



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΩΝ ΝΟΣΗΜΑΤΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

«Ο ρόλος του εντερικού μικροβιώματος στη ρύθμιση της φλεγμονής χαμηλού βαθμού
και τη γνωστική γήρανση»

Όλγα Κατσαρού

Επιτροπή Κρίσης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Χρυσή Χατζόγλου

«Καθηγήτρια, Τμήμα Ιατρικής,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας»

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Φωτεινή Μάλλη

«Καθηγήτρια, Τμήμα Νοσηλευτικής,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας»

Πάτρα,

Ιούνιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Περίληψη

Η γήρανση συνοδεύεται από σημαντικές μεταβολές στη μεταβολική, ανοσολογική και γνωστική λειτουργία του οργανισμού, ενώ η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού (*inflammaging*) αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της διαδικασίας αυτής. Τα τελευταία χρόνια, το εντερικό μικροβίωμα έχει αναγνωριστεί ως σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη φλεγμονή, τον μεταβολισμό και πιθανώς τη γνωστική γήρανση μέσω του άξονα εντέρου–εγκεφάλου. Παράλληλα, η διατροφή φαίνεται να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της σύστασης και της λειτουργίας του μικροβιώματος, επηρεάζοντας τη μικροβιακή ποικιλότητα, την παραγωγή μεταβολιτών και τη φλεγμονώδη κατάσταση του οργανισμού.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ διατροφής, εντερικού μικροβιώματος, φλεγμονής χαμηλού βαθμού και γνωστικής γήρανσης. Ειδικότερα, εξετάστηκαν οι μεταβολές του μικροβιώματος κατά τη γήρανση, οι μηχανισμοί μέσω των οποίων η δυσβίωση μπορεί να συμβάλει στη φλεγμονή και στη νευροφλεγμονή, καθώς και ο πιθανός ρόλος της διατροφής στην υποστήριξη της υγιούς γήρανσης.

Η βιβλιογραφία δείχνει ότι η γήρανση σχετίζεται με μείωση της μικροβιακής ποικιλότητας, μεταβολές στη σύσταση του μικροβιώματος και περιορισμένη παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου (*short-chain fatty acids*, SCFAs). Οι μεταβολές αυτές συνδέονται με αυξημένη εντερική διαπερατότητα και ενεργοποίηση φλεγμονωδών μηχανισμών, οι οποίοι μπορεί να επηρεάζουν τόσο τη συστηματική όσο και τη νευρολογική υγεία. Ο άξονας εντέρου–εγκεφάλου φαίνεται να αποτελεί σημαντικό μηχανισμό επικοινωνίας μεταξύ εντέρου και εγκεφάλου, μέσω του οποίου το μικροβίωμα μπορεί να επηρεάσει τη γνωστική λειτουργία. Παράλληλα, διατροφικά πρότυπα υψηλής ποιότητας, όπως η μεσογειακή διατροφή, φαίνεται να υποστηρίζουν τη μικροβιακή ισορροπία και να συμβάλλουν στη μείωση της φλεγμονής χαμηλού βαθμού, κυρίως μέσω της αυξημένης πρόσληψης φυτικών ινών, πολυφαινολών και ακόρεστων λιπαρών οξέων. Αντίθετα, η δυτικού τύπου δίαιτα έχει συσχετιστεί με δυσβίωση και αυξημένη φλεγμονώδη επιβάρυνση.

Συμπερασματικά, η διατροφή, το εντερικό μικροβίωμα και η φλεγμονή χαμηλού βαθμού φαίνεται να αποτελούν αλληλένδετους παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν τη γνωστική γήρανση. Παρότι απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την επιβεβαίωση των αιτιολογικών μηχανισμών, η υιοθέτηση ενός ποιοτικού διατροφικού

προτύπου φαίνεται να αποτελεί μια σημαντική στρατηγική για την υποστήριξη της υγιούς γήρανσης και της γνωστικής υγείας.

Λέξεις-κλειδιά: εντερικό μικροβίωμα, διατροφή, φλεγμονή χαμηλού βαθμού, γνωστική γήρανση, άξονας εντέρου–εγκεφάλου, μεσογειακή διατροφή

«The Role of the Gut Microbiome in Regulating Low-Grade Inflammation
(inframing) and Cognitive Aging»

Olga Katsarou

Abstract

Aging is associated with significant changes in metabolic, immune, and cognitive function, while chronic low-grade inflammation (*inflammaging*) is considered one of the main characteristics of the aging process. In recent years, the gut microbiota has emerged as an important factor influencing inflammation, metabolism, and potentially cognitive aging through the gut–brain axis. At the same time, diet appears to play a key role in shaping the composition and function of the gut microbiota, affecting microbial diversity, metabolite production, and the inflammatory status of the organism.

The aim of the present study was to investigate the relationship between diet, gut microbiota, low-grade inflammation, and cognitive aging. More specifically, the review examined age-related changes in the gut microbiota, the mechanisms through which dysbiosis may contribute to inflammation and neuroinflammation, and the potential role of dietary patterns in supporting healthy aging.

Current evidence suggests that aging is associated with reduced microbial diversity, alterations in gut microbiota composition, and decreased production of short-chain fatty acids (SCFAs). These changes are linked to increased intestinal permeability and

activation of inflammatory pathways, which may affect both systemic and neurological health. The gut–brain axis appears to represent an important communication pathway between the gastrointestinal system and the central nervous system, through which the gut microbiota may influence cognitive function. Furthermore, high-quality dietary patterns, particularly the Mediterranean diet, appear to support microbial balance and reduce low-grade inflammation through increased intake of dietary fiber, polyphenols, and unsaturated fatty acids. In contrast, the Western diet has been associated with dysbiosis and increased inflammatory burden.

In conclusion, diet, gut microbiota, and low-grade inflammation appear to be interconnected factors that may influence cognitive aging. Although further research is required to clarify the underlying mechanisms and establish causal relationships, adopting a high-quality dietary pattern may represent an important strategy for promoting healthy aging and supporting cognitive health in older adults.

Keywords: gut microbiota, diet, low-grade inflammation, inflammaging, cognitive aging, gut–brain axis, mediterranean diet

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Εισαγωγή στο θέμα	9
1.2 Θεωρητικό υπόβαθρο	10
1.3 Σημασία της διατροφής στην ρύθμιση του εντερικού μικροβιώματος και της υγιούς γήρανσης.....	10
1.4 Σκοπός της εργασίας.....	11
1.5 Δομή της εργασίας.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	12
2.1 Σχεδιασμός της μελέτης.....	12
2.2 Αναζήτηση της βιβλιογραφίας.....	12
2.3 Κριτήρια επιλογής των μελετών	13
Κριτήρια ένταξης.....	13
Κριτήρια αποκλεισμού.....	13
2.4 Επιλογή και αξιολόγηση των μελετών	13
2.5 Συγκεντρωτικός πίνακας των μελετών	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ ΚΑΙ ΓΗΡΑΝΣΗ	17
3.1 Ορισμός και σύσταση του εντερικού μικροβιώματος	17
3.2 Λειτουργίες του εντερικού μικροβιώματος	18
3.3 Μεταβολές του εντερικού μικροβιώματος κατά τη γήρανση	20
3.4 Δυσβίωση και γήρανση.....	22
3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν το μικροβίωμα και η συμβολή τους στην υγιή γήρανση.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΦΛΕΓΜΟΝΗ ΧΑΜΗΛΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ.....	25
4.1 Η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού (<i>Inflammaging</i>) κατά τη γήρανση	25
4.2 Σχέση εντερικού μικροβιώματος και ανοσοποιητικού συστήματος.....	26
4.3 Εντερικός φραγμός και εντερική διαπερατότητα	27
4.4 Λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (SCFAs) και ανοσορρύθμιση	27
4.5 Μηχανισμοί που συνδέουν τη δυσβίωση με τη φλεγμονή	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΞΟΝΑΣ ΕΝΤΕΡΟΥ–ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ ΚΑΙ ΓΝΩΣΤΙΚΗ ΓΗΡΑΝΣΗ.....	29
5.1 Ορισμός και βασικές αρχές του άξονα εντέρου–εγκεφάλου	29
5.2 Μηχανισμοί επικοινωνίας μικροβιώματος και εγκεφάλου.....	30
5.3 Μικροβίωμα, νευροφλεγμονή και γνωστική λειτουργία	34

5.4 Ο πιθανός ρόλος του μικροβιώματος στη γνωστική γήρανση.....	36
5.5 Περιορισμοί των διαθέσιμων δεδομένων	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗ	39
6.1 Η επίδραση της διατροφής στο εντερικό μικροβίωμα.....	39
6.2 Διατροφικά πρότυπα και εντερικό μικροβίωμα.....	40
6.3 Συγκεκριμένα διατροφικά συστατικά και εντερικό μικροβίωμα.....	42
6.4 Προβιοτικά, πρεβιοτικά και συνβιοτικά	44
6.5 Διατροφικές παρεμβάσεις για την υποστήριξη της γνωστικής υγείας κατά τη γήρανση.....	45
6.6 Πρακτικές διατροφικές κατευθύνσεις και μελλοντικές προοπτικές.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΡΥΜΑΤΩΝ	48
7.1 Σύνθεση των βασικών ευρημάτων.....	48
7.2 Ερμηνεία της σχέσης διατροφής, μικροβιώματος και φλεγμονής.....	49
7.3 Σύνδεση με τη γνωστική γήρανση και τον άξονα εντέρου–εγκεφάλου	51
7.4 Κλινική και διατροφική σημασία των ευρημάτων	52
7.5 Περιορισμοί της υπάρχουσας βιβλιογραφίας	53
7.6 Μελλοντικές κατευθύνσεις.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή στο θέμα

Η γήρανση αποτελεί μια σύνθετη βιολογική διαδικασία που συνοδεύεται από προοδευτικές μεταβολές στη λειτουργία πολλών συστημάτων του οργανισμού. Οι μεταβολές αυτές επηρεάζουν τη μεταβολική, ανοσολογική και γνωστική λειτουργία, αυξάνοντας την ευπάθεια σε χρόνια νοσήματα και λειτουργική έκπτωση (Jones et al., 2024). Καθώς το προσδόκιμο ζωής αυξάνεται παγκοσμίως, η προαγωγή της υγιούς γήρανσης αποτελεί σημαντική πρόκληση για τα συστήματα υγείας και την κοινωνία.

Τα τελευταία χρόνια, αυξανόμενο επιστημονικό ενδιαφέρον παρουσιάζει ο ρόλος του εντερικού μικροβιώματος στη διαδικασία της γήρανσης. Το εντερικό μικροβίωμα αποτελεί ένα πολύπλοκο οικοσύστημα μικροοργανισμών που αλληλεπιδρά στενά με τον ξενιστή και συμμετέχει σε μεταβολικές, ανοσολογικές και νευροενδοκρινικές λειτουργίες (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024). Η σύστασή του επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η ηλικία, η διατροφή, η φαρμακευτική αγωγή και ο τρόπος ζωής.

Παράλληλα, η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού (inflammaging) έχει αναγνωριστεί ως βασικό χαρακτηριστικό της γήρανσης και φαίνεται να συμβάλλει στην ανάπτυξη πολλών χρόνιων νοσημάτων. Στο πλαίσιο αυτό, έχει προταθεί ότι οι ηλικιακές μεταβολές του μικροβιώματος και η δυσβίωση ενδέχεται να επηρεάζουν τη φλεγμονώδη κατάσταση του οργανισμού και να συμβάλλουν στη λειτουργική έκπτωση που παρατηρείται κατά τη γήρανση (Niero et al., 2023; Gandham et al., 2026).

Επιπλέον, η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ εντέρου και εγκεφάλου μέσω του άξονα εντέρου-εγκεφάλου έχει αναδείξει νέες προοπτικές για την κατανόηση των μηχανισμών που συνδέουν το μικροβίωμα με τη γνωστική λειτουργία και τη νευρολογική υγεία (Cryan et al., 2019). Αν και τα διαθέσιμα δεδομένα είναι

ενθαρρυντικά, οι ακριβείς μηχανισμοί που συνδέουν το μικροβίωμα με τη γνωστική γήρανση εξακολουθούν να διερευνώνται.

Τέλος, η διατροφή φαίνεται να αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τροποποιήσιμους παράγοντες που επηρεάζουν το μικροβίωμα και τη φλεγμονώδη κατάσταση του οργανισμού. Για τον λόγο αυτό, η μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ διατροφής, μικροβιώματος και γήρανσης παρουσιάζει ιδιαίτερο επιστημονικό και κλινικό ενδιαφέρον.

1.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

Το θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας εργασίας βασίζεται στη στενή αλληλεπίδραση μεταξύ εντερικού μικροβιώματος, φλεγμονής χαμηλού βαθμού και γνωστικής γήρανσης. Η γήρανση συνοδεύεται από μεταβολές στη σύσταση και στη λειτουργία του μικροβιώματος, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάζουν τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και να ενισχύουν τη χρόνια φλεγμονή (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Παράλληλα, η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού θεωρείται σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τη λειτουργική έκπτωση και τις νευροεκφυλιστικές διεργασίες που σχετίζονται με τη γήρανση (Niero et al., 2023). Στο πλαίσιο αυτό, ο άξονας εντέρου–εγκεφάλου προσφέρει ένα θεωρητικό μοντέλο ερμηνείας των πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταξύ μικροβιώματος, φλεγμονής και γνωστικής λειτουργίας (Cryan et al., 2019).

Παρότι η υπάρχουσα βιβλιογραφία υποστηρίζει την ύπαρξη αυτών των συσχετίσεων, παραμένουν σημαντικά ερευνητικά ερωτήματα σχετικά με την αιτιότητα και την κλινική σημασία των παρατηρούμενων σχέσεων.

1.3 Σημασία της διατροφής στην ρύθμιση του εντερικού μικροβιώματος και της υγιούς γήρανσης

Η διατροφή αποτελεί βασικό τροποποιήσιμο παράγοντα που επηρεάζει τη σύσταση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Η ποιότητα του διατροφικού προτύπου μπορεί να επηρεάσει τη μικροβιακή ποικιλότητα, την παραγωγή μικροβιακών μεταβολιτών και τη φλεγμονώδη κατάσταση του οργανισμού (Seelarbokus et al., 2024; Ticinesi et al., 2024).

Διατροφικά πρότυπα υψηλής ποιότητας, όπως η μεσογειακή διατροφή, έχουν συσχετιστεί με ευνοϊκότερη μικροβιακή σύσταση και μειωμένη φλεγμονώδη

επιβάρυνση, ενώ πρότυπα δυτικού τύπου έχουν συνδεθεί με δυσβίωση και αυξημένη φλεγμονή (Aziz et al., 2023). Για τον λόγο αυτό, η διατροφή θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα πεδία παρέμβασης για την υποστήριξη της υγιούς γήρανσης.

1.4 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ διατροφής, εντερικού μικροβιώματος, φλεγμονής χαμηλού βαθμού και γνωστικής γήρανσης. Ειδικότερα, εξετάζονται οι μεταβολές του μικροβιώματος κατά τη γήρανση, οι πιθανοί μηχανισμοί σύνδεσής του με τη φλεγμονή και τη γνωστική λειτουργία, καθώς και ο ρόλος της διατροφής ως παράγοντα πρόληψης και υποστήριξης της υγιούς γήρανσης.

1.5 Δομή της εργασίας

Η εργασία οργανώνεται σε επτά κεφάλαια. Μετά την εισαγωγή, παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με το εντερικό μικροβίωμα και τις μεταβολές του κατά τη γήρανση. Στη συνέχεια αναλύεται η φλεγμονή χαμηλού βαθμού και η σχέση της με το μικροβίωμα και τη διατροφή. Ακολουθεί η παρουσίαση του άξονα εντέρου–εγκεφάλου και της σύνδεσής του με τη γνωστική γήρανση, ενώ στη συνέχεια εξετάζονται οι διατροφικές παρεμβάσεις που ενδέχεται να επηρεάζουν το μικροβίωμα και τη φλεγμονή. Τέλος, παρουσιάζεται η συζήτηση των ευρημάτων και τα συμπεράσματα της παρούσας ανασκόπησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Σχεδιασμός της μελέτης

Η παρούσα εργασία αποτελεί βιβλιογραφική ανασκόπηση με αντικείμενο τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του εντερικού μικροβιώματος, της φλεγμονής χαμηλού βαθμού (inflammaging), του άξονα εντέρου–εγκεφάλου και της γνωστικής γήρανσης, με ιδιαίτερη έμφαση στον ρόλο της διατροφής ως τροποποιήσιμου παράγοντα.

Η εκπόνηση της εργασίας βασίστηκε στη συστηματική αναζήτηση, επιλογή, αξιολόγηση και σύνθεση της σύγχρονης επιστημονικής βιβλιογραφίας. Στόχος ήταν η συγκέντρωση και η κριτική αποτίμηση των διαθέσιμων δεδομένων σχετικά με τους βιολογικούς μηχανισμούς που συνδέουν το εντερικό μικροβίωμα με τη χρόνια φλεγμονή και τη γνωστική γήρανση, καθώς και η διερεύνηση του πιθανού ρόλου των διατροφικών παρεμβάσεων στην υποστήριξη της υγιούς γήρανσης.

2.2 Αναζήτηση της βιβλιογραφίας

Η αναζήτηση της βιβλιογραφίας πραγματοποιήθηκε στην ηλεκτρονική βάση δεδομένων PubMed κατά το χρονικό διάστημα από τον Ιανουάριο έως τον Μάιο 2026. Για τον εντοπισμό της σχετικής βιβλιογραφίας χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί λέξεων-κλειδιών στην αγγλική γλώσσα, όπως *gut microbiota*, *gut microbiome*, *aging*, *healthy aging*, *inflammaging*, *low-grade inflammation*, *gut-brain axis*, *cognitive aging*, *Mediterranean diet*, *nutrition*, *probiotics* και *prebiotics*. Οι όροι συνδυάστηκαν με τους λογικούς τελεστές **AND** και **OR**, με στόχο την ανάκτηση των πλέον σχετικών επιστημονικών δημοσιεύσεων.

Δόθηκε προτεραιότητα σε πρόσφατες δημοσιεύσεις που αφορούσαν το εντερικό μικροβίωμα, τη φλεγμονή χαμηλού βαθμού, τον άξονα εντέρου–εγκεφάλου, τη γνωστική γήρανση και τον ρόλο της διατροφής, χωρίς να αποκλείονται παλαιότερες θεμελιώδεις μελέτες όταν κρίθηκαν απαραίτητες.

