



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εμπλουτισμός των τροφίμων με Ω3 λιπαρά οξέα και ο ρόλος τους στη διατροφή του ανθρώπου



Φοιτήτριες

Θεοχάρη Σοφία

Τσουχνικά Ευαγγελία

Υπεύθυνος καθηγητής:

Αντωνόπουλος Διονύσης

ΑΘΗΝΑ 2022



**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

Εξεταστική επιτροπή

01	Διονύσιος Αντωνόπουλος	
02	Δήμητρα Χούχουλα	
03	Ανθμία Μπατρίνου	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1. ΛΙΠΗ ΚΑΙ Ω-3 ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ	10
1.1 ΛΙΠΗ	10
1.2 ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ	10
1.4 ΩΜΕΓΑ-3 ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ.....	12
1.5 ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΛΗΨΕΙΣ Ω3	14
2. ΠΗΓΕΣ ΩΜΕΓΑ 3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ	19
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	19
2.2 ΦΥΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	22
2.2.1 <i>Λιναρόσπορος</i>	22
2.2.2 <i>Σπόροι κολοκύθας</i>	23
2.2.3 <i>Σπόροι μουστάρδας</i>	23
2.2.4 <i>Σπόροι Chia</i>	24
2.2.5 <i>Σόγια</i>	26
2.3 ΦΥΚΗ - ΜΙΚΡΟΦΥΚΗ	27
2.4 ΖΩΙΚΗ ΠΗΓΗ: ΛΙΠΑΡΑ ΨΑΡΙΑ.....	27
2.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Ω-3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ	29
2.3.1 <i>Γενετική τροποποίηση</i>	29
2.3.2 <i>Καλλιέργεια μικροφυκών</i>	30
3. ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΜΕ Ω3 ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ	33
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	33
3.2 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΚΡΕΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΡΕΑΤΟΣ	33
3.3 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΚΑΙ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	34
3.4 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΑΥΓΩΝ	35
3.5 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΛΟΙΠΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	36

4: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ Ω-3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ	38
4.1 ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΛΙΠΙΔΙΩΝ	38
4.1.1 Αποικοδόμηση και σύνθεση ελεύθερων λιπαρών οξέων	38
4.1.2 Μεταβολισμός λιπιδίων	42
4.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΛΗΨΗ Ω-3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ	45
4.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΩΝ ΜΕΣΟΛΑΒΗΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΑΓΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (SPMs)	46
5. ΠΙΘΑΝΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ Ω-3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	49
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	49
5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ	49
5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ	52
5.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΝΤΕΡΙΚΗ ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΦΛΕΓΜΟΝΩΔΗΣ ΔΡΑΣΗ	54
5.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟΝ ΣΚΕΛΕΤΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ	57
5.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΗΠΑΤΙΚΗ ΝΟΣΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΜΗ ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΛΙΠΩΔΗ ΝΟΣΟ ΤΟΥ ΗΠΑΤΟΣ	62
5.7 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ SARS-CoV-2	64
5.8 ΠΙΘΑΝΕΣ ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Όρια Επαρκής Πρόσληψης ω-3 λιπαρών οξέων	18
Πίνακας 2: Περιεχόμενο ορισμένων τροφίμων σε ALA, DHA και EPA σε g ανά μερίδα	19
Πίνακας 3: Χρωμοσωμική θέση και μοντέλο γονιδίου στο γονιδίωμα της σόγιας	30
Πίνακας 4: Βιβλιογραφικές αναφορές για τον εμπλουτισμό διαφόρων τροφίμων με ω-3 λιπαρά οξέα.....	69
Πίνακας 5: Επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου.....	71
Πίνακας 6: Επίδραση ω-3 λιπαρών οξέων στην πρόληψη και αντιμετώπιση του καρκίνου.....	72
Πίνακας 7: Επίδραση στην εντερική μικροχλωρίδα και αντιφλεγμονώδης δράση	73
Πίνακας 8: Επιδράσεις ω-3 λιπαρών οξέων στον ανθρώπινο σκελετό	74
Πίνακας 9: Επίδραση ω-3 λιπαρών οξέων στην αλκοολική ηπατική νόσο και στην μη αλκοολική λιπώδη νόσο του ήπατος.....	75
Πίνακας 10: Επίδραση ω-3 λιπαρών στην πρόληψη και αντιμετώπιση του SARS-CoV-2.....	77

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Χημικές δομές των κυριότερων ω-3 λιπαρών οξέων.....	13
Εικόνα 2: Λευκή μουστάρδα (<i>Sinapis alba</i> L.) α) καλλιέργεια β) φύλλα γ) άνθη δ) σπόρια	24
Εικόνα 3: Α και D) Φυτά chia Β-Γ) άνθη chia Ε) σπόροι chia από διαφορετικές ποικιλίες	25
Εικόνα 4: Φωτοβιοαντιδραστήρες για την καλλιέργεια μικροφυκών Α. Σωληνοειδής Β. Πλακών Γ. Στήλης Δ. Δακτυλιοειδής Ε-Ζ: Σχηματική αναπαράσταση φωτοβιοαντιδραστήρων.....	32

Εικόνα 5: Περιγραφή αποικοδόμησης λιπαρού οξέος. Διαδικασία εισόδου λιπαρού οξέος στο μιτοχόνδριο με τη βοήθεια της καρνιτίνης και περιγραφή της διαδικασίας β – οξειδωσης.....	40
Εικόνα 6: Απεικόνιση της βιοσύνθεσης των λιπαρών οξέων	41
Εικόνα 7: Συνθετική οδός πολυακόρεστων λιπαρών ω-3 οξέων.....	46
Εικόνα 8: Απεικόνιση σχηματισμού SPMs από αραχιδονικό οξύ, εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA).	47
Εικόνα 9: Οστεοκλάστες και Οστεοβλάστες.....	58

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Συνοπτική χρονολογική αναφορά στις παρατηρήσεις σχετικά με το ανώτερο όριο πρόσληψης λιπαρών οξέων	17
Σχήμα 2: Διαδικασία παραγωγής ακατέργαστου και ραφινρισμένου σογιέλαιου	26

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ενημέρωση και η ανάδειξη πληροφοριών για τα λιπίδια και πιο συγκεκριμένα για τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα. Αναφέρονται γενικές πληροφορίες για τη δομή τους, τον μεταβολισμό τους στον ανθρώπινο οργανισμό, τις πηγές τροφίμων που τα περιέχουν αλλά και για τον εμπλουτισμό τους σε ορισμένα τρόφιμα. Αναφέρονται περιεκτικότητες, συνιστώμενες προσλήψεις και ασφαλείς ποσότητες κατανάλωσης αυτών στην καθημερινή μας διατροφή, έτσι ώστε να γίνεται επαρκής πρόσληψη, αλλά παράλληλα να διατηρούνται οι σωστές ισορροπίες με τα άλλα ωμέγα λιπαρά οξέα. Μέσω διάφορων επιστημονικών μελετών και ερευνών που αναζητήθηκαν, έχουν συλλεχτεί πληροφορίες που αναφέρουν τον ρόλο των ωμέγα-3 λιπαρών οξέων στην διατροφή μας, τις θετικές επιδράσεις τους αλλά και τις αρνητικές επιπτώσεις που μπορούν να προκαλέσουν στην υγεία μας.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to update and highlight information about lipids and more specifically about omega-3 fatty acids. General information is given on their structure, their metabolism in the human body, the food sources that contain them and also on their enrichment in certain foods. Contents, recommended intakes and safe consumption amounts of these in our daily diet are mentioned, so that an adequate intake is made, but at the same time the correct balances with the other omega fatty acids are maintained. Through various scientific studies and searches, information has been collected that mentions the role of omega-3 fatty acids in our diet, their positive effects but also the negative effects they can cause on our health.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, αυξάνεται όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον των καταναλωτών και αντίστοιχα των βιομηχανιών πάνω στα θέματα της διατροφής αλλά και της ανθρώπινης υγείας. Διάφορες επιστημονικές μελέτες που έχουν γίνει στο παρελθόν αλλά και όσα νέα επιστημονικά στοιχεία προκύπτουν σήμερα, ενημερώνουν και παροτρύνουν σε μια ποιοτικά καλύτερη ζωή μέσω της διατροφής.

Τα λιπαρά οξέα είναι ένα από τα θέματα που έχουν απασχολήσει και συνεχίζουν να απασχολούν τους ερευνητές. Η παρουσία τους στην καθημερινή διατροφή είναι ιδιαίτερα σημαντική εφόσον χαρακτηρίζονται απαραίτητες ενώσεις. Ο ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να τις συνθέσει από μόνος του οπότε είναι απαραίτητο να τις λαμβάνει μέσω της τροφής του.

Το ενδιαφέρον για τα ωμέγα-3 πολυακόρεαστα λιπαρά οξέα (PUFAs) εντατικοποιείται και κλιμακώνεται τα τελευταία χρόνια λόγω των διάφορων ρόλων του και τα οφέλη του. Προάγει την υγεία του οργανισμού και μειώνει κινδύνους εμφάνισης ασθενειών όπως ο διαβήτης, ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις (αθηροσκλήρωση, θρόμβωση, φλεγμονή).

Η επαρκής πρόσληψη τους είναι ιδιαίτερα σημαντική και κυρίως σε κατηγορίες του πληθυσμού όπως τα βρέφη, τα μικρά παιδιά και ασθενείς που χρειάζονται εντερική ή παρεντερική διατροφή.

Παρόλο που έχουν αναφερθεί σημαντικά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία από την κατανάλωση ωμέγα-3 λιπαρών οξέων, υπάρχουν ακόμη ορισμένες αμφιβολίες.

1. ΛΙΠΗ ΚΑΙ Ω-3 ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ

1.1 ΛΙΠΗ

Τα λίπη αποτελούν ένα από τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά στη διατροφή του ανθρώπου αλλά και των υπόλοιπων ζωντανών οργανισμών. Στη χημεία τροφίμων ονομάζονται λιπίδια και είναι οργανικές ενώσεις που σχηματίζονται στο βιολογικό κύκλο κάθε ζωικού ή φυτικού οργανισμού.

Είναι φυσικές ύλες διαλυτές σε οργανικούς διαλύτες και αδιάλυτες στο νερό ,λόγω του υδρόφοβου χαρακτήρα που παρουσιάζουν. Περιλαμβάνουν πολλές και διαφορετικές χημικές ενώσεις ,οι οποίες κατατάσσονται με βάση τη δομή τους σε: ουδέτερα ή πολικά λιπίδια. Στα τρόφιμα συναντάμε κυρίως γλυκερίδια: τα λίπη και τα έλαια. Αυτά βρίσκονται με τη μορφή των τριγλυκεριδίων και είναι εστέρες της γλυκερόλης με οξέα. Άλλες κατηγορίες ενώσεων που περιέχονται στα λιπίδια είναι οι στερόλες , τα φωσφολιπίδια , τα καροτενοειδή ,οι λιποδιαλυτές βιταμίνες (A, D, E, K) , οι εστέρες στερολών ,διάφορες αλκοόλες και αλδεΐδες, τα λιπαρά οξέα , τα γλυκολιπίδια και τα σουλφολιπίδια.

Τα λιπίδια αποτελούν σημαντικό και σπουδαίο ρόλο για τον ανθρώπινο οργανισμό γιατί εκτός από το διατροφικό ενδιαφέρον που παρουσιάζουν και την ενεργειακή σημασία τους, αποτελούν δομικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών (φωσφολιπίδια) και χρησιμοποιούνται σαν βασικό συστατικό στο σχηματισμό ορμονών (χοληστερόλη). Προσφέρουν θερμική μόνωση στον υποδόριο ιστό αλλά και προστασία σε ορισμένα όργανα γιατί λειτουργούν ως προστατευτικά περιβλήματα. Επίσης είναι ενώσεις με σημαντικές μεταβολικές δράσεις, αποτελούν μορφές αποταμίευσης ενέργειας και πολλές φορές είναι φορείς για τη διακίνηση άλλων μορίων.

1.2 ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ

Τα λιπαρά οξέα έχουν μεγάλη φυσιολογική σημασία , καθώς είναι η κυριότερη μορφή διατροφικού λίπους. Δεν υπάρχουν πολλά σε ελεύθερη κατάσταση, παρά μόνο ανιχνεύονται σε ίχνη στις τροφές και στους ζωντανούς

οργανισμούς. Είναι μονοκαρβοξυλικά οξέα με μακριά ανθρακική αλυσίδα και βρίσκονται κυρίως σε εστεροποιημένη μορφή, σε γλυκερίδια, κηρούς και φωσφατίδια. Εμφανίζονται σε ποικιλία χημικών μορφών και διαφοροποιούνται αναλόγως του μήκους της ανθρακικής τους αλυσίδας, την παρουσία χαρακτηριστικών ομάδων σε αυτή αλλά και από τον αριθμό, τη θέση και τη διαμόρφωση των διπλών δεσμών. Συνήθως τα βρίσκουμε ενωμένα με την γλυκερόλη και ανάλογα από τον αριθμό των υδροξυλομάδων των οξέων που εστεροποιούνται σχηματίζονται τα μονογλυκερίδια, τα διγλυκερίδια και τα τριγλυκερίδια. Όταν το εστεροποιημένο οξύ είναι ίδιο σε όλες τις εστεροποιήσεις, τότε έχουμε απλά γλυκερίδια ενώ όταν αντιδρούν 2 ή 3 διαφορετικά οξέα τότε έχουμε τα μικτά γλυκερίδια.

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες λιπαρών οξέων: τα κορεσμένα και τα ακόρεστα λιπαρά οξέα.

➤ Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα (/λίπη) είναι εκείνα που η χημική τους ένωση δεν διαθέτει κανένα διπλό δεσμό μεταξύ των ατόμων άνθρακα παρά μόνο απλούς χημικούς δεσμούς. Βρίσκονται κυρίως σε ζωικά λίπη αλλά και σε πολύ μικρότερες ποσότητες σε κάποια φυτικά έλαια όπως στο γάλα καρύδας και το φοινικέλαιο.

Ο γενικός τύπος των κορεσμένων λιπαρών οξέων είναι: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$, όπου n είναι ένας ακέραιος αριθμός μεταξύ 2 και 26.

➤ Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα (/έλαια) από την άλλη είναι εκείνα των οποίων η χημική ένωση αποτελείται από έναν ή και περισσότερους διπλούς δεσμούς. Ανάλογα με το πόσους δεσμούς περιέχουν ονομάζονται αντίστοιχα μονοακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Βρίσκονται κυρίως σε φυτικά έλαια, ψάρια, ελαιούχους σπόρους και ξηρούς καρπούς. Σε θερμοκρασία δωματίου είναι υγρά.

Οι διπλοί δεσμοί σχεδόν σε όλα τα ακόρεστα λιπαρά οξέα που απαντώνται στη φύση βρίσκονται σε διάταξη *cis*, δηλαδή προς την ίδια πλευρά του επιπέδου του διπλού δεσμού. Συναντάμε όμως και *trans* ακόρεστα λιπαρά οξέα (TFA), τα οποία συνήθως προκύπτουν κατά τις διαδικασίες υδρογόνωσης

των cis ακόρεστων προς κορεσμένα. Η διαδικασία της υδρογόνωσης πραγματοποιείται συνήθως σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (150° -200°C) υπό πίεση και παρουσία καταλυτών. Στην ουσία είναι η αντίδραση με την οποία προστίθεται υδρογόνο στους διπλούς ή τριπλούς δεσμούς μιας ακόρεστης ένωσης ,με αποτέλεσμα να αλλάζει η διάταξη της ένωσης και να προκύπτουν διαφόρων μορφών, πυκνότητας και υφής λίπη.

Τα trans ισομερή ή αλλιώς trans λιπαρά οξέα (Trans Fatty Acids) είναι παρεμφερή των κορεσμένων λιπαρών ως προς τη συμπεριφορά τους. Πολλές επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι τα trans κορεσμένα λίπη αυξάνουν τα επίπεδα της “κακής” χοληστερόλης (LDL) στον ορό του αίματος και μειώνουν τα επίπεδα της “καλής” (HDL). Παρουσιάζουν κινδύνους καρδιαγγειακών νοσημάτων, καρδιοπάθειες αλλά ενοχοποιούνται και για διάφορες μορφές καρκίνου.

1.4 ΩΜΕΓΑ-3 ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ

Ο ανθρώπινος οργανισμός παράγει μόνο χαμηλά επίπεδα ωμέγα-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) γι’ αυτό το λόγο αναγνωρίζονται ως απαραίτητες ενώσεις για τη διατροφή και την υγεία του ανθρώπου. Συμβάλλουν στην ανάπτυξη και στην ανάπτυξη του οργανισμού αλλά είναι απαραίτητα και για τη σύνθεση άλλων λιπαρών οξέων.

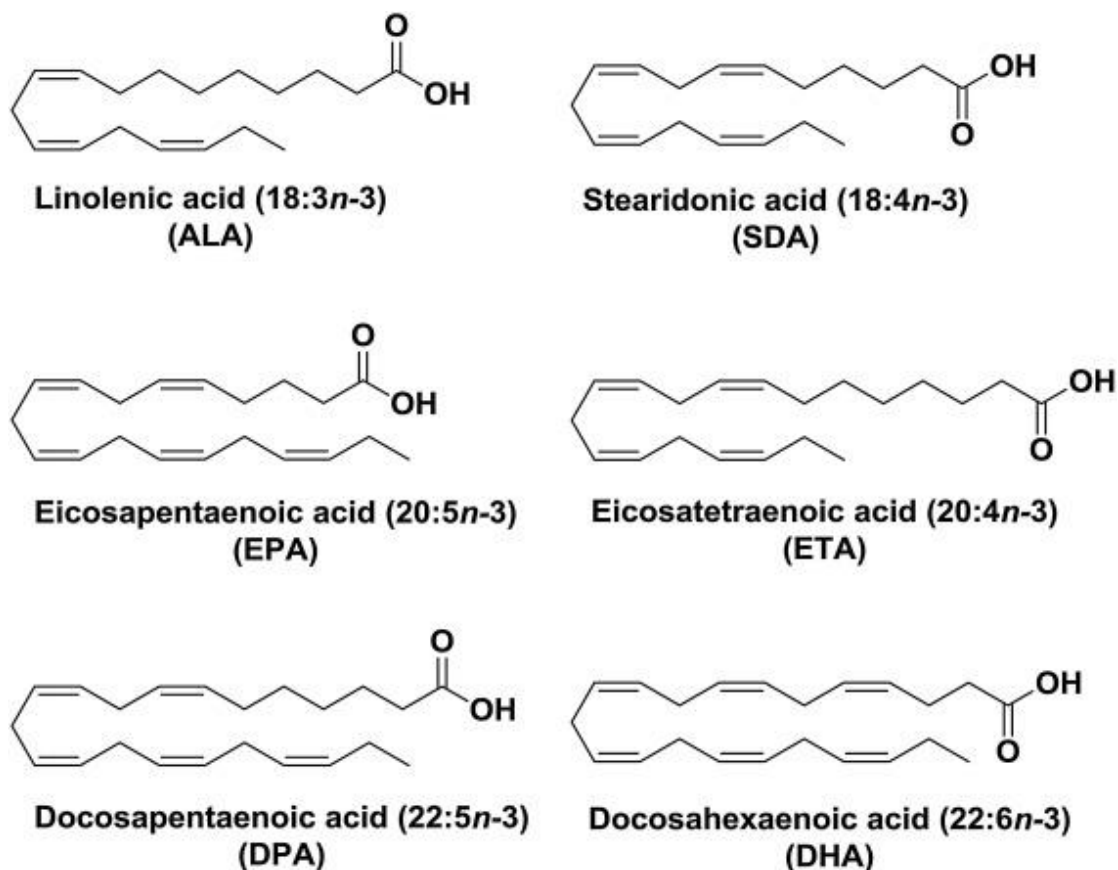
Τα ωμέγα – 3 (ω-3) πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs) έχουν έναν διπλό δεσμό μεταξύ ανθράκων, μεταξύ του τρίτου και τέταρτου άνθρακα από το άκρο του μεθυλίου (EFSA, 2012).

Τα κυριότερα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα περιλαμβάνουν (εικόνα 1) (De Bus et al., 2019) :

- Το α-λινολενικό οξύ (ALA, 18:3 ω-3 , alpha-linolenic acid)

Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα της βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων. Χρησιμεύει ως πρόδρομος για τη σύνθεση των μακράς αλυσίδας πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στο ανθρώπινο σώμα.

Μπορεί να παραχθεί στα φυτά ,είναι συστατικό σπορελαίων και βρίσκεται κυρίως στο έλαιο του λιναρόσπορου, στο έλαιο σόγιας αλλά και στους χλωροπλάστες των πράσινων φυλλώδη λαχανικών.



Εικόνα 1: Χημικές δομές των κυριότερων ω-3 λιπαρών οξέων
Πηγή: De Bus et al., 2019

- Το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA, 20:5 ω-3, eicosapentaenoic acid) παράγεται από τα φύκια της θάλασσας και βρίσκεται κυρίως στα ιχθυέλαια και σε ζώα μετά από αποκορεσμό και επιμήκυνση του ALA. Είναι το κύριο λιπαρό οξύ των ψαριών (περίπου 20 με 25% του βάρους).

- Το εικοσατετρανοϊκό οξύ (ETA, 20:4, ω-3, eicosatetraenoic acid)

- Το δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA, 22:6 ω-3, docosahexaenoic acid) παράγεται από θαλάσσια φύκια, βρίσκεται κυρίως στα ιχθυέλαια και αποτελεί συστατικό των ψαριών (περίπου 8 με 20% του βάρους).

- Το στεαριδονικό οξύ (SDA, 18:4 ω-3, stearidonic acid)

- Το δοκοσαπεντανοϊκό οξύ (DPA, 22:5 ω-3 , docosapentaenoic acid)

1.5 ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΛΗΨΕΙΣ Ω3

Έχει αποδειχθεί ότι η πρόσληψη ALA , της τάξης 1-2 g/ημέρα ασκεί προστατευτικές επιδράσεις (Galli & Marangoni, 2006).

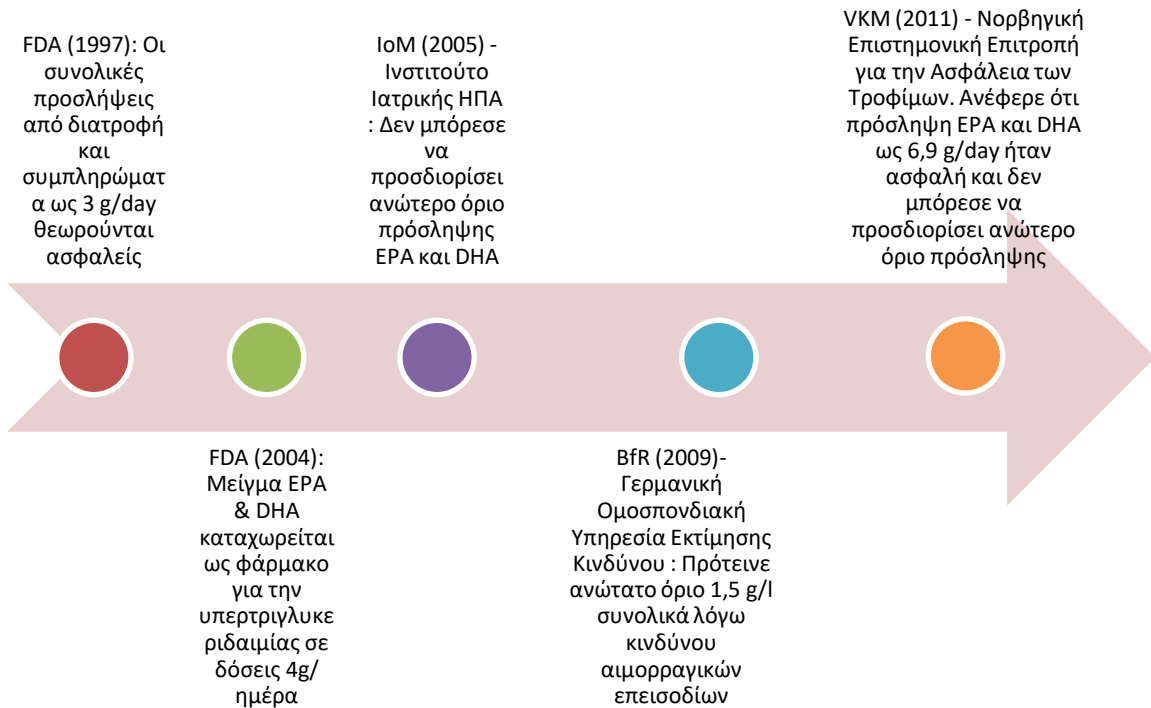
Ωστόσο, η παραγωγή LC ω-3 PUFAs από ALA στο σώμα περιορίζεται σε ποσοστά μικρότερα του 4% στην καλύτερη περίπτωση, επομένως η ενσωμάτωση των LC ω-3 PUFAs στην καθημερινή διατροφή είναι σημαντική. Σύμφωνα με τους Διαιτολόγους του Καναδά (2013), το απαιτούμενο επίπεδο ALA κυμαίνεται μεταξύ 1,1 και 1,6 g/ημέρα ανάλογα με την ηλικία και το φύλο. Επιπλέον, συνιστούν επίσης την πρόσληψη κατά τουλάχιστον δύο μερίδων ψαριών την εβδομάδα, παρέχοντας έτσι σχεδόν 0,3-0,45 g EPA και DHA την ημέρα. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO 2010) των Ηνωμένων Εθνών συνιστά 0,5-0,6% ALA ανά ημέρα για την πρόληψη των συμπτωμάτων ανεπάρκειας στους ενήλικες, με συνολική πρόσληψη ω-3 PUFA 0,5-2% (Shahidi & Ambigaipalan, 2018).

