



ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ
ΚΑΙ ΕΝΙΑΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
DEPARTMENT OF PUBLIC
AND ONE HEALTH
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ UNIVERSITY OF THESSALY



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΙΑΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ

« Επιπτώσεις της ακτινοθεραπείας στην ποιότητα ζωής των ογκολογικών ασθενών »

Τίτλος στα αγγλικά

«Impact of radiotherapy on the quality of life of oncological patients »



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΣΟΛΑΚ ΜΕΛΑΝΤΑ

ΑΜ: 2221059

ΟΝΑΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑΣ: ΚΙΚΗ ΘΕΟΔΩΡΟΥ, ΣΟΦΤΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ



ΚΑΡΔΙΤΣΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2025

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	3
Abstract	5
Πίνακας Συντμήσεων – Αρκτικόλεξων	6
Εισαγωγή	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : Ιονίζουσα Ακτινοβολία	10
1.1 Ακτινοβολία α	12
1.2 Ακτινοβολία β	14
1.3 Ακτινοβολία γ	15
1.4 Ακτίνες χ.....	16
1.5 Μηχανισμούς	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Τι είναι καρκίνος.....	21
2.1 Τύποι καρκίνου	23
2.2 Στατιστικά τύπων καρκίνου στην Ευρώπη	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : Ακτινοθεραπεία: Τεχνικές και Χρήσεις	26
3.1 Τι είναι η ακτινοθεραπεία	29
3.2 Είδη ακτινοθεραπείας.....	31
3.3 Στόχοι και τρόπος λειτουργίας	34
3.4 Σε ποιους καρκίνους χρησιμοποιείται ακτινοθεραπεία	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : Παρενέργειες της Ακτινοθεραπείας	36
4.1 Οξείες παρενέργειες.....	37
4.2 Χρόνιες παρενέργειες.....	40
4.3 Τρόποι αντιμετώπισης	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Ποιότητα ζωής: Ορισμός και παράγοντες	46
5.1 Επιπτώσεις καρκίνου και θεραπείες στην ποιότητα ζωής	47
5.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα ζωής ασθενών υπό ακτινοθεραπεία	50



5.3 Μέθοδοι αξιολόγησης της ποιότητας ζωής.....	53
Συμπεράσματα	55
Βιβλιογραφία	56

Ευχαριστίες

Έχοντας ολοκληρώσει τη πτυχιακή μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια Σόφτα Βασιλική και την Κική Θεοδώρου για τη συνεχή υποστήριξη και ενθάρρυνση που μου πρόσφεραν κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Η ουσιαστική επιστημονική τους καθοδήγηση, καθώς και η εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, συνέβαλαν στην εμβάθυνση των γνωστικών μου οριζόντων και τελικά στην επιτυχή ολοκλήρωση της μελέτης αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα και χωρίς αυτούς τίποτα δεν θα ήταν εφικτό.

Περίληψη

Η ακτινοθεραπεία συνιστά μία από τις πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενες θεραπευτικές μεθόδους για την αντιμετώπιση κακοηθειών και εφαρμόζεται είτε ως αποκλειστική θεραπεία είτε σε συνδυασμό με χημειοθεραπεία ή χειρουργική παρέμβαση. Παρά το γεγονός ότι έχει τεκμηριωθεί κλινικώς η συμβολή της στη βελτίωση της επιβίωσης και στον αποτελεσματικό



έλεγχο της νόσου, η εν λόγω θεραπευτική στρατηγική δύναται να επιφέρει σημαντικά δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής των ασθενών. Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση των σωματικών, ψυχολογικών, κοινωνικών και λειτουργικών συνεπειών της ακτινοθεραπείας στην καθημερινότητα των ογκολογικών ασθενών.

Η μελέτη στηρίζεται σε ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας και παρουσιάζει τα βασικά θεωρητικά μοντέλα της ποιότητας ζωής, όπως αυτά έχουν διατυπωθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και άλλους διεθνείς φορείς υγείας. Επιπλέον, παρατίθενται τα εργαλεία ποσοτικής αξιολόγησης της ποιότητας ζωής, μεταξύ των οποίων οι δείκτες QALYs (Quality-Adjusted Life Years) και DALYs (Disability-Adjusted Life Years), οι οποίοι επιτρέπουν την αποτίμηση τόσο της διάρκειας όσο και της ποιότητας των ετών ζωής υπό θεραπεία ή σε συνθήκες χρόνιας νόσου.

Ιδιαίτερη έμφαση αποδίδεται στην ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα ζωής: οι σωματικές παρενέργειες της ακτινοθεραπείας (κόπωση, δερματικές αντιδράσεις, πόνος), οι ψυχολογικές επιπτώσεις (άγχος, κατάθλιψη, φόβος υποτροπής), η κοινωνική υποστήριξη, η οικονομική επιβάρυνση, αλλά και οι προσωπικές αντιλήψεις και στρατηγικές αντιμετώπισης της ασθένειας, συνιστούν καθοριστικούς παράγοντες για τη συνολική εμπειρία του ασθενούς.

Τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι η ποιότητα ζωής αποτελεί θεμελιώδες και αναπόσπαστο στοιχείο της ογκολογικής φροντίδας, το οποίο οφείλει να συνεκτιμάται κατά τη λήψη θεραπευτικών αποφάσεων. Η ενσωμάτωση ψυχοκοινωνικής υποστηρίξεως, η εφαρμογή ολιστικής προσεγγίσεως στον σχεδιασμό της φροντίδας και η εις βάθος κατανόηση της υποκειμενικής εμπειρίας των ασθενών συνεισφέρουν ουσιαστικά στη βελτίωση της θεραπευτικής συμμορφώσεως, της λειτουργικότητος και, εν τέλει, της συνολικής ποιότητας ζωής.

Λέξεις-κλειδιά: Ακτινοθεραπεία, καρκίνος, ογκολογικοί ασθενείς, παρενέργειες, ποιότητα ζωής.



Abstract

Radiotherapy constitutes one of the most widely used therapeutic methods for the treatment of malignancies and is applied either as an exclusive therapy or in combination with chemotherapy or surgical intervention. Despite the fact that its contribution to improving survival and the effective control of the disease has been clinically documented, this therapeutic strategy may bring about significant adverse effects on the quality of life of patients. The present undergraduate thesis focuses on the investigation of the physical, psychological, social, and functional consequences of radiotherapy on the daily life of oncology patients.

The study is based on a review of international literature and presents the main theoretical models of quality of life, as these have been formulated by the World Health Organization and other international health organizations. Furthermore, the tools for quantitative evaluation of quality of life are presented, among which are the QALYs (Quality-Adjusted Life Years) and DALYs (Disability-Adjusted Life Years), which allow the assessment of both the duration and the quality of years lived under treatment or in conditions of chronic illness.

Particular emphasis is given to the analysis of the factors that influence quality of life: the physical side effects of radiotherapy (fatigue, skin reactions, pain), the psychological effects (anxiety, depression, fear of recurrence), social support, financial burden, as well as personal



perceptions and coping strategies of the disease constitute determining factors for the overall patient experience.

The findings demonstrate that quality of life constitutes a fundamental and integral element of oncological care, which must be taken into account during the process of therapeutic decision-making. The integration of psychosocial support, the implementation of a holistic approach in care planning, and the in-depth understanding of the subjective experience of patients contribute substantially to the improvement of therapeutic adherence, functionality, and, ultimately, the overall quality of life.

Keywords: Radiotherapy, cancer, oncology patients, side effects, quality of life.

Πίνακας Συντμήσεων – Αρκτικόλεξων



Συντομογραφία	Πλήρης Όρος	Περιγραφή / Χρήση
QoL	Quality of Life	Ποιότητα ζωής
HRQoL	Health-Related Quality of Life	Ποιότητα ζωής σχετιζόμενη με την υγεία
DDR	DNA Damage Response	Κυτταρική απόκριση σε βλάβες του DNA
NHEJ	Non-Homologous End Joining	Μη-ομόλογη σύνδεση άκρων, μηχανισμός επιδιόρθωσης DNA
HR	Homologous Recombination	Ομόλογος ανασυνδυασμός – ακριβής μηχανισμός επιδιόρθωσης DNA
ROS	Reactive Oxygen Species	Ελεύθερες ρίζες οξυγόνου – παράγοντες κυτταρικής βλάβης
SRS	Stereotactic Radiosurgery	Στερεοτακτική ακτινοχειρουργική
Co-60	Κοβάλτιο-60	Ραδιενεργό ισότοπο που χρησιμοποιείται στην ακτινοθεραπεία
EORTC QLQ-C30	European Organisation for Research and Treatment of Cancer – QLQ-C30	Ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση της ΠΖ σε καρκινοπαθείς
FACT-G	Functional Assessment of Cancer Therapy – General	Γενική κλίμακα αξιολόγησης ΠΖ σε καρκινοπαθείς
ECOG	Eastern Cooperative Oncology Group	Κλίμακα λειτουργικής κατάστασης ασθενών