2.3 Κριτήρια επιλογής των μελετών

Κριτήρια ένταξης

- άρθρα δημοσιευμένα στην αγγλική γλώσσα,
- δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά με σύστημα κριτών (peer-reviewed),
- συστηματικές ανασκοπήσεις, αφηγηματικές ανασκοπήσεις και πρωτότυπες ερευνητικές μελέτες,
- μελέτες που αφορούσαν ενήλικες και ηλικιωμένους,
- μελέτες σχετικές με το εντερικό μικροβίωμα, τη φλεγμονή, τον άξονα εντέρου–εγκεφάλου, τη γνωστική γήρανση και τη διατροφή.

Κριτήρια αποκλεισμού

- άρθρα χωρίς διαθέσιμο πλήρες κείμενο,
- δημοσιεύσεις σε γλώσσες διαφορετικές από την αγγλική,
- μελέτες που αφορούσαν αποκλειστικά παιδιατρικούς πληθυσμούς,
- εργασίες που δεν σχετίζονταν άμεσα με το αντικείμενο της παρούσας ανασκόπησης.

2.4 Επιλογή και αξιολόγηση των μελετών

Η αρχική αναζήτηση οδήγησε στον εντοπισμό σημαντικού αριθμού δημοσιεύσεων. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των τίτλων και των περιλήψεων των άρθρων, ώστε να αποκλειστούν οι μη σχετικές μελέτες. Ακολούθησε ανάγνωση του πλήρους κειμένου των δημοσιεύσεων που πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης και επιλέχθηκαν εκείνες που παρείχαν τα πλέον σχετικά και επιστημονικά τεκμηριωμένα δεδομένα.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε σε πρόσφατες δημοσιεύσεις, κυρίως της τελευταίας πενταετίας, καθώς και σε συστηματικές ανασκοπήσεις και μετα-ανалύσεις, χωρίς να αποκλείονται παλαιότερες θεμελιώδεις εργασίες που κρίθηκαν απαραίτητες για την κατανόηση του θέματος.

2.5 Συγκεντρωτικός πίνακας των μελετών

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στη βιβλιογραφική ανασκόπηση

Συγγραφείς	Έτος	Τύπος μελέτης	Σκοπός / Αντικείμενο	Κύρια αποτελέσματα
Aziz et al.	2023	Ανασκόπηση	Διατροφή, εντερικό μικροβίωμα και φλεγμονώδεις νόσοι	Η διατροφή επηρεάζει τη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος. Η μεσογειακή διατροφή συνδέεται με ευνοϊκότερο μικροβιακό προφίλ, ενώ η δυτικού τύπου διατροφή σχετίζεται με δυσβίωση και φλεγμονώδη επιβάρυνση.
Azzolino et al.	2025	Ανασκόπηση	Στοματικό–εντερικό μικροβίωμα, ευπάθεια και σαρκοπενία	Ο άξονας στόματος–εντέρου πιθανόν συμβάλλει σε φλεγμονώδεις και μεταβολικές διεργασίες που σχετίζονται με την ευπάθεια και τη σαρκοπενία στους ηλικιωμένους.
Bialecka-Dębek et al.	2021	Ανασκόπηση	Μικροβίωμα, προβιοτικές παρεμβάσεις και γνωστική λειτουργία στους ηλικιωμένους	Η σύσταση του εντερικού μικροβιώματος έχει συσχετιστεί με τη γνωστική λειτουργία. Οι προβιοτικές παρεμβάσεις παρουσιάζουν πιθανό ενδιαφέρον, αλλά τα δεδομένα παραμένουν περιορισμένα.
Cryan et al.	2019	Ανασκόπηση	Άξονας μικροβιώματος–εντέρου–εγκεφάλου	Περιγράφεται η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ εντέρου και εγκεφάλου μέσω νευρικών, ανοσολογικών, ενδοκρινικών και μεταβολικών μηχανισμών.
Donati Zeppa et al.	2023	Ανασκόπηση	Παρεμβάσεις στο μικροβίωμα για υγιή γήρανση	Η τροποποίηση του μικροβιώματος μέσω διατροφής, άσκησης, προβιοτικών και πρεβιοτικών μπορεί να συμβάλει στην υποστήριξη της υγιούς γήρανσης.
Gandham et al.	2026	Ανασκόπηση	Προβιοτικά, πρεβιοτικά και συνβιοτικά σε ηλικιωμένους με σαρκοπενία, παχυσαρκία και σαρκοπενική παχυσαρκία	Οι παρεμβάσεις αυτές μπορεί να επηρεάσουν θετικά τη σύσταση του μικροβιώματος, τη φλεγμονή, τη μυϊκή λειτουργία και μεταβολικούς δείκτες, αν και απαιτείται περαιτέρω τεκμηρίωση.
Griñan-Ferré et al.	2021	Ανασκόπηση	Ρεσβερατρόλη, γνωστική έκπτωση	Η ρεσβερατρόλη παρουσιάζει πιθανές

			και νόσος Alzheimer	νευροπροστατευτικές δράσεις μέσω αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και επιγενετικών μηχανισμών.
Jones et al.	2024	Συστηματική ανασκόπηση	Πρωτεΐνη βιώσιμης προέλευσης, θρεπτική πρόσληψη και εντερική υγεία σε ηλικιωμένους	Η ποιότητα και η πηγή της πρωτεΐνης μπορεί να επηρεάζουν τη διατροφική επάρκεια και την εντερική υγεία των ηλικιωμένων, αν και τα διαθέσιμα δεδομένα είναι ετερογενή.
Jukic Peladic et al.	2021	Αφηγηματική ανασκόπηση	Πιθανός ρόλος των προβιοτικών στο inflammaging	Τα προβιοτικά ενδέχεται να συμβάλλουν στη ρύθμιση της φλεγμονής που σχετίζεται με τη γήρανση, όμως απαιτούνται περισσότερες καλά σχεδιασμένες κλινικές μελέτες.
Koblinsky et al.	2023	Ανασκόπηση παρεμβατικών μελετών	Μικροβίωμα, διατροφή, άσκηση και γνωστική λειτουργία	Η διατροφή και η άσκηση μπορούν να επηρεάσουν τη γνωστική λειτουργία εν μέρει μέσω μεταβολών στο εντερικό μικροβίωμα.
Kossowska et al.	2024	Συστηματική ανασκόπηση	Μικροβίωμα και γνωστική λειτουργία σε υγιή γήρανση	Οι διαθέσιμες μελέτες δείχνουν συσχέτιση μεταξύ εντερικού μικροβιώματος και γνωστικής λειτουργίας, χωρίς όμως να αποδεικνύεται αιτιώδης σχέση.
Libriani et al.	2026	Συστηματική ανασκόπηση	Εντερικό μικροβίωμα και γνωστική έκπτωση	Η δυσβίωση φαίνεται να σχετίζεται με γνωστική έκπτωση, αλλά τα δεδομένα είναι ετερογενή και χρειάζονται περισσότερες προοπτικές και παρεμβατικές μελέτες.
Lim & Nam	2023	Ανασκόπηση	Μικροβίωμα σε υγιή γήρανση και σε ευπάθεια	Η υγιής γήρανση σχετίζεται με διαφορετικό μικροβιακό προφίλ σε σύγκριση με την ευπάθεια. Η μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα συνδέεται με δυσμενέστερη λειτουργική κατάσταση.
Niero et al.	2023	Αφηγηματική ανασκόπηση	Φυτικές ίνες, φλεγμονή και αντίσταση στην ινσουλίνη σε ηλικιωμένους	Η αυξημένη πρόσληψη φυτικών ινών ενισχύει την παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου και μπορεί να συμβάλει στη μείωση της φλεγμονής και της ινσουλινοαντίστασης.
Santa et al.	2023	Ανασκόπηση	Φυτοχημικά, βιταμίνη D και	Τα φυτοχημικά και η βιταμίνη D παρουσιάζουν

			πρόληψη νοσημάτων	αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις και ανοσορρυθμιστικές ιδιότητες που μπορεί να συμβάλλουν στην πρόληψη χρόνιων νοσημάτων.
Seelarbokus et al.	2024	Συστηματική ανασκόπηση	Μεσογειακή διατροφή, μικροβίωμα και νόσος Parkinson	Η υψηλότερη προσκόλληση στη μεσογειακή διατροφή σχετίζεται με πιθανές ευνοϊκές μεταβολές στο μικροβίωμα και βελτίωση ορισμένων κλινικών χαρακτηριστικών, αν και τα δεδομένα παραμένουν περιορισμένα.
Ticinesi et al.	2024	Ανασκόπηση	Μεσογειακή διατροφή, εντερικό μικροβίωμα και πρόληψη ευπάθειας	Η μεσογειακή διατροφή μπορεί να υποστηρίξει ένα ευνοϊκό μικροβιακό προφίλ και να συμβάλει σε στρατηγικές πρόληψης της ευπάθειας στους ηλικιωμένους.
Xu et al.	2021	Ανασκόπηση	Εντερικό μικροβίωμα, χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού και ευπάθεια	Το εντερικό μικροβίωμα φαίνεται να συμμετέχει στη ρύθμιση της χρόνιας φλεγμονής χαμηλού βαθμού, η οποία σχετίζεται με την ευπάθεια στους ηλικιωμένους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ ΚΑΙ ΓΗΡΑΝΣΗ

3.1 Ορισμός και σύσταση του εντερικού μικροβιώματος

Το εντερικό μικροβίωμα αναφέρεται στο σύνολο των μικροοργανισμών που κατοικούν στο γαστρεντερικό σύστημα του ανθρώπου, καθώς και στο γενετικό τους υλικό και τις αλληλεπιδράσεις τους με τον ξενιστή (Ticinesi et al., 2024). Περιλαμβάνει κυρίως βακτήρια, αλλά και ιούς, μύκητες και αρχαία, τα οποία συνυπάρχουν σε ένα δυναμικό και πολύπλοκο οικοσύστημα (Aziz et al., 2023). Ο αριθμός των μικροοργανισμών που απαρτίζουν το εντερικό μικροβίωμα είναι ιδιαίτερα μεγάλος, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία του για τη συνολική υγεία του οργανισμού (Ticinesi et al., 2024).

Η σύσταση του εντερικού μικροβιώματος χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία, με κυρίαρχες βακτηριακές ομάδες τα φύλα *Firmicutes* και *Bacteroidetes*, ενώ σε μικρότερα ποσοστά απαντώνται τα *Actinobacteria* και *Proteobacteria* (Aziz et al., 2023). Η ισορροπία μεταξύ αυτών των μικροβιακών ομάδων είναι καθοριστική για τη διατήρηση της εντερικής ομοιόστασης και της φυσιολογικής λειτουργίας του οργανισμού (Ticinesi et al., 2024). Η σύνθεση του μικροβιώματος διαφέρει σημαντικά μεταξύ των ατόμων και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ηλικία, η διατροφή, η γεωγραφική περιοχή, η χρήση φαρμάκων και ο τρόπος ζωής (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Η εγκατάσταση του εντερικού μικροβιώματος ξεκινά από τη γέννηση και εξελίσσεται καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής. Κατά τη βρεφική ηλικία, το μικροβίωμα διαμορφώνεται ταχέως υπό την επίδραση παραγόντων όπως ο τρόπος τοκετού, ο θηλασμός και η πρώιμη διατροφή (Aziz et al., 2023). Στην ενήλικη ζωή, το μικροβίωμα τείνει να παρουσιάζει μεγαλύτερη σταθερότητα, ενώ κατά τη γήρανση παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές στη σύσταση και τη λειτουργία του (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

Πέρα από τη σύστασή του, ιδιαίτερη σημασία έχει και η έννοια της μικροβιακής ποικιλότητας, η οποία αποτελεί βασικό δείκτη υγείας του μικροβιώματος. Η υψηλή μικροβιακή ποικιλότητα συνδέεται με ευβίωση και καλύτερη λειτουργική ικανότητα του οικοσυστήματος, ενώ η μειωμένη ποικιλότητα έχει συσχετιστεί με δυσβίωση και αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης χρόνιων νοσημάτων (Ticinesi et al., 2024). Η έννοια αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πλαίσιο της γήρανσης, καθώς η μείωση της μικροβιακής ποικιλότητας αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά που έχουν παρατηρηθεί σε ηλικιωμένους πληθυσμούς (Gandham et al., 2026).

Κατά συνέπεια, το εντερικό μικροβίωμα αποτελεί ένα πολύπλοκο και δυναμικό οικοσύστημα, το οποίο διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της υγείας. Η κατανόηση της σύστασης και της εξέλιξής του κατά τη διάρκεια της ζωής αποτελεί βασικό βήμα για τη διερεύνηση της σχέσης του με τη γήρανση, τη φλεγμονή χαμηλού βαθμού και τις σχετιζόμενες με αυτήν παθολογικές καταστάσεις (Ticinesi et al., 2024; Gandham et al., 2026).

3.2 Λειτουργίες του εντερικού μικροβιώματος

Το εντερικό μικροβίωμα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο σε πολλαπλές φυσιολογικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού, συμβάλλοντας στη διατήρηση της ομοιόστασης και της συνολικής υγείας. Οι λειτουργίες του εκτείνονται από τη συμμετοχή στην πέψη και τον μεταβολισμό έως τη ρύθμιση του ανοσοποιητικού συστήματος, τη διατήρηση του εντερικού φραγμού και την προστασία από παθογόνους μικροοργανισμούς (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Μία από τις βασικότερες λειτουργίες του μικροβιώματος είναι η συμμετοχή στην πέψη και στον μεταβολισμό θρεπτικών συστατικών που δεν μπορούν να διασπαστούν από τα ανθρώπινα ένζυμα. Συγκεκριμένα, τα εντερικά βακτήρια διασπούν μη αφομοιώσιμους υδατάνθρακες, όπως οι φυτικές ίνες, μέσω ζύμωσης, οδηγώντας στην παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου (*short-chain fatty acids*, SCFAs), όπως το οξικό, το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ (Ticinesi et al., 2024). Τα SCFAs αποτελούν σημαντική πηγή ενέργειας για τα κύτταρα του εντερικού επιθηλίου και συμβάλλουν στη ρύθμιση του μεταβολισμού της γλυκόζης και των λιπιδίων (Ticinesi et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Επιπλέον, το εντερικό μικροβίωμα συμμετέχει στη σύνθεση βιταμινών, όπως η βιταμίνη Κ και ορισμένες βιταμίνες του συμπλέγματος Β, ενισχύοντας τη θρεπτική κατάσταση του οργανισμού (Aziz et al., 2023). Παράλληλα, μπορεί να επηρεάσει τη

ρύθμιση του ενεργειακού ισοζυγίου, την αποθήκευση λίπους και τον μεταβολισμό, γεγονός που συνδέει το μικροβίωμα με τη μεταβολική υγεία του ξενιστή (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Ένας ακόμη κρίσιμος ρόλος του μικροβιώματος είναι η ρύθμιση του ανοσοποιητικού συστήματος. Το εντερικό μικροβίωμα αλληλεπιδρά στενά με τα ανοσοκύτταρα του εντέρου και συμβάλλει στην εκπαίδευση του ανοσοποιητικού συστήματος, ώστε αυτό να διακρίνει μεταξύ παθογόνων και μη επιβλαβών μικροοργανισμών (Aziz et al., 2023). Μέσω αυτής της διαδικασίας, συμβάλλει στη διατήρηση της ανοσολογικής ανοχής και στην αποφυγή υπερβολικών φλεγμονωδών αντιδράσεων (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Παράλληλα, το μικροβίωμα λειτουργεί ως φυσικός φραγμός έναντι παθογόνων μικροοργανισμών. Η προστατευτική αυτή δράση επιτυγχάνεται μέσω του ανταγωνισμού για θρεπτικά συστατικά και θέσεις πρόσδεσης στο εντερικό επιθήλιο, καθώς και μέσω της παραγωγής ουσιών που περιορίζουν την ανάπτυξη επιβλαβών βακτηρίων (Aziz et al., 2023). Με αυτόν τον τρόπο, το μικροβίωμα συμβάλλει στη διατήρηση της εντερικής ισορροπίας και στην προστασία του ξενιστή από παθογόνους παράγοντες.

Σημαντική είναι επίσης η συμβολή του μικροβιώματος στη διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού. Τα SCFAs, και ιδιαίτερα το βουτυρικό οξύ, ενισχύουν τη λειτουργία του εντερικού επιθηλίου και συμβάλλουν στη μείωση της εντερικής διαπερατότητας, περιορίζοντας τη διέλευση μικροβιακών προϊόντων και άλλων επιβλαβών ουσιών στην κυκλοφορία του αίματος (Ticinesi et al., 2024). Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την πρόληψη της φλεγμονής χαμηλού βαθμού, η οποία έχει συνδεθεί με τη γήρανση και με διάφορα χρόνια νοσήματα (Ticinesi et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Τέλος, το εντερικό μικροβίωμα συμμετέχει και σε νευροενδοκρινικές διεργασίες, μέσω της παραγωγής νευροδραστικών ουσιών και της αλληλεπίδρασής του με τον άξονα εντέρου–εγκεφάλου. Αν και η πτυχή αυτή αναλύεται εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το μικροβίωμα μπορεί να επηρεάσει τη διάθεση, τη συμπεριφορά και τη γνωστική λειτουργία μέσω ανοσολογικών, μεταβολικών, νευρικών και ενδοκρινικών οδών (Grinan-Ferre et al., 2021; Ticinesi et al., 2024).

Με βάση τα παραπάνω, το εντερικό μικροβίωμα μπορεί να θεωρηθεί ένας πολυλειτουργικός «μεταβολικός και ανοσολογικός οργανισμός», ο οποίος συμβάλλει

καθοριστικά στη διατήρηση της υγείας. Η διαταραχή των λειτουργιών αυτών μπορεί να οδηγήσει σε δυσβίωση και να συμβάλει στην εμφάνιση φλεγμονής χαμηλού βαθμού και χρόνιων νοσημάτων, ιδιαίτερα κατά τη γήρανση (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

3.3 Μεταβολές του εντερικού μικροβιώματος κατά τη γήρανση

Η γήρανση συνοδεύεται από σημαντικές μεταβολές στη σύσταση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ομοιόσταση του οργανισμού και να συνδεθούν με την εμφάνιση φλεγμονής χαμηλού βαθμού και χρόνιων νοσημάτων (Ticinesi et al., 2024). Οι αλλαγές αυτές δεν είναι μόνο αποτέλεσμα της βιολογικής ηλικίας, αλλά προκύπτουν και από την αλληλεπίδραση με περιβαλλοντικούς και συμπεριφορικούς παράγοντες, όπως η διατροφή, η φυσική δραστηριότητα, η συννοσηρότητα και η χρήση φαρμάκων (Aziz et al., 2023; Gandham et al., 2026).