Παρόλο που επίσημα συνιστώμενη διαιτητική πρόσληψη για τα απαραίτητα λιπαρά οξέα δεν υπάρχει από διεθνή επιστημονικό φορέα, κρίνεται ωστόσο απαραίτητο για τις 'δυτικού τύπου' κοινωνίες, να αυξηθεί η πρόσληψη των ω-3 και να μειωθεί εκείνη των ω-6. Η βιομηχανία τροφίμων κάνει ήδη βήματα για την επαναφορά των ω-3 στα τρόφιμα εμπλουτίζοντας ποικιλία τροφίμων με ω-3, όμως προέχει να αξιολογηθούν παράγοντες σχετικοί με τη δόση, την ασφάλεια και τις πηγές των ω-3 για να επιτυγχάνεται η επαρκής πρόσληψη με τη διατροφή. Έχει προταθεί ότι απαιτείται τουλάχιστον 1-2% της ενέργειας να προέρχεται από το λινολεϊκό και 0,5% από τα ω-3, ώστε να προλαμβάνεται η ανεπάρκεια απαραίτητων λιπαρών οξέων και να είναι εφικτή η σύνθεση των μακρύτερης αλύσου ομολόγων τους. Η ολική πρόσληψη πολυακόρεστων λιπαρών οξέων θα πρέπει να παραμένει στο 7% της συνολικής ενέργειας και να μην ξεπερνά το 10%. Άλλωστε, πολύ υψηλές προσλήψεις πολυακόρεστων εγκυμονούν κίνδυνο για δυσμενή αποτελέσματα, ενώ απαιτούν και αντίστοιχα μεγάλη πρόσληψη αντιοξειδωτικών. Η διαιτητική

απαιτήση για αντιοξειδωτικές ουσίες, προκειμένου να αποφευχθεί η δυνητικά τοξική λιπιδική υπεροξειδωση όταν καταναλώνεται δίαιτα πλούσια σε πολυακόρεστα, επίσης δεν έχει καθορισθεί, αν και τέτοιες δίαιτες είναι συχνά πλούσιες σε αντιοξειδωτικά. Επίσημες διαιτητικές συστάσεις για τα ω-3 έχουν δοθεί στον Καναδά και το Ηνωμένο Βασίλειο. Ο Καναδάς συνιστά η ολική πρόσληψη ω-3 να είναι 1.2-1.6 g/d (γραμμάρια / ημέρα), αλλά δεν δίνει ξεχωριστές τιμές για τα διάφορα ω-3. Στο Ηνωμένο Βασίλειο γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των ω-3 και συστήνεται το 1% της ενέργειας να προέρχεται από το ALA και 0.5% από το συνδυασμό EPA και DHA. Ωστόσο, η Κοινότητα Ιατρικών Θεμάτων και Πολιτικής Τροφίμων, που συμμετέχει και το Ηνωμένο Βασίλειο, συστήνει η συνδυασμένη πρόσληψη EPA και DHA να είναι 0.2g/d και ως ελάχιστες απαιτήσεις για το λινολεϊκό το περίπου 1% της ενεργειακής πρόσληψης, ενώ για το α-λινολενικό το 0.2%. Άλλες αρχές έχουν προτείνει το 0.5% για το τελευταίο. Η Αυστραλία έχει συστήσει μέτρια αύξηση στις πηγές ω-3 από φυτικά τρόφιμα (ALA), και ψάρια (EPA και DHA κατανάλωση >0.2g/d).(14) Τελευταία, ο οργανισμός Βόρειου Ατλαντικού Treaty Advanse Workshop, πρότεινε η συνδυασμένη πρόσληψη EPA και DHA να είναι στο 0.27% της ενέργειας ή 0.8g/d. Παρόλο που στις ΗΠΑ δεν έχουν γίνει επίσημες διαιτητικές συστάσεις, μια ομάδα επιστημόνων διατροφής πρόσφατα εξέδωσε οδηγίες συνιστώμενης πρόσληψης για τα ALA, EPA και DHA προτείνοντας η πρόσληψη του ALA να είναι 2.2g/d και των EPA και DHA μαζί, 0.65g/d από 0.1-0.2 που ήταν. Ακόμη αυτή η ομάδα προτείνει ανώτατη πρόσληψη για το λινολεϊκό να είναι τα 6,7g/d και οι προσλήψεις EPA+DHA κατά την εγκυμοσύνη και το θηλασμό να είναι περίπου 1g/d. Η Βρετανική ομάδα εργασίας του ιδρύματος διατροφής για τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, συνιστά την πρόσληψη μίας έως δύο μερίδων λιπαρών ψαριών, ή ημερήσια πρόσληψη 0.5-1.0g μακράς αλύσου πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Η Αμερικάνικη Καρδιολογική Εταιρία (AHA),(15) προτείνει την κατανάλωση ψαριών, κυρίως λιπαρών, τουλάχιστο δύο φορές την εβδομάδα, καθώς αποτελούν πλούσια πηγή για τα EPA και DHA. Περιληπτικά οι συστάσεις της έχουν ως εξής: -Σε άτομα χωρίς αναφερόμενο περιστατικό στεφανιαίας νόσου, να καταναλώνουν ποικιλία από ψάρια (κατά προτίμηση λιπαρά) τουλάχιστον δύο φορές την εβδομάδα και επίσης έλαια και τρόφιμα πλούσια σε ALA (π.χ. λιναρόσπορο, σογιέλαιο, καρύδια) -Ασθενείς με τεκμηριωμένη στεφανιαία νόσο να καταναλώνουν

περίπου 1 g/d EPA + DHA, κατά προτίμηση από λιπαρά ψάρια, ή συμπληρώματα μετά από συμβουλή γιατρού. Τα φυτικά ω-3 έχουν διαφορετικές επιδράσεις από τα θαλάσσια ω-3, και επιπλέον μια μείωση στα ω-6 δεν έχει τις ίδιες επιδράσεις με μια αύξηση στα ω-3. Έτσι, από μια άποψη ο λόγος ω-6/ω-3 δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στο χαρακτηρισμό τροφίμων ή διαίτων. (16) Όταν τα ω-3 παρέχονται ως ALA, αυτό έχει μειωμένη αποτελεσματικότητα καθώς χρειάζονται περίπου 10 γραμμάρια ALA για να παραχθεί 1 γραμμάριο EPA + DHA.(17) Άλλωστε, η κατανάλωση πολυακόρεστων μακράς αλυσού, αυξάνει σημαντικά τις αναλογίες τους στα λιπίδια των ιστών σε σχέση με την κατανάλωση των πρόδρομών τους. Για το λόγο αυτό, κάποιοι προτείνουν ότι οι χορτοφάγοι και γενικότερα τα άτομα που δεν τρώνε ψάρια, θα πρέπει να καλύπτουν το 1% των ενεργειακών αναγκών τους από τα ωμέγα-3. Συμπερασματικά, οι βέλτιστες καθημερινές προσλήψεις ω-3 και γενικότερα πολυακόρεστων, θα πρέπει να διευκρινισθούν. Κρίνεται προτιμότερο να υπάρχουν ξεχωριστές συστάσεις για ALA, EPA + DHA και ω-6 λιπαρά οξέα. Ενώ χρειάζεται να ληφθούν υπόψη κατά την εκτίμηση αυτή και άλλα διαιτητικά συστατικά.

Στο παρακάτω σχήμα περιγράφονται συνοπτικά οι διατροφικές συστάσεις των αρμόδιων φορέων που αφορούν κυρίως την κατανάλωση EPA και DHA (EFSA, 2012).



Σχήμα 1: Συνοπτική χρονολογική αναφορά στις παρατηρήσεις σχετικά με το ανώτερο όριο πρόσληψης λιπαρών οξέων

Πηγή: Βασισμένο στο EFSA, 2012

Η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (European Food Safety Authority – EFSA), το 2012, μετά από αίτημα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, εξέδωσε επιστημονική γνώμη για το ανώτερο ανεκτό επίπεδο πρόσληψη (UL) ορισμένων ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων: κοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA), εικοσιδυαεξανοϊκό οξύ (DHA) και εικοσιπεντανοϊκό οξύ (DPA). Σύμφωνα, λοιπόν, με τα επιστημονικά δεδομένα που μέχρι εκείνη τη χρονική στιγμή είχε στα χέρια της η επιστημονική ομάδα που ασχολήθηκε με το αίτημα, κατέληξαν στα εξής (EFSA, 2012):

- Δεν υπήρχαν επαρκή δεδομένα ώστε να καθοριστεί ένα ανώτερο ανεκτό επίπεδο πρόσληψης (UL), ούτε για ένα και μόνο ω-3 λιπαρό οξύ ούτε για το σύνολο των ω-3 λιπαρών οξέων. Συστήνεται όμως ημερήσια κατανάλωση 250 – 500 mg.
- Στα συνήθη επίπεδα πρόσληψης που έχουν παρατηρηθεί, δεν έχει υπάρξει συσχετισμός με παρενέργειες ή τοξικότητα, τόσο σε υγιείς ενήλικες όσο και σε υγιή παιδιά.
- Ημερήσιες καταναλώσεις ~ 5 g EPA και DHA δεν έχουν δείξει αύξηση κινδύνου για την υγεία

- Συνολική πρόσληψη EPA και DHA 2-6 g/ημέρα σε συμπληρώματα και DHA σε δόσεις 2-4 g/ημέρα έχουν συσχετιστεί με αύξηση 3% της LDL-χοληστερόλης, άρα με αύξηση του κινδύνου για ανάπτυξη καρδιαγγειακών νόσων.

Ωστόσο, το Εθνικό Ινστιτούτο Υγείας των ΗΠΑ (National Institutes of Health – NIH) αναφέρει τα όρια επαρκούς πρόσληψης (Adequate Intake – AI), δηλαδή το επίπεδο πρόσληψης με το οποίο διασφαλίζεται διατροφική επάρκεια (πίνακας) (NIH, 2022).

Πίνακας 1: Όρια Επαρκούς Πρόσληψης ω-3 λιπαρών οξέων

Ηλικία	Άνδρες	Γυναίκες	Εγκυμοσύνη	Θηλασμός
Γέννηση ως 6 μηνών (συνολική ποσότητα ω-3 λιπαρών οξέων)	0,5 g	0,5 g		
7-12 μηνών(συνολική ποσότητα ω-3 λιπαρών οξέων)	0,5 g	0,5 g		
1-3 ετών (εκφρασμένο σε α-λινολενικό οξύ)	0,7 g	0,7 g		
4-8 ετών (εκφρασμένο σε α-λινολενικό οξύ)	0,9 g	0,9 g		
9-13 ετών(εκφρασμένο σε α-λινολενικό οξύ)	1,2 g	1,0 g		
14-18 ετών(εκφρασμένο σε α-λινολενικό οξύ)	1,6 g	1,1 g	1,4 g	1,3 g
19-50 ετών(εκφρασμένο σε α-λινολενικό οξύ)	1,6 g	1,1 g	1,4 g	1,3 g
51+ ετών(εκφρασμένο σε α-λινολενικό οξύ)	1,6 g	1,1 g		

Πηγή: NIH, 2022

2. ΠΗΓΕΣ ΩΜΕΓΑ 3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Μεσογειακή διατροφή είναι πλούσια σε λιπαρά οξέα (FA) και ιδίως σε α-λινολενικό οξύ (ALA), που όπως αναφέρθηκε και παραπάνω συναντάται κυρίως σε φυτικά έλαια και φυτικούς σπόρους. Από την άλλη το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA) βρίσκεται κυρίως σε θαλάσσιες πηγές : στα ιχθυέλαια (στα λιπίδια του σώματος των λιπαρών ψαριών, στο ήπαρ των λευκών άπαχων ψαριών και στο λίπος των θαλάσσιων θηλαστικών) αλλά και στα φύκη (Galli & Marangoni, 2006).

Στον πίνακα 2, καταγράφεται το περιεχόμενο ορισμένων τροφίμων σε ALA, DHA και EPA σε g ανά μερίδα.

Πίνακας 2: Περιεχόμενο ορισμένων τροφίμων σε ALA, DHA και EPA σε g ανά μερίδα

Τρόφιμο	g ανά μερίδα		
	ALA	DHA	EPA
Λιναρέλαιο (flaxseed oil) 1 κ.γ.	7,26		
Σπόροι chia (chia seeds) 1 ουγγιά*	5,06		
Καρύδια από Αγγλία (english walnuts) 1 ουγγιά*	2,57		
Λιναρόσπορος, ολόκληρος (flaxseed, whole) 1 κ.γλ.	2,35		
Σολομός, Ατλαντικού (εκτροφείου, μαγειρεμένος) (Salmon, Atlantic, farmed, cooked) 3 ουγγιές*		1,35	0,59
Σολομός Ατλαντικού (άγριος, μαγειρεμένος) (Salmon, Atlantic, wild, cooked) 3 ουγγιές*		1,22	0,35

Ρέγγα Ατλαντικού (μαγειρεμένη) (Herring, Atlantic, cooked) 3 ουγγιές*		0,94	0,77
Λάδι κανόλας (canola oil) 1 ουγγιά*	1,28		
Σαρδέλες, κονσέρβα σε σάλτσα ντομάτας, στραγγισμένες (Sardines, canned in tomato sauce, drained) 3 ουγγιές*		0,74	0,45
Σκουμπρί, Ατλαντικού, (μαγειρεμένο) (Mackerel, Atlantic, cooked) 3 ουγγιές*		0,59	0,43
Σολομός, ροζ, σε κονσέρβα, (στραγγισμένος) (Salmon, pink, canned, drained) 3 ουγγιές*	0,04	0,63	0,28
Σογιέλαιο (soybean oil) 1 κ.γλ.	0,92		
Πέστροφα (άγρια, μαγειρεμένη) (trout, wild, cooked) 3 ουγγιές*		0,44	0,40
Μαύρα καρύδια (black walnuts) 1 ουγγιά*	0,76		
Μαγιονέζα (Mayonnaise) 1 κ.γλ.	0,74		
Στρείδια (άγρια, μαγειρεμένα) (oysters, wild, cooked) 3 ουγγιές*	0,14	0,23	0,30
Λαβράκι (μαγειρεμένο) (sea bass, cooked) 3 ουγγιές*		0,47	0,18
Edamame** (κατεψυγμένα, παρασκευασμένα)	0,28		

3 ουγγιές*			
Φασόλια τηγανητά (κονσέρβα) (refried beans, canned) ½ κούπα	0,21	0,12	0,12
Αστακός (μαγειρεμένος) (lobster, cooked) 2 ουγγιές*	0,04	0,07	0,10
Τόνος (κονσέρβα με νερό, στραγγισμένος) (tuna, canned in water, drained) 3 ουγγιές*		0,17	0,02
Τιλάπια (μαγειρεμένη) (tilapia cooked) 3 ουγγιές*	0,04	0,11	
Χτένια (μαγειρεμένα) (scallops cooked) 3 ουγγιές		0,09	0,06
Μπακαλιάρος Ειρηνικού (μαγειρεμένος) (Cod Pacific, cooked) 3 ουγγιές)		0,10	0,04
Τόνος κιτρινόπτερος (ψημένος) (tuna yellowfin, cooked) 3 ουγγιές		0,09	0,01
Φασόλια σε κονσέρβα (kidney beans, canned) ½ κούπα	0,10		
Φασόλια ψητά σε κονσέρβα (baked beans, canned) ½ κούπα	0,07		
Κιμάς μοσχαρίσιος, 85% άπαχος (μαγειρεμένος) (ground beef, 85% lean, cooked) 3 ουγγιές	0,04		
Ψωμί, ολικής αλέσεως (bread whole wheat) 1 φέτα	0,04		
Αυγό (μαγειρεμένο) (egg, cooked) 1 αυγό		0,03	
Κοτόπουλο στήθος (ψητό) (chicken, breast, roasted) 3 ουγγιές		0,02	0,01

Γάλα με χαμηλά λιπαρά (1%) (milk low fat 1%) 1 φλιτζάνι	0,01		
--	------	--	--

*1 ουγγιά = 28,3495 γραμμάρια

**Edamame = φασόλια σόγια τα οποία δεν έχουν ωριμάσει

Πηγή: NIH, 2022

2.2 ΦΥΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Οι φυτικές πηγές ω-3 λιπαρών οξέων έχουν υψηλή περιεκτικότητα κυρίως α-λινολενικού οξέος. Οι σπόροι και τα έλαια του λιναρόσπορου, της canola και της σόγιας έχουν με 50-60% α- λινολενικό οξύ (Yadav et al., 2020).

2.2.1 Λιναρόσπορος

Οι κυριότερες φυτικές πηγές των ωμέγα-3 λιπαρών οξέων είναι:

- ο λιναρόσπορος και το έλαιο του λιναρόσπορου



Αποτελεί τον καρπό του φυτού *Linum* και η περιεκτικότητά του σε ω-3 είναι πολύ υψηλή. Είναι ένα από τα αρχαιότερα φυτά που καλλιεργήθηκε με σκοπό τη δημιουργία υφασμάτων και λινών νημάτων. Υπάρχουν δυο τύποι λιναριού που καλλιεργούνται: το λινάρι για την παραγωγή σπόρου και ελαίου αλλά και το λινάρι για την παραγωγή ινών. Ο λιναρόσπορος ξεχωρίζει για την

διατροφική του αξία , έχει ελαφρά γλυκιά γεύση και το έλαιο του (λινέλαιο) που προκύπτει μετά από την έκθλιψη του σπόρου αποτελείται περίπου από 55% α-λινολενικό οξύ, το οποίο παρουσιάζει ισχυρή αντιφλεγμονώδη δράση και σημαντικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Επιπλέον είναι τρόφιμο πλούσιο σε φυτικές ίνες , φυτοοιστρογόνα (λιγνάδες) και αποτελεί πλούσια πηγή μαγνησίου, φωσφόρου και χαλκού.

Μπορεί να καταναλωθεί με τη μορφή αλευριού, να προστεθεί σε δημητριακά πρωινού ή σε ψωμί σικάλεως.

2.2.2 Σπόροι κολοκύθας

Οι κολοκυθόσποροι θεωρούνται πολύτιμη πηγή πρωτεϊνών και ω-3 λιπαρών οξέων. Το έλαιο κολοκυθόσπορου περιλαμβάνει τα παρακάτω λιπαρά οξέα: το παλμιτικό, το στεατικό, το ελαϊκό και το λινελαϊκό. Ωστόσο η περιεκτικότητά τους διαφέρει μεταξύ των ποικιλιών κολοκύθας. Το έλαιο τους είναι μαλακό, πράσινου χρώματος και φημίζεται για τη μυρωδιά και τη γεύση του. Έχει αντιοξειδωτικές ιδιότητες λόγω της παρουσίας φαινολικών ουσιών και συμβάλει στην ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος .



Χρησιμοποιείται τόσο από τη βιομηχανία τροφίμων όσο και από τη φαρμακευτική βιομηχανία (Nawirska-Olszanska et al., 2013)

2.2.3 Σπόροι μουστάρδας

Η μουστάρδα ανήκει στην οικογένεια των Brassicaceae και είναι γνωστή για τους αποξηραμένους σπόρους της, οι οποίοι έχουν χαρακτηριστική πικάντικη γεύση. Μερικά από τα πιο γνωστά είδη μουστάρδας είναι (Das et al., 2022):

- *Brassica nigra* (L.) W. D. J. Koch (μαύρη μουστάρδα)
- *Brassica juncea* (L.) Czerniak (καστανή μουστάρδα)
- *Brassica rugosa* Hort.

- *Sinapis juncea* L. (λευκή μουστάρδα) (εικόνα 2)
- *Brassica hirta* Moench



Εικόνα 2: Λευκή μουστάρδα (*Sinapis alba* L.) α) καλλιέργεια β) φύλλα γ) άνθη δ) σπόρια
 Πηγή: Mitrovic et al, 2020

Η μουστάρδα είναι μία καλλιέργεια που απαντάται στην Ασία, τη Βόρεια Αφρική και την Ευρώπη. Για τη βέλτιστη καλλιέργεια του φυτού, προτιμώνται αμμοπηλώδη εδάφη με περιορισμένες βροχοπτώσεις (Das et al., 2022).

Οι σπόροι μουστάρδας περιέχουν ένα σημαντικό αριθμό βιοδραστικών ενώσεων, όπου ανάμεσα τους περιλαμβάνονται τα ω-3 λιπαρά οξέα. Η μέση περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα στους σπόρους ή στο έλαιο που παράγεται από τους σπόρους της μουστάρδας, είναι στο 23-47%. Έχει βρεθεί ότι το λινολενικό οξύ ανευρίσκεται σε ποσοστό 9-15% (Grygier, 2022). Από τους σπόρους *B. juncea* (καστανή μουστάρδα), σύμφωνα με έρευνες των Chauhan et al. (2012) και Sharma et al. (2018) έχει απομονωθεί λινολενικό οξύ σε ποσοστό 16,05% των συνολικών λιπαρών οξέων. Ενώ, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Wu et al. (2005) παρατηρήθηκε παραγωγή EPA σε σπόρους του ίδιου είδους που αντιστοιχούν στο 15% του συνολικού περιεχομένου λιπαρών οξέων.

2.2.4 Σπόροι Chia

Η chia (*Salvia hispanica* L.) ανήκει στο γένος *Salvia*, το οποίο περιλαμβάνει περισσότερα από 900 είδη. Πρόκειται για ένα ετήσιο βότανο που μπορεί να αποκτήσει ύψος ως 1m. Τα άνθη του είναι ερμαφρόδιτα, μικρά, σε λευκό ή μωβ χρώμα. Οι σπόροι έχουν ωοειδές σχήμα, ενώ η επιφάνεια τους είναι γυαλιστερή και το χρώμα τους συνήθως είναι μαύρο ή με κηλίδες γκρι ως άσπρο ενώ το μήκος τους κυμαίνεται από 1 ως 2 χιλιοστά (εικόνα)(Orona-Tamayo et al., 2017).

Η chia θεωρείται ότι χρησιμοποιήθηκε στην ανθρώπινη διατροφή για πρώτη φορά περίπου το 3.500 π.Χ.. Αποτέλεσε τροφή των αυτόχθονων πληθυσμών της Αμερικής, όπως είναι οι Αζτέκοι, οι Μάγια και οι Ίνκας κατά το διάστημα 1500 – 900 π.Χ. (Orona-Tamayo et al., 2017).



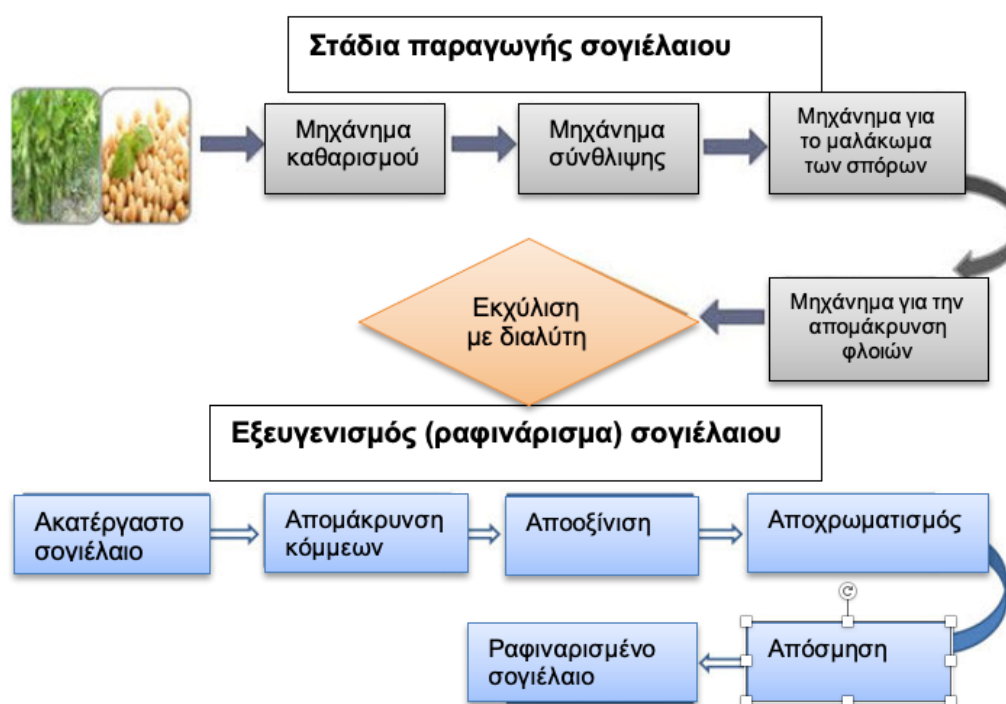
Εικόνα 3: Α και D) Φυτά chia Β-С) άνθη chia Ε) σπόροι chia από διαφορετικές ποικιλίες.

Πηγή: Orona-Tamayo et al., 2017

Η μέση περιεκτικότητα της chia σε θρεπτικά συστατικά κυμαίνεται περίπου: 15 – 24 % σε πρωτεΐνες, 26 - 41% σε υδατάνθρακες και 25 - 40% σε λίπος. Έχει προσδιοριστεί ότι από το σύνολο της λιπαρής ύλης το 55-60% είναι λινολενικό οξύ (ω -3 λιπαρό οξύ), το 18-20% λινολεϊκό οξύ (ω -6 λιπαρό οξύ), ενώ το 6% είναι μονοακόρεστα ω -9 λιπαρά οξέα και το 10% κορεσμένα λιπαρά.

2.2.5 Σόγια

Η σόγια [*Glycine max* (L.) Merr.] είναι ένας ελαιώδης καρπός από τον οποίο παράγεται το 28% της συνολικής ποσότητας φυτικών ελαίων που καταναλώνονται παγκοσμίως. Η κατανάλωση σογιέλαιου κατά την περίοδο 2013-2020 παρουσίασε αύξηση περίπου στο 22,5 % (Kulkarni et al., 2020). Στο σχήμα 2 περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία παραγωγής ακατέργαστου και ραφινρισμένου σογιέλαιου.



Σχήμα 2: Διαδικασία παραγωγής ακατέργαστου και ραφινρισμένου σογιέλαιου
 Πηγή: Βασισμένο <https://oil-mill-plant.com/cooking-oil-processing-line/soybean-oil-production-line.html>

Η μέση σύσταση των σπόρων σόγιας είναι 20% έλαια, 40% πρωτεΐνη και 12% διαλυτοί υδατάνθρακες σε ξηρό βάρος. Από τα έλαια έχει βρεθεί ότι το

11% είναι παλμιτικό οξύ, το 4% στεατικό οξύ, το 23% ελαϊκό οξύ, το 55% λινολεϊκό οξύ και το 8% α-λινολενικό οξύ. Η αυξημένη ποσότητα α-λινολενικού οξέος στο σογιέλαιο μπορεί να οδηγήσει το προϊόν σε γρήγορη οξειδωση, μειώνοντας έτσι τον χρόνο ζωής του και τη σταθερότητά του. Οδηγεί στο σχηματισμό trans λιπαρών, τα οποία έχουν δυνητικά επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό (Kulkarni et al., 2020).

