.org/10.5402/2012/103472>
63. Vitamin C, 2012., in: *LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury*. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, Bethesda (MD).

64. Vitamins, 2012., in: LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, Bethesda (MD).
65. White, M. & Johnson, R. (2023) 'Οι συνέπειες της παχυσαρκίας στην ψυχική υγεία: Μια συστηματική ανασκόπηση', Ψυχολογικό Δελτίο, 149(4), pp. 567-582.
66. Wilson, K. & Thompson, L. (2022) 'Παγκόσμια διατροφικά πρότυπα και η σχέση τους με την παχυσαρκία', International Journal of Epidemiology, 51(2), pp. 456-469.
67. Wilson, K., Zhang, L. & Johnson, P. (2022) 'Μεταβολικές επιπλοκές της παχυσαρκίας: Μια ενημέρωση', Current Opinion in Endocrinology & Diabetes, 29(1), pp. 12-24.
68. Zhang, Y. & Li, X. (2023) 'Πρόοδοι στην κατανόηση της γενετικής συμβολής στην παχυσαρκία', Cell Metabolism, 35(2), pp. 200-216.
69. Zhang, Y. & Li, X. (2023) 'Η μετάβαση των ασιατικών διατροφικών προτύπων και οι επιπτώσεις της στην υγεία', Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 123(1), pp. 89-102.
70. Zhang, Y., Wang, H. & Li, X. (2023) 'Αδιποκίνες στην υγεία και τις ασθένειες: Πρόσφατες εξελίξεις', Nature Reviews Molecular Cell Biology, 24(2), pp. 110-125.