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του μικροβιώματος στους ηλικιωμένους είναι η μείωση της μικροβιακής ποικιλότητας. Η ποικιλότητα αποτελεί βασικό δείκτη υγείας του μικροβιώματος, και η μείωσή της έχει συσχετιστεί με αυξημένη ευπάθεια σε λοιμώξεις, μεταβολικές διαταραχές και φλεγμονώδεις καταστάσεις (Ticinesi et al., 2024). Η απώλεια αυτής της ποικιλότητας μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμένη λειτουργική ικανότητα του μικροβιώματος και σε μειωμένη παραγωγή ευεργετικών μεταβολιτών (Ticinesi et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Επιπροσθέτως, κατά τη γήρανση παρατηρούνται μεταβολές στη σχετική αφθονία συγκεκριμένων βακτηριακών ομάδων. Συχνά αναφέρεται μείωση βακτηρίων που σχετίζονται με την παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου (*short-chain fatty acids*, SCFAs) και αύξηση δυνητικά παθογόνων μικροοργανισμών (Aziz et al., 2023). Η αλλαγή αυτή μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία ενός πιο προφλεγμονώδους εντερικού περιβάλλοντος, ενισχύοντας τη φλεγμονή χαμηλού βαθμού (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Η μειωμένη παραγωγή SCFAs αποτελεί έναν ακόμη σημαντικό μηχανισμό μέσω του οποίου η γήρανση επηρεάζει τη λειτουργία του μικροβιώματος. Τα SCFAs, και ιδιαίτερα το βουτυρικό οξύ, είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού και τη ρύθμιση της ανοσολογικής απόκρισης (Ticinesi et al., 2024). Η μείωσή τους μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη εντερική διαπερατότητα,

διέλευση μικροβιακών προϊόντων στην κυκλοφορία και ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος, ενισχύοντας τη φλεγμονώδη κατάσταση (Ticinesi et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Επιπλέον, οι μεταβολές στο μικροβίωμα σχετίζονται με αλλαγές στη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος, μια διαδικασία που περιγράφεται ως ανοσογήρανση (*immunosenesence*). Το μικροβίωμα επηρεάζει την ισορροπία μεταξύ προφλεγμονωδών και αντιφλεγμονωδών μηχανισμών, ενώ οι αλλαγές που παρατηρούνται με τη γήρανση μπορούν να συμβάλουν σε αυξημένη παραγωγή φλεγμονωδών κυτταροκινών (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024). Με αυτόν τον τρόπο, η δυσβίωση μπορεί να ενισχύσει τη χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού που χαρακτηρίζει τη γήρανση.

Σημαντικό ρόλο στις μεταβολές αυτές διαδραματίζουν και εξωγενείς παράγοντες που χαρακτηρίζουν συχνά την τρίτη ηλικία. Η αλλαγή στις διατροφικές συνήθειες, η μειωμένη πρόσληψη φυτικών ινών, η χρήση φαρμάκων, ιδιαίτερα αντιβιοτικών, καθώς και η μειωμένη φυσική δραστηριότητα μπορούν να συμβάλουν στη διαμόρφωση ενός μικροβιώματος με χαμηλότερη ποικιλότητα και αυξημένη δυσβίωση (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024). Οι παράγοντες αυτοί είναι σημαντικοί, διότι αρκετοί από αυτούς είναι τροποποιήσιμοι και μπορούν να αποτελέσουν στόχο πρόληψης ή παρέμβασης.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι μεταβολές του μικροβιώματος δεν είναι ομοιόμορφες σε όλους τους ηλικιωμένους. Άτομα με υγιή γήρανση φαίνεται να διατηρούν μεγαλύτερη μικροβιακή ποικιλότητα και πιο ισορροπημένη σύσταση μικροβιώματος, σε σύγκριση με άτομα που παρουσιάζουν χρόνια νοσήματα, λειτουργική έκπτωση ή αυξημένη ευπάθεια (Lim & Nam, 2023; Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024). Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η διατήρηση ενός υγιούς μικροβιώματος μπορεί να αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την προαγωγή της υγιούς γήρανσης.

Από τα διαθέσιμα δεδομένα, η γήρανση συνοδεύεται από ποιοτικές και ποσοτικές μεταβολές στο εντερικό μικροβίωμα, οι οποίες επηρεάζουν τη φλεγμονώδη κατάσταση και τη συνολική υγεία του οργανισμού. Η κατανόηση αυτών των μεταβολών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης και παρέμβασης, ιδιαίτερα μέσω της διατροφής και του τρόπου ζωής (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

3.4 Δυσβίωση και γήρανση

Η δυσβίωση αναφέρεται στη διαταραχή της φυσιολογικής σύστασης και λειτουργίας του εντερικού μικροβιώματος και αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό που έχει συσχετιστεί με τη γήρανση. Σε συνθήκες δυσβίωσης, παρατηρείται ανισορροπία μεταξύ ευεργετικών και δυνητικά παθογόνων μικροοργανισμών, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την εντερική ομοιόσταση και να συμβάλει στην ανάπτυξη φλεγμονής χαμηλού βαθμού (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Κατά τη γήρανση, η δυσβίωση εκδηλώνεται συχνά με μείωση της μικροβιακής ποικιλότητας και αύξηση μικροοργανισμών που σχετίζονται με προφλεγμονώδεις διεργασίες. Η μεταβολή αυτή μπορεί να οδηγήσει σε διαταραχή της εντερικής ομοιόστασης και να επηρεάσει τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος (Aziz et al., 2023). Ως αποτέλεσμα, δημιουργείται ένα περιβάλλον που ευνοεί τη χρόνια ενεργοποίηση φλεγμονωδών μηχανισμών και τη διατήρηση της φλεγμονής χαμηλού βαθμού (Ticinesi et al., 2024).

Ένας από τους βασικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων η δυσβίωση επηρεάζει τη γήρανση είναι η αύξηση της εντερικής διαπερατότητας. Η διαταραχή της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού επιτρέπει τη διέλευση μικροβιακών προϊόντων, όπως τα λιποπολυσακχαρίδια (*lipopolysaccharides*, LPS), στην κυκλοφορία του αίματος. Τα μόρια αυτά μπορούν να ενεργοποιήσουν το ανοσοποιητικό σύστημα και να οδηγήσουν σε αυξημένη παραγωγή προφλεγμονωδών κυτταροκινών, ενισχύοντας τη φλεγμονή χαμηλού βαθμού (Ticinesi et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Παράλληλα, η δυσβίωση συνδέεται με μειωμένη παραγωγή ευεργετικών μεταβολιτών, όπως τα λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (*short-chain fatty acids*, SCFAs). Η μείωση αυτών των μεταβολιτών μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη ρύθμιση της ανοσολογικής απόκρισης και τη διατήρηση της εντερικής ακεραιότητας, ενισχύοντας περαιτέρω τη φλεγμονώδη κατάσταση (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024). Η απώλεια αυτών των προστατευτικών μηχανισμών θεωρείται σημαντικός παράγοντας στη σύνδεση της δυσβίωσης με χρόνια νοσήματα της γήρανσης.

Η δυσβίωση έχει επίσης συσχετιστεί με διάφορες παθολογικές καταστάσεις που εμφανίζονται συχνότερα κατά τη γήρανση, όπως μεταβολικά νοσήματα, καρδιαγγειακές παθήσεις και νευροεκφυλιστικές διαταραχές. Η αλληλεπίδραση μεταξύ μικροβιώματος και ανοσοποιητικού συστήματος φαίνεται να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτές τις διεργασίες, καθώς η χρόνια φλεγμονή αποτελεί κοινό

παθοφυσιολογικό υπόβαθρο πολλών ηλικιακά σχετιζόμενων νοσημάτων (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

Στο ίδιο πλαίσιο, η δυσβίωση δεν θα πρέπει να θεωρείται μόνο συνέπεια της γήρανσης, αλλά και πιθανός παράγοντας που μπορεί να επιταχύνει ή να επιδεινώσει ορισμένες διεργασίες που σχετίζονται με αυτήν. Η αμφίδρομη αυτή σχέση μεταξύ μικροβιώματος και γήρανσης υποδηλώνει ότι η διατήρηση της μικροβιακής ισορροπίας μπορεί να είναι σημαντική για την προαγωγή της υγιούς γήρανσης (Gandham et al., 2026; Aziz et al., 2023).

Κατά συνέπεια, η δυσβίωση αποτελεί βασικό μηχανισμό που συνδέει το εντερικό μικροβίωμα με τη φλεγμονή χαμηλού βαθμού και τις παθολογικές διεργασίες της γήρανσης. Η κατανόηση των μηχανισμών αυτών αναδεικνύει τη σημασία της διατήρησης της ευβίωσης ως πιθανής στρατηγικής πρόληψης και παρέμβασης, ιδιαίτερα μέσω τροποποιήσιμων παραγόντων όπως η διατροφή και ο τρόπος ζωής (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν το μικροβίωμα και η συμβολή τους στην υγιή γήρανση

Η σύσταση και η λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος στους ηλικιωμένους επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι δρουν συνδυαστικά και συμβάλλουν είτε στη διατήρηση της ευβίωσης είτε στην εμφάνιση δυσβίωσης. Αν και η βιολογική γήρανση αποτελεί βασικό παράγοντα μεταβολής του μικροβιώματος, οι αλλαγές που παρατηρούνται στην τρίτη ηλικία δεν οφείλονται αποκλειστικά στην ηλικία, αλλά σχετίζονται και με αλλαγές στον τρόπο ζωής, τη διατροφή, τη φαρμακευτική αγωγή, τη φυσική δραστηριότητα και τη συνολική κατάσταση υγείας του ατόμου (Aziz et al., 2023; Gandham et al., 2026).

Η διατροφή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τροποποιήσιμους παράγοντες που επηρεάζουν το εντερικό μικροβίωμα. Η μειωμένη πρόσληψη φυτικών ινών, η περιορισμένη ποικιλία τροφίμων και η χαμηλή κατανάλωση φρούτων, λαχανικών και δημητριακών ολικής άλεσης μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της μικροβιακής ποικιλότητας και σε περιορισμένη παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλυσού (SCFAs), τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της εντερικής ακεραιότητας και στη ρύθμιση της φλεγμονώδους απόκρισης (Ticinesi et al., 2024). Αντίθετα, διατροφικά πρότυπα υψηλής ποιότητας, όπως η μεσογειακή διατροφή,

φαίνεται να συμβάλλουν στη διατήρηση ενός πιο ευνοϊκού μικροβιακού προφίλ και στην παραγωγή μεταβολιτών με αντιφλεγμονώδη δράση (Seelarbokus et al., 2024).

Η χρήση φαρμάκων αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα διαμόρφωσης του μικροβιώματος. Οι ηλικιωμένοι συχνά λαμβάνουν πολλαπλές φαρμακευτικές αγωγές, ενώ ιδιαίτερα τα αντιβιοτικά μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στη μικροβιακή σύνθεση και να μειώσουν τη μικροβιακή ποικιλότητα. Επιπλέον, φάρμακα όπως οι αναστολείς αντλίας πρωτονίων και ορισμένα αντιδιαβητικά ή αντιφλεγμονώδη σκευάσματα έχουν συσχετιστεί με αλλαγές στη μικροβιακή κοινότητα (Aziz et al., 2023; Gandham et al., 2026).

Η φυσική δραστηριότητα φαίνεται επίσης να επηρεάζει το μικροβίωμα. Η τακτική άσκηση έχει συσχετιστεί με αυξημένη μικροβιακή ποικιλότητα και καλύτερη μεταβολική υγεία, ενώ η καθιστική ζωή και η μειωμένη κινητικότητα συνδέονται με δυσμενείς μεταβολές στη μικροβιακή ισορροπία και αυξημένη φλεγμονώδη επιβάρυνση (Gandham et al., 2026).

Επιπροσθέτως, η συνολική κατάσταση υγείας του ηλικιωμένου ατόμου επηρεάζει σημαντικά τη σύνθεση του μικροβιώματος. Χρόνια νοσήματα, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2, τα καρδιαγγειακά νοσήματα και οι νευροεκφυλιστικές παθήσεις, έχουν συσχετιστεί με δυσβίωση και αυξημένη φλεγμονή, ενώ παράγοντες όπως η νοσηλεία, η μειωμένη λειτουργική αυτονομία και η διαμονή σε δομές φροντίδας μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στη μικροβιακή ισορροπία (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

Η σημασία των παραγόντων αυτών αναδεικνύεται ιδιαίτερα στο πλαίσιο της υγιούς γήρανσης. Ένα υγιές και ποικιλόμορφο μικροβίωμα έχει συσχετιστεί με καλύτερη μεταβολική και ανοσολογική λειτουργία, χαμηλότερη φλεγμονώδη επιβάρυνση και μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης χρόνιων νοσημάτων και γνωστικής έκπτωσης. Αντίθετα, η δυσβίωση και η μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα φαίνεται να σχετίζονται με αυξημένη ευθραυστότητα και λειτουργική έκπτωση στους ηλικιωμένους (Ticinesi et al., 2024; Gandham et al., 2026; Lim & Nam, 2023).

Οι μεταβολίτες του μικροβιώματος, και ιδιαίτερα τα λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου, συμβάλλουν στη διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού, στη ρύθμιση της ανοσολογικής απόκρισης και στη μείωση της φλεγμονής χαμηλού βαθμού. Μέσω αυτών των μηχανισμών, το μικροβίωμα φαίνεται να συμμετέχει ενεργά στη διατήρηση της υγείας και της λειτουργικότητας κατά τη γήρανση.

Ως εκ τούτου, η διατροφή, η φαρμακευτική αγωγή, η φυσική δραστηριότητα και η συνολική κατάσταση υγείας αποτελούν βασικούς παράγοντες που διαμορφώνουν το εντερικό μικροβίωμα στους ηλικιωμένους. Η διατήρηση της μικροβιακής ισορροπίας φαίνεται να αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για την υποστήριξη της υγιούς γήρανσης, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία παρεμβάσεων στον τρόπο ζωής και ιδιαίτερα στη διατροφή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΦΛΕΓΜΟΝΗ ΧΑΜΗΛΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ

4.1 Η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού (*Inflammaging*) κατά τη γήρανση

Η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της γήρανσης και περιγράφεται συχνά με τον όρο *inflammaging*. Πρόκειται για μια χρόνια, συστηματική και ήπια ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος, η οποία δεν σχετίζεται απαραίτητα με την παρουσία οξείας λοίμωξης, αλλά με ενδογενείς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που δρουν σωρευτικά κατά τη διάρκεια της ζωής (Niero et al., 2023; Jones et al., 2024). Η κατάσταση αυτή θεωρείται σημαντικός μηχανισμός στην ανάπτυξη πολλών ηλικιακά σχετιζόμενων νοσημάτων, όπως καρδιαγγειακά νοσήματα, σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2 και νευροεκφυλιστικές παθήσεις (Jones et al., 2024).

Ο όρος *inflammaging* χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αυξημένη παραγωγή προφλεγμονωδών δεικτών και κυτταροκινών, όπως η C-αντιδρώσα πρωτεΐνη (CRP), η ιντερλευκίνη-6 (IL-6) και ο παράγοντας νέκρωσης όγκων-α (TNF-α), που παρατηρείται με την πρόοδο της ηλικίας (Niero et al., 2023). Οι μεταβολές αυτές αντικατοπτρίζουν διαταραχή της ανοσολογικής ομοιόστασης και μειωμένη ικανότητα ρύθμισης της φλεγμονώδους απόκρισης (Niero et al., 2023; Jones et al., 2024).

Η εμφάνιση της φλεγμονής χαμηλού βαθμού σχετίζεται με πολλαπλούς μηχανισμούς. Η συσσώρευση γηρασμένων κυττάρων, η αυξημένη παραγωγή αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (*reactive oxygen species*, ROS) και το οξειδωτικό στρες μπορούν να ενισχύσουν τη φλεγμονώδη απόκριση κατά τη γήρανση (Grinan-Ferre et al., 2021). Επίσης, μεταβολικές διαταραχές, όπως η αντίσταση στην ινσουλίνη και η διαταραχή του λιπώδους ιστού, συμβάλλουν στην επιδείνωση της φλεγμονώδους κατάστασης (Niero et al., 2023).

Ένας ακόμη σημαντικός μηχανισμός είναι η αυξημένη εντερική διαπερατότητα, η οποία μπορεί να επιτρέψει τη διέλευση μικροβιακών προϊόντων, όπως τα λιποπολυσακχαρίδια (*lipopolysaccharides*, LPS), στην κυκλοφορία του αίματος. Τα μόρια αυτά ενεργοποιούν ανοσολογικούς μηχανισμούς και μπορούν να ενισχύσουν τη συστηματική φλεγμονή χαμηλού βαθμού (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024). Η διαδικασία αυτή συνδέεται άμεσα με το εντερικό μικροβίωμα, καθώς η δυσβίωση και η μειωμένη παραγωγή προστατευτικών μεταβολιτών, όπως τα λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου, μπορούν να επιδεινώσουν τη λειτουργία του εντερικού φραγμού (Aziz et al., 2023).

Τέλος, η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού μπορεί να επηρεάσει και το κεντρικό νευρικό σύστημα, συμβάλλοντας στη νευροφλεγμονή και στη γνωστική έκπτωση. Η ενεργοποίηση φλεγμονωδών μηχανισμών στον εγκέφαλο έχει συσχετιστεί με διαταραχές στη συναπτική πλαστικότητα, στη νευρωνική λειτουργία και σε γνωστικές διεργασίες που επηρεάζονται κατά τη γήρανση (Grinan-Ferre et al., 2021).

Συνεπώς, η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού αποτελεί βασικό παθοφυσιολογικό μηχανισμό της γήρανσης και πιθανό στόχο για παρεμβάσεις, ιδιαίτερα μέσω τροποποιήσιμων παραγόντων όπως η διατροφή και ο τρόπος ζωής (Niero et al., 2023; Seelarbokus et al., 2024; Xu et al., 2021).

4.2 Σχέση εντερικού μικροβιώματος και ανοσοποιητικού συστήματος

Το εντερικό μικροβίωμα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της ανοσολογικής ομοιόστασης και στην εύρυθμη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Η συνεχής αλληλεπίδραση μεταξύ μικροβιακών κοινοτήτων και ανοσοκυττάρων του εντέρου συμβάλλει στην εκπαίδευση και ρύθμιση τόσο της έμφυτης όσο και της επίκτητης ανοσίας. Μέσω αυτών των αλληλεπιδράσεων, το ανοσοποιητικό σύστημα αποκτά την ικανότητα να διακρίνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς από τους συμβιωτικούς, διατηρώντας παράλληλα την ανοσολογική ανοχή προς τα μη επιβλαβή αντιγόνα (Aziz et al., 2023).