2.3 ΦΥΚΗ - ΜΙΚΡΟΦΥΚΗ

Τα φύκη είναι μία πολυπληθής κατηγορία υδρόβιων οργανισμών που περιλαμβάνει τόσο προκαρυωτικούς οργανισμούς, όπως τα κυανοβακτήρια, όσο και ευκαρυωτικούς οργανισμούς, μονοκύτταρους όπως τα μικροφύκη – microalgae) και πολυκύτταρους, όπως τα μακροφύκη. Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους είναι φωτοαυτότροφοι οργανισμοί και αποτελούν από τους κυριότερους παραγωγούς ω-3 λιπαρών οξέων, αν υπάρχουν και ετερότροφα φύκη. Καθώς ένα σημαντικό μέρος των φυκών σχηματίζει το φυτοπλαγκτόν το οποίο είναι η κατώτερη βαθμίδα της θαλάσσιας τροφικής αλυσίδας, καταφέρνουν να μεταφέρουν τα ω-3 λιπαρά οξέα και στους υπόλοιπους θαλάσσιους οργανισμούς (Barclay et al., 1994).

Τα μικροφύκη είναι μονοκύτταροι οργανισμοί οι οποίοι κάτω από κατάλληλες συνθήκες αναπτύσσονται γρήγορα. Την γρήγορη αυτή ανάπτυξη τους εκμεταλλεύονται οι άνθρωποι, οι οποίοι τα τελευταία χρόνια στραφεί προς την καλλιέργεια μικροφυκών ώστε να καλύψουν τις αυξανόμενες ανάγκες τους σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, και κυρίως EPA και DHA (Perdana et al., 2021).

2.4 ΖΩΙΚΗ ΠΗΓΗ: ΛΙΠΑΡΑ ΨΑΡΙΑ

Τα ψάρια δεν συνθέτουν ω-3 λιπαρά οξέα μακράς οξέα σε σημαντικές ποσότητες, αλλά τα λαμβάνουν κατά κανόνα μέσω της διατροφής τους, κυρίως από το ζωοπλαγκτόν και από τα φύκη (Barclay et al., 1994).

Η περιεκτικότητα των ψαριών σε ω-3 λιπαρά οξέα δεν είναι σταθερή, αλλά παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος του ψαριού, την σύνθεση και την ποσότητα της τροφής που καταναλώνει το ψάρι, την αναλογία σκούρων και λευκών μυών που

περιέχονται στη σάρκα του, τη θερμοκρασία και την αλατότητα του περιβάλλοντος χώρου, την ηλικία, την περίοδο ωτοκίας. Ορισμένα ψάρια πλούσια σε ω-3 είναι αυτά που είναι γενικά πλούσια σε λιπαρά: ο σολομός, το σκουμπρί, ο τόνος, η ρέγγα και οι σαρδέλες. Αντίθετα, ψάρια με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ω-3: το λαβράκι, η τιλάπια (*tilapia*), ο μπακαλιάρος και τα οστρακοειδή (Durmus, 2019 & NIH, 2022).

Ο Durmus (2019) διερεύνησε την ολική περιεκτικότητα σε λιπαρά και τη σύνθεση των λιπαρών οξέων στη βρώσιμη σάρκα δεκατριών θαλασσινών αλιευμάτων της βορειανατολικής Μεσογείου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ολική περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα κυμάνθηκε από 0,90% (*Lepidotrigla dieuzeidei*) ως 5,94% (*Umbrina cirrosa*). Η περιεκτικότητα των κορεσμένων λιπαρών οξέων κυμάνθηκε από 27,68% έως 36,59% της ολικής λιποπεριεκτικότητας, των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων από 8,99% έως 35,84% και των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων από 10,69% έως 39,57%. Από αυτά τα σημαντικότερα ω-3 λιπαρά οξέα που ανιχνεύθηκαν ήταν το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) με περιεκτικότητα από 1,72 ως 10,73% και εικοσιδυοεξανοϊκό οξύ (DHA) με περιεκτικότητα από 4,07 ως 31,44%. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι στα εξεταζόμενα δείγματα η συνολική περιεκτικότητα σε ω-3 λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας ήταν σημαντικά υψηλότερη από τη συνολική περιεκτικότητα σε αντίστοιχα ω-6 λιπαρά οξέα. Η αναλογία ω-6 : ω-3 κυμάνθηκε από 0,02 στο *Loligo vulgaris* (ευρωπαϊκό καλαμάρι) σε 0,48 στο *Pomadasys stridens* (Durmus, 2019).

Επίσης, έχει παρατηρηθεί, ότι τα ψάρια εκτροφείου συνήθως είναι πλουσιότερα σε EPA και DHA από τα ψάρια που αλιεύονται στη θάλασσα. Θεωρείται ότι ο κυριότερος παράγοντας που συμβάλει σε αυτή τη διαφορά είναι οι ιχθυοτροφές που δίνονται στα εκτρεφόμενα ψάρια. Μάλιστα, παρατηρήθηκε σε εκτροφείου σολομού Ατλαντικού στη Σκωτία, η αντικατάσταση ορισμένων παραδοσιακών θαλάσσιων συστατικών στις ιχθυοτροφές οδήγησε σε μείωση των ω-3 λιπαρών οξέων των ψαριών κατά την χρονική περίοδο 2006-2015 (NIH, 2022)

Τα ιχθυέλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά εμπλουτισμού διαφόρων τροφίμων και αποτελούν την κύρια χρησιμοποιούμενη πηγή ω-3 λιπαρών οξέων. Ωστόσο, συχνά, προσδίδουν στα εμπλουτισμένα τρόφιμα

ορισμένα ανεπιθύμητα για τον καταναλωτή χαρακτηριστικά τα οποία αλλοιώνουν τον οργανοληπτικό τους χαρακτήρα, όπως δυσάρεστη οσμή ή δυσάρεστη γεύση (Martins et al., 2013).

Επίσης, τα ιχθυέλαια που προέρχονται από θαλασσινά με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, πρέπει να ελέγχονται για την παρουσία ρύπων, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία. Για παράδειγμα στα ιχθυηρά έχουν ανιχνευθεί σημαντικές ποσότητες από ενώσεις που μοιάζουν με διοξίνες (dioxin-like compounds – DLCs) πολυχλωριωμένες διβενζο-*p*-διοξίνες / πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια (polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins / polychlorinated dibenzofurans - PCDD/Fs) και πολυχλωριωμένα διφαινύλια παρόμοια με διοξίνες (dioxin-like polychlorinated biphenyls – dl-PCBs) (Nostbakken et al., 2021).

2.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Ω-3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ

2.3.1 Γενετική τροποποίηση

Έχει γίνει σημαντική προόδος στην παραγωγή ελαίων από διαγονιακά φυτά. Ωστόσο, δεν έχουν πάψει οι επιστημονικές και κοινωνικές συζητήσεις για την εμπορική χρήση και ασφάλεια των γενετικά τροποποιημένων τροφίμων (Martins et al., 2013).

Οι βασικές βιοσυνθετικοί οδοί παραγωγής των λιπαρών οξέων από τα διάφορα φυτά έχουν σε μεγάλο βαθμό προσδιοριστεί. Έτσι, είναι γνωστό ότι η βιοσύνθεση των λιπαρών οξέων πραγματοποιείται στο στρώμα του χλωροπλάστη των φύλλων και των προπλάστιδιών των σπόρων, ενώ η προσθήκη τριακυλογλυκεριδίων συντελείται στο ενδοπλασματικό δίκτυο. Επίσης, η σύνθεση των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στα ανώτερα φυτά γίνεται μέσω προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών ενζυμικών οδών. Η βιοσύνθεση των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων ρυθμίζεται από γονίδια (Kulkarni et al., 2020).

Τα κυριότερα ένζυμα που χρησιμοποιούνται από για την παραγωγή λιπαρού οξέος είναι οι δεσουταράσες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τον σχηματισμό των διπλών δεσμών. Για παράδειγμα, τα ένζυμα αυτά είναι υπεύθυνα για τη μετατροπή του ελαϊκού σε λινολεϊκό (ω -6) (δ -12 fatty acid

desaturase-2 enzyme- FAD₂) στο στάδιο ανάπτυξης των σπόρων και για τον μετασχηματισμό του λινολεϊκού σε α-λινολενικό οξύ (d-microsomal ω-3 fatty acid desaturases - FAD₃). Ο έλεγχος των γονιδίων αυτών μπορεί να ελέγξει την περιεκτικότητα σε α-λινολενικό στον καρπό των φυτών (Kulkarni et al., 2020).

Στον πίνακα αναφέρονται οι χρωμοσωμικές θέσεις και τα ονόματα των γονιδίων. Μία ή περισσότερες μεταλλάξεις αυτών των γονιδίων μπορούν να αλλάξουν την περιεκτικότητα των σπόρων σόγιας σε ω-3 λιπαρά οξέα και την αναλογία ω-6: ω-3 (Kulkarni et al., 2020).

Πίνακας 3: Χρωμοσωμική θέση και μοντέλο γονιδίου στο γονιδίωμα της σόγιας

Gene family	Gene/para logs	Gene model (Wm82.a1.v1)	Gene model (Wm82.a2.v1)	Chromosome (Linkage group)
FAD2	FAD2-1A	Glyma10g42470	Glyma.10g278000	10 (O)
	FAD2-1B	Glyma20g24530	Glyma.20g111000	20 (I)
	FAD2-2A	Glyma19g32930	Glyma.19g147300	19 (L)
	FAD2-2B	Glyma19g32940	Glyma.19g147400	19 (L)
	FAD2-2C	Glyma03g30070	Glyma.03g144500	3 (N)
	FAD2-2D	Glyma09g17170	Glyma.09g111900	9 (K)
	FAD2-2E	Glyma15g23200	Glyma.15g195200	15 (E)
AD3	FAD3A	Glyma14g37350	Glyma.14g194300	14 (B2)
	FAD3B	Glyma02g39230	Glyma.02g227200	2 (D1b)
	FAD3C	Glyma18g06950	Glyma.18g062000	18 (G)
	FAD3D	Glyma11g27190	Glyma.11g174100	11 (B1)

Πηγή: Kulkarni et al., 2020

2.3.2 Καλλιέργεια μικροφυκών

Μία εναλλακτική πηγή για την παραγωγή ω-3 λιπαρών οξέων είναι η καλλιέργεια μικροφυκών. Έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένα είδη μικροφυκών τα

οποία συναντώνται στο φυτοπλαγκτόν έχουν τη δυνατότητα να συσσωρεύουν λιπίδια σε υψηλές ποσότητες και με υψηλά επίπεδα ω-3 λιπαρών οξέων. Τα μικροφύκη είναι μία εναλλακτική πηγή για τα ω-3 λιπαρά οξέα που μπορεί σε ένα βαθμό να αντικαταστήσει τα ιχθυέλαια ή τους ελαιώδεις σπόρους (Martins et al., 2013).

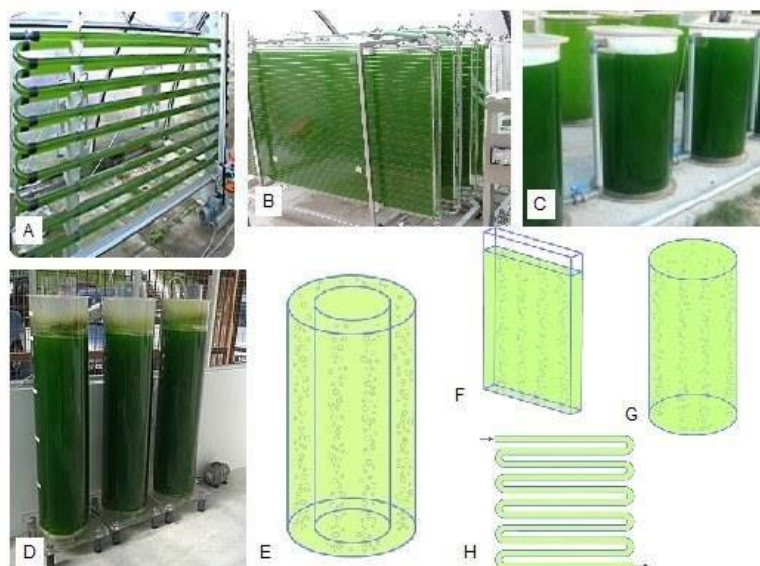
Τα μικροφύκη παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις υπόλοιπες κοινές πηγές ω-3 λιπαρών οξέων (Perdana et al., 2021 & Priyadarsini et al., 2022) :

- Αναπτύσσονται γρήγορα
- Έχουν φωτοσυνθετική ικανότητα. Άρα αξιοποιούν το CO₂ και την ηλιακή ακτινοβολία για να καλύψουν τις ενεργειακές τους απαιτήσεις.
- Έχουν τη δυναμική ικανότητα να παράγουν δεκαπλάσια ποσότητα ελαίων από τις χερσαίες καλλιέργειες ελαιωδών καρπών.
- Δεν απαιτούν μεγάλη εδαφική έκταση για την καλλιέργειά τους, καθώς αναπτύσσονται επαρκώς ακόμη και σε υφάλμυρο και θαλασσινό νερό μικρού όγκου (εικόνα 4).
- Έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται εύκολα σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος. Μπορούν να αναπτυχθούν ακόμη και σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπου επικρατεί αυξημένη αλατότητα ή σε ακραίες συνθήκες pH.
- Τα παραγόμενα έλαια και η βιομάζα των μικροφυκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας ως διατροφικά συμπληρώματα ω-3 λιπαρών οξέων, αλλά και να ενσωματωθούν σε τρόφιμα χωρίς να προσδίδουν γεύση ψαριού, η οποία συχνά θεωρείται δυσάρεστη.
- Η κατανάλωσή τους είναι ασφαλή από άτομα που παρουσιάζουν αλλεργία στα ψάρια.

Κατά τη βιομηχανική παραγωγή της καλλιέργειας των μικροφυκών, συχνά επιλέγεται το σύστημα ανοικτής λίμνης (open pond systems). Στην διαδικασία αυτή, τα μικροφύκη μπορούν να εκμεταλλευτούν ακατάλληλους για τη γεωργία υδάτινους πόρους με υφάλμυρα ή αλμυρά νερά, και μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Τα συστήματα ανοικτής λίμνης κινδυνεύουν από μολύνσεις ή από την εμφάνιση θηρευτών (Martins et al., 2013).

Η χρήση βιοαντιδραστήρων επιτρέπει την βελτιστοποίηση της καλλιέργειας των μικροφυκών και τον αυστηρότερο έλεγχο των συνθηκών ανάπτυξης και την

παραγωγή προϊόντων υψηλότερης ποιότητας. Στην εικόνα, παρουσιάζονται ορισμένοι φωτοβιοαντιδραστήρες (Satpati & Pal, 2018).



Εικόνα 4: Φωτοβιοαντιδραστήρες για την καλλιέργεια μικροφυκών A. Σωληνοειδής B. Πλακών C. Στήλης D. Δακτυλιοειδής E-F: Σχηματική αναπαράσταση φωτοβιοαντιδραστήρων
Πηγή: Satpati & Pal, 2018

Γίνονται συνεχείς προσπάθειες για τη βελτιστοποίηση της καλλιέργειας των μικροφυκών, ώστε να αυξηθεί η παραγωγή ω -λιπαρών οξέων, χωρίς όμως να προκληθεί πρόβλημα στην ασφαλή κατανάλωσή τους. Ένα στέλεχος που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, όπως να είναι μη παθογόνο, μη τοξικό, να έχει υψηλή παραγωγή βιομάζας, υψηλή απόδοση λιπιδίων και υψηλή αναλογία σε ω -3 λιπαρά οξέα (Perdana et al., 2021)

3. ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΜΕ Ω3 ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον των καταναλωτών για τρόφιμα πλούσια σε ωμέγα-3 λιπαρά. Ανταποκρινόμενη, λοιπόν, στις νέες απαιτήσεις η βιομηχανία τροφίμων αναζητεί νέους τρόπους για τον εμπλουτισμό τροφίμων με ω-3 λιπαρά οξέα (Barclay et al., 1994). Πολλές κατηγορίες τροφίμων έχουν εμπλουτισθεί ή έχουν γίνει προσπάθειες να εμπλουτισθούν με ω-3 λιπαρά από τη βιομηχανία τροφίμων, όπως δημητριακά, ποτά, τυριά, γιαούρτια, αυγά, γάλα, μαργαρίνες, αλείμματα και ντρέσινγκ (Martins et al., 2013).

3.2 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΚΡΕΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΡΕΑΤΟΣ

Το κρέας και τα προϊόντα κρέατος αποτελούν ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον στόχο για εμπλουτισμό με ω-3 λιπαρά οξέα, καθώς έχουν υψηλή κατανάλωση και υψηλή περιεκτικότητα λιπαρών ουσιών, στις οποίες όμως τα ω-3 λιπαρά είναι περιορισμένα. Ο εμπλουτισμός του κρέατος και των αντίστοιχων προϊόντων του μπορεί να γίνει είτε έμμεσα μέσω των ζωοτροφών που ενισχύονται με ω-3 λιπαρά οξέα είτε άμεσα στο τελικό προϊόν, εφαρμόζοντας μία τεχνολογική προσέγγιση, όπως με προσθήκη φυτικού ελαίου ή ιχθυέλαιου ή ψαριού στα τρόφιμα ή με ενθυλάκωση των σταγονιδίων ελαίου.

Οι Aquilani et al. (2018) διερεύνησαν τη δυνατότητα να παράγουν εμπλουτισμένα μπιφτέκια από φιλέτο του χοίρου Cinta Senese (τοπική φυλή Τοσκάνης – αναγνωρισμένο ως προϊόν Προστατευόμενης Ονομασίας Προέλευσης). Χρησιμοποίησαν δύο διαφορετικές μεθόδους εμπλουτισμού τις οποίες έλεγξαν ως προς την ευκολία και την αποτελεσματικότητα: προσθήκη χύμα ιχθυέλαιου και μικροενθυλακωμένο ιχθυέλαιο και ως προς την μέθοδο αποθήκευσης: ψύξη ή κατάψυξη. Παρασκεύασαν τρεις τύπους μπιφτέκια: i) ένα μάρτυρα (3,7 kg μείγμα) ii) μπιφτέκια όπου πρόσθεσαν 173g μικροκάψουλες σε 3,7 kg μείγμα και iii) μπιφτέκια με 6g ιχθυέλαιο σε 3,7 kg μείγμα. Η ποσότητα με τις μικροκάψουλες και το ιχθυέλαιο υπολογίστηκε ότι είχαν την ίδια ποσότητα

EPA και DHA. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και οι δύο μορφές στις οποίες προστέθηκε το ιχθυέλαιο ήταν αποτελεσματικές στην ενίσχυση των μπιφτεκιών σε EPA και DHA. Η αποθήκευση των μπιφτεκιών είναι προτιμότερο για τη διατήρηση του οργανοληπτικού τους χαρακτήρα, να γίνεται για τα προϊόντα που ενισχύθηκαν με τις μικροκάψουλες σε ψύξη και τα προϊόντα που ενισχύθηκαν με ιχθυέλαιο χύμα σε κατάψυξη (Aquilani et al., 2018).

Οι Barros et al. (2019) αξιολόγησαν την ικανότητα του ελαίου Echinium και του αλευριού από σπόρους chia για τον εμπλουτισμό λουκάνικων Bologna. Αντικατέστησαν το χοιρινό λίπος των λουκάνικων με ποσότητα ελαίου Echinium το οποίο είναι πλούσιο σε στεαριδονικό οξύ, καθώς και μέρος του βόειου κρέατος με αλεύρι chia, το οποίο είναι πλούσιο σε α-λινολενικό οξύ. Έτσι, δημιουργήθηκαν τέσσερα δείγματα : i) μάρτυρας (17 g λίπος χοιρινής ράχης /100 g τροφίμου) ii) 13 g έλαιο Echinium/100 g iii) 13 g έλαιο Echinium/100 g + 10 g αλεύρι chia/100 g iv) 13 g Echinium oil/100 g + 20 g αλεύρι chia/100 g. Τα δείγματα εκχυλίστηκαν και με αέρια χρωματογραφία- φασματοσκοπία μάζας προσδιορίστηκε το προφίλ των λιπαρών οξέων. Παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα που είχαν εμπλουτιστεί με την προσθήκη ελαίου Echinium ή/και αλεύρι chia, παρουσίασαν αυξημένη περιεκτικότητα σε ω-3 λιπαρά οξέα, αλλά δε σημειώθηκε σημαντική διαφορά όταν η ποσότητα αλευριού chia διπλασιάστηκε (από 10% σε 20%) (Barros et al., 2019).

3.3 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΚΑΙ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα που περιέχονται στο γάλα και στα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι συνήθως αρκετά χαμηλά, συνήθως λιγότερα από 0,5% του συνόλου των λιπαρών οξέων. Το ω-3 λιπαρό οξύ που βρίσκεται στη μεγαλύτερη αναλογία είναι το α-λινολενικό οξύ. Το α-λινολενικό οξύ με μία σειρά ενζυμικών μετασχηματισμών μετατρέπεται σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα στον ανθρώπινο οργανισμό. Ωστόσο η παρουσία των κατάλληλων ενζύμων στον άνθρωπο είναι περιορισμένη (Bernal-Santos et al., 2010).

Μία από τις σκέψεις που επικράτησε για τον εμπλουτισμό του γάλακτος και των γαλακτοκομικών προϊόντων σε άλλα ω-3 λιπαρά οξέα, εκτός του α-λινολενικού, ήταν να τροποποιήσουν γενετικά ελαιούχους σπόρους όπως η σόγια. Η γενετική τροποποίηση οδήγησε στην παραγωγή αυξημένης

ποσότητας στεαριδινικού οξέος στους σπόρους και άρα στο σογιέλαιο , το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ζωοτροφών γαλακτοπαραγωγικά ζώα (Bernal-Santos et al., 2010).

Οι Bernal-Santos et al. (2010) αξιολόγησαν τη δυνατότητα να αυξηθεί η περιεκτικότητα γάλακτος σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα αυξάνοντας την πρόσληψη στεαριδονικού οξέος (SDA, 18:4, ω-3 λιπαρό οξύ) από τον πεπτικό σωλήνα των γαλακτοπαραγωγικών ζώων. Βασίστηκαν στη λογική ότι το στεαριδινικό οξύ θα μεταφερόταν στο γάλα και, από εκεί, μέσω της κατανάλωσης στον άνθρωπο, ο οποίος μπορεί να το μετατρέψει σε εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA). Έτσι, για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν τρεις αγελάδες Holstein οι οποίες έφεραν τεχνητό συρίγγιο - σωληνίσκο στην κοιλιά που επέτρεπε την έγχυση των ελαίων απευθείας στο στομάχι των ζώων. Σε μία από τις αγελάδες δεν έγινε έγχυση ελαίων και χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας, στις άλλες δύο πραγματοποιήθηκε έγχυση 57 g σογιέλαιου ενισχυμένου με στεαριδινικό οξύ (27,1%) από γενετικά τροποποιημένη σόγια, α-λινολενικό οξύ (10,4%) και γ-λινολενικό οξύ (7,2%) κάθε έξι ώρες για 7 ημέρες. Αν και από τα αποτελέσματα δε φάνηκε διαφορά στη λιποπεριεκτικότητα των δειγμάτων, το ποσοστό των ω-3 λιπαρών οξέων στο γάλα αυξήθηκαν στο 3,9%, το οποίο αντιστοιχεί σε πενταπλάσια ποσότητα από αυτή που ανιχνεύθηκε στον μάρτυρα (Bernal-Santos et al., 2020).

3.4 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΑΥΓΩΝ

Τα αυγά αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της διατροφής του μεγαλύτερου μέρους του ανθρώπινου πληθυσμού. Ωστόσο, αν και έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ω-6 λιπαρά οξέα, είναι φτωχά σε ω-3 λιπαρά. Έχουν αναζητηθεί, λοιπόν, τρόποι εμπλουτισμού των αυγών σε α-λινολενικό οξύ ή στη βέλτιστη περίπτωση σε EPA και DHA (Fraeye et al., 2012). Ένας τρόπος εμπλουτισμού των αυγών με ω-3 λιπαρά οξέα είναι η συμπλήρωση των ζωοτροφών με συστατικά πλούσια σε ω -3 λιπαρά οξέα ή προσθήκη στη ζωοτροφή ιχθυέλαιου, το οποίο περιέχει EPA και DHA. Πιο πρόσφατα, έχει εφαρμοστεί ο εμπλουτισμός των ζωοτροφών με μικροφύκη, τα οποία αποτελούν, επίσης, πηγή EPA και DHA (Fraeye et al., 2012). Η προσθήκη λιναρόσπορου στην τροφή των ορνίθων έχει οδηγήσει σε παραγωγή αυγών με

αυξημένη συγκέντρωση α-λινολενικού, ενώ η προσθήκη προϊόντων με αυξημένα επίπεδα EPA ή / και DHA, αύξησε την περιεκτικότητα του DHA (Yadav et al. 2020).

Τα αυγά που παράγονται από ωοπαραγωγές όρνιθες, οι οποίες σιτίζονται με ζωοτροφές πλούσιες σε ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα δύναται να έχουν μία συνολική περιεκτικότητα α-λινολενικού (ALA), εικοσαπεντανοϊκού (EPA) και εικοσιδυαεξανοϊκού οξέος (DHA) ίση με 250mg / 50 g αυγού. Οι Ehr et al., (2017) μελέτησαν τη συγκέντρωση τη συγκέντρωση των λιπαρών οξέων στον κρόκο των αυγών από όρνιθες που κατανάλωναν τροφή για 8 βδομάδες εμπλουτισμένη με έλαιο λιναρόσπορου ή με αλεσμένο λιναρόσπορο. Μελετήθηκε ένα δείγμα 132 πτηνών τα οποία χωρίστηκαν τυχαία σε 11 ομάδες, όπου κάθε ομάδα αποτελούνταν από 4 υποομάδες (4 επαναλήψεις) των τριών ατόμων. Η μία ομάδα λειτούργησε σαν ομάδα ελέγχου, ενώ 5 ομάδες ακολούθησαν διατροφή πλούσια σε έλαιο λιναρόσπορου περιεκτικότητας 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 ή 5,0% και 5 ομάδες κατανάλωσαν τροφές εμπλουτισμένες με αλεσμένο λιναρόσπορο αντίστοιχων περιεκτικότητων με το έλαιο λιναρόσπορου. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των ALA, EPA και DHA στον κρόκο των παραγόμενων αυγών ανάλογα με την αύξηση της περιεκτικότητας των συμπληρωμάτων. Ωστόσο, η αύξηση ήταν διπλάσια στην ομάδα που χρησιμοποιήθηκε έλαιο λιναρόσπορου, δείχνοντας ότι το έλαιο είναι προτιμότερο από τον αλεσμένο σπόρο για τον εμπλουτισμό των αυγών (Ehr et al., 2017).