Η ισορροπημένη σύσταση του μικροβιώματος συμβάλλει στη ρύθμιση της παραγωγής κυτταροκινών και στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ προφλεγμονωδών και αντιφλεγμονωδών αποκρίσεων. Αντίθετα, η δυσβίωση μπορεί να διαταράξει την ανοσολογική ομοιόσταση και να οδηγήσει σε χρόνια ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος, ενισχύοντας τη φλεγμονή χαμηλού βαθμού (Ticinesi et al., 2024).

Κατά τη γήρανση, οι μεταβολές του μικροβιώματος συνδυάζονται με φαινόμενα ανοσογήρανσης (immunosenescence), τα οποία χαρακτηρίζονται από μειωμένη αποτελεσματικότητα της ανοσολογικής απόκρισης και αυξημένη παραγωγή προφλεγμονωδών παραγόντων. Η αλληλεπίδραση μεταξύ δυσβίωσης και ανοσογήρανσης θεωρείται σημαντικός παράγοντας για τη διατήρηση της χρόνιας φλεγμονής που συνοδεύει τη γήρανση (Gandham et al., 2026).

4.3 Εντερικός φραγμός και εντερική διαπερατότητα

Ο εντερικός φραγμός αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αμυντικές γραμμές του οργανισμού, καθώς διαχωρίζει το εντερικό περιεχόμενο από την κυκλοφορία του αίματος. Αποτελείται από το εντερικό επιθήλιο, τη βλέννη, το ανοσοποιητικό σύστημα του βλεννογόνου και το ίδιο το μικροβίωμα, τα οποία συνεργάζονται για τη διατήρηση της εντερικής ακεραιότητας.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, οι στενές συνδέσεις (tight junctions) μεταξύ των επιθηλιακών κυττάρων περιορίζουν τη διέλευση δυνητικά επιβλαβών ουσιών. Ωστόσο, η γήρανση και η δυσβίωση μπορούν να διαταράξουν τη λειτουργία αυτών των δομών, οδηγώντας σε αυξημένη εντερική διαπερατότητα, κατάσταση που συχνά περιγράφεται ως «διαρρέον έντερο» (leaky gut) (Ticinesi et al., 2024).

Η αυξημένη διαπερατότητα επιτρέπει τη μεταφορά μικροβιακών συστατικών και μεταβολιτών στην κυκλοφορία του αίματος. Μεταξύ αυτών, ιδιαίτερη σημασία έχουν τα λιποπολυσακχαρίδια (LPS), τα οποία προέρχονται από Gram-αρνητικά βακτήρια και μπορούν να ενεργοποιήσουν φλεγμονώδεις μηχανισμούς. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται αυξημένη παραγωγή προφλεγμονωδών κυτταροκινών και ενίσχυση της συστηματικής φλεγμονής χαμηλού βαθμού (Aziz et al., 2023).

Η διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού θεωρείται επομένως κρίσιμη για την πρόληψη της φλεγμονής και την υποστήριξη της υγιούς γήρανσης.

4.4 Λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (SCFAs) και ανοσορρύθμιση

Τα λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (short-chain fatty acids, SCFAs), κυρίως το οξικό, το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ, αποτελούν σημαντικούς μεταβολίτες που παράγονται από τη μικροβιακή ζύμωση των φυτικών ινών στο παχύ έντερο. Τα μόρια αυτά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της εντερικής και ανοσολογικής ομοιόστασης.

Ιδιαίτερα το βουτυρικό οξύ αποτελεί βασική πηγή ενέργειας για τα κύτταρα του εντερικού επιθηλίου και συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού. Παράλληλα, τα SCFAs ασκούν ανοσορρυθμιστική δράση επηρεάζοντας τη λειτουργία διαφόρων ανοσοκυττάρων και ενισχύοντας την ανάπτυξη ρυθμιστικών Τ λεμφοκυττάρων (Treg), τα οποία συμβάλλουν στον περιορισμό της υπερβολικής φλεγμονώδους απόκρισης (Ticinesi et al., 2024).

Επιπλέον, τα SCFAs φαίνεται να μειώνουν την παραγωγή προφλεγμονωδών κυτταροκινών και να ενισχύουν αντιφλεγμονώδεις μηχανισμούς. Μέσω αυτών των δράσεων συμβάλλουν στη διατήρηση της ανοσολογικής ισορροπίας και στον περιορισμό της χρόνιας φλεγμονής χαμηλού βαθμού.

Κατά τη γήρανση, η μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα και η ελάττωση βακτηρίων που παράγουν SCFAs οδηγούν συχνά σε χαμηλότερη παραγωγή αυτών των μεταβολιτών. Η μείωση αυτή μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ακεραιότητα του εντερικού φραγμού και να ενισχύσει τη φλεγμονώδη κατάσταση του οργανισμού.

4.5 Μηχανισμοί που συνδέουν τη δυσβίωση με τη φλεγμονή

Η δυσβίωση θεωρείται βασικός μηχανισμός σύνδεσης του εντερικού μικροβιώματος με τη χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού. Η μείωση της μικροβιακής ποικιλότητας, η απώλεια ευεργετικών βακτηρίων και η αύξηση δυνητικά παθογόνων μικροοργανισμών μπορούν να επηρεάσουν πολλαπλές φυσιολογικές λειτουργίες που σχετίζονται με τη ρύθμιση της φλεγμονής.

Ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς είναι η μείωση της παραγωγής λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου, η οποία οδηγεί σε εξασθένηση της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού και αυξημένη εντερική διαπερατότητα. Η διέλευση μικροβιακών προϊόντων, όπως τα λιποπολυσακχαρίδια, στην κυκλοφορία του αίματος μπορεί να ενεργοποιήσει υποδοχείς του έμφυτου ανοσοποιητικού συστήματος, όπως οι Toll-like receptors (TLRs), προκαλώντας παραγωγή προφλεγμονωδών κυτταροκινών (Aziz et al., 2023).

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, η δυσβίωση μπορεί να μεταβάλει την ισορροπία μεταξύ προφλεγμονωδών και αντιφλεγμονωδών ανοσολογικών αποκρίσεων, οδηγώντας σε παρατεταμένη ενεργοποίηση φλεγμονωδών οδών. Η συνεχής αυτή διέγερση του ανοσοποιητικού συστήματος συμβάλλει στη διατήρηση της χρόνιας φλεγμονής χαμηλού βαθμού, η οποία αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της γήρανσης.

Συμπερασματικά, η δυσβίωση, η αυξημένη εντερική διαπερατότητα, η μειωμένη παραγωγή SCFAs και η ενεργοποίηση φλεγμονωδών μηχανισμών αποτελούν αλληλένδετες διεργασίες που συμβάλλουν στη χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού. Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης και παρέμβασης με στόχο την υποστήριξη της υγιούς γήρανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΞΟΝΑΣ ΕΝΤΕΡΟΥ–ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ ΚΑΙ ΓΝΩΣΤΙΚΗ ΓΗΡΑΝΣΗ

5.1 Ορισμός και βασικές αρχές του άξονα εντέρου–εγκεφάλου

Ο άξονας εντέρου–εγκεφάλου αποτελεί ένα σύνθετο και αμφίδρομο σύστημα επικοινωνίας μεταξύ του γαστρεντερικού συστήματος και του κεντρικού νευρικού συστήματος. Η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται μέσω νευρικών, ενδοκρινικών, ανοσολογικών και μεταβολικών οδών, επιτρέποντας στο έντερο και στον εγκέφαλο να αλληλεπιδρούν συνεχώς μεταξύ τους (Cryan et al., 2019). Τα τελευταία χρόνια, το εντερικό μικροβίωμα έχει αναγνωριστεί ως βασικός ρυθμιστής αυτού του άξονα, καθώς οι μικροοργανισμοί του εντέρου και οι μεταβολίτες τους μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία του εγκεφάλου, τη φλεγμονώδη απόκριση και τη γνωστική λειτουργία (Cryan et al., 2019; Ticinesi et al., 2024).

Η έννοια του άξονα εντέρου–εγκεφάλου βασίζεται στην παρατήρηση ότι το γαστρεντερικό σύστημα δεν λειτουργεί ανεξάρτητα από το νευρικό σύστημα, αλλά συμμετέχει ενεργά στη ρύθμιση λειτουργιών που σχετίζονται με τη συμπεριφορά, τη διάθεση, το στρες και τη γνωστική λειτουργία (Cryan et al., 2019). Το έντερο διαθέτει εκτεταμένο νευρικό δίκτυο, γνωστό ως εντερικό νευρικό σύστημα, το οποίο επικοινωνεί με τον εγκέφαλο κυρίως μέσω του πνευμονογαστρικού νεύρου. Παράλληλα, ο εγκέφαλος μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του εντέρου μέσω του αυτόνομου νευρικού συστήματος και του άξονα υποθαλάμου–υπόφυσης–επινεφριδίων, ιδιαίτερα σε καταστάσεις στρες (Cryan et al., 2019).

Το εντερικό μικροβίωμα συμμετέχει σε αυτή την επικοινωνία μέσω της παραγωγής βιοδραστικών μεταβολιτών, όπως τα λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (*short-chain fatty*

acids, SCFAs), καθώς και μέσω της αλληλεπίδρασής του με το ανοσοποιητικό σύστημα (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024). Οι μεταβολίτες αυτοί μπορούν να επηρεάσουν την ακεραιότητα του εντερικού φραγμού, τη φλεγμονώδη απόκριση και πιθανώς τη λειτουργία του αιματοεγκεφαλικού φραγμού (Ticinesi et al., 2024). Με αυτόν τον τρόπο, η σύσταση και η λειτουργία του μικροβιώματος μπορούν να έχουν επιδράσεις που εκτείνονται πέρα από το γαστρεντερικό σύστημα και να επηρεάζουν τη νευροφλεγμονή και τη γνωστική υγεία (Grinan-Ferre et al., 2021; Aziz et al., 2023).

Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι ο άξονας εντέρου–εγκεφάλου φαίνεται να επηρεάζεται από τη διαδικασία της γήρανσης. Κατά τη γήρανση, παρατηρούνται μεταβολές τόσο στο μικροβίωμα όσο και στο ανοσοποιητικό και νευρικό σύστημα, οι οποίες μπορούν να διαταράξουν την ισορροπία αυτής της επικοινωνίας (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024). Η μείωση της μικροβιακής ποικιλότητας, η δυσβίωση, η αυξημένη εντερική διαπερατότητα και η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού αποτελούν παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη λειτουργία του άξονα εντέρου–εγκεφάλου (Aziz et al., 2023; Gandham et al., 2026).

Ο άξονας εντέρου–εγκεφάλου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο πλαίσιο της γνωστικής γήρανσης, καθώς η γνωστική λειτουργία επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων η φλεγμονή, το οξειδωτικό στρες, η μεταβολική υγεία και η νευροφλεγμονή (Grinan-Ferre et al., 2021). Το εντερικό μικροβίωμα, μέσω της επίδρασής του σε αυτούς τους μηχανισμούς, μπορεί να συμμετέχει στη διατήρηση ή στην επιδείνωση της γνωστικής λειτουργίας κατά τη γήρανση (Grinan-Ferre et al., 2021; Ticinesi et al., 2024).

Συνεπώς, ο άξονας εντέρου–εγκεφάλου αποτελεί έναν βασικό μηχανισμό μέσω του οποίου το εντερικό μικροβίωμα μπορεί να επηρεάσει τη γνωστική γήρανση. Η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ εντέρου και εγκεφάλου, η συμμετοχή του ανοσοποιητικού συστήματος, η παραγωγή μικροβιακών μεταβολιτών και η επίδραση της διατροφής καθιστούν τον άξονα αυτό ιδιαίτερα σημαντικό πεδίο μελέτης (Cryan et al., 2019; Ticinesi et al., 2024).

5.2 Μηχανισμοί επικοινωνίας μικροβιώματος και εγκεφάλου

Η επικοινωνία μεταξύ του εντερικού μικροβιώματος και του εγκεφάλου πραγματοποιείται μέσω πολλαπλών και αλληλοσυνδεόμενων μηχανισμών. Οι βασικότερες οδοί περιλαμβάνουν τη νευρική επικοινωνία μέσω του

πνευμονογαστρικού νεύρου, την ανοσολογική ρύθμιση μέσω κυτταροκινών, την παραγωγή μικροβιακών μεταβολιτών, τη λειτουργία του εντερικού και του αιματοεγκεφαλικού φραγμού, καθώς και την παραγωγή ή τροποποίηση νευροδραστικών ουσιών (Cryan et al., 2019; Ticinesi et al., 2024). Οι μηχανισμοί αυτοί επιτρέπουν στο μικροβίωμα να επηρεάζει όχι μόνο τη γαστρεντερική λειτουργία, αλλά και διεργασίες που σχετίζονται με τη φλεγμονή, τη νευροφλεγμονή και τη γνωστική λειτουργία (Grinan-Ferre et al., 2021; Ticinesi et al., 2024).

Ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς επικοινωνίας είναι το πνευμονογαστρικό νεύρο, το οποίο αποτελεί βασική οδό σύνδεσης μεταξύ του εντέρου και του εγκεφάλου. Το πνευμονογαστρικό νεύρο μεταφέρει πληροφορίες από το γαστρεντερικό σύστημα προς το κεντρικό νευρικό σύστημα και συμμετέχει στη ρύθμιση της πέψης, της φλεγμονής και της απόκρισης στο στρες (Cryan et al., 2019). Μέσω αυτής της οδού, μεταβολές στη σύσταση του μικροβιώματος ή στην παραγωγή μικροβιακών μεταβολιτών μπορούν να επηρεάσουν νευρικά σήματα που φτάνουν στον εγκέφαλο.

Επιπλέον, ο εγκέφαλος μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του εντέρου μέσω του αυτόνομου νευρικού συστήματος, γεγονός που υπογραμμίζει τον αμφίδρομο χαρακτήρα του άξονα εντέρου-εγκεφάλου (Cryan et al., 2019).

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η ανοσολογική οδός επικοινωνίας. Το εντερικό μικροβίωμα αλληλεπιδρά στενά με το ανοσοποιητικό σύστημα, καθώς μεγάλο μέρος των ανοσοκυττάρων του οργανισμού βρίσκεται στο γαστρεντερικό σύστημα (Aziz et al., 2023). Σε συνθήκες ευβίωσης, το μικροβίωμα συμβάλλει στη διατήρηση της ανοσολογικής ισορροπίας και στον περιορισμό της υπερβολικής φλεγμονώδους απόκρισης.

Αντιθέτως, σε συνθήκες δυσβίωσης, η αυξημένη παραγωγή προφλεγμονωδών κυτταροκινών, όπως η ιντερλευκίνη-6 (IL-6), ο παράγοντας νέκρωσης όγκων-α (TNF-α) και η ιντερλευκίνη-1β (IL-1β), μπορεί να επηρεάσει συστηματικά τον οργανισμό και να συμβάλει στη νευροφλεγμονή (Aziz et al., 2023; Grinan-Ferre et al., 2021).

Η φλεγμονώδης αυτή ενεργοποίηση μπορεί να επηρεάσει τον εγκέφαλο με διάφορους τρόπους. Οι κυτταροκίνες μπορούν να επιδράσουν άμεσα ή έμμεσα στο κεντρικό νευρικό σύστημα, επηρεάζοντας τη λειτουργία των νευρώνων και των γλοιακών κυττάρων (Grinan-Ferre et al., 2021). Ιδιαίτερα σημαντική είναι η ενεργοποίηση της μικρογλοίας, δηλαδή των ανοσοκυττάρων του εγκεφάλου, η οποία όταν είναι

παρατεταμένη μπορεί να οδηγήσει σε νευροφλεγμονή. Η νευροφλεγμονή έχει συσχετιστεί με διαταραχές στη συναπτική λειτουργία, στην πλαστικότητα του εγκεφάλου και στη γνωστική απόδοση, ιδιαίτερα κατά τη γήρανση (Grinan-Ferre et al., 2021).

Ένας ακόμη βασικός μηχανισμός είναι η παραγωγή μικροβιακών μεταβολιτών, με σημαντικότερα τα λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (*short-chain fatty acids*, SCFAs), όπως το οξικό, το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ. Τα SCFAs παράγονται κυρίως από τη ζύμωση των φυτικών ινών από τα εντερικά βακτήρια και έχουν σημαντικές αντιφλεγμονώδεις και ανοσορυθμιστικές ιδιότητες (Ticinesi et al., 2024). Το βουτυρικό οξύ, ειδικότερα, συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού, στη ρύθμιση της παραγωγής κυτταροκινών και στη μείωση της φλεγμονής (Ticinesi et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Τα SCFAs φαίνεται επίσης να επηρεάζουν τη λειτουργία του εγκεφάλου μέσω πολλαπλών μηχανισμών. Μπορούν να δράσουν έμμεσα, μειώνοντας τη συστηματική φλεγμονή, αλλά και άμεσα ή έμμεσα επηρεάζοντας τη λειτουργία του αιματοεγκεφαλικού φραγμού και τη δραστηριότητα νευρικών και γλοιακών κυττάρων (Ticinesi et al., 2024; Grinan-Ferre et al., 2021). Η επαρκής παραγωγή SCFAs θεωρείται προστατευτική, ενώ η μείωσή τους σε συνθήκες δυσβίωσης ή χαμηλής πρόσληψης φυτικών ινών μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της φλεγμονής και πιθανώς στη γνωστική έκπτωση (Ticinesi et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Η ακεραιότητα του εντερικού φραγμού αποτελεί επίσης κρίσιμο σημείο στην επικοινωνία μικροβιώματος και εγκεφάλου. Σε φυσιολογικές συνθήκες, ο εντερικός φραγμός περιορίζει τη διέλευση μικροβιακών προϊόντων στην κυκλοφορία. Ωστόσο, σε συνθήκες δυσβίωσης και αυξημένης εντερικής διαπερατότητας, μόρια όπως τα λιποπολυσακχαρίδια (*lipopolysaccharides*, LPS) μπορούν να περάσουν στην κυκλοφορία του αίματος και να ενεργοποιήσουν φλεγμονώδεις οδούς (Aziz et al., 2023). Η διαδικασία αυτή ενισχύει τη συστηματική φλεγμονή χαμηλού βαθμού και μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος (Aziz et al., 2023; Grinan-Ferre et al., 2021).