3.5 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΛΟΙΠΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Οι ζύμες και οι μπάρες δημητριακών έχουν εμπλουτισθεί με λιναρόσπορο, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έχει γίνει προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί και ιχθυέλαιο (Yadav et al. 2020).

Επίσης, εμπλουτισμένα ζυμαρικά παρασκευάστηκαν με προσθήκη εμπλουτισμένων αυγών (Yadav et al. 2020).

Ο λιναρόσπορος προστέθηκε και σε δημητριακά πρωϊνού σε ποσότητες 2,0 – 5,343 g ALA / 55 g δημητριακά και 1,5 g - 2,2 g ALA / μπάρα (Yadav et al. 2020).

Συνήθως ο εμπλουτισμός των παιδικών και βρεφικών τροφών πραγματοποιείται με προσθήκη ιχθυέλαιου. Για την αποφυγή της οξείδωσης του ιχθυέλαιου, επιλέχθηκε η μικροενθυλάκωση, μία διαδικασία όπου το έλαιο μετατρέπεται σε σκόνη, καθώς μικροσταγονίδια περιβάλλονται από ξηρό θύλακα από πρωτεΐνες ή υδατάνθρακες (Yadav et al., 2020).

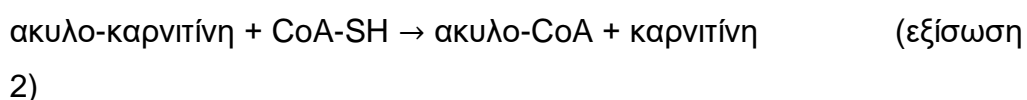
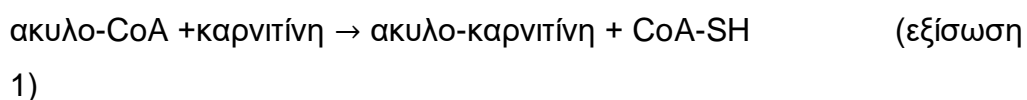
4: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ ω -3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ

4.1 ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΛΙΠΙΔΙΩΝ

4.1.1 Αποικοδόμηση και σύνθεση ελεύθερων λιπαρών οξέων

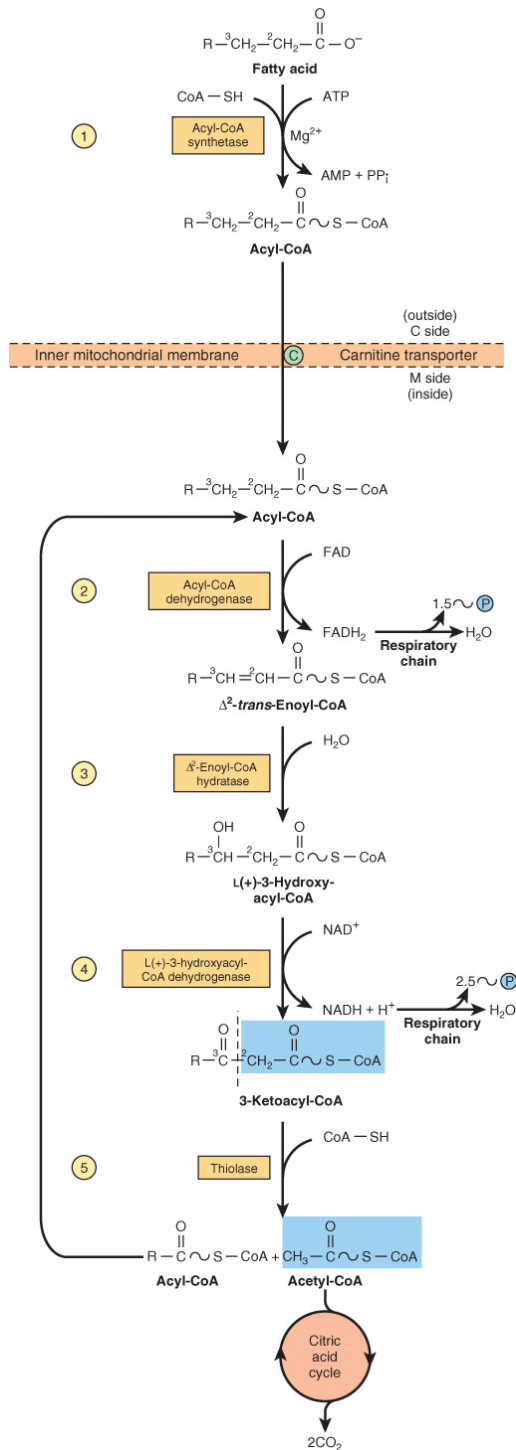
Κατά την αποικοδόμηση, το λιπαρό οξύ διασπάται με οξείδωση σε ένα σύνολο μορίων ακετυλο-συνενζύμου Α (ακετυλο-CoA), τα οποία μόρια μπορούν να εισέλθουν στον κύκλο του Krebs. Τα στάδια αποικοδόμησης των ελεύθερων λιπαρών οξέων είναι (Sharpe & McKenzie, 2018):

1. Τα λιπαρά οξέα ενεργοποιούνται, δηλαδή μετατρέπονται σε ένα ενεργό ενδιάμεσο ώστε να μπορέσει να ξεκινήσει η διαδικασία καταβολισμού τους. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στο κυτταροδιάλυμα και είναι το μόνο στάδιο που απαιτεί την προσφορά ενέργειας, η οποία πραγματοποιείται με τη μετατροπή ενός μορίου ATP σε ADP. Παρουσία του ενζύμου συνθετάση ακυλο-CoA (θειοκινάση) και ενός μορίου ακετυλο-CoA, το λιπαρό οξύ μετατρέπεται σε ακυλο-CoA (1).
2. Στη συνέχεια, το ενεργό μόριο του λιπαρού οξέος με τη βοήθεια της καρνιτίνης [(CH₃)N⁺-CH₂-CH(OH)-CH₂-COO⁻] μετατρέπεται σε ακυλο-καρνιτίνη (εξίσωση 1) και εισέρχεται διαμέσου των μιτοχονδριακών μεμβρανών από το κυτταροδιάλυμα στη μήτρα του μιτοχονδρίου όπου μετατρέπεται πάλι σε ενεργό λιπαρό οξύ (ακυλο-CoA) (εξίσωση 2).



3. Το ενεργό λιπαρό οξύ στο μιτοχόνδριο ακολουθεί μία επαναλαμβανόμενη-κυκλική διαδικασία διάσπασης που ονομάζεται β - οξείδωση. Κάθε φορά που ολοκληρώνεται ο κύκλος των αντιδράσεων της β – οξείδωσης το μόριο του λιπαρού οξέος έχει «χάσει» δύο άνθρακες από την αλυσίδα του, τα οποία βρίσκονται με τη μορφή ακετυλο-CoA.

- Στάδιο 1: Δημιουργία διπλού δεσμού. Κατά την β-οξείδωση αρχικά απομακρύνονται δύο άτομα υδρογόνου από τους άνθρακες C-2 και C-3 του ακυλο-CoA και δημιουργείται διπλός δεσμός μεταξύ των ανθράκων, παρουσία του ενζύμου αφυδρογονάση και 1 μόριου FAD. Παράγεται ένα μόριο Δ^2 -trans-ενοϋλ-CoA (Δ^2 -trans-enoyl-CoA) και 1 μόριο FADH₂.
 - Στάδιο 2: Ενυδάτωση. Ακολουθεί προσθήκη νερού στον διπλό δεσμό που σχηματίστηκε και παράγεται ένα μόριο 3-υδροξυ-ακυλο-CoA (3-hydroxyacyl-CoA), παρουσία του ενζύμου Δ^2 -ενοϋλο-CoA υδρατάση (Δ^2 -enoyl-CoA hydratase)
 - Στάδιο 3: Αφυδρογόνωση. Το 3-υδροξυ-ακυλο-CoA παθαίνει αφυδρογόνωση στον 3-άνθρακα παρουσία του ενζύμου L(+)-3-υδροξυακυλ-CoA αφυδρογονάση (L(+)-3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase) και του συνενζύμου NAD⁺. Σχηματίζεται ένα μόριο 3-κετο-ακυλο-CoA (3-ketoacyl-CoA) και ένα μόριο NADH+H.
 - Στάδιο 4: Διάσπαση. Το 3-κετο-ακυλο-CoA διασπάται στη θέση C-2 – C-3 παρουσία του ενζύμου θειολάση παράγοντας ένα μόριο ακετυλο-CoA και ένα νέο ακυλο-CoA, το οποίο είναι κατά δύο άνθρακες μικρότερος από το αρχικό μόριο ακυλο-CoA.
 - Το νέο ακυλο-CoA επαναλαμβάνει τη διαδικασία διάσπασης από το στάδιο 1.
4. Τα παραγόμενα μόρια ακετυλο-CoA μπορούν να εισέλθουν στον κύκλο του Krebs (ή κύκλος κιτρικού οξέος) όπου ολοκληρώνουν τη διαδικασία αποικοδόμησης.



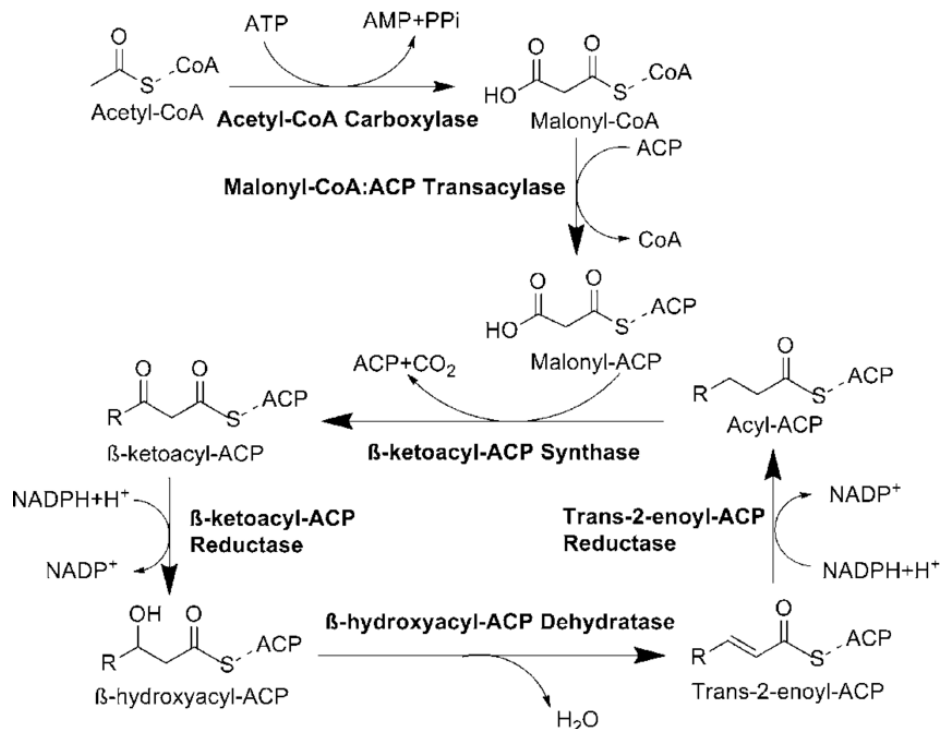
Εικόνα 5: Περιγραφή αποικοδόμησης λιπαρού οξέος. Διαδικασία εισόδου λιπαρού οξέος στο μιτοχόνδριο με τη βοήθεια της καρνιτίνης και περιγραφή της διαδικασίας β – οξειδωσης

Πηγή: <https://basicmedicalkey.com/oxidation-of-fatty-acids-ketogenesis/>

Η σύνθεση των λιπαρών οξέων είναι μία βιοχημική διαδικασία που πραγματοποιείται στο κυτταρόπλασμα. Πρόκειται μία διαδικασία με αντίθετο αποτέλεσμα από την αποικοδόμηση των λιπαρών οξέων, καθώς μόρια ακετυλο-CoA συνεργάζονται ώστε να συνθέσουν λιπαρά οξέα. Ωστόσο, η

σύνθεση και η αποικοδόμηση των λιπαρών οξέων δεν μπορούν να θεωρηθούν αντίστροφες διαδικασίες, καθώς πραγματοποιούνται σε διαφορετικά κυτταρικά διαμερίσματα (η αποικοδόμηση στα μιτοχόνδρια και η σύνθεση στο κυτταρόπλασμα) και ελέγχονται ξεχωριστά, ανάλογα τις απαιτήσεις του οργανισμού. Τα βήματα της διαδικασίας βιοσύνθεσης των λιπαρών οξέων είναι (Berg et al., 2009; Remize et al., 2021):

Η διαδικασία της βιοσύνθεσης των λιπαρών οξέων ξεκινάει από την αντίδραση ενός ακετυλο-CoA και διπτανθρακικών ενώσεων ώστε να σχηματιστεί μηλονυλο-CoA, ένα μόριο τεσσάρων ατόμων άνθρακα. Για την παραγωγή της απαιτούμενης υδρογονανθρακικής αλυσίδας, η καρβονυλική ομάδα πρέπει να αναχθεί. Το μόριο που δημιουργήθηκε, ανάγεται, αφυδατώνεται και ανάγεται πάλι, ώστε η καρβονυλική ομάδα (C=O) να μεταβεί στη θέση C-1 με τον σχηματισμό βουτυρυλο-CoA. Μία άλλη ενεργοποιημένη μηλονική ομάδα συμπυκνώνεται με τη βουτυρυλική μονάδα και η διεργασία επαναλαμβάνεται μέχρι να συντεθεί ένα λιπαρό οξύ με τον επιθυμητό αριθμό ατόμων άνθρακα (εικόνα 2) (Berg et al., 2009).



Εικόνα 6: Απεικόνιση της βιοσύνθεσης των λιπαρών οξέων
Πηγή: Lian & Zhao, 2015

4.1.2 Μεταβολισμός λιπιδίων

Τα μόρια λιπιδίων που υποστηρίζουν τον κυτταρικό μεταβολισμό προέρχονται κυρίως από τρεις πηγές:

- λίπος που προσλαμβάνεται
- λιποπρωτεΐνες που παράγονται από το ήπαρ
- μη εστεροποιημένα λιπαρά οξέα που απελευθερώνονται από τον λευκό λιπώδη ιστό

Τα τριγλυκερίδια που λαμβάνονται με τη διατροφή και οι εστέρες χοληστερόλης διασπώνται στον εντερικό αυλό με τη βοήθεια ενζύμων και μορίων, όπως είναι οι εστεράσες χοληστερόλης, παγκρεατικές λιπάσες και τα χολικά άλατα. Τα παραγόμενα μόρια στη συνέχεια απορροφούνται από τα επιθηλιακά κύτταρα του λεπτού εντέρου, επανα-εστεροποιούνται σε τριγλυκερίδια και με τη βοήθεια λιποδιαλυτών βιταμινών και την απολιποπρωτεΐνη B-48 ως κύριο πρωτεϊνικό συστατικό, μετατρέπονται σε χυλομικρά. Τα χυλομικρά, είναι σωματίδια μέσου όρου διαμέτρου 180 – 500 nm τα οποία επιτρέπουν στα αδιάλυτα στο νερό λίπη και τη χοληστερόλη να μετακινηθούν στο λεμφικό και στο κυκλοφορικό σύστημα. Η εμπλοκή του χυλομικρού από τη λιποπρωτεϊνική λιπάση (LPL) στο τριχοειδές ενδοθήλιο έχει ως αποτέλεσμα την υδρόλυση των τριγλυκεριδίων και την παροχή λιπαρών οξέων στους ιστούς στόχους. Τα υπολείμματα χυλομικρών που περιέχουν χοληστερόλη και απολιποπρωτεΐνες καθαρίζονται στη συνέχεια στο ήπαρ (Alekos et al., 2020).

Σε υγιή άτομα, το ήπαρ παρουσιάζει μια σχεδόν σταθερή ροή λιπιδίων. Τα υπολείμματα χυλομικρών και τα ελεύθερα λιπαρά οξέα προσλαμβάνονται από το συκώτι, ενώ ένα μέρος της γλυκόζης στην κυκλοφορία που προσλαμβάνεται από το όργανο χρησιμοποιείται για τη *de novo* λιπογένεση. Τα μόρια λιπιδίων από καθεμία από αυτές τις πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ATP στο ήπαρ ή μπορούν να συσκευαστούν μαζί με την απολιποπρωτεΐνη (Apo) B-100, ApoC και ApoE σε λιποπρωτεΐνες πολύ χαμηλής πυκνότητας (Very Low-density lipoproteins-VLDL) στο ενδοπλασματικό δίκτυο. Οι λιποπρωτεΐνες πολύ χαμηλής πυκνότητας (VLDL) απελευθερώνονται στην κυκλοφορία και μεταβολίζονται

από τους ιστούς στόχους με τρόπο παρόμοιο με αυτόν των χυλομικρών, με την λιποπρωτεϊνική λιπάση (LPL) να υδρολύει τα τριγλυκερίδια σε λιπαρά οξέα που μπορούν να εισαχθούν από τα κύτταρα. Σε αυτή την περίπτωση, το υπόλοιπο σωματίδιο λιποπρωτεϊνης μεταβολίζεται περαιτέρω σε λιποπρωτεΐνη χαμηλής πυκνότητας (Low-density lipoprotein - LDL), η οποία μπορεί να προσληφθεί από πολλούς ιστούς μέσω του υποδοχέα LDL (Alekos et al., 2020).

Ο λευκός λιπώδης ιστός είναι η κύρια αποθήκη για τις υπερβολικές θερμίδες. Τα μη εστεροποιημένα λιπαρά οξέα προσλαμβάνονται από τα λιποκύτταρα, εστεροποιούνται και αποθηκεύονται ως τριγλυκερίδια, ενώ η γλυκόζη μεταβολίζεται σε ακετυλο-CoA και στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα για την *de novo* σύνθεση λιπαρών οξέων. Όταν η ενεργειακή δαπάνη υπερβαίνει τη θερμιδική πρόσληψη ή ως απόκριση σε έναν αριθμό λιπολυτικών ορμονών, τα αποθηκευμένα τριγλυκερίδια μπορούν να υδρολυθούν σε γλυκερίνη και ελεύθερα λιπαρά οξέα που απελευθερώνονται στην κυκλοφορία για να χρησιμοποιηθούν για β-οξειδωση σε άλλα όργανα, συμπεριλαμβανομένου του σκελετού. Η λιπόλυση προκαλείται από τη σταδιακή δράση τριών λιπασών. Το ένζυμο περιορισμού του ρυθμού, λιπάση λιπώδους τριγλυκεριδίου (adipose triglyceride lipase - ATGL), καταλύει την πρώτη αντίδραση υδρολύοντας τις τριακυλογλυκερίνες στη θέση sn-2 σε διακυλογλυκερόλη και ένα λιπαρό οξύ. Στη συνέχεια, τα διακυλογλυκερίδια υδρολύονται κατά προτίμηση από ορμονοευαίσθητη λιπάση (hormone sensitive lipase - HSL) στη θέση sn-3 για να δώσουν ένα δεύτερο ελεύθερο λιπαρό οξύ. Η μονοακρυγλυκερολική λιπάση (monoacylglycerol lipase - MGL) καταλύει την τελική αντίδραση που δημιουργεί γλυκερίνη και ένα τρίτο λιπαρό οξύ. Τα περισσότερα ελεύθερα λιπαρά οξέα που απελευθερώνονται στην κυκλοφορία δεσμεύονται από την αλβουμίνη (Alekos et al., 2020).

Ο ενδοκυτταρικός μεταβολισμός των λιπαρών οξέων που προσλαμβάνονται από τα κύτταρα εξαρτάται από το μήκος της αλυσίδας (Alekos et al., 2020):

- Τα λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (1-6 άνθρακες) και μέσης αλυσίδας (7-12 άνθρακες) παράγονται από τη βακτηριακή ζύμωση διαιτητικών ινών ή την κατάποση γαλακτοκομικών προϊόντων. Αυτά τα λιπίδια μεταβολίζονται κυρίως από εντεροκύτταρα ή από ηπατοκύτταρα.

- Τα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (13-21 άνθρακες) μεταφέρονται στα κύτταρα με ειδικούς μεταφορείς αλλά έχουν περιορισμένη διαλυτότητα στο κυτταρόπλασμα. Για να αυξηθεί η διαλυτότητα, να παγιδευτούν τα λιπαρά οξέα στο κύτταρο και να παραχθεί ένας θειοεστέρας υψηλής ενέργειας, ο οποίος είναι απαραίτητος για τα επόμενα στάδια του καταβολισμού, οι λιγάσες λιπαρών μακράς αλυσίδας ακυλο-CoA (long-chain fatty acyl-CoA ligases) καταλύουν το σχηματισμό λιπαρού ακυλο-CoA σε μια αντίδραση που απαιτεί την υδρόλυση 1 ATP σε AMP. Το Acyl-CoA πρέπει στη συνέχεια να μεταφερθεί στα μιτοχόνδρια μέσω ενός συστήματος ανταλλαγής καρνιτίνης για να υποστεί β-οξειδωση. Η παλμιτοϋλτρανσφεράση 1 της καρνιτίνης (carnitine palmitoyltransferase 1- CPT1), το πρώτο και περιοριστικό βήμα σε αυτή τη διαδικασία, βρίσκεται στην εξωτερική μιτοχονδριακή μεμβράνη και καταλύει την αντικατάσταση του CoA με καρνιτίνη. Οι ακυλοκαρνιτίνες αναγνωρίζονται και μεταφέρονται από την τρανσλοκάση καρνιτίνης-ακυλοκαρνιτίνης (carnitine-acylcarnitine translocase) στη μήτρα των μιτοχονδρίων όπου η παλμιτοϋλτρανσφεράση 2 της καρνιτίνης (carnitine palmitoyltransferase 2- CPT2) αναστρέφει την αντίδραση της CPT1 και αναγεννά το Acyl-CoA. Η διαδικασία β-οξειδωσης τεσσάρων αντιδράσεων αφαιρεί 2 άνθρακες από το καρβοξυ άκρο του ακυλ-CoA για να δημιουργήσει ακετυλο-CoA, 1 NADH και 1 FADH₂ που μεταφέρονται στον κύκλο του Krebs και στην αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων για την παραγωγή ATP. Διαδοχικοί γύροι β-οξειδωσης είναι απαραίτητοι για τον πλήρη μεταβολισμό των λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας (Alekos et al., 2020).
- Τα λιπαρά οξέα πολύ μακράς αλυσίδας (περισσότεροι από 22 άνθρακες) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ATP, αλλά πρέπει να βραχυνθούν με την αλυσίδα στα υπεροξεισώματα (peroxisomes) προτού εισέλθουν στα μιτοχόνδρια. Τα πολυλειτουργικά υπεροξεισώματα περικλείουν περισσότερα από 50 ένζυμα, με περισσότερα από τα μισά να εμπλέκονται στον μεταβολισμό του λίπους, σε μία μόνο λιπιδική διπλοστιβάδα. Όπως και στον μεταβολισμό των λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας, τα λιπαρά οξέα πολύ μακράς αλυσίδας μετατρέπονται πρώτα σε ακυλο-CoA στο κυτταρόπλασμα. Το λιπαρό ακυλο-CoA στη συνέχεια μεταφέρεται στο υπεροξείσωμα από μέλη της

υποοικογένειας D του μεταφορέα κασέτας σύνδεσης ATP. Η υπεροξεισωμική οξείδωση περιλαμβάνει επίσης τέσσερις αντιδράσεις, αλλά χρησιμοποιεί ένα ξεχωριστό σύνολο ενζύμων για να συντομεύσει την αλυσίδα των λιπαρών οξέων και δεν είναι τόσο αποτελεσματική στη δημιουργία ATP όσο δεν υπάρχει αναπνευστική αλυσίδα. Πράγματι, ενώ το FADH₂ που παράγεται από έναν γύρο μιτοχονδριακής β-οξείδωσης αποδίδει 2 ATP, τα ηλεκτρόνια από το FADH₂ που παράγονται από υπεροξεισωμική οξείδωση δωρίζονται στο οξυγόνο για να σχηματίσουν H₂O₂. Για το λόγο αυτό, τα λιπαρά οξέα με βραχεία αλυσίδα μπορούν να μεταφερθούν στα μιτοχόνδρια για περαιτέρω μεταβολισμό μέσω β-οξείδωσης (Alekos et al., 2020).

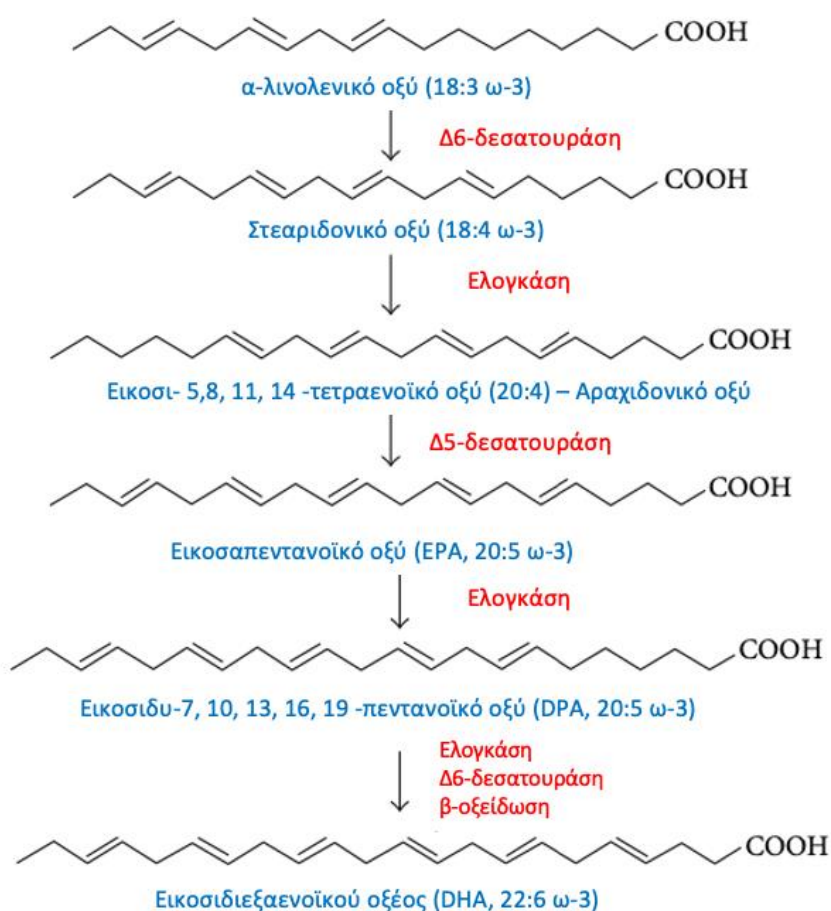
4.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΛΗΨΗ Ω-3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Ο άνθρωπος δεν μπορεί να συνθέσει ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και πρέπει είτε να προσλαμβάνονται κατευθείαν μέσω της διατροφής είτε να μετατρέπονται από α-λινολενικό οξύ (ALA) (Fu et al., 2021).