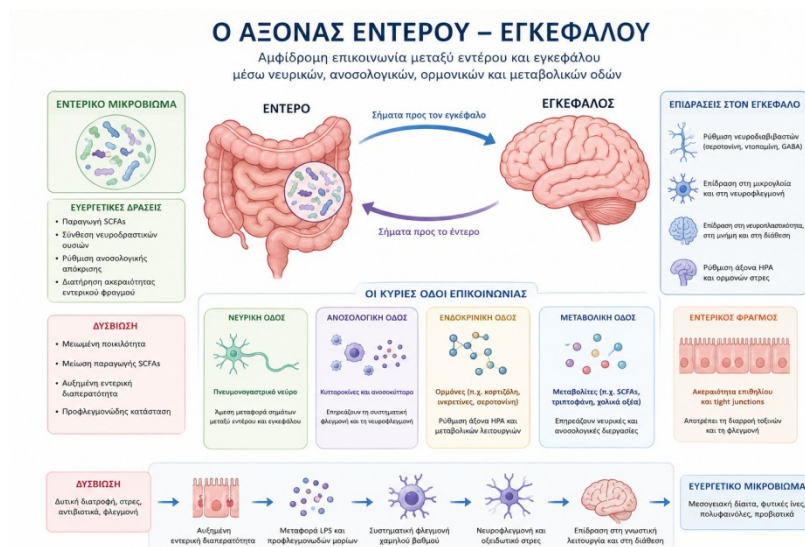
Ιδιαίτερη σημασία έχει και ο αιματοεγκεφαλικός φραγμός, ο οποίος προστατεύει τον εγκέφαλο από επιβλαβείς ουσίες που κυκλοφορούν στο αίμα. Η χρόνια φλεγμονή και η αυξημένη παρουσία προφλεγμονωδών μορίων μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία του αιματοεγκεφαλικού φραγμού, αυξάνοντας την ευαλωτότητα του εγκεφάλου σε φλεγμονώδη ερεθίσματα (Grinan-Ferre et al., 2021). Η διαταραχή αυτή

θεωρείται σημαντικός μηχανισμός που συνδέει τη συστηματική φλεγμονή με τη νευροφλεγμονή και τη γνωστική δυσλειτουργία.

Επίσης, το εντερικό μικροβίωμα μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή και τον μεταβολισμό νευροδραστικών ουσιών. Ορισμένα εντερικά βακτήρια συμμετέχουν στην παραγωγή ή ρύθμιση ουσιών όπως η σεροτονίνη, το γ-αμινοβουτυρικό οξύ (*gamma-aminobutyric acid*, GABA), η ντοπαμίνη και άλλοι μεταβολίτες που σχετίζονται με τη νευρική λειτουργία (Cryan et al., 2019). Αν και μεγάλο μέρος αυτών των ουσιών δρα περιφερικά, μπορούν να επηρεάσουν έμμεσα τη λειτουργία του εγκεφάλου μέσω νευρικών, ανοσολογικών και ενδοκρινικών οδών (Cryan et al., 2019).

Οι μηχανισμοί αυτοί επηρεάζονται από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων η διατροφή, η οποία μπορεί να τροποποιήσει τη σύσταση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Ο ρόλος της διατροφής αναλύεται εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Ως αποτέλεσμα, οι μηχανισμοί επικοινωνίας μεταξύ μικροβιώματος και εγκεφάλου είναι πολυπαραγοντικοί και αλληλένδετοι. Το πνευμονογαστρικό νεύρο, οι ανοσολογικές οδοί, οι μικροβιακοί μεταβολίτες, ο εντερικός και ο αιματοεγκεφαλικός φραγμός και οι νευροδραστικές ουσίες συνθέτουν ένα πολύπλοκο δίκτυο επικοινωνίας (Cryan et al., 2019; Ticinesi et al., 2024). Η διαταραχή οποιουδήποτε από αυτούς τους μηχανισμούς, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της γήρανσης και της δυσβίωσης, μπορεί να συμβάλει στη φλεγμονή χαμηλού βαθμού, στη νευροφλεγμονή και τελικά στη γνωστική έκπτωση (Grinan-Ferre et al., 2021; Aziz et al., 2023). Οι βασικές οδοί επικοινωνίας του άξονα εντέρου–εγκεφάλου παρουσιάζονται συνοπτικά στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Ο άξονας εντέρου-εγκεφάλου και οι κύριες οδοί επικοινωνίας μεταξύ εντερικού μικροβιώματος και κεντρικού νευρικού συστήματος.

Σημείωση. Ιδία επεξεργασία βάσει Cryan et al. (2019), Grinan-Ferre et al. (2021) και Ticinesi et al. (2024).

5.3 Μικροβίωμα, νευροφλεγμονή και γνωστική λειτουργία

Η νευροφλεγμονή αποτελεί έναν από τους βασικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού μπορεί να επηρεάσει τη γνωστική λειτουργία κατά τη γήρανση. Σε φυσιολογικές συνθήκες, η φλεγμονώδης απόκριση του εγκεφάλου αποτελεί προστατευτικό μηχανισμό έναντι τραυματισμών, λοιμώξεων ή άλλων βλαπτικών ερεθισμάτων (Grinan-Ferre et al., 2021). Ωστόσο, όταν η φλεγμονώδης ενεργοποίηση γίνεται χρόνια και παρατεταμένη, μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργία των νευρικών κυττάρων και να συμβάλει στη γνωστική έκπτωση (Grinan-Ferre et al., 2021).

Το εντερικό μικροβίωμα φαίνεται να συμμετέχει στη ρύθμιση της νευροφλεγμονής μέσω της επίδρασής του στη συστηματική φλεγμονή, στην ακεραιότητα του εντερικού φραγμού και στην παραγωγή μικροβιακών μεταβολιτών. Σε συνθήκες ευβίωσης, το μικροβίωμα συμβάλλει στη διατήρηση της ανοσολογικής ισορροπίας και στη μείωση της υπερβολικής φλεγμονώδους απόκρισης (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024). Αντίθετα, η δυσβίωση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγή προφλεγμονωδών μορίων και σε ενίσχυση της φλεγμονής χαμηλού βαθμού, η οποία με τη σειρά της μπορεί να επηρεάσει το κεντρικό νευρικό σύστημα (Aziz et al., 2023; Grinan-Ferre et al., 2021).

Η δυσβίωση μπορεί να ενισχύσει τη νευροφλεγμονή μέσω μηχανισμών που περιλαμβάνουν την αυξημένη εντερική διαπερατότητα, τη συστηματική φλεγμονή και την παραγωγή προφλεγμονωδών κυτταροκινών, οι οποίοι έχουν ήδη περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια (Aziz et al., 2023; Grinan-Ferre et al., 2021).

Η μικρογλοία, δηλαδή τα κύρια ανοσοκύτταρα του κεντρικού νευρικού συστήματος, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη νευροφλεγμονή. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η μικρογλοία συμμετέχει στην προστασία του εγκεφάλου, στην απομάκρυνση κυτταρικών υπολειμμάτων και στη διατήρηση της νευρωνικής ομοιόστασης (Grinan-Ferre et al., 2021). Ωστόσο, κατά τη γήρανση και υπό την επίδραση χρόνιας φλεγμονής, η μικρογλοία μπορεί να ενεργοποιηθεί υπερβολικά και να παράγει προφλεγμονώδεις παράγοντες, συμβάλλοντας σε νευρωνική δυσλειτουργία και βλάβη (Grinan-Ferre et al., 2021).

Η παρατεταμένη ενεργοποίηση της μικρογλοίας έχει συσχετιστεί με διαταραχές στη συναπτική πλαστικότητα, στη νευρογένεση και στη λειτουργία περιοχών του εγκεφάλου που σχετίζονται με τη μνήμη και τη μάθηση, όπως ο ιππόκαμπος (Grinan-Ferre et al., 2021). Οι μεταβολές αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές στο πλαίσιο της γνωστικής γήρανσης, καθώς η σταδιακή μείωση της γνωστικής απόδοσης σχετίζεται συχνά με φλεγμονώδεις και εκφυλιστικές διεργασίες στον εγκέφαλο (Grinan-Ferre et al., 2021; Gandham et al., 2026).

Τα SCFAs φαίνεται να συμβάλλουν στη ρύθμιση της νευροφλεγμονής μέσω των αντιφλεγμονωδών και ανοσορρυθμιστικών ιδιοτήτων τους (Ticinesi et al., 2024).

Η γνωστική λειτουργία επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων, όπως η νευροφλεγμονή, το οξειδωτικό στρες, η μεταβολική υγεία και η αγγειακή λειτουργία (Grinan-Ferre et al., 2021; Jones et al., 2024). Το μικροβίωμα μπορεί να επηρεάσει έμμεσα όλους αυτούς τους μηχανισμούς, γεγονός που εξηγεί το αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για τη σχέση μεταξύ μικροβιώματος και γνωστικής γήρανσης (Ticinesi et al., 2024; Gandham et al., 2026). Μεταβολές στη σύσταση του μικροβιώματος έχουν συσχετιστεί με αλλαγές στη γνωστική απόδοση, ενώ η δυσβίωση φαίνεται να αποτελεί πιθανό παράγοντα κινδύνου για επιδείνωση της γνωστικής λειτουργίας στους ηλικιωμένους (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σχέση της νευροφλεγμονής με νευροεκφυλιστικές παθήσεις, όπως η νόσος Alzheimer. Αν και η παρούσα εργασία εστιάζει κυρίως στη γνωστική γήρανση και όχι αποκλειστικά στη νόσο Alzheimer, η

συγκεκριμένη νόσος αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα παθολογικής γνωστικής έκπτωσης όπου η φλεγμονή, η δυσβίωση και η ενεργοποίηση της μικρογλοίας φαίνεται να εμπλέκονται στους παθοφυσιολογικούς μηχανισμούς (Grinan-Ferre et al., 2021).

Παρ' όλα αυτά, είναι σημαντικό να διαχωρίζεται η φυσιολογική γνωστική γήρανση από τις νευροεκφυλιστικές νόσους, ώστε να μην υπερεκτιμάται η αιτιολογική σχέση του μικροβιώματος με την παθολογία.

Συνοψίζοντας, το εντερικό μικροβίωμα φαίνεται να επηρεάζει τη νευροφλεγμονή και τη γνωστική λειτουργία μέσω πολλαπλών μηχανισμών, όπως η ρύθμιση της συστηματικής φλεγμονής, η παραγωγή SCFAs, η διατήρηση της ακεραιότητας των φραγμών και η επίδραση στη μικρογλοιακή ενεργοποίηση (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024; Grinan-Ferre et al., 2021). Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών είναι σημαντική για την ερμηνεία της σχέσης μεταξύ μικροβιώματος και γνωστικής γήρανσης, αλλά και για την ανάπτυξη διατροφικών στρατηγικών που στοχεύουν στη μείωση της φλεγμονής και στη διατήρηση της γνωστικής υγείας (Seelarbokus et al., 2024; Ticinesi et al., 2024; Koblinsky et al., 2023)

5.4 Ο πιθανός ρόλος του μικροβιώματος στη γνωστική γήρανση

Η γνωστική γήρανση αναφέρεται στις μεταβολές που παρατηρούνται στις γνωστικές λειτουργίες με την πάροδο της ηλικίας. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να αφορούν τη μνήμη, την προσοχή, την ταχύτητα επεξεργασίας πληροφοριών, την εκτελεστική λειτουργία και την ικανότητα μάθησης. Αν και ορισμένος βαθμός γνωστικής έκπτωσης θεωρείται φυσιολογικό μέρος της γήρανσης, η ένταση και ο ρυθμός εμφάνισης των μεταβολών διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των ατόμων.

Τα τελευταία χρόνια, το εντερικό μικροβίωμα έχει προσελκύσει αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον ως πιθανός παράγοντας που επηρεάζει τη γνωστική γήρανση (Kossowska et al., 2024). Η υπόθεση αυτή βασίζεται στην αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ εντέρου και εγκεφάλου, καθώς και στη συμμετοχή του μικροβιώματος στη ρύθμιση της φλεγμονής, του μεταβολισμού και της ανοσολογικής λειτουργίας (Grinan-Ferre et al., 2021; Gandham et al., 2026).

Μελέτες σε ηλικιωμένους πληθυσμούς έχουν δείξει ότι άτομα με γνωστική έκπτωση ή νευροεκφυλιστικές διαταραχές συχνά παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις στη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος σε σύγκριση με γνωστικά υγιή άτομα. Οι μεταβολές αυτές περιλαμβάνουν μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα και αλλαγές στην αφθονία

συγκεκριμένων μικροβιακών ομάδων, γεγονός που υποδηλώνει πιθανή σύνδεση μεταξύ μικροβιώματος και γνωστικής λειτουργίας (Kossowska et al., 2024; Ticinesi et al., 2024; Gandham et al., 2026). Η σχέση αυτή φαίνεται να διαμεσολαβείται από μηχανισμούς που περιλαμβάνουν τη χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού, τη νευροφλεγμονή και τις μεταβολικές διαταραχές που συνοδεύουν τη γήρανση. Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα υποκεφάλαια, μεταβολές του μικροβιώματος μπορούν να επηρεάσουν ανοσολογικές και νευροβιολογικές διεργασίες οι οποίες σχετίζονται με τη διατήρηση της γνωστικής λειτουργίας (Aziz et al., 2023; Grinan-Ferre et al., 2021).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ήπια γνωστική διαταραχή (Mild Cognitive Impairment, MCI), η οποία θεωρείται ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ φυσιολογικής γήρανσης και άνοιας. Ορισμένες μελέτες έχουν αναφέρει διαφορές στο μικροβιακό προφίλ ατόμων με ήπια γνωστική διαταραχή σε σύγκριση με υγιείς συνομηλίκους, γεγονός που ενισχύει την υπόθεση ότι το μικροβίωμα ενδέχεται να συμμετέχει στις πρώιμες φάσεις της γνωστικής έκπτωσης (Gandham et al., 2026).

Παρόμοιο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η νόσος Alzheimer, η συχνότερη μορφή άνοιας. Αν και η παθογένειά της είναι πολυπαραγοντική και δεν μπορεί να αποδοθεί σε έναν μόνο παράγοντα, αρκετές μελέτες έχουν εξετάσει κατά πόσο η δυσβίωση και η νευροφλεγμονή ενδέχεται να συμβάλλουν στην εξέλιξη των παθολογικών διεργασιών της νόσου (Grinan-Ferre et al., 2021). Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η παρούσα βιβλιογραφία δεν τεκμηριώνει άμεση αιτιολογική σχέση μεταξύ μικροβιώματος και νόσου Alzheimer (Libriani et al., 2026; Grinan-Ferre et al., 2021).

Επιπροσθέτως, η γνωστική γήρανση επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων, όπως η καρδιομεταβολική υγεία, η φυσική δραστηριότητα, η φλεγμονή, η αγγειακή λειτουργία, η φαρμακευτική αγωγή και ο συνολικός τρόπος ζωής. Επομένως, το μικροβίωμα θα πρέπει να εξετάζεται ως μέρος ενός ευρύτερου βιολογικού πλαισίου και όχι ως μεμονωμένος παράγοντας που καθορίζει τη γνωστική πορεία του ατόμου (Jones et al., 2024; Gandham et al., 2026).

Τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των μεταβολών του εντερικού μικροβιώματος και της γνωστικής γήρανσης. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες μελέτες είναι παρατηρησιακές και δεν επιτρέπουν την εξαγωγή ασφαλών αιτιολογικών συμπερασμάτων (Libriani et al., 2026). Για τον λόγο αυτό, απαιτούνται περισσότερες καλά σχεδιασμένες και μακροχρόνιες μελέτες προκειμένου

να διευκρινιστεί ο ακριβής ρόλος του μικροβιώματος στη διατήρηση της γνωστικής υγείας κατά τη γήρανση (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

5.5 Περιορισμοί των διαθέσιμων δεδομένων

Παρά το αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για τη σχέση μεταξύ εντερικού μικροβιώματος και γνωστικής γήρανσης, τα διαθέσιμα δεδομένα παρουσιάζουν σημαντικούς περιορισμούς. Η αναγνώριση αυτών των περιορισμών είναι απαραίτητη για την ορθή ερμηνεία των ευρημάτων και την αποφυγή υπερεκτίμησης του ρόλου του μικροβιώματος στη γνωστική λειτουργία (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς είναι ότι μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας βασίζεται σε παρατηρησιακές μελέτες. Οι μελέτες αυτές μπορούν να αναδείξουν συσχετίσεις μεταξύ του μικροβιώματος και της γνωστικής λειτουργίας, χωρίς όμως να αποδεικνύουν αιτιώδη σχέση. Επομένως, παραμένει ασαφές εάν οι μεταβολές του μικροβιώματος συμβάλλουν στη γνωστική έκπτωση ή εάν αποτελούν συνέπεια άλλων βιολογικών μεταβολών που συνοδεύουν τη γήρανση (Gandham et al., 2026).

Επίσης, υπάρχει σημαντική ετερογένεια μεταξύ των μελετών ως προς τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων, τη χρήση φαρμάκων, τη συννοσηρότητα, τις μεθόδους ανάλυσης του μικροβιώματος και τα εργαλεία αξιολόγησης της γνωστικής λειτουργίας. Οι διαφορές αυτές δυσχεραίνουν τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και περιορίζουν τη δυνατότητα εξαγωγής γενικευμένων συμπερασμάτων (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, η σχέση μεταξύ μικροβιώματος και γνωστικής γήρανσης είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και επηρεάζεται από πολλούς αλληλεπιδρώντες παράγοντες, όπως η ηλικία, η φλεγμονή, η μεταβολική υγεία, η αγγειακή λειτουργία, το οξειδωτικό στρες και οι γενετικοί παράγοντες. Ως εκ τούτου, το μικροβίωμα θα πρέπει να εξετάζεται ως μέρος ενός ευρύτερου βιολογικού πλαισίου και όχι ως μεμονωμένος αιτιολογικός παράγοντας (Grinan-Ferre et al., 2021; Jones et al., 2024).

Τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ του εντερικού μικροβιώματος και της γνωστικής γήρανσης. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες καλά σχεδιασμένες, μακροχρόνιες και παρεμβατικές μελέτες προκειμένου να διευκρινιστούν οι υποκείμενοι μηχανισμοί και η πιθανή αιτιολογική σχέση μεταξύ των δύο παραγόντων (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗ

6.1 Η επίδραση της διατροφής στο εντερικό μικροβίωμα

Η διατροφή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τροποποιήσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Τα διατροφικά πρότυπα και τα επιμέρους θρεπτικά συστατικά μπορούν να μεταβάλλουν τη σχετική αφθονία διαφορετικών μικροβιακών ομάδων, επηρεάζοντας τη μικροβιακή ποικιλότητα, τη μεταβολική δραστηριότητα του μικροβιώματος και την παραγωγή βιοδραστικών μεταβολιτών (Ticinesi et al., 2024).

Οι επιδράσεις της διατροφής στο μικροβίωμα μπορούν να εμφανιστούν ακόμη και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Έχει διαπιστωθεί ότι αλλαγές στις διατροφικές συνήθειες είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε ταχείες μεταβολές στη σύσταση των μικροβιακών κοινοτήτων του εντέρου. Παράλληλα, η μακροχρόνια υιοθέτηση συγκεκριμένων διατροφικών προτύπων φαίνεται να διαμορφώνει πιο σταθερά χαρακτηριστικά του μικροβιώματος, επηρεάζοντας τη λειτουργία και τη μεταβολική του δραστηριότητα (Aziz et al., 2023).

Η επαρκής πρόσληψη φυτικών τροφών και σύνθετων υδατανθράκων παρέχει υποστρώματα για τη μικροβιακή ζύμωση στο παχύ έντερο, συμβάλλοντας στην παραγωγή μεταβολιτών με ευεργετικές ιδιότητες για τον οργανισμό. Αντίθετα, διατροφικά πρότυπα που χαρακτηρίζονται από υψηλή κατανάλωση υπερεπεξεργασμένων τροφίμων, κορεσμένων λιπαρών και απλών σακχάρων έχουν

συσχετίζεται με δυσμενείς μεταβολές στη σύσταση του μικροβιώματος και με αυξημένη φλεγμονώδη επιβάρυνση (Jones et al., 2024).

Οι μεταβολές αυτές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία κατά τη γήρανση, καθώς η ηλικία συνοδεύεται από φυσιολογικές αλλαγές στη σύσταση του μικροβιώματος, μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα και αυξημένη ευαλωτότητα σε φλεγμονώδεις διεργασίες. Η διατροφή μπορεί να λειτουργήσει ως παράγοντας που είτε ενισχύει είτε περιορίζει αυτές τις μεταβολές, επηρεάζοντας έμμεσα τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και τη συνολική υγεία του ατόμου (Ticinesi et al., 2024; Gandham et al., 2026).

Επιπλέον, η επίδραση της διατροφής στο μικροβίωμα δεν περιορίζεται αποκλειστικά στη γαστρεντερική λειτουργία. Μέσω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μικροβιώματος, ανοσοποιητικού συστήματος και άξονα εντέρου–εγκεφάλου, οι διατροφικές επιλογές ενδέχεται να επηρεάζουν διεργασίες που σχετίζονται με τη φλεγμονή, τη μεταβολική υγεία και τη γνωστική λειτουργία. Για τον λόγο αυτό, η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ διατροφής και μικροβιώματος έχει αναδειχθεί σε σημαντικό πεδίο έρευνας στο πλαίσιο της υγιούς γήρανσης (Grinan-Ferre et al., 2021).

6.2 Διατροφικά πρότυπα και εντερικό μικροβίωμα

Τα διατροφικά πρότυπα αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που διαμορφώνουν τη σύνθεση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Η μακροχρόνια υιοθέτηση συγκεκριμένων διατροφικών συνηθειών μπορεί να επηρεάσει τη μικροβιακή ποικιλότητα, την παραγωγή μεταβολιτών και τη φλεγμονώδη κατάσταση του οργανισμού. Δύο από τα περισσότερο μελετημένα διατροφικά πρότυπα είναι η μεσογειακή διατροφή και η δυτικού τύπου διατροφή, οι οποίες φαίνεται να ασκούν διαφορετικές επιδράσεις στο εντερικό μικροβίωμα και στην υγεία γενικότερα (Ticinesi et al., 2024; Seelarbokus et al., 2024).

Η μεσογειακή διατροφή χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση φρούτων, λαχανικών, οσπρίων, δημητριακών ολικής άλεσης, ξηρών καρπών, ελαιολάδου και ψαριών, καθώς και από περιορισμένη κατανάλωση κόκκινου κρέατος και υπερεπεξεργασμένων τροφίμων. Το συγκεκριμένο διατροφικό πρότυπο έχει συσχετιστεί με αυξημένη μικροβιακή ποικιλότητα και ευνοϊκές μεταβολές στη σύνθεση του μικροβιώματος.

Παράλληλα, η υψηλή περιεκτικότητά του σε φυτικές ίνες και βιοδραστικές ενώσεις συμβάλλει στην παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου (SCFAs), τα οποία

παρουσιάζουν αντιφλεγμονώδεις και ανοσορρυθμιστικές ιδιότητες (Seelarbokus et al., 2024; Ticinesi et al., 2024).

Η μεσογειακή διατροφή έχει συνδεθεί με χαμηλότερα επίπεδα φλεγμονωδών δεικτών και καλύτερη καρδιομεταβολική υγεία, παράγοντες που θεωρούνται σημαντικοί για την υγιή γήρανση. Οι ευεργετικές αυτές επιδράσεις φαίνεται να σχετίζονται εν μέρει με την επίδρασή της στο εντερικό μικροβίωμα και στους μεταβολίτες που αυτό παράγει (Azzolino et al., 2025; Seelarbokus et al., 2024).

Ωστόσο, η δυτικού τύπου διατροφή χαρακτηρίζεται από αυξημένη κατανάλωση επεξεργασμένων τροφίμων, κορεσμένων λιπαρών, απλών σακχάρων και κόκκινου κρέατος, καθώς και από χαμηλή πρόσληψη φυτικών ινών. Η διατροφική αυτή προσέγγιση έχει συσχετιστεί με μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα και με αυξημένη παρουσία μικροβιακών ομάδων που σχετίζονται με φλεγμονώδεις διεργασίες (Aziz et al., 2023).

Η περιορισμένη πρόσληψη φυτικών ινών μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγή SCFAs, ενώ η αυξημένη κατανάλωση κορεσμένων λιπαρών φαίνεται να ευνοεί συνθήκες δυσβίωσης και να επηρεάζει αρνητικά την ακεραιότητα του εντερικού φραγμού. Οι μεταβολές αυτές έχουν συσχετιστεί με αυξημένη εντερική διαπερατότητα και ενίσχυση της φλεγμονής χαμηλού βαθμού, η οποία αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της γήρανσης (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Συγκρίνοντας τα δύο διατροφικά πρότυπα, προκύπτει ότι η μεσογειακή διατροφή φαίνεται να δημιουργεί ευνοϊκότερες συνθήκες για τη διατήρηση ενός ποικιλόμορφου και λειτουργικά ενεργού μικροβιώματος, ενώ η δυτικού τύπου διατροφή συνδέεται συχνότερα με δυσβίωση και αυξημένη φλεγμονώδη επιβάρυνση. Αν και οι επιδράσεις της διατροφής επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες, όπως η ηλικία, η φαρμακευτική αγωγή και ο τρόπος ζωής, τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν ότι η ποιότητα της διατροφής αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη διατήρηση της εντερικής και συνολικής υγείας κατά τη γήρανση (Ticinesi et al., 2024; Seelarbokus et al., 2024). Οι βασικές διαφορές μεταξύ της μεσογειακής διατροφής και της δυτικού τύπου διατροφής ως προς την επίδρασή τους στο μικροβίωμα, τη φλεγμονή και τη γνωστική υγεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Σύγκριση της Μεσογειακής διατροφής και της Δυτικού τύπου διατροφής ως προς το μικροβίωμα, τη φλεγμονή και τη γνωστική υγεία.

Χαρακτηριστικό	Μεσογειακή διατροφή	Δυτικού τύπου διατροφή
	Φρούτα, λαχανικά, όσπρια,	Επεξεργασμένα τρόφιμα,

Κύρια τρόφιμα	δημητριακά ολικής άλεσης, ελαιόλαδο, ψάρια	κόκκινο κρέας, ζάχαρη, κορεσμένα λιπαρά
Περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες	Υψηλή	Χαμηλή
Πολυφαινόλες και αντιοξειδωτικά	Υψηλή	Χαμηλή
Επίδραση στη μικροβιακή ποικιλότητα	Αυξάνει τη μικροβιακή ποικιλότητα	Μειώνει τη μικροβιακή ποικιλότητα
Παραγωγή SCFAs	Αυξημένη	Μειωμένη
Εντερικός φραγμός	Υποστηρίζει την ακεραιότητά του	Αυξάνει την εντερική διαπερατότητα
Επίδραση στη φλεγμονή	Μειώνει τη φλεγμονή χαμηλού βαθμού	Ενισχύει τη χρόνια φλεγμονή
Επίδραση στη γνωστική λειτουργία	Συσχετίζεται με καλύτερη γνωστική υγεία	Συσχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο γνωστικής έκπτωσης
Επίδραση στην υγιή γήρανση	Ευνοϊκή	Δυσμενής

Σημείωση. Ιδία επεξεργασία βάσει Aziz et al. (2023), Ticinesi et al. (2024), Seelarbokus et al. (2024) και Koblinsky et al. (2023).

6.3 Συγκεκριμένα διατροφικά συστατικά και εντερικό μικροβίωμα

Πέρα από τα συνολικά διατροφικά πρότυπα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και συγκεκριμένα διατροφικά συστατικά που μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Τα συστατικά αυτά φαίνεται να επηρεάζουν τη μικροβιακή ποικιλότητα, την παραγωγή μικροβιακών μεταβολιτών και τη φλεγμονώδη κατάσταση του οργανισμού, συμβάλλοντας ενδεχομένως στη διατήρηση της υγείας κατά τη γήρανση (Ticinesi et al., 2024).

Φυτικές ίνες

Οι φυτικές ίνες αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα διατροφικά συστατικά για τη διατήρηση της εντερικής υγείας. Καθώς δεν πέπτονται από τα ανθρώπινα ένζυμα, φθάνουν στο παχύ έντερο όπου υφίστανται ζύμωση από τα εντερικά βακτήρια. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στην παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου (SCFAs), όπως το οξικό, το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ, τα οποία παρουσιάζουν αντιφλεγμονώδεις και ανοσορρυθμιστικές ιδιότητες (Ticinesi et al., 2024).

Η επαρκής πρόσληψη φυτικών ινών έχει συσχετιστεί με αυξημένη μικροβιακή ποικιλότητα και με μεγαλύτερη αφθονία ωφέλιμων μικροοργανισμών. Παράλληλα, συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού και στον περιορισμό φλεγμονωδών διεργασιών που σχετίζονται με τη γήρανση (Aziz et al., 2023).

Πολυφαινόλες

Οι πολυφαινόλες είναι βιοδραστικές ενώσεις που βρίσκονται σε τρόφιμα όπως τα φρούτα, τα λαχανικά, το ελαιόλαδο, το τσάι, το κακάο και οι ξηροί καρποί. Πολλές από αυτές μεταβολίζονται από το εντερικό μικροβίωμα, ενώ παράλληλα μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεσή του, προάγοντας την ανάπτυξη βακτηρίων με ευεργετικές δράσεις (Santa et al., 2023).

Ακόμη, οι πολυφαινόλες παρουσιάζουν αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες, οι οποίες ενδέχεται να συμβάλλουν στη μείωση του οξειδωτικού στρες και της χρόνιας φλεγμονής που παρατηρούνται κατά τη γήρανση (Santa et al., 2023).

Ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα

Τα ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, τα οποία βρίσκονται κυρίως στα λιπαρά ψάρια, έχουν μελετηθεί για τις αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές τους. Αν και οι ακριβείς αλληλεπιδράσεις τους με το εντερικό μικροβίωμα δεν έχουν πλήρως αποσαφηνιστεί, υπάρχουν ενδείξεις ότι μπορούν να επηρεάσουν τη μικροβιακή σύνθεση και να συμβάλουν στη διατήρηση ενός ευνοϊκότερου εντερικού περιβάλλοντος (Ticinesi et al., 2024).

Επιπροσθέτως, η επαρκής πρόσληψη ω-3 λιπαρών οξέων έχει συσχετιστεί με μειωμένη φλεγμονώδη δραστηριότητα και καλύτερη καρδιομεταβολική υγεία, παράγοντες που συνδέονται με την υγιή γήρανση (Seelarbokus et al., 2024).

Ζυμωμένα τρόφιμα

Τα ζυμωμένα τρόφιμα, όπως το γιαούρτι και άλλα προϊόντα ζύμωσης, αποτελούν πηγή μικροοργανισμών και βιοδραστικών ενώσεων που μπορούν να επηρεάσουν το εντερικό οικοσύστημα. Η κατανάλωσή τους έχει συσχετιστεί με αυξημένη μικροβιακή ποικιλότητα και με βελτιωμένους δείκτες εντερικής λειτουργίας, αν και τα διαθέσιμα δεδομένα παραμένουν περιορισμένα και απαιτούνται περαιτέρω μελέτες (Gandham et al., 2026).

Συνολικά προκύπτει ότι, διάφορα διατροφικά συστατικά φαίνεται να επηρεάζουν τη σύνθεση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος μέσω διαφορετικών μηχανισμών. Οι φυτικές ίνες, οι πολυφαινόλες, τα ω-3 λιπαρά οξέα και τα ζυμωμένα τρόφιμα έχουν συσχετιστεί με ευνοϊκές μεταβολές του μικροβιώματος και με μείωση της φλεγμονώδους επιβάρυνσης, γεγονός που ενδέχεται να συμβάλλει στην υποστήριξη της υγείας κατά τη γήρανση.

6.4 Προβιοτικά, πρεβιοτικά και συνβιοτικά

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για παρεμβάσεις που στοχεύουν στην τροποποίηση του εντερικού μικροβιώματος με σκοπό τη βελτίωση της υγείας κατά τη γήρανση. Μεταξύ των προσεγγίσεων που έχουν μελετηθεί περισσότερο περιλαμβάνονται τα προβιοτικά, τα πρεβιοτικά και τα συνβιοτικά, τα οποία φαίνεται να επηρεάζουν τη σύνθεση και τη λειτουργία του μικροβιώματος μέσω διαφορετικών μηχανισμών δράσης (Donati Zeppa et al., 2023).

Τα προβιοτικά ορίζονται ως ζωντανοί μικροοργανισμοί οι οποίοι, όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες, μπορούν να προσφέρουν οφέλη στην υγεία του ξενιστή. Τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα προβιοτικά ανήκουν στα γένη *Lactobacillus* και *Bifidobacterium*. Η χορήγησή τους έχει συσχετιστεί με βελτίωση της ισορροπίας του εντερικού μικροβιώματος, ενίσχυση του εντερικού φραγμού και τροποποίηση ορισμένων ανοσολογικών αποκρίσεων (Białecka-Dębek et al., 2021).

Τα πρεβιοτικά αποτελούν μη πέψιμα συστατικά των τροφίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται επιλεκτικά από ορισμένους μικροοργανισμούς του εντέρου και προάγουν την ανάπτυξη και τη δραστηριότητά τους. Παραδείγματα πρεβιοτικών αποτελούν η ινουλίνη και οι φρουκτοολιγοσακχαρίτες. Μέσω της ζύμωσής τους από το μικροβίωμα, τα πρεβιοτικά μπορούν να συμβάλλουν στην παραγωγή μεταβολιτών με ευεργετικές επιδράσεις για την εντερική και ανοσολογική λειτουργία (Donati Zeppa et al., 2023).

Τα συνβιοτικά αποτελούν συνδυασμό προβιοτικών και πρεβιοτικών, με στόχο την ενίσχυση της επιβίωσης και της δραστηριότητας των ωφέλιμων μικροοργανισμών. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, καθώς επιδιώκει να αξιοποιήσει τα πλεονεκτήματα και των δύο κατηγοριών παρεμβάσεων.

Ορισμένες μελέτες έχουν εξετάσει κατά πόσο οι παρεμβάσεις αυτές μπορούν να επηρεάσουν όχι μόνο την εντερική υγεία αλλά και παραμέτρους που σχετίζονται με τη φλεγμονή και τη γνωστική λειτουργία. Αν και τα διαθέσιμα ευρήματα είναι ενθαρρυντικά, τα αποτελέσματα παραμένουν συχνά ετερογενή και δεν επιτρέπουν την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων σχετικά με την αποτελεσματικότητά τους στους ηλικιωμένους πληθυσμούς (Białecka-Dębek et al., 2021; Jukic Peladic et al., 2021).

Επιπλέον, οι διαφορές στα χρησιμοποιούμενα στελέχη μικροοργανισμών, στις δοσολογίες, στη διάρκεια των παρεμβάσεων και στα χαρακτηριστικά των

συμμετεχόντων δυσχεραίνουν τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των μελετών. Για τον λόγο αυτό, απαιτούνται περισσότερες καλά σχεδιασμένες κλινικές δοκιμές προκειμένου να διευκρινιστεί ο ρόλος των προβιοτικών, πρεβιοτικών και συνβιοτικών στη διατήρηση της υγείας κατά τη γήρανση (Jukic Peladic et al., 2021). Συνολικά, τα προβιοτικά, τα πρεβιοτικά και τα συνβιοτικά αποτελούν πολλά υποσχόμενες στρατηγικές τροποποίησης του εντερικού μικροβιώματος. Παρότι τα διαθέσιμα δεδομένα υποδηλώνουν πιθανά οφέλη ως προς την εντερική λειτουργία και τη ρύθμιση της φλεγμονής, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητάς τους και τον καθορισμό βέλτιστων πρωτοκόλλων εφαρμογής στους ηλικιωμένους.

6.5 Διατροφικές παρεμβάσεις για την υποστήριξη της γνωστικής υγείας κατά τη γήρανση

Η αυξανόμενη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διατροφής, εντερικού μικροβιώματος και άξονα εντέρου–εγκεφάλου έχει οδηγήσει στη διερεύνηση διατροφικών στρατηγικών που ενδέχεται να συμβάλλουν στη διατήρηση της γνωστικής υγείας κατά τη γήρανση. Η διατροφή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τροποποιήσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τόσο τη σύσταση του μικροβιώματος όσο και μηχανισμούς που σχετίζονται με τη φλεγμονή, τη μεταβολική υγεία και τη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος (Ticinesi et al., 2024).

Τα διαθέσιμα δεδομένα υποδεικνύουν ότι διατροφικά πρότυπα που χαρακτηρίζονται από υψηλή κατανάλωση φυτικών τροφών και περιορισμένη πρόσληψη υπερεπεξεργασμένων προϊόντων φαίνεται να ευνοούν τη διατήρηση ενός περισσότερο ποικιλόμορφου και λειτουργικά ενεργού μικροβιώματος. Οι μεταβολές αυτές συνδέονται με αυξημένη παραγωγή ωφέλιμων μικροβιακών μεταβολιτών, καλύτερη ρύθμιση της φλεγμονής και υποστήριξη της ακεραιότητας του εντερικού φραγμού, παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάζουν έμμεσα και τη γνωστική λειτουργία (Seelarbokus et al., 2024; Azzolino et al., 2025).