Τα ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (EPA και DHA) προέρχονται κυρίως από θαλάσσιους οργανισμούς ή ψάρια βαθέων υδάτων, όπως ο σολομός, οι σαρδέλες και το σκουμπρί αλλά και τα φύκη. Μπορούν να ληφθούν και ως συμπληρώματα διατροφής (Fu et al., 2021). Λόγω της υπεραλίευσης και της μείωσης των αποθεμάτων πολλών ειδών ψαριών, ένας εναλλακτικός τρόπος για να καλυφθούν οι αυξανόμενες απαιτήσεις σε ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα είναι η υδατοκαλλιέργεια, αλλά και η καλλιέργεια μικροφυκών. Τα μικροφύκη είναι στο κατώτερο μέρος της θαλάσσιας τροφικής αλυσίδας αλλά αποτελούν μία πολύ πλούσια πηγή σε λιπίδια, ειδικά πολυακόρεστα λιπαρά οξέα ω-3 και ω-6 (Remize et al., 2021).

Το α-λινολενικό οξύ (ALA, 18: 3, ω-3) είναι φυτικής προέλευσης ω-3 λιπαρό οξύ και βρίσκεται σε υψηλή συγκέντρωση στο έλαιο λιναρόσπορου, καρυδέλαιο και έλαια perilla (Wang et al., 2019). Μόνο ένα μικρό ποσοστό του α-λινολενικού οξέος μπορεί να μετατραπεί σε εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) (8-20%) και εικοσαδιεξανοϊκό οξύ (DHA) (0,5-9%). Σε μία διατροφή με υψηλή περιεκτικότητα σε λινολεϊκό οξύ, το ποσοστό μετατροπής φαίνεται να είναι

ακόμη χαμηλότερο (μικρότερο από 5%), καθώς το λινολεϊκό οξύ ανταγωνίζεται το α-λινολενικό οξύ για τα ένζυμα που συμμετέχουν στη διαδικασία. Πρόκειται για μία ενζυμική μετατροπή που πραγματοποιείται παρουσία των ενζύμων δέλτα - 6 - δεσατουράση (Δ6-desaturase), δέλτα - 5 - δεσατουράση (Δ5-desaturase) και ελονγκάση (elongase). Ουσιαστικά πραγματοποιείται προοδευτικά επιμήκυνση και αποκορεσμός. Στο σχήμα 1, παρουσιάζεται συνοπτικά η συνθετική οδός των ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (Wang et al., 2019; Fu et al., 2021).

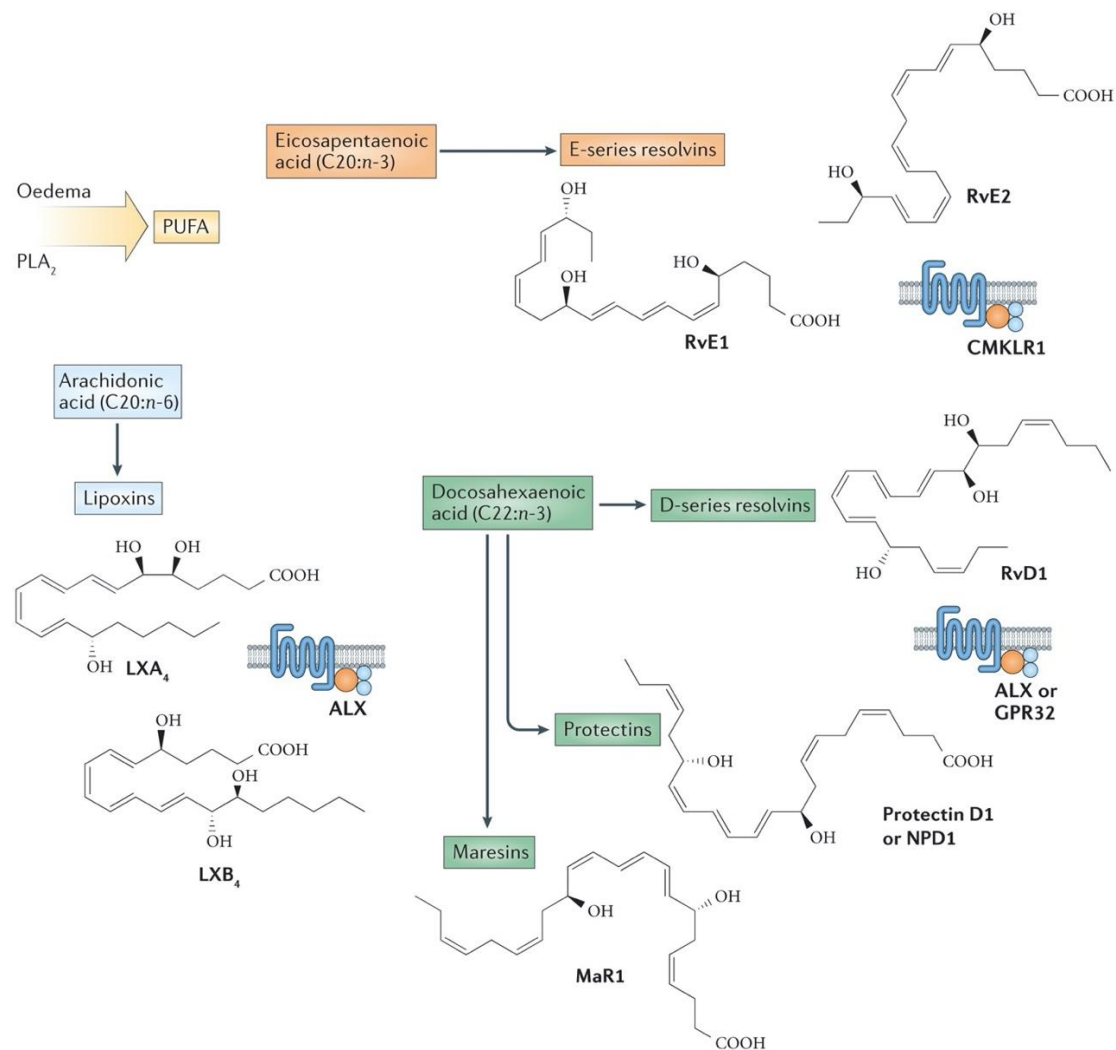


Εικόνα 7: Συνθετική οδός πολυακόρεστων λιπαρών ω-3 οξέων
Πηγή: Fu et al., 2021

4.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΩΝ ΜΕΣΟΛΑΒΗΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΑΓΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (SPMs)

Οι εξειδικευμένοι μεσολαβητές που προάγουν την αποκατάσταση (Specialized Pro-resolving Mediators – SPMs) προέρχονται ενζυμικά από τα ω-3 και ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (σχήμα 2). Ανήκουν σε μία μεγάλη

ομάδα μορίων του οργανισμού που περιορίζουν τις φλεγμονές και αποκαθιστούν τη λειτουργία του οργανισμού μετά από μόλυνση. Ο ρόλος τους στον οργανισμό είναι να περιορίζουν τις οξείες αποκρίσεις και να ρυθμίζουν τον καθαρισμό των παθογόνων ιστών, την απομάκρυνση των νεκρών κυττάρων και των υπολειμμάτων από τον χώρο της μολυσματικής φλεγμονής. Οι εξειδικευμένοι μεσολαβητές SPMs αποτελούνται από λιποξίνες (lipoxins – LXs), ρεσολβίνες της σειράς E και D (E-series and D-series resolvins -RvE, RvDprt), προτεκτίνες (protectines - PD) και μαρεσίνες (maresins - MaR). Μεμονωμένα μέλη της οικογένειας SPM χρησιμοποιούνται ως μεσολαβητές σε συγγενείς υποδοχείς για να επάγουν ειδικές αποκρίσεις ενός κυττάρου (Basil & Levy, 2015).



Nature Reviews | Immunology

Εικόνα 8: Απεικόνιση σχηματισμού SPMs από αραχιδονικό οξύ, εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA).

Πηγή: Basil & Levy, 2015

Έχουν ρυθμιστικό ρόλο στην απόκριση του ξενιστή κατά την είσοδο παθογόνων μικροοργανισμών, όπως βακτηρίων, ιών, μυκήτων, αλλά και παρασίτων. Επίσης, προάγουν την αποκατάσταση του οργανισμού από μη μολυσματική φλεγμονή και των τραυματισμό των ιστών. Πιθανά ελαττώματα στις βιοχημικές οδούς όπου συμμετέχουν οι εξειδικευμένοι μεσολαβητές SPMs συμβάλλει στην ανάπτυξη χρόνιων φλεγμονωδών νόσων (Basil & Levy, 2015).

Οι εξειδικευμένοι μεσολαβητές SPMs πιθανόν αποτελούν έναν από τους κυριότερους παράγοντες της θετικής επίδρασης των λιπαρών οξέων στον ανθρώπινο οργανισμό.

5. ΠΙΘΑΝΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ Ω-3 ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα πολυακόρεστα ω-3 λιπαρά οξέα είναι θρεπτικά συστατικά απαραίτητα για την υγεία του ανθρώπου, τα οποία όμως δεν μπορεί να τα παράγει ο ανθρώπινος οργανισμός, αλλά λαμβάνονται κυρίως μέσω της διατροφής. Η κατανάλωση ω-3 λιπαρών οξέων έχει ορισμένα σημαντικά οφέλη ενάντια σε διάφορες ασθένειες, όπως καρδιαγγειακά και νευροεκφυλιστικά νοσήματα, καρκίνο και ασθένειες των οστών (Rozner et al., 2020).

Τα οφέλη τα οποία ασκούν τα ω-3 λιπαρά οξέα στην ανθρώπινη υγεία οφείλονται κυρίως στη μετατροπή τους σε βιοδραστικούς μεταβολίτες, όπως είναι οι εξειδικευμένοι μεσολαβητές προ-ρεσολβινών (specialized pro-resolvins mediators – SPM), στις οποίες, όπως αναφέρθηκε, ανήκουν οι ενώσεις των ρεσολβινών (resolvins), μαρεσινών (maresins) και προτεκτινών (protectins) (Rozner et al., 2020).

5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Η επίδραση των ωμέγα 3 λιπαρών οξέων στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ακόμη υπό εξέταση. Ενώ αρκετές δοκιμές επιβεβαίωσαν ευεργετική επίδραση στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου, ορισμένες μελέτες των τελευταίων ετών είναι διαφοροποιημένες. Για παράδειγμα, σύμφωνα με μελέτη των Madignou et al. (2016) παρατηρήθηκαν αντικρουόμενα αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση του εικοσαπεντανοϊκού οξέος (EPA), του εικοσιδιεξαενοϊκού οξέος (DHA) και ενός συνδυασμού και των δύο στο έμφραγμα του μυοκαρδίου. Για ένα διάστημα 2 εβδομάδων, η ερευνητική ομάδα εφάρμοσε διαφορετικές δίαιτες με ω-3 λιπαρά οξέα σε αρουραίους Sprague-Dawley. Τράφηκαν με EPA και το DHA μεμονωμένα (5 g ανά ημέρα) και με συνδυασμό αυτών των δύο ω-3 λιπαρών οξέων (συνολικά 5 g ανά ημέρα). Υποβλήθηκαν σε ισχαιμία 40 λεπτά ακολουθούμενη επαναιμάτωση και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διατροφή μεμονωμένα με ένα ω-3 λιπαρό οξύ μείωσε σημαντικά το μέγεθος του εμφράγματος, γεγονός που δεν

παρατηρήθηκε στην ομάδα με τράφηκε με τον συνδυασμός τους (Madignou et al., 2016).

Παρόμοιο αποτέλεσμα για την αναποτελεσματικότητα του συνδυασμού εικοσαπεντανοϊκού οξέος (EPA) και του εικοσιδιεξαενοϊκού οξέος (DHA) παρατηρήθηκε και σε κλινική δοκιμή που πραγματοποιήθηκε σε 1014 ηλικιωμένους ασθενείς (70 – 82 ετών) με πρόσφατο οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου. Χορηγήθηκαν 1,8 g ω-3 λιπαρών οξέων (930 mg εικοσαπεντανοϊκό οξύ και 660 mg εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ) σε καθημερινή βάση για δύο χρόνια. Δεν ανιχνεύθηκε μείωση των κλινικών συμβάντων που ακολούθησαν μεταξύ αυτών που ακολούθησαν θεραπεία με ω-3 λιπαρά οξέα και την ομάδα ελέγχου, όπου έλαβε εικονικό φάρμακο. Μία από τις εξηγήσεις που δόθηκε, είναι ότι μπορεί να οφείλεται στον ανταγωνισμό των ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων για τους ίδιους υποδοχείς (Kalstad et al., 2021).

Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τα υπάρχοντα επιστημονικά δεδομένα, φαίνεται ότι υπάρχει θετικός αντίκτυπος των διατροφικών ω-3 λιπαρών οξέων στην αρτηριακή πίεση και την αγγειακή λειτουργία, την καρδιακή ανεπάρκεια και τη λήψη συμπληρωμάτων με περισσότερα από 1 g ανά ημέρα ω-3 λιπαρών οξέων φαίνεται ότι συμβάλει αποτελεσματικά στη μείωση του κινδύνου θανατηφόρων καρδιακών συμβάντων. Έτσι, για παράδειγμα, οι Colussi et al. (2017) πραγματοποίησαν βιβλιογραφική ανασκόπηση και αξιολόγησαν την επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στα αιμοφόρα αγγεία, την αρτηριακή πίεση και την καρδιαγγειακή πρόληψη. Παρατήρησαν ότι σύμφωνα με τις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, τα λιπαρά οξέα επηρεάζουν διάφορα στάδια της αθηροσκληρωτικής διαδικασίας και ασκούν αντιοξειδωτικό, αντιφλεγμονώδες και αντιθρομβωτικό ρόλο. Καθυστερούν την ανάπτυξη αθηρωματικής πλάκας και την σταθεροποιούν, εμποδίζοντας έτσι την ανάπτυξη θρόμβων. Ωστόσο, οι μετα-αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί δεν επιβεβαιώνουν την μείωση του κινδύνου εμφάνισης στεφανιαίας νόσου και εγκεφαλοαγγειακής νόσου. Απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση (Colussi et al., 2017).

Σε βιβλιογραφική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση που πραγματοποίησαν σε κλινικές δοκιμές, οι Casula et al (2020), διερεύνησαν την επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στην μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών επεισοδίων. Εστίασαν στη δόση, τον τύπο των ω-3 λιπαρών οξέων και το ποσοστό αρχικού

κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακών επεισοδίων. Κατέληξαν ότι η χορήγηση άνω του 1 g σε καθημερινή βάση ω-3 λιπαρών οξέων δύναται να είναι αποτελεσματική στη μείωση του κινδύνου καρδιακού θανάτου (-35 %), μείζονος κινδύνου καρδιαγγειακών συμβάντων (-24 %) και έμφραγμα του μυοκαρδίου (-33 %) (Casula et al., 2020).

Οι Sakamoto et al. (2019) σε ανασκόπηση που πραγματοποίησαν παρατήρησαν ότι τα ω-3 λιπαρά προστατεύουν την υγεία της καρδιάς, καθώς (Sakamoto et al., 2019):

- Ασκούν αντιφλεγμονωδή επίδραση
- Παρεμβαίνουν στον μεταβολισμό της καρδιακής ενέργειας
- Τροποποιούν τους διαύλους των καρδιακών ιόντων
- Βελτιώνουν την αγγειακή ενδοθηλιακή απόκριση
- Ρυθμίζουν τη δραστηριότητα του αυτόνομου νευρικού συστήματος

Ο σακχαρώδης διαβήτης τύπου II επηρεάζει περισσότερα από 340 εκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Είναι μία χρόνια νόσος που θεωρείται ότι σχετίζεται άμεσα με τη διατροφή. Συστήνεται σε ασθενείς με διαβήτη τύπου II να υιοθετήσουν συγκεκριμένες διατροφικές συνήθειες, ώστε να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικότητα τη συγκεκριμένη νόσο. Μία από τις συστάσεις που δίνονται από την επιστημονική κοινότητα είναι η κατανάλωση λιπαρών ψαριών, τουλάχιστον δύο φορές τη βδομάδα. Οι Balfego et al (2016) πραγματοποίησαν πιλοτική έρευνα με σκοπό να αξιολογήσουν την επίδραση που η αύξηση της κατανάλωσης σαρδέλας έχει στον μεταβολισμό, στην αδιπονεκτίνη¹ (adiponectin), σε ορισμένους δείκτες φλεγμονής, στον δείκτη ωμέγα-3 (omega-3 index – O3I)² και στη μικροχλωρίδα του εντέρου σε ασθενείς με σακχαρώδη διαβήτη τύπου II. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα 35 ασθενών, οι οποίοι δεν λάμβαναν φαρμακευτική αγωγή. Οι ασθενείς διαχωρίστηκαν σε δύο ομάδες: στην ομάδα ελέγχου όπου ακολούθησε μία τυπική διατροφή για τον διαβήτη και στην ομάδα που ακολούθησε τυπική διατροφή την οποία όμως είχε εμπλουτίσει με 100g σαρδέλα την ημέρα για

¹ Αδιπονεκτίνη: Ορμόνη πρωτεϊνικής φύσεως η οποία παράγεται στο λιπώδη ιστό. Βοηθάει στη ρύθμιση των επιπέδων γλυκόζης και συμμετέχει στο μεταβολισμό των λιπαρών οξέων

² Δείκτης ωμέγα-3: η περιεκτικότητα σε εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA) στις μεμβράνες των ερυθροκυττάρων, εκφρασμένη ως ποσοστό των συνολικών ταυτοποιημένων λιπαρών οξέων. Δείχνει τον βαθμό πρόσληψης των ω-3 λιπαρών οξέων και είναι ένας νέος παράγοντας καρδιαγγειακού κινδύνου

πέντε από τις επτά ημέρες της βδομάδας. Η διατροφή αυτή ακολουθήθηκε για διάστημα 6 μηνών. Στο τέλος της μελέτης πραγματοποιήθηκε ιατρικός έλεγχος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η γλυκοζυμμένη αιμοσφαιρίνη νηστείας δεν παρουσίασε διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων ασθενών. Η ινσουλίνη πλάσματος μειώθηκε και στις δύο ομάδες, αν και περισσότερο στην ομάδα σαρδέλας (35,3% έναντι 22,6% της ομάδας ελέγχου), ενώ η αδιπνονεκτίνη αυξήθηκε κατά 40,7% μόνο στην ομάδα σαρδέλας. Ο δείκτης ωμέγα 3 σημείωσε, επίσης, αύξηση 2,6% έναντι 0,6% της ομάδας ελέγχου. Στη σύνθεση της εντερικής μικροχλωρίδας, παρατηρήθηκε μείωση του φύλου *Firmicutes* και αύξηση της συγκέντρωσης του *E.coli*, αλλά η αυξημένη κατανάλωση ω-3 λιπαρών οξέων οδήγησε σε μείωση της αναλογίας *Firmicutes/Bacteroidetes* και σε αύξηση του *Bacteroides – Prevotella*, συγκριτικά με την αρχή. Η επίδραση της εμπλουτισμένης με σαρδέλα διατροφής στον σακχαρώδη διαβήτη. Ωστόσο, διακρίνεται η καρδιοπροστατευτική της ικανότητα (αύξηση δείκτη ωμέγα) (Balfego et al., 2016).

5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ

Μία ένδειξη της επίδρασης των ω-3 λιπαρών οξέων στην πρόληψη του καρκίνου αποτελεί η παρατήρηση της επίδρασης της αλλαγής του τρόπου ζωής, των συνθηκών διαβίωσης και της διατροφής ιθαγενών πληθυσμών (Inuit - Ινουίτ) της Αλάσκας, της Γροιλανδίας και του βορειοδυτικού Καναδά σε πιο δυτική διατροφή. Οι πληθυσμοί αυτοί παραδοσιακά ακολουθούσαν μία διατροφή υψηλή σε ω-3 λιπαρά οξέα λόγω μεγάλης κατανάλωσης ψαριών και παρουσίαζαν πολύ χαμηλά ποσοστά εμφάνισης καρκίνων. Έχει παρατηρηθεί ότι πληθυσμοί από τις περιοχές αυτές, που άλλαξαν διατροφικές συνήθειες και υιοθέτησαν δυτική διατροφή, είτε λόγω μετανάστευσης είτε λόγω επιλογής, παρουσίασαν σημαντική αύξηση της συχνότητας εμφάνισης διαφόρων μορφών καρκίνου, όπως καρκίνος του εντέρου και του μαστού. Η αύξηση αυτή αποδόθηκε σε μεγάλο βαθμό στην αύξηση της κατανάλωσης ζωικών λιπαρών ουσιών και επεξεργασμένους υδατανθράκων και μικρότερη κατανάλωση ω-3 λιπαρών οξέων (Friborg & Melbye, 2008).

Η εμφάνιση και η εξέλιξη των καρκινικών όγκων στο μαστό έχει κατά κύριο λόγο αποδοθεί σε ορμονικούς παράγοντες, αλλά και στην παραγωγή κυτοκινών³, καθώς και σε φλεγμονή. Τα ω-3 λιπαρά οξέα συμμετέχουν στην αντιμετώπιση της φλεγμονής και είναι βασικά συστατικά των φωσφολιπιδικών μεμβρανών με αποτέλεσμα να μπορούν να επηρεάσουν τη σηματοδότηση των κυττάρων που μπορούν να οδηγήσουν σε καρκινογενέσεις (Fabian et al., 2015).

Οι Molfino et al. (2017) αξιολόγησαν την ικανότητα του εικοσιδιεξαενοϊκού οξέος (DHA) να ενσωματώνεται στις κυτταρικές μεμβράνες ασθενών με καρκίνου μαστού. Το DHA συμμετέχει στη ρύθμιση της φλεγμονής σε αυτούς τους ασθενείς και ενισχύει την ευαισθησία των καρκινικών κυττάρων, βοηθώντας έτσι στην απόπτωσή τους κατά τις χημειοθεραπείες και τις ακτινοθεραπείες. Στη συγκεκριμένη μελέτη συμμετείχαν 33 ασθενείς με καρκίνο του μαστού (11 ασθενείς με μετάλλαξη γονιδίου BRCA 1/2, 12 ασθενείς με οικείο θετικό ιστορικό για καρκίνο μαστού, 10 ασθενείς με σποραδικό καρκίνο του μαστού) και 10 υγιή άτομα, ως μάρτυρες. Χορηγήθηκαν 2g / ημέρα εικοσιδιεξαενοϊκού οξέος (DHA) για 10 ημέρες, με τη μορφή ελαίου φυκών. Στην αρχή και στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, σε δείγματα αίματος προσδιορίστηκε το εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA), ο δείκτης ωμέγα-3, και στον όγκο του πλάσματος εκτιμήθηκαν τα επίπεδα παράγοντα νέκρωσης-άλφα και ιντερλευκίνης-6. Με τη βοήθεια της αέριας χρωματογραφίας εκτιμήθηκε, επίσης, αρχικά και τελικά, το προφίλ των λιπαρών οξέων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ενσωμάτωση του εικοσιδιεξαενοϊκού οξέος (DHA) στις μεμβράνες των κυττάρων σχετίζεται θετικά με τη μετάλλαξη BRCA 1/2, καθώς και τη συνήθη χαμηλή κατανάλωση θαλασσινών, ανεξάρτητα αν κανείς αναφέρεται σε υγιή ή ασθενή άτομα (Molfino et al., 2017).

Οι Campbell et al (2021) αξιολόγησαν την επίδραση της βιταμίνης D και των ω-3 λιπαρών οξέων στο επίπεδο του ειδικού αντιγόνου για τον προστάτη (PSA) σε ασθενείς με διαγνωσμένο καρκίνο του προστάτη. Στην έρευνα συμμετείχαν 68 ασθενείς, οι οποίοι τηρούσαν ένα συγκεκριμένο διατροφικό

³ Κυτοκίνες: TNF-α, TNF-β, καχεκτίνη, ιντερλευκίνη-1, ιντερλευκίνη – 6 και ιντερφερόνη-α. Είναι μεσολαβητές πολλών μεταβολικών αλλαγών. Εκκρίνονται από τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος προκειμένου να καταστρέψουν καρκινικούς όγκους. Δημιουργούν προβλήματα ανορεξίας και διαταραχή στον μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών και των λιπών

σχήμα χωρίς προϊόντα ζωικής προέλευσης, έλαβαν συμπλήρωμα διατροφής με 720 mg (3/ημέρα), κουρκουμίνη 2000mg / ημέρα και ρύθμισαν με τη βοήθεια διατροφολόγου τα επίπεδα της βιταμίνης D στα 60 ng/ml ορό αίματος. Μετά από 9 μήνες πραγματοποιήθηκε βιοψία σε 54 ασθενείς και κανένας από τους ασθενείς δεν έδειξε εξέλιξη της νόσου. Ωστόσο για την επαλήθευση της θετικής επίδρασης του συνδυασμού βιταμίνης D και ω-3 λιπαρών οξέων στην εξέλιξη του καρκίνου του προστάτη, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες (Campbell et al., 2021)

5.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΝΤΕΡΙΚΗ ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΦΛΕΓΜΟΝΩΔΗΣ ΔΡΑΣΗ

Η σύγχρονη μέθοδος αλληλούχισης DNA επόμενης γενιάς (Next Generation sequencing – NGS) επέτρεψε την πλήρη γονιδιωματική ανάλυση μεγάλης ποσότητας γενετικού υλικού. Με βάση τη συγκεκριμένη τεχνολογία, εκτιμήθηκε ότι στο έντερο του ανθρώπου περιέχονται 150 φορές περισσότερα γονίδια από αυτά που περιέχονται συνολικά στο ανθρώπινο γονιδίωμα. Υπολογίστηκε ότι αυτή η ποσότητα γονιδίων αντιστοιχεί σε γονιδίωμα 10^{13} – 10^{14} μικροοργανισμών, οι οποίοι ανήκουν σε εκατοντάδες διαφορετικά είδη (400-500 έχουν υπολογιστεί). Ωστόσο, άλλες μελέτες μιλάνε για χιλιάδες διαφορετικά είδη μικροοργανισμών. Ανεξάρτητα όμως από τον αριθμό των ειδών, η εντερική μικροχλωρίδα αποτελείται από 60% περίπου βακτήρια που ανήκουν στις οικογένειες *Bacteroidetes* και *Firmicutes* και, μεταξύ αυτών, ξεχωρίζουν τα *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Bacteroides*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Streptococcus* και *Ruminococcus* τα οποία είναι τα πιο κοινά γένη που έχουν εντοπισθεί στους ενήλικες (Costantini et al., 2017).