Ταυτόχρονα, η επαρκής πρόσληψη φυτικών ινών, πολυφαινολών και ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων έχει συσχετιστεί με ευνοϊκές μεταβολές στο εντερικό μικροβίωμα και με μείωση φλεγμονωδών διεργασιών που σχετίζονται με τη γήρανση. Αν και οι ακριβείς μηχανισμοί δεν έχουν πλήρως αποσαφηνιστεί, τα ευρήματα αυτά υποστηρίζουν την άποψη ότι η ποιότητα της διατροφής μπορεί να επηρεάζει

παράγοντες που συμμετέχουν στη διατήρηση της γνωστικής υγείας (Santa et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Οι παρεμβάσεις με προβιοτικά, πρεβιοτικά και συνβιοτικά έχουν προσελκύσει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον ως πιθανές στρατηγικές τροποποίησης του μικροβιώματος. Παρότι ορισμένες μελέτες έχουν αναφέρει θετικά αποτελέσματα σε δείκτες φλεγμονής ή γνωστικής λειτουργίας, τα διαθέσιμα δεδομένα παραμένουν περιορισμένα και συχνά ετερογενή, γεγονός που δεν επιτρέπει την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων (Białecka-Dębek et al., 2021; Jukic Peladic et al., 2021).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η γνωστική γήρανση αποτελεί μια πολύπλοκη και πολυπαραγοντική διαδικασία, η οποία επηρεάζεται από γενετικούς, μεταβολικούς, αγγειακούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Κατά συνέπεια, η διατροφή και το μικροβίωμα δεν θα πρέπει να θεωρούνται ως οι μοναδικοί καθοριστικοί παράγοντες της γνωστικής πορείας ενός ατόμου, αλλά ως μέρος ενός ευρύτερου πλαισίου που συμβάλλει στη διατήρηση της υγείας κατά τη γήρανση (Jones et al., 2024).

Τέλος, τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα υποστηρίζουν ότι η υιοθέτηση υγιεινών διατροφικών συνηθειών μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση ενός ευνοϊκού εντερικού μικροβιώματος και στη ρύθμιση μηχανισμών που σχετίζονται με τη φλεγμονή και τη γνωστική λειτουργία. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες μακροχρόνιες και καλά σχεδιασμένες κλινικές μελέτες προκειμένου να διευκρινιστεί ο βαθμός στον οποίο οι διατροφικές παρεμβάσεις μπορούν να επηρεάσουν τη γνωστική υγεία κατά τη γήρανση.

6.6 Πρακτικές διατροφικές κατευθύνσεις και μελλοντικές προοπτικές

Τα ευρήματα της σύγχρονης βιβλιογραφίας υποδεικνύουν ότι η διατροφή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τροποποιήσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Μέσω της επίδρασής της στο μικροβίωμα, η διατροφή μπορεί να επηρεάσει μηχανισμούς που σχετίζονται με τη φλεγμονή, τη μεταβολική υγεία και την επικοινωνία μεταξύ εντέρου και εγκεφάλου. Για τον λόγο αυτό, η υιοθέτηση υγιεινών διατροφικών συνηθειών θεωρείται σημαντική στρατηγική για την υποστήριξη της υγείας κατά τη γήρανση.

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αυξημένη κατανάλωση φρούτων, λαχανικών, οσπρίων, δημητριακών ολικής άλεσης, ξηρών καρπών και άλλων φυτικών τροφών που παρέχουν φυτικές ίνες και βιοδραστικές ενώσεις.

Συνιστάται ο περιορισμός της κατανάλωσης υπερεπεξεργασμένων τροφίμων, πρόσθετων σακχάρων και τροφίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά, καθώς τα διατροφικά αυτά χαρακτηριστικά έχουν συσχετιστεί με δυσμενείς μεταβολές του εντερικού μικροβιώματος και αυξημένη φλεγμονώδη επιβάρυνση (Ticinesi et al., 2024; Seelarbokus et al., 2024).

Η μεσογειακή διατροφή αποτελεί ένα από τα περισσότερο μελετημένα διατροφικά πρότυπα στο πλαίσιο της υγιούς γήρανσης. Η υψηλή περιεκτικότητά της σε φυτικές τροφές, ελαιόλαδο και τρόφιμα πλούσια σε βιοδραστικές ενώσεις φαίνεται να συμβάλλει στη διατήρηση ενός ευνοϊκού μικροβιακού προφίλ και στη μείωση φλεγμονωδών διεργασιών που σχετίζονται με τη γήρανση. Ωστόσο, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ότι η επίδραση της διατροφής στο μικροβίωμα μπορεί να διαφοροποιείται μεταξύ των ατόμων λόγω γενετικών, περιβαλλοντικών και κλινικών παραγόντων (Azzolino et al., 2025).

Παρά την πρόοδο που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια, αρκετά ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα. Οι περισσότερες διαθέσιμες μελέτες είναι παρατηρησιακές, ενώ η ετερογένεια των μεθόδων αξιολόγησης του μικροβιώματος δυσχεραίνει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, δεν έχει ακόμη αποσαφηνιστεί πλήρως ποια χαρακτηριστικά του μικροβιώματος συνδέονται με τη διατήρηση της γνωστικής υγείας κατά τη γήρανση και ποιος είναι ο ακριβής ρόλος τους στις σχετικές βιολογικές διεργασίες (Gandham et al., 2026).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προοπτική της εξατομικευμένης διατροφής (personalized nutrition), η οποία βασίζεται στα ατομικά χαρακτηριστικά του ατόμου, συμπεριλαμβανομένης της σύστασης του εντερικού μικροβιώματος. Η προσέγγιση αυτή θα μπορούσε στο μέλλον να επιτρέψει την ανάπτυξη πιο στοχευμένων διατροφικών παρεμβάσεων με στόχο τη βελτιστοποίηση της εντερικής και γνωστικής υγείας. Παρότι τα πρώτα ευρήματα είναι ενθαρρυντικά, απαιτούνται περισσότερες καλά σχεδιασμένες κλινικές μελέτες για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας τέτοιων στρατηγικών.

Έτσι, η διατροφή αναδεικνύεται ως σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει το εντερικό μικροβίωμα και, μέσω αυτού, μηχανισμούς που σχετίζονται με τη φλεγμονή και τη γνωστική γήρανση. Η περαιτέρω διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διατροφής, μικροβιώματος και άξονα εντέρου–εγκεφάλου αναμένεται να συμβάλει στην ανάπτυξη αποτελεσματικότερων στρατηγικών προαγωγής της υγείας και υποστήριξης της υγιούς γήρανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΡΥΜΑΤΩΝ

7.1 Σύνθεση των βασικών ευρημάτων

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση ανέδειξε ότι η σχέση μεταξύ διατροφής, εντερικού μικροβιώματος, φλεγμονής χαμηλού βαθμού και γνωστικής γήρανσης αποτελεί ένα σύνθετο και πολυπαραγοντικό φαινόμενο. Τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν ότι οι παράγοντες αυτοί αλληλεπιδρούν μέσω ενός δικτύου βιολογικών μηχανισμών, χωρίς ωστόσο να μπορούν να διαχωριστούν πλήρως μεταξύ τους ή να ερμηνευθούν μέσω μιας απλής αιτιώδους σχέσης (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Ένα από τα βασικά ευρήματα της ανασκόπησης είναι ότι η γήρανση συνοδεύεται από μεταβολές στη σύσταση και στη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Οι μεταβολές αυτές σχετίζονται με μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα και με αλλαγές σε μικροβιακές λειτουργίες που συμμετέχουν στη διατήρηση της ομοιόστασης του οργανισμού. Παράλληλα, η βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι οι αλλαγές αυτές δεν αποτελούν αποκλειστικά συνέπεια της χρονολογικής ηλικίας, αλλά επηρεάζονται σημαντικά από παράγοντες όπως η διατροφή, η φυσική δραστηριότητα, η φαρμακευτική αγωγή και η συνολική κατάσταση υγείας.

Η ανασκόπηση ανέδειξε επίσης τη φλεγμονή χαμηλού βαθμού ως πιθανό συνδετικό κρίκο μεταξύ των μεταβολών του μικροβιώματος και της γήρανσης. Τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν ότι οι διαταραχές της μικροβιακής ισορροπίας μπορεί να συμβάλλουν στη διατήρηση μιας χρόνιας φλεγμονώδους κατάστασης, η οποία έχει συσχετιστεί με ποικίλες εκδηλώσεις της γήρανσης και με αυξημένο κίνδυνο

εμφάνισης χρόνιων νοσημάτων. Ωστόσο, η σχέση αυτή φαίνεται να είναι αμφίδρομη και να επηρεάζεται από πολλούς επιπλέον βιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πιθανή εμπλοκή του μικροβιώματος στη γνωστική γήρανση μέσω των αλληλεπιδράσεών του με τον άξονα εντέρου–εγκεφάλου. Η βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι μεταβολές του μικροβιώματος ενδέχεται να επηρεάζουν μηχανισμούς που σχετίζονται με τη νευροφλεγμονή, τη μεταβολική ρύθμιση και τη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος. Παρά τα ενθαρρυντικά ευρήματα, οι διαθέσιμες μελέτες δεν επιτρέπουν ακόμη την τεκμηρίωση άμεσης αιτιώδους σχέσης μεταξύ των μεταβολών του μικροβιώματος και της γνωστικής έκπτωσης (Grinan-Ferre et al., 2021; Gandham et al., 2026).

Ένα ακόμη σημαντικό συμπέρασμα της παρούσας ανασκόπησης είναι ο ρόλος της διατροφής ως βασικού τροποποιήσιμου παράγοντα. Τα διαθέσιμα δεδομένα συγκλίνουν στο ότι η ποιότητα της διατροφής επηρεάζει τη σύνθεση και τη λειτουργία του μικροβιώματος, καθώς και μηχανισμούς που σχετίζονται με τη φλεγμονή και την υγεία του εγκεφάλου. Διατροφικά πρότυπα υψηλής ποιότητας φαίνεται να συνδέονται με ευνοϊκότερο μικροβιακό προφίλ και χαμηλότερη φλεγμονώδη επιβάρυνση, ενώ πρότυπα χαμηλής διατροφικής ποιότητας έχουν συσχετιστεί με αντίθετες επιδράσεις (Seelarbokus et al., 2024; Azzolino et al., 2025).

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας υποστηρίζουν ότι η διατροφή, το εντερικό μικροβίωμα, η φλεγμονή και η γνωστική γήρανση αποτελούν αλληλένδετες συνιστώσες ενός ευρύτερου βιολογικού συστήματος. Η κατανόηση αυτών των αλληλεπιδράσεων μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη στρατηγικών που θα υποστηρίξουν την υγιή γήρανση, χωρίς όμως να παραβλέπεται η πολυπαραγοντική φύση των μηχανισμών που εμπλέκονται.

7.2 Ερμηνεία της σχέσης διατροφής, μικροβιώματος και φλεγμονής

Η παρούσα ανασκόπηση ανέδειξε τη διατροφή ως έναν από τους σημαντικότερους τροποποιήσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν ότι οι διατροφικές επιλογές μπορούν να επηρεάσουν τη μικροβιακή ποικιλότητα, τη μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών και τη φλεγμονώδη κατάσταση του οργανισμού, συμβάλλοντας είτε στη διατήρηση είτε στη διαταραχή της εντερικής ομοιόστασης (Ticinesi et al., 2024).

Τα ευρήματα της βιβλιογραφίας συγκλίνουν στο ότι διατροφικά πρότυπα υψηλής ποιότητας συνδέονται συχνότερα με ευνοϊκές μεταβολές του μικροβιώματος και χαμηλότερα επίπεδα φλεγμονής.

Αντιθέτως, διατροφικές συνήθειες που χαρακτηρίζονται από αυξημένη κατανάλωση υπερεπεξεργασμένων τροφίμων και χαμηλή πρόσληψη φυτικών τροφών έχουν συσχετιστεί με δυσμενείς μεταβολές στη μικροβιακή ισορροπία και με αυξημένη φλεγμονώδη επιβάρυνση (Seelarbokus et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Ωστόσο, οι περισσότερες από τις διαθέσιμες μελέτες είναι παρατηρησιακές, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα εξαγωγής ασφαλών αιτιολογικών συμπερασμάτων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η επίδραση της διατροφής στη φλεγμονή φαίνεται να διαμεσολαβείται, τουλάχιστον εν μέρει, από το εντερικό μικροβίωμα. Η παρατήρηση αυτή υποστηρίζει την άποψη ότι το μικροβίωμα δεν αποτελεί απλώς παθητικό αποδέκτη των διατροφικών επιδράσεων, αλλά ενεργό παράγοντα που συμμετέχει στη ρύθμιση βιολογικών διεργασιών σχετικών με τη γήρανση (Ticinesi et al., 2024; Jones et al., 2024). Παρόλα αυτά, οι ακριβείς μηχανισμοί μέσω των οποίων οι διατροφικές μεταβολές επηρεάζουν τη φλεγμονώδη απόκριση δεν έχουν ακόμη αποσαφηνιστεί πλήρως.

Συμπληρωματικά, η σχέση μεταξύ διατροφής, μικροβιώματος και φλεγμονής φαίνεται να επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, όπως η ηλικία, η γενετική προδιάθεση, η χρήση φαρμάκων, η φυσική δραστηριότητα και η παρουσία χρόνιων νοσημάτων. Η πολυπλοκότητα αυτή καθιστά δύσκολη την απομόνωση της συμβολής κάθε παράγοντα ξεχωριστά και αναδεικνύει την ανάγκη προσέγγισης του μικροβιώματος στο πλαίσιο ενός ευρύτερου βιολογικού και περιβαλλοντικού συστήματος (Aziz et al., 2023; Gandham et al., 2026).

Εν κατακλείδη, τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν ότι η διατροφή μπορεί να επηρεάσει μηχανισμούς που σχετίζονται με τη φλεγμονή μέσω της αλληλεπίδρασής της με το εντερικό μικροβίωμα. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες μακροχρόνιες και καλά σχεδιασμένες παρεμβατικές μελέτες προκειμένου να διευκρινιστεί ο βαθμός στον οποίο οι διατροφικές μεταβολές μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της φλεγμονής και στην προαγωγή της υγιούς γήρανσης.

7.3 Σύνδεση με τη γνωστική γήρανση και τον άξονα εντέρου–εγκεφάλου

Τα τελευταία χρόνια, ο άξονας εντέρου–εγκεφάλου έχει αναδειχθεί ως ένα σημαντικό πεδίο έρευνας για την κατανόηση των μηχανισμών που συνδέουν το εντερικό μικροβίωμα με τη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος. Τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν ότι η επικοινωνία μεταξύ εντέρου και εγκεφάλου πραγματοποιείται μέσω ενός πολύπλοκου δικτύου νευρικών, ανοσολογικών και μεταβολικών οδών, στις οποίες το μικροβίωμα φαίνεται να διαδραματίζει ενεργό ρόλο (Grinan-Ferre et al., 2021).

Η παρούσα ανασκόπηση ανέδειξε ότι οι μεταβολές του εντερικού μικροβιώματος ενδέχεται να επηρεάζουν διεργασίες που σχετίζονται με τη νευροφλεγμονή και τη γνωστική λειτουργία. Η παρατήρηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η χρόνια φλεγμονή και η νευροφλεγμονή θεωρούνται βασικά χαρακτηριστικά της γήρανσης και έχουν συσχετιστεί με την εμφάνιση γνωστικής έκπτωσης. Ωστόσο, οι διαθέσιμες μελέτες δεν επιτρέπουν ακόμη την πλήρη αποσαφήνιση των μηχανισμών που συνδέουν τις μεταβολές του μικροβιώματος με τις αλλαγές στη λειτουργία του εγκεφάλου.

Παράλληλα, η βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η γνωστική γήρανση δεν αποτελεί αποτέλεσμα ενός μόνο βιολογικού παράγοντα, αλλά προκύπτει από την αλληλεπίδραση πολλαπλών μηχανισμών που περιλαμβάνουν φλεγμονώδεις, μεταβολικούς, αγγειακούς και γενετικούς παράγοντες (Grinan-Ferre et al., 2021).

Στο πλαίσιο αυτό, το μικροβίωμα φαίνεται να αποτελεί έναν από τους παράγοντες που ενδέχεται να συμβάλλουν στη διαμόρφωση της γνωστικής πορείας κατά τη γήρανση, χωρίς όμως να μπορεί να θεωρηθεί ο αποκλειστικός καθοριστικός παράγοντας (Gandham et al., 2026; Jones et al., 2024).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ευρήματα που υποδηλώνουν διαφορές στη σύσταση του μικροβιώματος μεταξύ ατόμων με φυσιολογική γνωστική λειτουργία και ατόμων με γνωστική έκπτωση ή νευροεκφυλιστικές διαταραχές. Παρότι οι παρατηρήσεις αυτές ενισχύουν την υπόθεση συμμετοχής του μικροβιώματος στη γνωστική γήρανση, δεν είναι ακόμη σαφές εάν οι μεταβολές αυτές αποτελούν αιτία ή συνέπεια των υποκείμενων παθολογικών διεργασιών. Η διάκριση αυτή αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ερευνητικά ζητήματα του πεδίου (Ticinesi et al., 2024; Gandham et al., 2026).

Επιπλέον, η σημαντική ετερογένεια των διαθέσιμων μελετών ως προς τους πληθυσμούς, τις μεθόδους ανάλυσης του μικροβιώματος και τα εργαλεία αξιολόγησης της γνωστικής λειτουργίας περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται προσεκτική ερμηνεία των υφιστάμενων ευρημάτων και αποφυγή υπεραπλουστευμένων συμπερασμάτων σχετικά με τον ρόλο του μικροβιώματος στη γνωστική υγεία.

Συνολικά, η επιστημονική τεκμηρίωση υποστηρίζει ότι το εντερικό μικροβίωμα αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο παράγοντα μελέτης στο πλαίσιο της γνωστικής γήρανσης. Παρότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ μικροβιώματος, άξονα εντέρου–εγκεφάλου και γνωστικής λειτουργίας φαίνεται να είναι βιολογικά εύλογες, απαιτούνται περισσότερες μακροχρόνιες και παρεμβατικές μελέτες προκειμένου να διευκρινιστεί ο ακριβής ρόλος τους στη διατήρηση της γνωστικής υγείας κατά τη γήρανση.

7.4 Κλινική και διατροφική σημασία των ευρημάτων

Τα ευρήματα της παρούσας ανασκόπησης υπογραμμίζουν τη σημασία του εντερικού μικροβιώματος ως πιθανού παράγοντα που σχετίζεται με τη φλεγμονή και τη γνωστική γήρανση. Αν και η υπάρχουσα βιβλιογραφία δεν επιτρέπει την εξαγωγή οριστικών αιτιολογικών συμπερασμάτων, η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μικροβιώματος, διατροφής και άξονα εντέρου–εγκεφάλου δημιουργεί νέες προοπτικές για την υποστήριξη της υγιούς γήρανσης.

Ένα από τα σημαντικότερα πρακτικά συμπεράσματα είναι ότι η διατροφή αποτελεί έναν τροποποιήσιμο παράγοντα που μπορεί να επηρεάσει τη σύσταση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Η παρατήρηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής παρεμβάσεων χαμηλού κόστους και σχετικά εύκολης υλοποίησης σε επίπεδο πληθυσμού. Παρότι απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την επιβεβαίωση των μακροπρόθεσμων οφελών τους, οι υγιεινές διατροφικές συνήθειες φαίνεται να αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την υποστήριξη της υγείας κατά τη γήρανση (Azzolino et al., 2025; Seelarbokus et al., 2024).

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για το μικροβίωμα έχει οδηγήσει στη διερεύνηση νέων θεραπευτικών και προληπτικών στρατηγικών. Η αξιοποίηση παρεμβάσεων που στοχεύουν στη διαμόρφωση του μικροβιώματος ενδέχεται στο μέλλον να συμβάλει στην πρόληψη ή στην επιβράδυνση μηχανισμών που σχετίζονται με τη χρόνια

φλεγμονή και τη γνωστική έκπτωση. Ωστόσο, η κλινική εφαρμογή τέτοιων προσεγγίσεων παραμένει προς το παρόν περιορισμένη, καθώς δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα που να υποστηρίζουν συγκεκριμένα πρωτόκολλα παρέμβασης (Donati Zeppra et al., 2023; Jukic Peladic et al., 2021).

Ταυτοχρόνως, η σημαντική διαφοροποίηση του μικροβιώματος μεταξύ των ατόμων υποδηλώνει ότι μελλοντικές παρεμβάσεις ενδέχεται να απαιτούν περισσότερο εξατομικευμένη προσέγγιση. Παράγοντες όπως η ηλικία, οι συννοσηρότητες, η φαρμακευτική αγωγή, ο τρόπος ζωής και οι διατροφικές συνήθειες φαίνεται να επηρεάζουν την απόκριση στις παρεμβάσεις που στοχεύουν στο μικροβίωμα, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη ανάπτυξης πιο εξατομικευμένων στρατηγικών πρόληψης και προαγωγής της υγείας (Jones et al., 2024).

Έτσι, οι σχετικές μελέτες συγκλίνουν ότι η διατήρηση ενός υγιούς τρόπου ζωής και η υιοθέτηση ισορροπημένων διατροφικών συνηθειών μπορούν να συμβάλουν στη διατήρηση ενός ευνοϊκού εντερικού περιβάλλοντος και ενδεχομένως να υποστηρίξουν μηχανισμούς που σχετίζονται με την υγιή γήρανση. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερα ερευνητικά δεδομένα πριν οι γνώσεις αυτές μεταφραστούν σε εξειδικευμένες κλινικές συστάσεις για τη διατήρηση της γνωστικής υγείας.

7.5 Περιορισμοί της υπάρχουσας βιβλιογραφίας

Παρά το αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για τη σχέση μεταξύ εντερικού μικροβιώματος, φλεγμονής και γνωστικής γήρανσης, η ερμηνεία των διαθέσιμων δεδομένων παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Οι περιορισμοί της υπάρχουσας βιβλιογραφίας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση των ευρημάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς είναι ότι μεγάλο μέρος των διαθέσιμων μελετών είναι παρατηρησιακού χαρακτήρα. Αν και οι μελέτες αυτές μπορούν να αναδείξουν συσχετίσεις μεταξύ των μεταβολών του μικροβιώματος, της φλεγμονής και της γνωστικής λειτουργίας, δεν επιτρέπουν την τεκμηρίωση αιτιώδους σχέσης. Ως εκ τούτου, παραμένει ασαφές εάν οι παρατηρούμενες μεταβολές του μικροβιώματος αποτελούν αιτία ή συνέπεια των βιολογικών αλλαγών που συνοδεύουν τη γήρανση (Gandham et al., 2026).

Φαίνεται να υπάρχει σημαντική ετερογένεια μεταξύ των μελετών ως προς τα χαρακτηριστικά των πληθυσμών που εξετάζονται, τις μεθόδους ανάλυσης του

μικροβιώματος, τους δείκτες φλεγμονής που χρησιμοποιούνται και τα εργαλεία αξιολόγησης της γνωστικής λειτουργίας. Οι διαφορές αυτές δυσχεραίνουν τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και περιορίζουν τη δυνατότητα εξαγωγής γενικευμένων συμπερασμάτων (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Ένας επιπλέον περιορισμός αφορά την πολυπλοκότητα των παραγόντων που επηρεάζουν το εντερικό μικροβίωμα. Η ηλικία, η φαρμακευτική αγωγή, οι συννοσηρότητες, η φυσική δραστηριότητα, οι διατροφικές συνήθειες και διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη σύνθεση και τη λειτουργία του μικροβιώματος. Ως αποτέλεσμα, η απομόνωση της επίδρασης ενός μόνο παράγοντα καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη (Jones et al., 2024; Aziz et al., 2023). Παράλληλα, η αξιολόγηση της διατροφικής πρόσληψης βασίζεται συχνά σε ερωτηματολόγια αυτοαναφοράς, τα οποία ενδέχεται να επηρεάζονται από σφάλματα μνήμης ή υποκειμενική καταγραφή. Αντίστοιχα, η αξιολόγηση της γνωστικής λειτουργίας πραγματοποιείται με διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις μεταξύ των μελετών, γεγονός που μπορεί να επηρεάζει τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων (Azzolino et al., 2025; Ticinesi et al., 2024).

Τέλος, παρά την αυξανόμενη βιβλιογραφία σχετικά με τον άξονα εντέρου–εγκεφάλου, πολλοί από τους προτεινόμενους μηχανισμούς παραμένουν υπό διερεύνηση. Επομένως, απαιτείται προσεκτική ερμηνεία των διαθέσιμων ευρημάτων και αποφυγή υπεραπλουστευμένων συμπερασμάτων σχετικά με τον ρόλο του μικροβιώματος στη γνωστική γήρανση (Grinan-Ferre et al., 2021; Gandham et al., 2026).

7.6 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Η έρευνα σχετικά με τη σχέση μεταξύ εντερικού μικροβιώματος, φλεγμονής και γνωστικής γήρανσης βρίσκεται σε φάση ταχείας ανάπτυξης. Παρότι τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν την ύπαρξη σημαντικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των παραγόντων αυτών, παραμένουν σημαντικά ερευνητικά κενά που περιορίζουν την πλήρη κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών (Gandham et al., 2026; Ticinesi et al., 2024).

Μία από τις βασικές προτεραιότητες της μελλοντικής έρευνας είναι η πραγματοποίηση περισσότερων μακροχρόνιων προοπτικών μελετών, οι οποίες θα επιτρέψουν τη διερεύνηση της χρονικής ακολουθίας μεταξύ μεταβολών του μικροβιώματος και εμφάνισης γνωστικής έκπτωσης. Τέτοιες μελέτες θα μπορούσαν

να συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση του κατά πόσο οι μεταβολές του μικροβιώματος προηγούνται των αλλαγών στη γνωστική λειτουργία ή αποτελούν συνέπειά τους (Gandham et al., 2026).

Απαιτούνται περισσότερες παρεμβατικές μελέτες που θα αξιολογούν την επίδραση διατροφικών παρεμβάσεων στη σύσταση του μικροβιώματος, στους δείκτες φλεγμονής και στη γνωστική λειτουργία. Η διερεύνηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η διατροφή αποτελεί έναν από τους πλέον τροποποιήσιμους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το εντερικό μικροβίωμα και ενδεχομένως την πορεία της γήρανσης (Azzolino et al., 2025; Seelarbokus et al., 2024).

Επιπλέον, η ανάπτυξη τυποποιημένων μεθόδων για την ανάλυση του μικροβιώματος και την αξιολόγηση της γνωστικής λειτουργίας θα μπορούσε να βελτιώσει τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων μεταξύ των μελετών. Η σημερινή μεθοδολογική ετερογένεια αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων και στην ερμηνεία των διαθέσιμων δεδομένων (Ticinesi et al., 2024; Aziz et al., 2023).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η προοπτική της εξατομικευμένης ιατρικής και της εξατομικευμένης διατροφής. Η καλύτερη κατανόηση των ατομικών διαφορών στη σύσταση και στη λειτουργία του μικροβιώματος ενδέχεται να επιτρέψει στο μέλλον την ανάπτυξη πιο στοχευμένων παρεμβάσεων, προσαρμοσμένων στις ανάγκες και στα χαρακτηριστικά κάθε ατόμου (Jones et al., 2024; Azzolino et al., 2025).

Η περαιτέρω διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μικροβιώματος, φλεγμονής και άξονα εντέρου–εγκεφάλου αναμένεται να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που σχετίζονται με τη γνωστική γήρανση. Μελλοντικές μελέτες με τυποποιημένες μεθόδους και μεγαλύτερη διάρκεια παρακολούθησης είναι απαραίτητες για την επιβεβαίωση των υφιστάμενων ευρημάτων και την αξιολόγηση πιθανών παρεμβάσεων που στοχεύουν στο εντερικό μικροβίωμα (Grinan-Ferre et al., 2021; Gandham et al., 2026).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση διερεύνησε τη σχέση μεταξύ εντερικού μικροβιώματος, φλεγμονής χαμηλού βαθμού, άξονα εντέρου–εγκεφάλου και γνωστικής γήρανσης, καθώς και τον πιθανό ρόλο της διατροφής στη διαμόρφωση αυτών των αλληλεπιδράσεων. Τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα υποστηρίζουν ότι το εντερικό μικροβίωμα αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που συμμετέχει στη διατήρηση της ομοιόστασης του οργανισμού και επηρεάζει ποικίλες φυσιολογικές λειτουργίες που σχετίζονται με τη γήρανση.

Η γήρανση συνοδεύεται από μεταβολές στη σύνθεση και στη λειτουργία του μικροβιώματος, οι οποίες συχνά συνδέονται με μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα και αυξημένη φλεγμονώδη δραστηριότητα. Η χρόνια φλεγμονή χαμηλού βαθμού φαίνεται να αποτελεί έναν από τους βασικούς μηχανισμούς που συνδέουν τις μεταβολές αυτές με διάφορες εκδηλώσεις της γήρανσης και με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης χρόνιων νοσημάτων (Aziz et al., 2023; Ticinesi et al., 2024).

Η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ εντέρου και εγκεφάλου μέσω του άξονα εντέρου–εγκεφάλου αναδεικνύει πιθανούς μηχανισμούς μέσω των οποίων το μικροβίωμα μπορεί να επηρεάζει τη γνωστική λειτουργία και τη διαδικασία της γνωστικής γήρανσης (Grinan-Ferre et al., 2021; Gandham et al., 2026).

Τα ευρήματα της βιβλιογραφίας υποδηλώνουν ότι οι μεταβολές του μικροβιώματος σχετίζονται με διεργασίες που εμπλέκονται στη νευροφλεγμονή και στη γνωστική

έκπτωση. Ωστόσο, η γνωστική γήρανση αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό φαινόμενο, το οποίο επηρεάζεται από γενετικούς, μεταβολικούς, αγγειακούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Επομένως, το μικροβίωμα δεν θα πρέπει να θεωρείται ως ο μοναδικός καθοριστικός παράγοντας της γνωστικής υγείας, αλλά ως μία από τις συνιστώσες ενός σύνθετου βιολογικού δικτύου.

Η διατροφή αναδείχθηκε ως ένας από τους σημαντικότερους τροποποιήσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση και τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος. Διατροφικά πρότυπα που βασίζονται κυρίως σε φυτικά τρόφιμα και χαρακτηρίζονται από υψηλή διατροφική ποιότητα φαίνεται να σχετίζονται με ευνοϊκότερες μεταβολές του μικροβιώματος και χαμηλότερη φλεγμονώδη επιβάρυνση.

Αντιθέτως, διατροφικές συνήθειες που περιλαμβάνουν αυξημένη κατανάλωση υπερεπεξεργασμένων τροφίμων και χαμηλή πρόσληψη φυτικών τροφών έχουν συσχετιστεί με δυσμενείς μεταβολές της μικροβιακής ισορροπίας και με ενίσχυση φλεγμονωδών διεργασιών (Seelaarbookus et al., 2024; Azzolino et al., 2025).

Παρά τα ενθαρρυντικά ευρήματα, η υπάρχουσα βιβλιογραφία παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς, οι οποίοι δεν επιτρέπουν την εξαγωγή ασφαλών αιτιολογικών συμπερασμάτων. Η ετερογένεια των μελετών, οι διαφορές στις μεθοδολογικές προσεγγίσεις και η πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μικροβιώματος, φλεγμονής και γνωστικής λειτουργίας καθιστούν αναγκαία τη συνέχιση της έρευνας στο συγκεκριμένο πεδίο.

Συνοψίζοντας, η διαθέσιμη βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι η διατροφή, το εντερικό μικροβίωμα, η φλεγμονή και η γνωστική γήρανση συνδέονται μέσω πολύπλοκων και αλληλεπιδρώντων μηχανισμών. Η καλύτερη κατανόηση των σχέσεων αυτών ενδέχεται να συμβάλει στην ανάπτυξη αποτελεσματικότερων στρατηγικών πρόληψης και προαγωγής της υγιούς γήρανσης. Παρότι πολλά ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα, η διερεύνηση του εντερικού μικροβιώματος αναδεικνύεται ως ένα ιδιαίτερα υποσχόμενο πεδίο έρευνας με πιθανές εφαρμογές στην υποστήριξη της γνωστικής υγείας κατά τη γήρανση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aziz, T., Khan, A.A., Tzora, A., Voidarou, C. and Skoufos, I., (2023). Dietary Implications of the Bidirectional Relationship between the Gut Microflora and Inflammatory Diseases with Special Emphasis on Irritable Bowel Disease: Current and Future Perspective. *Nutrients*, 15(13), p.2956.
2. Azzolino, D., Carnevale-Schianca, M., Bottalico, L., Colella, M., Felicetti, A., Perna, S., Terranova, L., Garcia-Godoy, F., Rondanelli, M., Passarelli, P.C. and Lucchi, T., (2025). The Oral–Gut Microbiota Axis as a Mediator of Frailty and Sarcopenia. *Nutrients*, 17(15), p.2408.
3. Białecka-Dębek, A., Granda, D., Szmidt, M.K. and Zielińska, D., (2021). Gut Microbiota, Probiotic Interventions, and Cognitive Function in the Elderly: A Review of Current Knowledge. *Nutrients*, 13(8), p.2514.
4. Cryan, J.F., O’Riordan, K.J., Cowan, C.S.M., Sandhu, K.V., Bastiaanssen, T.F.S., Boehme, M., Codagnone, M.G., Cussotto, S., Fulling, C., Golubeva, A.V. and Guzzetta, K.E., (2019). The microbiota-gut-brain axis. *Physiological Reviews*, 99(4), pp.1877–2013.
5. Donati Zeppa, S., Agostini, D., Ferrini, F., Gervasi, M., Barbieri, E., Bartolacci, A., Piccoli, G., Saltarelli, R., Sestili, P. and Stocchi, V., (2023). Interventions on Gut Microbiota for Healthy Aging. *Cells*, 12(1), p.34.

6. Gandham, A., Prokopidis, K., Glavas, C., Scott, D. and Lorentzon, M., (2026). Impact of probiotic, prebiotic, and synbiotic supplementation on the gut microbiome in older adults with sarcopenia, obesity, and sarcopenic obesity. *Osteoporosis International*, 37, pp.281–304.
7. Griñan-Ferré, C., Bellver-Sanchis, A., Izquierdo, V., Corpas, R., Roig-Soriano, J., Chillón, M., Andres-Lacueva, C., Somogyvari, M., Soti, C. and Pallas, M., (2021). The pleiotropic neuroprotective effects of resveratrol in cognitive decline and Alzheimer’s disease pathology: From antioxidant to epigenetic therapy. *Ageing Research Reviews*, 67, p.101271.
8. Jones, D., Celis-Morales, C., Gray, S.R., Morrison, D.J., Ozanne, S.E., Jain, M., Mattin, L.R. and Burden, S., (2024). Effect of Sustainably Sourced Protein Consumption on Nutrient Intake and Gut Health in Older Adults: A Systematic Review. *Nutrients*, 16(9), p.1398.
9. Jukic Peladic, N., Dell’Aquila, G., Carrieri, B., Maggio, M., Cherubini, A. and Orlandoni, P., (2021). Potential Role of Probiotics for Inflammaging: A Narrative Review. *Nutrients*, 13(9), p.2919.
10. Koblinsky, N.D., Power, K.A., Middleton, L., Ferland, G. and Anderson, N.D., (2023). The Role of the Gut Microbiome in Diet and Exercise Effects on Cognition: A Review of the Intervention Literature. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 78(2), pp.195–205.
11. Kossowska, M., Olejniczak, S., Karbowski, M., Mosiej, W., Zielińska, D. and Brzezicka, A., (2024). The Interplay between Gut Microbiota and Cognitive Functioning in the Healthy Aging Population: A Systematic Review. *Nutrients*, 16(6), p.852.
12. Libriani, S., Facchinetti, G., Marti, F., Tolentino Diaz, M.Y. and Sandri, E., (2026). The association between gut microbiota and cognitive decline: A systematic review of the literature. *Nutrition Research*, 147, pp.16–31.
13. Lim, M.Y. and Nam, Y.D., (2023). Gut microbiome in healthy aging versus those associated with frailty. *Gut Microbes*, 15(2), p.2278225.
14. Niero, M., Bartoli, G., De Colle, P., Scarcella, M. and Zanetti, M., (2023). Impact of Dietary Fiber on Inflammation and Insulin Resistance in Older Patients: A Narrative Review. *Nutrients*, 15(10), p.2365.

15. Santa, K., Watanabe, K., Kumazawa, Y. and Nagaoka, I., (2023). Phytochemicals and Vitamin D for a Healthy Life and Prevention of Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(15), p.12167.
16. Seelarbokus, B.A., Menozzi, E., Schapira, A.H.V., Kalea, A.Z. and Macnaughtan, J., (2024). Mediterranean Diet Adherence, Gut Microbiota and Parkinson's Disease: A Systematic Review. *Nutrients*, 16(14), p.2181.
17. Ticinesi, A., Nouvenne, A., Cerundolo, N., Parise, A., Mena, P. and Meschi, T., (2024). The interaction between Mediterranean diet and intestinal microbiome: relevance for preventive strategies against frailty in older individuals. *Aging Clinical and Experimental Research*, 36, p.58.
18. Xu, Y., Liu, X., Liu, X., Chen, D., Wang, M., Jiang, X. and Xiong, Z., (2021). The Roles of the Gut Microbiota and Chronic Low-Grade Inflammation in Older Adults With Frailty. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, p.675414.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.