Η σύνθεση της μικροχλωρίδας του εντέρου επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους αναφέρονται στον ξενιστή, όπως ηλικία, φύλο, δείκτης μάζας σώματος, τρόπος ζωής, λειτουργία ανοσοποιητικού συστήματος, διατροφή, χρήση αντιβιοτικών και φαρμάκων, κατανάλωση προβιοτικών και ορισμένοι στον μικροοργανισμό, όπως ικανότητα προσαρμογής στο περιβάλλον του εντέρου, ανταγωνιστικότητα με άλλα είδη μικροοργανισμών, ανθεκτικότητα (Costantini et al., 2017).

Υπάρχει μία αιτιολογική σχέση μεταξύ του μικροβιώματος του εντέρου και ορισμένων παθολογικών καταστάσεων, η οποία όμως δεν είναι πλήρως αποσαφηνισμένη. Δεν είναι, δηλαδή, ξεκάθαρο αν υπάρχει μία ορισμένη μικροβιακή σύνθεση που καθιστά τον ανθρώπινο οργανισμό επιρρεπή σε λοιμώξεις, η οποία καλείται δυσβίωση, ή αν η έναρξη μίας λοίμωξης οδηγεί σε αλλοίωση της εντερικής μικροχλωρίδας (Fu et al., 2021).

Η διατροφή, ωστόσο, ασκεί σαφή επίδραση στην μικροβιακή κοινότητα του εντέρου. Μέσω των τροφών ο άνθρωπος λαμβάνει τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την κάλυψη των ενεργειακών και θρεπτικών αναγκών του, αλλά παράλληλα παρέχει και στα εντερικά βακτήρια τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη τους. Στο έντερο, πολλά αποικοδομητικά ένζυμα διασπούν μακρομόρια σε μικρότερες ενώσεις, τις οποίες στη συνέχεια απορροφούν τα εντερικά κύτταρα (Costantini et al., 2017).

Η επίδραση των λιπών που λαμβάνονται με τις τροφές στην εντερική μικροχλωρίδα δεν είναι τόσο καλά καθορισμένη και μελετημένη όσο είναι άλλες θρεπτικές ουσίες, όπως για παράδειγμα, οι υδατάνθρακες. Αν και η δράση των ω-3 λιπαρών οξέων δεν έχει, λοιπόν, πλήρως αποσαφηνιστεί, θεωρείται ότι επηρεάζει τη μικροχλωρίδα του εντέρου με τους εξής τρόπους (Fu et al., 2021):

(1) συμμετέχοντας στη ρύθμιση της σύνθεσης και της αφθονίας των μικροβίων του εντέρου.

(2) αλλάζοντας τα επίπεδα των προφλεγμονωδών μεσολαβητών, όπως οι ενδοτοξίνες (λιποπολυσακχαρίτες) και η ιντερλευκίνη 17 (IL17).

(3) ρυθμίζοντας τα επίπεδα λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας ή αλάτων λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας.

Σε ορισμένες μελέτες που έγιναν σε ενήλικες που κατανάλωσαν για ορισμένο χρονικό διάστημα ω-3 λιπαρά οξέα έδωσαν κάποια επαναλαμβανόμενα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε μείωση του πληθυσμού των *Faecalibacterium*, με ταυτόχρονη αύξηση των *Bacteroidetes* και βακτηρίων που παράγουν βουτυρικό οξύ και που ανήκουν στην οικογένεια Lachnospiraceae. Η εικόνα αυτή των βακτηριακών πληθυσμών μπορεί να ασκήσει θετική δράση ασθενείς με φλεγμονώδη νόσο του εντέρου και να αυξήσει την παραγωγή αντιφλεγμονωδών ενώσεων, όπως τα λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας. Επιπλέον, μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε ζωικά μοντέλα έδειξαν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ της μικροχλωρίδας του εντέρου,

των ωμέγα-3 λιπαρών οξέων και της ανοσίας συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού τοιχώματος και αλληλεπιδρά με τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος του ξενιστή. Τέλος, μελέτες σε ανθρώπους και ζώα έχουν επισημάνει την ικανότητα των ωμέγα-3 PUFA να επηρεάζουν τον άξονα εντέρου-εγκεφάλου, δρώντας μέσω της σύνθεσης της μικροχλωρίδας του εντέρου (Costantini et al., 2017).

Οι Watson et al. (2018), μελέτησαν την επίδραση συμπληρωμάτων ω-3 λιπαρών οξέων στο μικροβίωμα των κοπράνων 22 υγείων μεσηλικών εθελοντών. Για 8 βδομάδες τους χορήγησαν συμπληρώματα με 4g εικοσαπεντανοϊκού οξέος και εικοσιδυαεξανοϊκού οξέος, αρχικά σε κάψουλες μαλακής γέλης και, μετά από 12 βδομάδες διάλειμμα, σε μορφή ροφήματος smartfish. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα και τα δύο σκευάσματα προκάλεσαν παρόμοιες αλλαγές της περιεκτικότητας των λιπαρών οξέων που περιέχονται στα ερυθρά αιμοσφαίρια, αν και το συμπλήρωμα σε μορφή ροφήματος συσχετίστηκε με πιο μεγάλη και παρατεταμένη μείωση του αραχιδινικού οξέος. Δεν εντοπίστηκε κάποια καθορισμένη σχέση μεταξύ του εντερικού μικροβιώματος και της συστηματικής έκθεσης σε ω-3 λιπαρά, αν και παρατηρήθηκε παροδική αύξηση ορισμένων βακτηρίων που παράγουν λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας, όπως *Bifidobacterium*, *Roseburia* και *Lactobacillus*, στο εντερικό μικροβίωμα (Watson et al., 2018).

Κατά την χημειοθεραπεία ασθενών με καρκίνο μία από τις συχνότερες παρενέργειες είναι η γαστρεντερική τοξικότητα. Η ιρινοτεκάνη (irinotecan) ή καμπτοθεσίνη -11 (CPT-11) είναι ένα αντινεοπλασματικό φάρμακο που χρησιμοποιείται στη χημειοθεραπεία πρώτης γραμμής για την αντιμετώπιση του καρκίνου του εντέρου. Μπορεί όμως να προκαλέσει διάρροια στο 87% των ασθενών, με το 30-40% να είναι σοβαρή διάρροια, που πιθανότατα οφείλεται στην πρόκληση ιστολογικών ανωμαλιών στο επιθήλιο του εντέρου και ανάπτυξη παθογόνων βακτηρίων στο έντερο. Οι Kaliannan et al. (2022) μελέτησαν την επίδραση πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (ω-3 και ω-6) στη τοξικότητα και στο μικροβίωμα του εντέρου ποντικών που είχαν εκτεθεί σε καμπτοθεσίνη-11 (CPT-11). Αρσενικά ποντίκια χωρίστηκαν σε δύο ομάδες εκ των οποίων η μία λάμβανε ως λιπαρή ύλη 10% αραβοσιτέλαιο και η άλλη 5% αραβοσιτέλαιο και 5% ιχθυέλαιο (διατροφή ενισχυμένη σε ω-3 λιπαρά οξέα) για 2 μήνες. Στη συνέχεια, για 9 ημέρες χορηγήθηκαν στα ποντίκια ενδοφλέβια 50

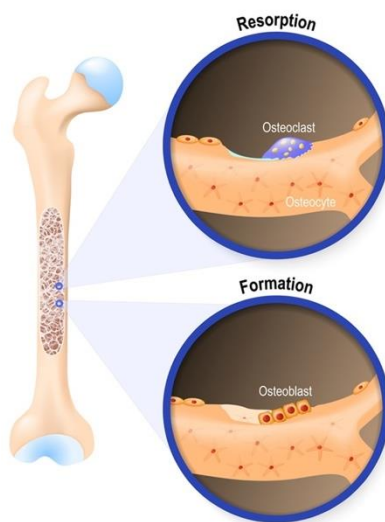
mg/kg καμπποθεσίνη-11 (CPT-11) ανά ημέρα. Παρακολούθησε το σωματικό βάρος των ποντικών ημερησίως και παρατηρήθηκε ότι μετά την 8^η ημέρα η ομάδα που τρεφόταν μόνο με αραβοσιτέλαιο παρουσίασε αυξημένη ποσότητα διάρροιας και αιματηρής διάρροιας και μετά από την 9^η ημέρα υπέφεραν από σοβαρό λήθαργο και έλλειψη κινητικότητας. Οι παρενέργειες στην ομάδα όπου λάμβανε και ιχθυέλαιο, μετά την 8^η ημέρα βελτιώθηκαν. Την 11^η ημέρα μελετήθηκε ο ιστός και η μορφολογία του παχέως εντέρου, καθώς και η μικροχλωρίδα του εντέρου. Παρατηρήθηκε ότι τα ω-3 λιπαρά οξέα παρουσίασαν αντιφλεγμονώδη δράση και μείωσαν την τοξικότητα και τις αλλαγές στο μικροβίωμα του εντέρου λόγω της καμπποθεσίνης -11 (Kaliannan et al., 2022).

5.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟΝ ΣΚΕΛΕΤΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Ο σκελετός απαρτίζεται από τα οστά. Σχηματίζεται από τον χονδρικό οστό και τον οστίτη ιστό. Το οστό αν και μακροσκοπικά διατηρεί μία αδράνεια, είναι ένα δυναμικό και μεταβολικά ενεργό όργανο το οποίο συνεχώς αναδιαμορφώνεται, ενώ, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, έχει την ικανότητα να επηρεάζει το μεταβολισμό ολόκληρου του σώματος. Πρόκειται για μία λειτουργία που έχει διεγείρει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, η οποία προσπαθεί να προσδιορίσει τη συσχέτιση που παρουσιάζουν η υγεία των οστών και η μεταβολική δυσλειτουργία (Alekos et al., 2020).

Στα θηλαστικά ζώα, άρα και στον άνθρωπο, υπάρχουν δύο κύριες ομάδες κυττάρων που εξειδικεύονται στην ανάπτυξη του σκελετού και στη διατήρηση της δομής του: οι οστεοκλάστες (osteoklasts) και οι οστεοβλάστες (osteoblasts). Οι οστεοκλάστες είναι μεγάλα πολυπύρρηνα κύτταρα που προέρχονται με διαφοροποίηση από τα μονοκύτταρα/ μακροφάγα των αιμοποιητικών κυττάρων. Είναι υπεύθυνα για την οστική απορρόφηση, δηλαδή για την διαδικασία αναγνώρισης των τμημάτων του οστού που είναι παλαιά και φθαρμένα και την καταστροφή τους. Οι οστεοκλάστες αρχικά προσκολλώνται στην επιφάνεια του οστού και διαλύουν το ανόργανο κλάσμα του οστίτη ιστού, το οποίο είναι υπεύθυνο για το πόσο σκληρό και ανθεκτικό είναι το οστό και

αποτελείται κυρίως από άλατα ασβεστίου, όπως φωσφορικό ασβέστιο ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Στην συνέχεια, εκκρίνουν πρωτεολυτικά ένζυμα που αποικοδομούν το συστατικό της οργανικής μήτρας. Ορισμένοι αυξητικοί παράγοντες παγιδεύονται στη μήτρα των οστών, απελευθερώνονται και ενεργοποιούν τους οστεοβλάστες (Alekos et al., 2020).



Εικόνα 9: Οστεοκλάστες και Οστεοβλάστες

Πηγή: <https://www.news-medical.net/health/What-are-Osteoblasts.aspx>

Οι οστεοβλάστες είναι εξειδικευμένα κύτταρα τα οποία είναι υπεύθυνα για την παραγωγή του νέου οστού και προέρχονται από τη διαφοροποίηση μεσεγχυματικών βλαστοκυττάρων. Όταν ενεργοποιηθούν από τους οστεοκλάστες, συγκεντρώνονται στις περιοχές όπου το οστό έχει καταστραφεί και παράγουν μία πρόδρομη μορφή του ώριμου οστού που καλείται οστεοειδές. Μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, εμπλουτίζεται με ανόργανα συστατικά, όπως ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), φώσφορος (P) και αυξάνει σημαντικά η σκληρότητα και η ανθεκτικότητα του νέου οστού. Επίσης, συμμετέχουν στην παραγωγή κολλαγόνου. Αφού ολοκληρωθεί η οστική παραγωγή, ακολουθεί απόπτωση της μεγαλύτερης ποσότητας οστεοβλαστών, ενώ μικρότερες ποσότητες θα ενθυλακωθούν μέσα στο νέο οστό και είτε θα μετατραπούν σε οστεοκύτταρα είτε θα τοποθετηθούν στην επιφάνεια των οστών. Όσο ο άνθρωπος μεγαλώνει ή λόγω ορισμένων παθολογιών, η ισορροπία μεταξύ οστεοκλαστικής και οστεοβλαστικής δραστηριότητας διαταράσσεται: η οστική

απορρόφηση γίνεται πιο έντονη από την οστική παραγωγή με αποτέλεσμα την απώλεια οστού, δηλαδή τη μείωση της οστικής μάζας και την αύξηση του κινδύνου καταγμάτων (Alekos et al., 2020).

Η ανάπτυξη και η διαφοροποίηση των οστεοκλαστών και των οστεοβλαστών ρυθμίζεται και απαιτεί τη συνεργασία πολυάριθμων ενδογενών ουσιών, όπως είναι ορισμένοι αυξητικοί παράγοντες, ορμόνες, κυτοκίνες και νευροδιαβιβαστές. Η μέγιστη οστική μάζα καθορίζεται γενετικά, αλλά για να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή έκφραση απαιτείται σωστή διατροφή και άσκηση (Rozner et al., 2020).

Η αναγέννηση ενός οστού είναι ενεργοβόρα διαδικασία, καθώς απαιτείται η σύνθεση μεγάλων εξωκυτταρικών πρωτεϊνικών μορίων και η συμπύκνωση ανόργανων ιόντων, ώστε να δημιουργηθούν κρύσταλλοι υδροξυαπατίτη. Για να εξασφαλίσουν την απαραίτητη ενέργεια οι οστεοβλάστες χρησιμοποιούν τα μόρια ATP που παράγονται από τον καταβολισμό διάφορων μορίων, όπως γλυκόζη, γλουταμίνη ή λιπίδια. Ο καταβολισμός των λιπιδίων αποδίδει σημαντικά περισσότερα μόρια ATP από την γλυκόζη ή τη γλουταμίνη (Alekos et al., 2020).

Έχει πραγματοποιηθεί ένας σημαντικός αριθμός ερευνών, σε ζώα αλλά και σε ανθρώπους, που αξιολογούν την δράση των ω-3 λιπαρών οξέων στα οστά και στην οστική αναγέννηση.

Οι Rajaei et al (2016) μελέτησαν την επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στην εξέλιξη και την ύφεση της ρευματοειδούς αρθρίτιδας. Πραγματοποιήθηκε διπλά τυφλή, τυχαιοποιημένη και ελεγχόμενη με εικονικό φάρμακο μελέτη σε ένα δείγμα 60 ασθενών, εκ των οποίων 49 ήταν γυναίκες και 11 άνδρες, για διάστημα 12 βδομάδων. Αφού αξιολογήθηκε η αρχική κατάσταση των ασθενών, μία ομάδα ασθενών ξεκίνησε να λαμβάνει δύο συμπληρώματα ω-3 [1,8 και 2,1 γραμμάρια εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA), αντίστοιχα] επιπλέον της συνήθους θεραπευτικής αγωγής που ακολουθούσαν. Η δεύτερη ομάδα ασθενών που επιλέχθηκαν τυχαία, έλαβαν εικονικό φάρμακο. Παρατηρήθηκε σημαντική ύφεση των συμπτωμάτων της ρευματοειδούς αρθρίτιδας σε όσους λάμβαναν ω-3 συμπληρώματα (Rajaei et al., 2016).

Οι Rozner et al. (2020) έκαναν μελέτη με σκοπό να αξιολογήσουν τη συσχέτιση και την επίδραση που τα ω-3 λιπαρά οξέα ασκούν στον μοριακό

μηχανισμό σχηματισμού οστών. Θηλυκά ποντίκια (48) χωρίστηκαν σε 6 ομάδες και κάθε ομάδα υποβλήθηκε σε συγκεκριμένο διατροφικό πρόγραμμα (16,9% λίπος, 64,5% υδατάνθρακες, 20,5% πρωτεΐνη). Δημιουργήθηκαν δύο ομάδες ελέγχου, όπου ακολούθησαν συνήθη διατροφή με πηγή λίπους το αραβοσιτέλαιο για 3 ή 6 βδομάδες. Οι πειραματικές ομάδες χωρίστηκαν σε αυτές που αντικατέστησαν το αραβοσιτέλαιο με λινέλαιο από λιναρόσπορο και σε αυτές που αντικατέστησαν το αραβοσιτέλαιο με ιχθυέλαιο για 3 ή 6 βδομάδες. Στο τέλος, αφού επέστρεψαν σε συνήθη διατροφή για ένα διάστημα 3 βδομάδων (6 ή 9 βδομάδες από την έναρξη του πειράματος), ακολούθησε συλλογή δειγμάτων αίματος, ήπατος, μηριαίου οστού και κνήμης. Ο λιναρόσπορος είναι φυτική πηγή ω-3 λιπαρών οξέων, καθώς το λινέλαιο είναι πλούσιο σε α-λινολενικό οξύ (ALA), ενώ το ιχθυέλαιο αποτελεί ζωική πηγή ω-3 λιπαρών οξέων, πλούσιο σε εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA). Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση του ηπατικού λίπους κατά 1,6 φορές στα ποντίκια που ακολούθησαν διατροφή πλούσια σε λιναρόσπορο και δύο φορές στα ποντίκια με ιχθυέλαιο, συγκριτικά με τα δείγματα ελέγχου. Το πάχος των οστών ήταν 11% μεγαλύτερο στη δίαιτα με λιναρόσπορο και 6% στη δίαιτα με ιχθυέλαιο, ενώ η ποιότητα των οστών (αντοχή στα κατάγματα, σκληρότητα οστού) ήταν υψηλότερη στο ιχθυέλαιο λιγότερη στο λιναρόσπορο και ελάχιστη στα δείγματα ελέγχου (Rozner et al., 2020).

Σημειώνεται ότι υπήρξε ένας αριθμός ερευνών που δεν εντόπισε οφέλη για τα οστά στην κατανάλωση αυξημένης ποσότητας ω-3 λιπαρών οξέων.

Οι Shen et al. (2017) πραγματοποίησαν συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση σε τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές οι οποίες δημοσιεύτηκαν ως τον Δεκέμβριο του 2016, ώστε να αξιολογήσουν την επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στην οστική αναγέννηση μετεμμηνοπαυσιακών γυναικών. Επιλέχθηκαν οκτώ δοκιμές σύμφωνα με τις οποίες συνολικά 420 μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες, ηλικίας 56- 80 ετών, λάμβαναν συμπληρώματα ω-3 για διάστημα από 3 ως 18 μήνες. Η μέση δόση των συμπληρωμάτων ήταν 1155mg ω-3 / ημέρα με εύρος 200- 4000mg / ημέρα. Η αυξημένη πρόσληψη ω-3 λιπαρών οξέων δεν προκάλεσε σημαντική μείωση της αλκαλικής φωσφατάσης των οστών, ούτε σημαντική αλλαγή στη ποσότητα του κολλαγόνου τύπου I. Υπήρξε, ωστόσο, μείωση στην

οστεοκαλσίνη στον ορό των μετεμμηνοπαυσιακών γυναικών συγκριτικά με τα δείγματα ελέγχου. Τα υπερβολικά αυξημένα επίπεδα οστεοκαλσίνης δηλώνουν παθολογική κατάσταση, όπως οστεοπενία ή οστεοπόρωση. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας υποδεικνύουν ότι τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα παρουσιάζουν περιορισμένη θετική επίδραση στους δείκτες ανανέωσης των οστών σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες. Ωστόσο, απαιτούνται μεγάλης κλίμακας και καλά σχεδιασμένες δοκιμές για την επικύρωση αυτής της σχέσης (Shen et al., 2017).

Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξε και η συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση των Dou et al. (2021). Προσπάθησαν να αξιολογήσουν την επίδραση των συμπληρωμάτων ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στη βελτίωση του μεταβολισμού των οστών και τη μείωση του κινδύνου οστεοπόρωσης. Επιλέχθηκαν 12 άρθρα τα οποία είχαν δημοσιευθεί κατά το χρονικό διάστημα 1998-2016. Το εύρος της ηλικίας του συνόλου των συμμετεχόντων στις έρευνες ήταν 50-79,5 έτη και η ημερήσια δόση συμπληρωμάτων ω-3 ήταν 0,7-14 mg για διάστημα 6 βδομάδων – 3 έτη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ω-3 λιπαρά οξέα μπορούν να ενισχύσουν ελαφρά την οστική πυκνότητα, ειδικά στις μεταεμμηνοπαυσιακές γυναίκες. Τα ω-3 δεν βρέθηκε να συσχετίζονται με δύο σημαντικούς δείκτες του σχηματισμού των οστών: τα επίπεδα της αλκαλικής φωσφατάσης των οστών ή τα επίπεδα οστεοκλαστίνης. Επίσης, λειτουργούν ευεργετικά στην υγεία των οστών με βέλτιστη δράση να παρουσιάζει το α-λινολενικό οξύ (Dou et al, 2021)

Οι Anez-Bustillos et al. (2019) αξιολόγησαν την επίδραση διαφορετικών πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στην υγεία των οστών ποντικών. Στην μελέτη αυτή, 60 νεαρά και υγιή ποντίκια (30 θηλυκά και 30 αρσενικά) διαχωρίστηκαν τυχαία σε τρεις διατροφικές ομάδες, όπου τρέφονταν με διαφορετική πηγή λίπους για διάστημα 9 βδομάδων: 1) σογιέλαιο, το οποίο είναι πλούσιο σε ω-6 λιπαρά οξέα 2) εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA), το οποίο ανήκει στα ω-3 λιπαρά οξέα 3) εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA) και αραχιδονικό οξύ (ω-9) σε αναλογία 20:1 αντίστοιχα. Οι διαφορές που παρουσίασαν τα οστά όλων των ομάδων των ποντικών, σε μικροδομικό επίπεδο ήταν ανεπαίσθητες. Επίσης, διαφορές δεν παρατηρήθηκαν ούτε σε τιμές βιοδεικτών που εκφράζουν τον οστικό μεταβολισμό ούτε σε μηχανικό επίπεδο. Συνεπώς, σύμφωνα με αυτή την

έρευνα, η διατροφική κατανάλωση πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) δεν φαίνεται να επηρεάζει τη δομή ή τον μεταβολισμό των οστών (Anez-Bustillos et al., 2019). Κύριο μειονέκτημα της πειραματικής αυτής διαδικασίας είναι η απουσία δείγματος ελέγχου, ώστε να συγκριθεί η επίδραση της διατροφής στα οστά με και χωρίς αυξημένη λήψη πολυακόρεστων λιπαρών οξέων.

5.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΗΠΑΤΙΚΗ ΝΟΣΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΜΗ ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΛΙΠΩΔΗ ΝΟΣΟ ΤΟΥ ΗΠΑΤΟΣ

Η συστηματική και υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ έχει συσχετιστεί με την επιβάρυνση της ανθρώπινης υγείας. Ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν είναι η εμφάνιση της αλκοολικής ηπατικής νόσου (alcoholic liver disease – ALD), η οποία αποτελεί κύρια αιτία της νοσηρότητας του ήπατος σε παγκόσμιο επίπεδο και πιθανή αιτία θνησιμότητας. Κυμαίνεται από απλή ηπατική στεάτωση, που είναι αντιστρέψιμη παθολογική κατάσταση, ως προοδευτική ίνωση, κίρρωση του ήπατος και ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα. Τα τελευταία χρόνια εξετάζεται αν τα ω-3 λιπαρά οξέα μπορούν να περιορίσουν την ένταση των συμπτωμάτων ή να ενισχύσουν τον οργανισμό έναντι των αρνητικών επιπτώσεων της αλκοολικής ηπατικής νόσου (Wang et al., 2019).

Υπάρχει περιορισμένη κατανόηση σχετικά με το ρόλο των ω-3 λιπαρών οξέα στην εξέλιξη της ηπατικής νόσου λόγω κατανάλωσης αλκοόλ. Μελέτες οι οποίες έχουν ασχοληθεί με την προστατευτική δράση των ω-3 λιπαρών οξέων στην ηπατική στεάτωση που προκαλείται από τη συστηματική κατανάλωση αλκοόλ, έχουν αποδώσει τον ρόλο τους (Wang et al., 2019) :

- στην προστατευτική δράση που ασκούν στη δυσλειτουργία των μιτοχονδρίων
- στη διέγερση της β- οξειδωσης των λιπαρών οξέων, γεγονός που αποτρέπει τη συσσώρευσή τους
- στην αναστολή της λιπογένεσης μέσω του ελέγχου του ρυθμού σύνθεσης του mRNA από τον μεταγραφικό παράγοντα SREBP-1

- στη βελτίωση της ενδοτοξίνης που προέρχεται από τη φλεγμονή του εντέρου που προκαλεί το αλκοόλ
- στη βελτίωση της ομοιόστασης των λιπιδίων στον άξονα λιπώδους ιστού- ήπατος στο ήπαρ.

Για παράδειγμα, οι Wang et al. (2016) εξέτασαν την πιθανή προστατευτική επίδραση του α-λινολενικού οξέος (ALA) σε ασθενείς με ηπατική στεάτωση λόγω κατανάλωσης αλκοόλ. Χρησιμοποίησαν ποντίκια C57BL/6 τα οποία τα τάζαν για διάστημα 10 ημερών με τροφή που περιείχε αιθανόλη ή ισοθερμιδική δίαιτα μαλτρόζης-δεξτρίνης, στο δείγμα ελέγχου. Όταν τα ποντίκια ανέπτυξαν λιπώδες ήπαρ, το οποίο μιμείται την χρόνια αλκοολική ηπατική βλάβη στον ανθρώπινο οργανισμό, ενίσχυσαν την διατροφή ποντικίων με έλαιο λιναρόσπορου (35% των συνολικών θερμίδων οφείλονταν σε λιναρόσπορο). Ο λιναρόσπορος είναι πλούσια πηγή α-λινολενικού οξέος, και παρατήρησαν μείωση των συσσωρευμένων ηπατικών λιπιδίων. Η έκθεση σε αλκοόλη διέγειρε τη λιπόλυση του λιπώδους ιστού, αλλά μείωσε την πρόσληψη λιπαρών οξέων και λιπιδίων, γεγονός που ομαλοποιήθηκε μετά την διατροφική συμπλήρωση με λιναρόσπορο (Wang et al., 2016).

Η μη αλκοολική λιπώδη νόσο του ήπατος προκαλείται συνήθως από «κακές» διατροφικές συνήθειες, όπως είναι η υψηλή θερμιδική πρόσληψη και η κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε κορεσμένα λιπαρά οξέα, σε συνδυασμό με την υιοθέτηση ενός καθιστικού τρόπου ζωής. Τριακυλογλυκερίδια συσσωρεύονται στο ήπαρ σε υψηλή, μη φυσιολογική συγκέντρωση, ενώ αναπτύσσεται οξειδωτικό στρες. Δημιουργείται μία προφλεγμονώδη κατάσταση και την αναπτύσσεται σταδιακά αντίσταση στην ινσουλίνη (Valenzuela et al., 2020).

Οι Nogueira et al., (2016) αξιολόγησαν την επίδραση των συμπληρωμάτων ω-3 λιπαρών οξέων σε ασθενείς με μη αλκοολική στεατοηπατίτιδα. Στους ασθενείς χορηγήθηκαν τρεις κάψουλες ημερησίως με 0,315 g ω-3 λιπαρά οξέα ή εικονικό φάρμακο. Μετρήθηκαν τα επίπεδα ω-3 λιπαρών οξέων στο πλάσμα του αίματος στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας και έξι μήνες μετά. Στο τέλος, έγιναν βιοψίες ήπατος των ασθενών και αξιολογήθηκαν ιστοπαθολογικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε ασθενείς με μη αλκοολική στεατοηπατίτιδα, τα συμπληρώματα ω-3 επηρεάζουν θετικά το λιπιδικό προφίλ του πλάσματος των

ασθενών, οδηγούν σε μείωση των τριγλυκεριδίων και σε καλύτερη ηπατική ιστολογία (Nogueira et al., 2016).

Οι Valenzuela et al., (2020) πραγματοποίησαν μία βιβλιογραφική ανασκόπηση με σκοπό να μελετήσουν την επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων σε *in vivo* και *in vitro* μοντέλα με μη αλκοολική ηπατική νόσο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και το εικοσιδυαεξανοϊκό οξύ (DHA) είχαν θετική επίδραση στη μείωση της ηπατικής στεάτωσης, του οξειδωτικού στρες, της προφλεγμονώδους κατάστασης, ενώ, ταυτόχρονα, βελτίωσαν την ευαισθησία στην ινσουλίνη. Οι μηχανισμοί που περιγράφονται ότι συμμετέχουν στην αντιμετώπιση της μη αλκοολικής ηπατικής νόσου είναι η ενεργοποίηση του υποδοχέα-α, ο οποίος ενεργοποιείται από παράγοντες που επάγουν των πολλαπλασιασμό των υπεροξεισωμάτων και ρυθμίζει τη μεταγραφή γονιδίων που συνδέονται με σημαντικές μεταβολικές και κυτταρικές διαδικασίες όπως είναι η β-οξείδωση των λιπαρών οξέων και η λιπογένεση. Επίσης, τα ω-3 λιπαρά οξέα συμμετέχουν στη ρύθμιση της πρωτεΐνης-1c (SREBP-c1) προς τα κάτω. Η πρωτεΐνη-1 c ελέγχει τη σύνθεση των λιπαρών οξέων και των τριγλυκεριδίων (Valenzuela et al., 2020).

5.7 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ SARS-CoV-2

Η νόσος COVID-19 οφείλεται στον ιό SARS-CoV-2 και εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2019 στην πόλη Wuhan, της Κίνας. Στις 11 Μαρτίου του 2020, χαρακτηρίστηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization -WHO) ως πανδημία. Από τότε μέχρι τις 19 Ιουλίου 2022, έχουν επιβεβαιωθεί σε παγκόσμιο επίπεδο 561.156.416 κρούσματα και έχουν αναφερθεί 6.365.510 θάνατοι σε παγκόσμιο επίπεδο (WHO, 2022). Για την ενίσχυση της άμυνας του ανθρώπινου οργανισμού και για τον περιορισμό της σοβαρότητας των συμπτωμάτων έχουν δοκιμαστεί διάφορα συμπληρώματα διατροφής, όπως τα ω-3 λιπαρά οξέα. Εξετάζεται αν θα μπορούσαν να ενισχύσουν τις αντιφλεγμονώδεις και ανοσολογικές αποκρίσεις του ανθρώπινου οργανισμού (Rogero et al., 2020).

Οι Kocherlakota et al., (2022) εξέτασαν αν τα φυσικά ω-3 λιπαρά οξέα μπορούν σε μορφή νεφελοποιημένου σκευάσματος να μετριάσουν την οξεία

φλεγμονή των πνευμόνων που πραγματοποιείται από λιποσακχαρίτες (LPS). Οι λιποσακχαρίτες είναι λειτούργησαν ως μοντέλο πνευμονικής φλεγμονής που προκαλείται από τον COVID-19. Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν αρσενικοί αρουραίοι Wistar στους οποίους προκλήθηκε φλεγμονή με ενδοπεριτονοϊκή ένεση λιποσακχαριτών (LPS) μία φορά την ημέρα για 14 ημέρες. Μία ώρα μετά την ένεση στους αρουραίους χορηγούνταν θεραπείες με τη βοήθεια νεφελοποιητή: ω-3 λιπαρά οξέα σε συγκεντρώσεις 25mg/ml και 50 mg/ml, βουδενοσίνη (budenoside), το οποίο είναι φάρμακο με αντιφλεγμονώδη δράση στο αναπνευστικό σύστημα, μοντελουκάστη (montelukast), το οποίο είναι φάρμακο για τη πρόληψη κρίσεων του άσθματος, μίγμα ω-3 με μελατονίνη ή μοντελουκάστη ή κανναβιδιόλη, μίγμα ω-3 λιπαρών οξέων με αιθυλεστέρες. Χρησιμοποιήθηκαν δύο ομάδες ελέγχου, η μία όπου έλαβε ενέσεις φυσιολογικού ορού και μία όπου έλαβε ενέσεις λιποσακχαριτών χωρίς όμως θεραπεία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χορήγηση ω-3 λιπαρών οξέων προκάλεσε κατά 50% λιγότερη ζημιά από την ομάδα ελέγχου, και τα ω-3 που χορηγήθηκαν μαζί με τους αιθυλεστέρες ήταν συνολικά πιο αποτελεσματικά στον μετριασμό των επιδράσεων του LPS. Δεν παρατηρήθηκαν ενδείξεις λιπιδικής πνευμονίας ή άλλης χρόνιας δυσφορίας. Πρόκειται για προκλινικά συμπεράσματα που θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω, ώστε να εξεταστεί αν μπορούν να αντιμετωπίσουν την οξεία πνευμονική δυσχέρεια που προκαλεί η νόσος COVID-19 (Kocherlakota et al., 2022)

Οι Asher et al. (2021) αξιολόγησαν την επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στην νοσηρότητα και την θνησιμότητα ασθενών με COVID-19. Πραγματοποίησαν πιλοτική μελέτη σε 100 ασθενείς που προσήλθαν και νοσηλεύτηκαν σε νοσοκομείο. Μέτρησαν τον δείκτη ωμέγα – 3 (Q3I) κατά την είσοδό τους στο νοσοκομείο και παρακολούθησαν την εξέλιξή τους και αναλύθηκε ο κίνδυνος θανάτου ως συνάρτηση τεταρτημορίων (Q1: Q3I < 4,0% - Q2: 4,0% < Q3I <4,7% - Q3: 4,7% < Q3I <5,7% - Q4: Q3I>5,7%) του δείκτη ωμέγα-3 (Q3I). Ο μέσος όρος του δείκτη ω-3 λιπαρών που μετρήθηκε ήταν 5,09%. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ασθενείς του τέταρτου τεταρτημορίου (Q4), δηλαδή όσοι είχαν δείκτη ωμέγα-3 μεγαλύτερο από 5,7%, παρουσίασαν 75% λιγότερες πιθανότητες να πεθάνουν συγκριτικά με τις υπόλοιπα άτομα. Το 75 % προέκυψε από το γεγονός ότι από τους 14 ασθενείς που έχασαν τη ζωή

τους μόνο ένας άνηκε στο τεταρτημόριο 4 (7,14 % πιθανότητα θανάτου) και το ποσοστό αυτό προσαρμόστηκε, στη συνέχεια, για την ηλικία και το φύλο. Σύμφωνα, λοιπόν, με αυτή την έρευνα, η αυξημένη λήψη ω-3 λιπαρών οξέων, μπορεί να αυξήσει τις πιθανότητες επιβιώσεις από COVID-19 (Asher et al., 2021).

5.8 ΠΙΘΑΝΕΣ ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Μετά από αίτημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (European Food Safety Authority – EFSA) προσπάθησε να ορίσει ένα ανεκτό ανώτερο επίπεδο πρόσληψης (Tolerable Upper Intake Level – UL) εικοσαπεντανοϊκού οξέος (EPA), εικοσιδυαεξανοϊκού οξέος (DHA) και εικοσιπενταενοϊκού οξέος (DPA). Ωστόσο αποφάνθηκε ότι δεν υπήρχαν επαρκή στοιχεία για τον καθορισμό ενός προτεινόμενου ανωτέρου επιπέδου πρόσληψης για οποιαδήποτε πληθυσμιακή ομάδα. Σύμφωνα με τις έρευνες που αξιολογήθηκαν από την EFSA, ακόμη και μία κατανάλωση ως 5 g ημερησίως συνολικά από EPA και DHA, δεν φάνηκε να προκαλούν αύξηση του κινδύνου αυθόρμητων αιμορραγικών επεισοδίων ή αιμορραγικών επιπλοκών ή να επηρεάζουν την ανοσολογική λειτουργία της ομοιόστασης γλυκόζης ή την υπεροξειδωση των λιπιδίων. Ωστόσο, η συνδυασμένη πρόσληψη EPA + DHA 2-6 g/ ημέρα, καθώς και η αποκλειστική πρόσληψη DHA σε δόση 2-4 g/ ημέρα προκαλούν αύξηση της LDL-χοληστερόλης σε ποσοστό περίπου 3%. Οι διατροφικές συστάσεις για EPA και DHA με βάση τις εκτιμήσεις για τον καρδιαγγειακό κίνδυνο για τους Ευρωπαίους ενήλικες είναι μεταξύ 250 και 500 mg / ημέρα. Οι συμπληρωματικές προσλήψεις μόνο DHA έως περίπου 1 g/ημέρα δεν προκαλούν ανησυχία για την ασφάλεια για τον γενικό πληθυσμό (EFSA, 2012).

Οι αρνητικές επιπτώσεις των ω-3 λιπαρών οξέων επικεντρώνονται στην υπερευαισθησία ή στην αλλεργική αντίδραση που μπορεί να εμφανίσει ένα άτομο κατά την κατανάλωση ω-3 λιπαρών οξέων, στην υπερδοσολογία που μπορεί να προκαλέσει τοξικές αντιδράσεις ή αιμορραγίες και στη δυνητική αλληλεπίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων με τη φαρμακευτική αγωγή που ένα άτομο λαμβάνει.

Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι το ιχθυέλαιο, το οποίο είναι πλούσιο σε ω-3 λιπαρά οξέα, μπορεί να προάγει την παθογένεση της αλκοολικής ηπατικής νόσου (Wang et al., 2019). Οι Feng et al. (2020) σε μελέτη που πραγματοποίησαν αξιολόγησαν τις επιπτώσεις του οξειδωμένου ιχθυέλαιου στην εξέλιξη της αλκοολικής ηπατικής νόσου σε ποντίκια C57BL/6. Η έκθεση στο αλκοόλ προκάλεσε αύξηση των επιπέδων των αμινοτρανσφερασών στο πλάσμα του αίματος και προκάλεσε ηπατική φλεγμονή. Η προσθήκη στη

διατροφή τους οξειδωμένου ιχθυέλαιου επιδείνωσε την κατάσταση, προκάλεσε επιδείνωση της ηπατικής φλεγμονής, της εντερικής δυσβίωσης και οδήγησε σε ανάπτυξη των Proteobacteria και ενίσχυσε τη δυσλειτουργία του εντερικού φραγμού (Feng et al., 2020).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι κυριότερες φυτικές πηγές ω-3 λιπαρών οξέων είναι:

- Λιναρόσπορος
- Σπόροι κολοκύθας
- Σπόροι μουστάρδας
- Σπόροι Chia
- Σόγια

Ως πηγές ω-3 λιπαρών οξέων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα θαλασσινά από τα οποία προκύπτει το ιχθυέλαιο. Πρόκειται για την πιο κοινή πηγή εμπλουτισμού ω-3 λιπαρών οξέων στη βιομηχανία τροφίμων. Ωστόσο οι αυξανόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών αλλά και των βιομηχανιών τροφίμων, έχουν οδηγήσει στην ανάγκη για αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ω-3 λιπαρών οξέων ή στην ενίσχυση της παραγωγής των υπάρχοντων πηγών. Έτσι, έχει χρησιμοποιηθεί η γενετική τροποποίηση ειδικά στους ελαιώδεις σπόρους ώστε να αυξηθεί η λιποπεριεκτικότητα και η αναλογία των ω-3, ενώ έχουν αναπτυχθεί οι υδατοκαλλιέργειες και η καλλιέργεια μικροφυκών. Η καλλιέργεια μικροφυκών δείχνει ότι μπορεί να έχει πολύ καλές προοπτικές καθώς πρόκειται για οργανισμούς που αναπτύσσονται και προσαρμόζονται εύκολα και έχουν υψηλή απόδοση σε ω-3 λιπαρά οξέα, η οποία ρυθμίζεται από τις συνθήκες ανάπτυξης.

Ο εμπλουτισμός σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα εφαρμόζεται σε μεγάλη ποικιλία τροφίμων, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 4: Βιβλιογραφικές αναφορές για τον εμπλουτισμό διαφόρων τροφίμων με ω-3 λιπαρά οξέα

Προϊόν	Εμπλουτισμός	Αποτελέσματα	Αναφορά
Μπιφτέκια από φιλέτο χοίρου	i.μάρτυρα (3,7 kg μείγμα) ii.μπιφτέκια όπου πρόσθεσαν 173g μικροκάψουλες σε 3,7 kg μείγμα	•Ο εμπλουτισμός ήταν αποτελεσματικός και με τις δύο μεθόδους Οργανοληπτικά, η αποθήκευση είναι προτιμότερο να	Aquilani et al., 2018

	iii.μπιφτέκια με 6g ιχθυέλαιο σε 3,7 kg μείγμα Αποθήκευση σε ψύξη και κατάψυξη	γίνεται με ψύξη στις μικροκάψουλες και με κατάψυξη στο χύμα ιχθυέλαιο	
Λουκάνικα Bologna	i) μάρτυρας (17 g λίπος χοιρινής ράχης /100 g τροφίμου) ii) 13 g έλαιο Echium/100 g iii) 13 g έλαιο Echium/100 g + 10 g αλεύρι chia/100 g iv) 13 g Echium oil/100 g + 20 g αλεύρι chia/100 g.	Προφίλ λιπαρών οξέων (GC-MS): ενισχύθηκε σε ω-3 λιπαρά οξέα το προϊόν. Στεαριδονικό οξύ από έλαιο Echium και α-λινολενικό από αλεύρι chia. Περαιτέρω αύξηση της ποσότητας αλευριού chia δεν φέρει αλλαγή	Barros et al., 2019
Γάλα -γενετικά τροποποιημένη σόγια→σογιέλαιο με αυξημένη περιεκτικότητα σε στεαριδινικό	3 αγελάδες Holstein i) Μάρτυρας ii) Έγχυση 57 g σογιέλαιου ενισχυμένου με στεαριδινικό οξύ από γενετικά τροποποιημένη σόγια κάθε έξι ώρες για 7 ημέρες	Δεν αυξήθηκε η συνολική περιεκτικότητα σε λίπη, αλλά παρατηρήθηκε αύξηση κατά 3,9% (πενταπλάσια από τον μάρτυρα)	Bernal-Santos et al., 2010
Αυγά	11 ομάδες ορνίθων. Κάθε ομάδα με 4 υποομάδες των τριών. Διάρκεια 8 βδομάδων. i. Ομάδα ελέγχου ii. 5 ομάδες έλαβαν εμπλουτισμένη ζωοτροφή με έλαιο λιναρόσπορου 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 ή 5,0% 5 ομάδες έλαβαν εμπλουτισμένη	<ul style="list-style-type: none"> • ALA, EPA και DHA αυξήθηκαν στον κρόκο • Το έλαιο πιο αποτελεσματικό από τον αλεσμένο λιναρόσπορο Αύξηση της περιεκτικότητας λιναρόσπορου στη διατροφή των ορνίθων →αύξηση	Ehr et al., 2017

	ζωοτροφή με αλεσμένο λιναρόσπορο 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 ή 5,0%	ω-3 λιπαρών οξέων	
--	--	-------------------	--

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται οι επιστημονικές έρευνες που αναφέρονται στις θετικές και αρνητικές επιδράσεις των ω-3 λιπαρών οξέων στην ανθρώπινη υγεία.

Πίνακας 5: Επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου

Αντικείμενο έρευνας	Έρευνα	Αποτελέσματα	Αναφορά
Έλεγχος EPA, DHA και συνδυασμού τους σε έμφραγμα μυοκαρδίου	Αρουραίοι Sprague-Dawley χωρίστηκαν σε ομάδες και τράφηκαν μεμονωμένα με EPA, DHA και συνδυασμό του (5 g ανά ημέρα) για 14 ημέρες. Υποβλήθηκαν σε ισχαιμικό επεισόδιο.	Θετική επίδραση ω-3 λιπαρών οξέων που χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα. Ο συνδυασμός δεν ήταν αποτελεσματικός.	Madignou et al., 2016
Κλινική δοκιμή της επίδραση του συνδυασμού EPA+ DHA σε έμφραγμα μυοκαρδίου	1014 ασθενείς, ηλικίας 70-82, με πρόσφατο έμφραγμα μυοκαρδίου για δύο χρόνια λάμβαναν 1,8 g ω-3 λιπαρών οξέων (0,93 g EPA + 0,66 g DHA) ή εικονικό φάρμακο.	Δεν παρατηρήθηκε μείωση των κλινικών συμβάντων που ακολούθησαν	Kalstad et al., 2021
Έλεγχος για σακχαρώδη διαβήτη τύπου II (υπολογισμός δείκτη ωμέγα-3)	35 ασθενείς χωρίς φαρμακευτική αγωγή. Διάκριση σε δύο ομάδες: Ομάδα ελέγχου: τυπική διατροφή για αντιμετώπιση και ρύθμιση διαβήτη	Όχι σημαντική επίδραση στον σακχαρώδη διαβήτη. Ωστόσο αύξηση δείκτη ωμέγα 3 → καρδιοπροστατευτική δράση	Balfego et al., 2016

	Ομάδα σαρδέλας : τυπική διατροφή + 100 g σαρδέλας (5 μέρες τη βδομάδα)		
Επίδραση των λιπαρών οξέων στα αιμοφόρα αγγεία, την αρτηριακή πίεση και την καρδιαγγειακή πρόληψη.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση.	Επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων σε διάφορα στάδια της αθηροσκληρωτικής διαδικασίας. Ωστόσο, οι μετα-αναλύσεις δεν καταλήγουν σε σαφή επιβεβαίωση της μείωσης κινδύνου εμφάνισης εμφάνισης στεφανιαίας νόσου και εγκεφαλοαγγειακής νόσου.	Colussi et al., 2017
Επίδραση στην μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών επεισοδίων.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση. Εστίαση στη δόση, το είδος ω-3 λιπαρού οξέος συναρτήσει του ποσοστού αρχικού κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακού επεισοδίου	1 g σε καθημερινή βάση ω-3 λιπαρών οξέων δύναται να είναι αποτελεσματική στη μείωση του κινδύνου καρδιακού θανάτου (-35 %), μείζονος κινδύνου καρδιαγγειακών συμβάντων (-24 %) και έμφραγμα του μυοκαρδίου (-33 %)	Casula et al., 2020

Πίνακας 6: Επίδραση ω-3 λιπαρών οξέων στην πρόληψη και αντιμετώπιση του καρκίνου

Αντικείμενο έρευνας	Έρευνα	Αποτελέσματα	Αναφορά
Ασθενείς με καρκίνο μαστού. Αξιολόγηση της ικανότητας του DHA να ενσωματώνεται στις κυτταρικές μεμβράνες	33 ασθενείς (11 ασθενείς με μετάλλαξη γονιδίου BRCA 1/2, 12 ασθενείς με οικείο θετικό ιστορικό για καρκίνο μαστού, 10 ασθενείς με σποραδικό καρκίνο του μαστού) και 10 υγιή άτομα, ως μάρτυρες. Χορηγήθηκαν 2g / ημέρα εικοσιδιεξαενοϊκού	Η ενσωμάτωση του εικοσιδιεξαενοϊκού οξέος (DHA) στις μεμβράνες των κυττάρων σχετίστηκε θετικά με τη μετάλλαξη BRCA 1/2, καθώς και τη συνήθη χαμηλή κατανάλωση θαλασσινών, ανεξάρτητα αν κανείς αναφέρεται σε υγιή ή ασθενή άτομα	Molfino et al., 2017

	οξύς (DHA) για 10 ημέρες, με τη μορφή ελαίου φυκών		
Ασθενείς με καρκίνο του προστάτη. Αξιολόγηση της βιταμίνης D σε συνδυασμό με ω-3 λιπαρά οξέα στην εξέλιξη της νόσου.	68 ασθενείς με συγκεκριμένη διατροφή χωρίς προϊόντα ζωικής προέλευσης έλαβαν για 9 μήνες συμπληρώματα (720 mg ω-3 και 2000 mg κουρκουμίνη ημερησίως)	Αποτελέσματα βιοψίας 54 ασθενών έδειξαν ότι η νόσος δεν εξελίχθηκε.	Campbell et al., 2021

Πίνακας 7: Επίδραση στην εντερική μικροχλωρίδα και αντιφλεγμονώδης δράση

Αντικείμενο έρευνας	Έρευνα	Αποτελέσματα	Αναφορά
Επίδραση συμπληρωμάτων ω-3 λιπαρών οξέων στη μικροχλωρίδα του εντέρου	22 υγιείς εθελοντές. 4g εικοσαπεντανοϊκού οξέος + εικοσιδωαεξανοϊκού οξέος συμπλήρωμα 8 βδομάδες κάψουλες γέλης + 12 βδομάδες διάλειμμα + 8 βδομάδες ρόφημα	Παρόμοιες αλλαγές των δύο σκευασμάτων στα λιπαρά οξέα των ερυθρών κυττάρων, αν και το ρόφημα πιο μεγάλη και παρατεταμένη μείωση του αραχιδινικού οξέος. Παροδική αύξηση ορισμένων βακτηρίων που παράγουν λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας, όπως <i>Bifidobacterium</i> , <i>Roseburia</i> και <i>Lactobacillus</i> , στο εντερικό μικροβίωμα. Δεν επιβεβαιώνεται καθορισμένη συσχέτιση	Watson et al., 2018
Επίδραση ω-3 και ω-6 στη τοξικότητα και στο μικροβίωμα του εντέρου κατά τη χημειοθεραπεία με CPT-11	Ποντίκια: Διατροφή για 2 μήνες 1 ^η ομάδα: 10% της διατροφής αραβοσιτέλαιο 2 ^η ομάδα: 5% αραβοσιτέλαιο και 5% ιχθυέλαιο. Για 9 ημέρες, 50 mg/kg/day CPT-11 ενδοφλέβια.	Τα ω-3 λιπαρά οξέα(2 ^η ομάδα) μείωσαν τη τοξικότητα του CPT-11. Ο ιστός και η μορφολογία του εντέρου διατηρήθηκε πιο υγιής και οι αλλαγές στη μικροχλωρίδα του εντέρου ήταν μικρότερες. Άρα,	Kaliannan et al., 2022

		περιορίστηκαν και οι παρενέργειες.	
--	--	------------------------------------	--

Πίνακας 8: Επιδράσεις ω-3 λιπαρών οξέων στον ανθρώπινο σκελετό

Αντικείμενο έρευνας	Έρευνα	Αποτελέσματα	Αναφορά
Επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στην ρευματοειδής αρθρίτιδα	Δοκιμή ελεγχόμενη με εικονικό φάρμακο. 60 ασθενείς (49 γυναίκες + 11 άνδρες) για 12 βδομάδες. Επιπλέον της φαρμακευτικής αγωγής, χορηγήθηκαν σε μία ομάδα ασθενών συμπληρώματα EPA και DHA, ενώ μία δεύτερη ομάδα έλαβε εικονικό φάρμακο.	Σημαντική ύφεση των συμπτωμάτων της ρευματοειδούς αρθρίτιδας σε όσους λάμβαναν ω-3 συμπληρώματα	Rajaei et al., 2016
Επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στην οστική αναγέννηση μετεμμηνοπαυσιακών γυναικών	Συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση. 8 δοκιμές – σύνολο 420 μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες (56- 80 ετών), λήψη συμπληρωμάτων ω-3 λιπαρών οξέων (200-4000mg / ημέρα) για 3 ως 18 μήνες	Μείωση στην οστεοκαλσίνη (αυξημένα επίπεδα δηλώνουν οστεοπενία ή οστεοπόρωση). Δε βελτίωσε όμως σημαντικά άλλους δείκτες (αλκαλική φωσφατάση και κολλαγόνο τύπου Ι). Περιορισμένη θετική επίδραση στην οστική αναγέννηση	Shen et al., 2017
Επίδραση διαφορετικών πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στην υγεία των οστών	60 ποντίκια – 3 ομάδες. Για 9 βδομάδες, πηγή λίπους 1) σογιέλαιο, πλούσιο σε ω-6 λιπαρά 2) DHA 3) (DHA) και αραχιδονικό οξύ (ω-9) σε αναλογία 20:1 αντίστοιχα	Η διατροφική κατανάλωση πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) δεν φαίνεται να επηρεάζει τη δομή ή τον μεταβολισμό των οστών. Δεν υπήρχε ομάδα ελέγχου	Anez-Bustillos et al., 2019

Επίδραση ω-3 λιπαρών οξέων στον μοριακό μηχανισμό σχηματισμού οστών	48 ποντίκια σε 8 ομάδες σε συγκεκριμένο διατροφικό πρόγραμμα (16,9% λίπος, 64,5% υδατάνθρακες, 20,5% πρωτεΐνη). Δόθηκαν διαφορετικές πηγές λίπους (αραβοσιτέλαιο στις ομάδες ελέγχου, λινέλαιο, λιναρόσπορος και ιχθυέλαιο) για διαφορετικό χρονικό διάστημα (3 ή 6 βδομάδες)	Μείωση ηπατικού λίπους κατά 1, 6 φορές στη διατροφή με λιναρόσπορο και 2 φορές με ιχθυέλαιο. Αύξηση 11% του πάχους των οστών με λιναρόσπορο και 6% με ιχθυέλαιο. Βέλτιστη ποιότητα οστών με ιχθυέλαιο, ακολουθεί λιναρόσπορος συγκριτικά με τα δείγματα ελέγχου	Rozner et al., 2020
Επίδραση ω-3 λιπαρών οξέων στη βελτίωση του μεταβολισμού και τη μείωση του κινδύνου οστεοπόρωσης	Συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση. 12 άρθρα (1998-2016). Ηλικίες 50-79,5. Ημερήσια δόση συμπληρωμάτων 0,7-14 mg για διάστημα 6 βδομάδων – 3 έτη	Μικρή ενίσχυση την οστική πυκνότητα, ειδικά στις μεταεμμηνοπαυσιακές γυναίκες. Δεν υπάρχει συσχέτιση με δύο σημαντικούς δείκτες του σχηματισμού των οστών: αλκαλική φωσφατάση και οστεοκλαστίνη. Ευεργετική δράση στην υγεία των οστών, ειδικά το α-λινολενικό οξύ	Dou et al, 2021

Πίνακας 9: Επίδραση ω-3 λιπαρών οξέων στην αλκοολική ηπατική νόσο και στην μη αλκοολική λιπώδη νόσο του ήπατος

Αντικείμενο έρευνας	Έρευνα	Αποτελέσματα	Αναφορά
Επίδραση του α-λινολενικού οξέος (ALA) σε ασθενείς με ηπατική στεάτωση λόγω	Ποντίκια C57BL/6 για 10 ημέρες έλαβαν τροφή με αιθανόλη ή ισοθερμιδική διαίτα μαλτρόζης-δεξτρίνης (ομάδα	Η αιθανόλη προκάλεσε λιπώδεις ήπαρ στα ποντίκια. Διαταράχθηκε η πρόσληψη λιπαρών οξέων και λιπιδίων. Το έλαιο	Wang et al., 2016

κατανάλωσης αλκοόλ.	ελέγχου). Χορήγηση έλαιο λιναρόσπορου στο 25% των συνολικών θερμίδων	λιναρόσπορου ομαλοποίησε την πρόσληψη λιπαρών οξέων και λιπιδίων και μείωσε τα συσσωρευμένα ηπατικά λιπίδια.	
Επίδραση των συμπληρωμάτων ω-3 λιπαρών οξέων σε ασθενείς με μη αλκοολική στεατοηπατίτιδα	Στους ασθενείς χορηγήθηκαν τρεις κάψουλες ημερησίων με 0,315 g ω-3 λιπαρά οξέα ή εικονικό φάρμακο. Μέτρηση επιπέδων ω-3 λιπαρών οξέων στο πλάσμα αρχικά και 6 μήνες μετά. Βιοψία ήπατος και ιστοπαθολογική εξέταση	Ομάδα ασθενών που έλαβε συμπληρώματα ω-3 λιπαρών οξέων, εμφάνισε καλύτερο λιπιδικό προφίλ και καλύτερη ιστοπαθολογική εικόνα.	Nogueira et al., 2016
Επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων σε in vivo και in vitro μοντέλα με μη αλκοολική ηπατική νόσο	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	Θετική επίδραση στη μείωση της ηπατικής στεάτωσης, του οξειδωτικού στρες, της προφλεγμονώδους κατάστασης και της αντίστασης στην ινσουλίνη. Μηχανισμοί: ενεργοποίηση του υποδοχέα-α ο οποίος ενεργοποιείται από πολλαπλασιαστές υπεροξεισωμάτων και ρύθμιση της πρωτεΐνης-1c (SREBP-c1) προς τα κάτω. Συμμετέχουν στη ρύθμιση της σύνθεσης και της οξείδωσης λιπαρών οξέων και τριγλυκεριδίων	Valenzuela et al., 2020
Αρνητική επίδραση			
Επίδραση οξειδωμένων ω-3 λιπαρών οξέων	Ποντίκια C57BL/6 εκτέθηκαν σε αλκοόλ, που προκάλεσε αύξηση	Επιδείνωση της ηπατικής φλεγμονής, της εντερικής δυσβίωσης και	Feng et al., 2020

στην αλκοολική ηπατική νόσο	των επιπέδων των αμινοτρανσφερασών στο πλάσμα του αίματος και προκάλεσε ηπατική φλεγμονή. Προσθήκη στη διατροφή τους οξειδωμένου ιχθυέλαιου	οδήγησε σε ανάπτυξη των Proteobacteria που ενίσχυσε τη δυσλειτουργία του εντερικού φραγμού	
-----------------------------	---	--	--

Πίνακας 10: Επίδραση ω-3 λιπαρών στην πρόληψη και αντιμετώπιση του SARS-CoV-2

Αντικείμενο έρευνας	Έρευνα	Αποτελέσματα	Αναφορά
Επίδραση ω-3 λιπαρών οξέων στην οξεία φλεγμονή των πνευμόνων που μπορεί να δημιουργήσει η νόσος COVID-19	Αρουραίοι χωρίστηκαν σε ομάδες. Πρόκληση φλεγμονής με ενδοπεριτονοϊκή ένεση λιποσακχαριτών (LPS) (μία φορά την ημέρα για 14 ημέρες). Χορήγηση διαφορετικών θεραπειών μία ώρα μετά με νεφελοπιοιτή. Δοκιμάστηκαν ω-3 λιπαρά σε συγκεντρώσεις 25mg/ml και 50 mg/ml, φάρμακα (βουδενοσίνη, μοντελουκάστη) κι συνδυαστικά ω-3 με φάρμακα ή κανναβιδιόλη ή αιθυλεστέρες.	Η χορήγηση ω-3 λιπαρών οξέων προκάλεσε κατά 50% λιγότερη ζημιά από την ομάδα ελέγχου, και τα ω-3 που χορηγήθηκαν μαζί με τους αιθυλεστέρες ήταν συνολικά πιο αποτελεσματικά από τις υπόλοιπες θεραπείες. Απαιτείται επιβεβαίωση.	Kocherlakota et al., 2022
Επίδραση των ω-3 λιπαρών οξέων στην νοσηρότητα και την θνησιμότητα ασθενών με COVID-19	Πιλοτική μελέτη. 100 νοσηλευόμενοι ασθενείς. Μέτρηση δείκτη ωμέγα 3 (Q3I) και διάκριση σε τεταρτημόρια: Q1: Q3I < 4,0% Q2: 4,0% < Q3I < 4,7% Q3: 4,7% < Q3I < 5,7% Q4: Q3I > 5,7%	14 από τους 100 πέθαναν λόγω COVID-19 και μόνο ένας άνηκε στο Q4. Μετά από προσαρμογή για την ηλικία και το φύλο, υπολογίστηκες ότι οι ασθενείς του τεταρτημορίου 4 (Q4), παρουσίασαν 75% λιγότερες πιθανότητες να	Asher et al., 2021

		πεθάνουν συγκριτικά με τις υπόλοιπα άτομα.	
--	--	--	--

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Alekos, N.S., Moorer, M.C., Riddle, R.C.** (2020). Dual Effects of Lipids Metabolism on Osteoblast Function. *Frontiers In Endocrinology*, 11: 578194: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fendo.2020.578194/full>
- **Anez-Bustillos, L., Cowan, E., Cubria, M.B., Villa-Camacho, J., Mohamadi, A., Dao, D.T., Pan, A., Fell, G.L., Baker, M.A., Nandivada, P., Nazarian, A., Puder, M.** (2019). Effects of dietary omega-3 fatty acids on bones of healthy mice. *Clinical Nutrition*, 38 (5): 2145-2154: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261561418324300>
- **Asher, A., Tintle, N.L., Myers, M., Lockshon, L., Baraceza, H., Harris, W.S.** (2021). Blood omega-3 fatty acids and death from COVID-19: A pilot study. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 166: 102250: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952327821000132>
- **Aquilani, C., Perez-Palacios, T., Sirtori, F., Jimenez-Martin, E., Antequera, T, Franci,O., Acciaoli, A., Bozzi, R., Pugliese, C.** (2018). Effect of type addition and storage conditions on quality characteristics. *Grasas Y. Aceites*, 69 (1): e235: <https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/1702/2225>
- **Awada, M., Soulage, C.O., Meynier, A., Dehard, C., Plaisancie, P., Benoit, B, Picard, G., Loizon, E., Chauvin, M. – A., Estiene, M., Peretti, N., Guichardant, M., Lagarde, Genoty, C., Michalski, M.-C.** (2012). Dietary oxidized n-3 PUFA induce oxidative stress and inflammation: role of intestinal absorption of 4- HHE and reactivity in intestinal cells. *Journal of Lipid Research*, 53 (10): 2069-2080: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3435540/>
- **Balfego, M., Canivelli, S., Hanzu, F.A., Sala-Vila, A., Martinez-Medina, M., Murillo, S., Mur, T., Ruano, E.G., Linares, F., Porras, N., Valladares, S., Fontalba, M., Roura, E., Novials, A., Hernandez, C., Aranda, G., Siso-Almirall, A., Rojo-Martinez, G., Simo, R., Gomis, R.** (2016). Effects of sardine-enriched diet on metabolic control, inflammation and gut microbiota in drug-naïve patients with type 2 diabetes: a pilot randomized trial. *Lipids in Health and Disease*, 15: 78: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27090218/>

• **Barclay, W.R., Meager, K.M., Abril, J.R.** (1994). Heterotrophic production of long chain omega-3 fatty acids algae and algae-like microorganisms. *Journal of Applied Phycology*, 6: 123-129: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02186066>

• **Barros, J.C., Pires, M.A., Munekata, E.S., Rodrigues, I., Souza, C.A.C., Trindade, M.A.** (2019). OMEGA-3-enriched Bologna sausages by addition of echium (*Echium Plantagineum* L.) oil and chia (*Salvia hispanica* L) Flour. *International Congress of Meat Science and Technology. Book of Abstracts. Postersessions and Discussion*: 126-127: Available online [08/09/2022]: http://icomst-proceedings.helsinki.fi/papers/2019_09_08.pdf

• **Basil, M.C. & Levy, B.D.** (2016). Specialized pro-resolving mediators: endogenous regulators of infection and inflammation. *Nature Reviews Immunology*, 16: 51-67: <https://www.nature.com/articles/nri.2015.4>

• **Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Stryer, L.** (2009). Κεφάλαιο 22 – Ο μεταβολισμός των λιπαρών οξέων. Στο βιβλίο: «*Βιοχημεία*» - Τόμος Ι. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο: 677-712

• **Bernal-Santos, G., O'Donnell, A.M., Vicini, J.L., Hartnell, G.F., Bauman, D.E.** (2010). Hot topic: Enhancing omega-3 fatty acids in milk fat of dairy cows by using stearidonic acid- enriched soybean oil from genetically modified soybeans. *Journal of Dairy Science*, 93 (1): 32-37: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030210702629>

• **Campbell, R.A., Li, J., Malone, L., Levy, D.A.** (2021). Correlative Analysis of Vitamin D and Omega-3 Fatty Acid Intake in Men on Active Surveillance for Prostate Cancer. *Urology*, 155: 110-116: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0090429521005252>

• **Casula, M., Omastroni, E., Gazzotti, M, Galimberti, F., Zambon, A., Catalano, A.L.** (2020). Omega-3 polyunsaturated fatty acids supplementation and cardiovascular outcomes: do formulation, dosage, and baseline cardiovascular risk matter? An updated meta-analysis of randomized controlled trials. *Pharmacological Research*, 160: 105060: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27692558/>

• **Chauhan, J.S., Meena, S.S. Singh, K.H., Meena, M.L.** (2012). Environmental effects on genetic parameters for oil and seed meal quality

components of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 72 (4): 435-438:

<https://www.researchgate.net/publication/287054971> Environmental effects on genetic parameters for oil and seed meal quality components of Indian mustard *Brassica juncea* L

• **Colussi, G., Catena, C., Novello, M., Bertin, N., Sechi, L.A.** (2017). Impact of omega-3 polyunsaturated fatty acids on vascular function and blood pressure: Relevance for cardiovascular outcomes. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 27 (3): 191-200: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27692558/>

• **Costantini, L., Molinari, R., Farinon, B., Merendino, N.** (2017). Impact of Omega-3 Fatty Acids on the Gut Microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, 18 (12): 2645: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29215589/>

• **Das, G., Tantengco O.A.G., Tundis, R., Robles, J.A., H., Loizzo, M.R., Shin, H.S., Patra, J.K.** (2022). Glucosinolates and Omega-3 Fatty Acids from Mustard Seeds: Phytochemistry and Pharmacology. *Plants*, 11 (17): 2290: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/17/2290>

• **De Bus, I., Witkamp, R., Zulihof, H., Albada, B., Balvers, M.** (2019). The role of n-3 PUFA-derivatives and their oxygenated metabolites in the modulation of inflammation. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, 144: 106351: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1098882319300437>

• **Dou, Y, Wang, Y, Chen, Z., Yu, X., Ma, D.** (2021). Effect of n-3 polyunsaturated fatty acids on bone health: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Food Science & Nutrition*, 10 (1): 145-154: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.2655>

• **Durmus, M.** (2019). Fish oil for human health: omega-3 fatty acids profiles of marine seafood species. *Food Science and Technology*, 39 (2): 454-461: <https://www.scielo.br/j/cta/a/zWQt8VqpJMRWXHnMxMpDPpS/?format=pdf&lang=en>
<https://www.scielo.br/j/cta/a/zWQt8VqpJMRWXHnMxMpDPpS/?format=pdf&lang=en>

- **EFSA (European Food Safety Authority).** (2012). Scientific Opinion on the Tolerable Upper Intake Level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA). *EFSA Journal*, 10 (7): 2815: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2012.2815>
- **Ehr, I.J., Persia, M.E., Bobeck, E.A.** (2017). Comparative omega-3 fatty acid enrichment of egg yolks from first-cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed. *Poultry Science*, 96 (6): 1791-1799: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257911931363X>
- **Fabian, C.J., Kimler, B.F., Hursting, S.D.** (2015). Omega-3 fatty acids for breast cancer prevention and survivorship. *Breast Cancer Research*, 17 (1): 62: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25936773/>
- **Feng, R., Li-Juan, M., Wang, M., Liu, C., Yang, R., Su, H., Yang, Y., Wan, J.-B.** (2020). Oxidation of fish oil exacerbates alcoholic liver; disease by enhancing intestinal dysbiosis in mice. *Communications Biology*, 3 : 481: <https://www.nature.com/articles/s42003-020-01213-8>
- **Fraeye, I. Bruneel, C., Lemahieu, C., Buyse, J., Muylaert, K., Foubert, I.** (2012). Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. *Food Research International*, 48 (2): 961-969: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996912001226>
- **Friborg, J.T. & Melbye, M.** 2008. Cancer patterns in Inuit populations. *The Lancet oncology*, 9 (9): 892-900: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18760245/>
- **Fu, Y., Wang, Y., Gao, H., Li, D., Jiang, R., Ge, L., Tong, C., Xu, K.** (2021). Associations among Dietary Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids, the Gut Microbiota, and Intestinal Immunity. *Mediators of Inflammation*, 2021: 8879227: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33488295/>
- **Galli, G., & Marangoni, F.** (2006). N-3 fatty acids in the Mediterranean diet. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 75 (3): 129-133: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952327806000809>
- **Grygier, A.** (2022). Mustard Seed as a Bioactive Component of Food. *Food Reviews International*: 1-14: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2021.2015774>

• **Kaliannan, K., Donell, S.O., Murphy, K., Stanton, C., Kang, C., Wang, B., Li, X.-Y., Bhan, A.K., Kang, J.X.** (2022). Decreased Tissue Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio Prevents Chemotherapy- Induced Gastrointestinal Toxicity Associated with Alteration of Gut Microbiome. *International Journal of Molecular Sciences*, 23 (10): 5332: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9140600/>

• **Kalstad, A.A., Myhre, P.L., Laake, K., Tveit, S.H., Schmidt, E.B., Smith, P., Nilsen, D.W.T., Tveit, A., Fagerland, M.W., Solheim, S., Seljeflot, I., Arnesen, H., Investigators, O.** (2021). Effects of n-3 Fatty Acid Supplements in Elderly Patients After Myocardial Infarction: A Randomized, Controlled Trial. *Circulation*, 143 (6): 528-539: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33191772/>

• **Kocherlakota, C., Nagaraju, B, Arjun, N., Srinath, A., Kothapalli, K.S.D, Brenna, J.T.** (2022). Inhalation of nebulized omega-3 fatty acids mitigate LPS-induced acute lung inflammation in rats: Implications for treatment of COPD and COVID-19. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 179: 102426: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952327822000382#bib0038>

• **Kulkarni, K.P., Tayade, R, Jo, H., Song, J.T., Lee, J.-D.** (2020). Breeding Strategy for Improvement of Omega-3 Fatty Acid Through Conventional Breeding, Genetic Mapping, and Genomics in Soybean. In the book: Abdurakhmonov, I.Y. (editor). *Plant Breeding Current and Future Views*: 1-21: <https://www.intechopen.com/chapters/74727>

• **Lian, J. & Zhao, H.** (2015). Recent advances in biosynthesis of fatty acids derived products in *Saccharomyces cerevisiae* via enhanced supply of precursor metabolites. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 42 (3): 437-451: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25306882/>

• **Madignou, N., Gilbert, K., Tomaro, L., Touchette, C.P., Trudeau, F. Fortin, S., Rousseau, G.** (2016). Comparison of the effects of EPA and DHA alone or in combination in a murine model of myocardial infarction. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 111:11-16: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27499449/>

• **Martins, D.A., Custodio, L., Barreira, L., Pereira, H., Ben-Hamadou, R., Varela, J., Abu-Salah, K.M.** (2013). Alternative Sources of n-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids in Marine Microalgae. *Marine Drugs*, 11 (7): 2259-2281: <https://www.mdpi.com/1660-3397/11/7/2259/htm>

• **Mitrovic, P.M., Stamenkovic, O.s., Bankovic-Ilic, I., Djavolic, I., Njezic, Z.B., Farooq, M., Siddique, K.H.M., Velijkovic, V.B.** (2020). White Mustard (*Sinapis alba* L.) Oil in Biodiesel Production: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 79: 299: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00299/full>

• **Molfino, A., Amabile, M.I., Mazzucco, S., Biolo, G., Farcomeni, A., Ramaccini, C., Antonaroli, S., Monti, M., Muscaritoli, M.** (2017). Effect of Oral Dosoahexaenoic Acid (DHA) Supplementation on DHA Levels and Omega-3 Index in Red Blood Cell Membranes of Breast Cancer Patients. *Frontiers in Physiology*, 5: 549: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2017.00549/full>

• **Nawirska-Olszanska, A., Kita, A., Biesiada, A., Sokot-Letowska, A., Kurcharska, A.Z.** (2013). Characteristics of antioxidant activity and composition of pumpkin seed oils in 12 cultivars. *Food Chemistry*, 139 (1-4): 155-161: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814613001684?via%3Dihub>

• **NIH (National Institutes of Health).** (2022). Omega – 3 Fatty Acids. Available online [08/09/2022]: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Omega3FattyAcids-HealthProfessional/>

• **Nogueira, M.A., Oliveira, C.P., Alves, V.A.F., Stefano, J.T., Rodrigues, L.S.D.R., Torrinhas, R.S., Cogliati, B., Barbeiro, H., Carriho, F.J., Waitzberg, D.L.** (2016). Omega-3 polyunsaturated fatty acids in treating non-alcoholic steatohepatitis: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Clinical Nutrition*, 35 (3): 578-586: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26047766/>

• **Nostbakken, O.J., Rasinger, J.D., Hannisdal, R., Sanden, M., Froyland, L., Duinker, A., Frantzen, S., Dahl, L.M., Lundebye, A.-K., Madsen, L.** (2021). Levels of omega 3 fatty acids, vitamin D, dioxins and dioxin-

like PCBs in oily fish; a new perspective on the reporting of nutrient and contaminant data for risk-benefit assessments of oily seafood. *Environment International*, 147: 106322: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322777>

• **Orona-Tamayo, D., Valverde, M.E., Paredes-Lopez, O.** (2017). Chapter 17- Chia- The New Golden Seed for the 21st Century: Nutraceutical Properties and Technological Uses. In the book: Nadathur, S.R., Wanasundara, J., Scanlin, L. (editors). *Sustainable Protein Sources*: 265-281: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128027783000172>

• **Perdana, B.A., Chaidir, Z., Kusnanda, A.J., Dharma, A., Zakaria, I.J., Syafrizayanti, Bayu, A., Putra, M.Y.** (2021). Omega-3 fatty acids of microalgae as a food supplement: A review of exogenous factors for production enhancement. *Algal Research*, 60: 102542: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926421003611>

• **Priyadarsini, M., Nivetha, R., Mathimani, T., Anto, S., Krishnan, H., Glvin, G., Premalatha, M., Mariappan, V., Sekhar, J.** (2022). Omega-3-fatty acids from algae for health benefits. *Materialstoday: Proceedings*, 66 (3): 1514-1518: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532204799X>

• **Rajaei, E., Mowla, K., Ghorbani, A., Bahadoram, S., Bahadoram, M., Dargahi-Malamir, M.** (2016). The Effect of Omega-3 Fatty Acids in Patients With Active Rheumatoid Arthritis Receiving DMARDs Therapy: Double-Blind Randomized Controlled Trial. *Global Journal of Health Science*, 8 (7): 18-25: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4965662/>

• **Remize, M., Brunel, Y., Silva, J.L., Berthon, J.-Y., Filaire, E.** (2021). Microalga n-3 PUFAs Production and Use in Food and Feed Industries. *Marine drugs*, 19 (2): 113: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7922858/>

• **Rogero, M.M., Leao, M.C. Santana, T.M., Pimentel, M.V.M.B., Carlini, G.C.C., da Silveira, T.F.F. Goncalves, R.C., Castro, I.A.** (2020). Potential benefits and risks of omega-3 fatty acids supplementation to patients with COVID-19. *Free Radical Biology and Medicine*, 156: 190-199: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584920311412>

- **Rozner, R., Vernikov, J., Griess-Fishheimer, S., Travinsky, T., Penn, S., Schwartz, B., Mesilaty-Stahy, R., Argov-Argaman, N., Shatar, R., Monsonego-Ornan, E.** (2020). The Role of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids from Different Sources in Bone Development. *Nutrients*, 12 (11): 3494: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/11/3494/htm>
- **Sakamoto, A., Saotome, M, Iguchi, K., Maekawa, Y.** (2019). Marine-Derived Omega – 3 Polyunsaturated Fatty Acids and Heart Failure: Current Understanding for Basic to Clinical Relevance. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (16): 4025: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31426560/>
- **Satpati, G.G & Pal.** (2018). R. Microalgae-Biomass to Biodiesel: A Review. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 9 (4): 11-37: https://www.researchgate.net/publication/329424285_Microalgae-Biomass_to_Biodiesel_A_Review
- **Sharma, A., Rai, P.K., Prasad, S.** (2018). GC-MS detection and determination of major volatile compounds in Brassica juncea L. leaves and seeds. *Microchemical Journal*, 138: 488-493: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026265X17312675>
- **Sharpe, A.J. & McKenzie, M.** (2018). Mitochondrial Fatty Acid Oxidation Disorders Associated with Short-Chain Enoyl-CoA Hydratase (ECHS1) Deficiency. *Cells*, 7 (6): E46: <https://europepmc.org/article/med/29882869>
- **Shen, D., Zhang, X., Li, Z., Bai, H., Chen, L.** (2017). Effects of omega-3 fatty acids on bone turnover markers in postmenopausal women: systematic review and meta-analysis. *Climacteric*, 20 (6): 522-527: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13697137.2017.1384952>
- **Valenzuela, R. Ortiz, M, Hernandez-Rodas, M.C., Echeverria, F., Videla, L.A.** (2020). Targeting n-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease. *Current Medicinal Chemistry*, 27 (31): 5250-5272: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30968772/>
- **Wang, M., Zhang, X.-J., Feng, Kun, He, C., Li, P., Hu, Y.-J., Su, H., Wan, J.-B.** (2016). Dietary a linolenic acid-rich flaxseed oil prevents against alcoholic hepatic steatosis via ameliorating lipid homeostasis at adipose tissue-

liver axis in mice. *Scientific Reports*, 6: 26826:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4879538/>

• **Wang, M., Ma, I.-J., Yang, Y., Xiao, Z., Wan, J. – B.** (2019). n-3 Polyunsaturated fatty acids for the management of alcoholic liver disease: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59 (1): S116-S119: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30580553/>

• **Watson, H., Mitra, S., Croden, F.C., Taylor, M., Wood, H.M., Perry, S.L., Spencer, J.A., Quirke, P., Toogood, G.J., Lawton, C.L., Dye, L., Loadman, P.M., Hull, M.A.** (2018). A randomized trial of the effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplements on the human intestinal microbiota. *Gut*, 67 (11): 1974-1983: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28951525/>

• **WHO** (World Health Organization). (2022). WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. Overview. Available online [20/07/2022]: <https://covid19.who.int>

• **Wu, G. Truksa, M., Datla, N., Vrinten, P., Bauer, J., Zank, T., Cirpus, P., Heinz, E., Qiu, X.** (2005). Stepwise engineering to produce high yields of very long-chain polyunsaturated fatty acids in plants. *Nature Biotechnology*, 23: 1013 -1017: <https://www.nature.com/articles/nbt1107>

• **Yadav, P., Chauhan, A.K., Al-Sebaei, M.A.** (2020). Omega-3 Fatty Acid From Plant Sources and Its Application in Food Technology. In the book Q Mishra, P, Mishra, R.R., Adetunji, C.O. (editors). *Innovations in Food Technology*. Springer, Singapore, 41-52: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-6121-4_4

▪ Εικόνες

<https://naturalsoul.gr/linarosporos-ofeli/>

<https://gr.dreamstime.com/photos-images/%CF%83%CF%80%CF%8C%CF%81%CE%BF%CE%B9.html>