miRNAs	MicroRNAs	Μικρά ρυθμιστικά RNA, εμπλέκονται στην απόκριση στην ακτινοβολία
RT	Radiotherapy (Ακτινοθεραπεία)	Θεραπεία με χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας
MRRT	Multiple Repeat Radiotherapy	Πολλαπλές επαναληπτικές συνεδρίες ακτινοθεραπείας
dCRT	Definitive Chemoradiotherapy	Συνδυασμένη χημειο-ακτινοθεραπεία ως οριστική θεραπεία
ASR	Age-Standardized Rate	Ηλικιακά προσαρμοσμένος δείκτης επίπτωσης ή θνησιμότητας
GLOBOCAN	Global Cancer Observatory	Διεθνής βάση δεδομένων για στατιστικά καρκίνου
IARC	International Agency for Research on Cancer	Διεθνής Οργανισμός για την Έρευνα στον Καρκίνο
ΠΖ	Ποιότητα Ζωής	Ολιστικός δείκτης που περιλαμβάνει σωματική, ψυχική και κοινωνική ευεξία
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO)	Οργανισμός υπεύθυνος για την παγκόσμια υγεία
QALYs	Quality-Adjusted Life Years	Προσαρμοσμένα έτη ζωής ως προς την ποιότητα
DALYs	Disability-Adjusted Life Years	Έτη ζωής προσαρμοσμένα στην αναπηρία



Εισαγωγή

Ο καρκίνος αποτελεί μια ολοένα και συχνότερη διάγνωση παγκοσμίως, ενώ οι σύγχρονες θεραπευτικές εξελίξεις συμβάλλουν στην επιμήκυνση της επιβίωσης των ασθενών. Ωστόσο, πέραν της συνολικής επιβίωσης, η ποιότητα ζωής (Quality of Life, QoL) συνιστά παράγοντα εξίσου σημαντικό για τη διαχείριση της νόσου.

Αν και η RT παρέχει ουσιώδη οφέλη, μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες ενέργειες που υπονομεύουν τη σωματική και ψυχολογική ευεξία των ασθενών. Σύμφωνα με τους Yucel et al. (2014), η ακτινοθεραπεία προκαλεί προσωρινή υποβάθμιση της QoL, αλλά ακολουθείται από ταχεία αποκατάσταση εντός ενός μηνός μετά τη θεραπεία .

Η τάση της έρευνας τα τελευταία χρόνια είναι να μετασχηματιστεί από μονομερή έμφαση στην παράταση της ζωής προς τη διατήρηση της καλύτερης δυνατής ποιότητας ζωής. Η κλασική εστίαση σε δείκτες όπως ο έλεγχος του όγκου εμπλουτίζεται με την εμπειρία του ασθενούς, πολλές φορές μέσω μετρήσεων όπως η ψυχολογική δυσφορία, η αθροιστική τοξικότητα, και η ικανοποίηση από τη θεραπεία.

Η επαναλαμβανόμενη χορήγηση ακτινοθεραπείας (multiple repeat radiotherapy — MRRT) καθίσταται συχνότερη λόγω της αυξημένης επιβίωσης των ασθενών. Σύμφωνα με την Ahmadsei et al. (2022), οι ασθενείς υπό MRRT αναφέρουν σταθερή συνολική κατάσταση υγείας και θετική εκτίμηση για την εμπειρία τους. Ωστόσο, καταγράφεται αυξημένη κόπωση καθώς και μείωση επιπέδων αιμοσφαιρίνης και λεμφοκυττάρων, γεγονός που υποδηλώνει σωρευτική αιματολογική τοξικότητα .

Σχετικά με τον καρκίνο του οισοφάγου, δεν εντοπίστηκε μελέτη των Pape et al. (2023) στην πρόσβαση της βιβλιογραφίας· επομένως δεν είναι δυνατή η επιβεβαίωση των αναφερόμενων στοιχείων. Παρά ταύτα, η αξιολόγηση της QoL σε ασθενείς με καρκίνο οισοφάγου αποκτά ολοένα μεγαλύτερη σημασία, ιδίως σε περιπτώσεις όπου η επιβίωση δεν αποτελεί αποκλειστικό στόχο αλλά μέρος ευρύτερης θεραπευτικής εξισορρόπησης μεταξύ αποτελεσματικότητας και ποιότητας ζωής .



Επίσης, χρήσιμη θεωρείται η έγκαιρη ενσωμάτωση παρηγορικής φροντίδας στις τελευταίες φάσεις του καρκίνου του οισοφάγου, η οποία επιφέρει σημαντική μείωση στο οικονομικό βάρος και βελτίωση της QoL των ασθενών .

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση της ιονίζουσας ακτινοβολίας και των υποκείμενων μηχανισμών δράσης της, προκειμένου να εμβαθυνθεί η κατανόηση της φυσικής βάσης της ακτινοθεραπείας. Επιπλέον, εξετάζονται οι διαφορετικοί τύποι καρκίνου και τα επιδημιολογικά τους χαρακτηριστικά, με έμφαση στα στατιστικά δεδομένα της Ευρώπης.

Ιδιαίτερη προσοχή αποδίδεται στην ανάλυση της ακτινοθεραπείας ως θεραπευτικής μεθόδου, περιλαμβάνοντας την τεχνική, τους στόχους και τις εφαρμογές της σε διάφορους τύπους νεοπλασματικών νόσων. Επίσης, αξιολογούνται οι παρενέργειες της ακτινοθεραπείας—οξείες και χρόνιες—καθώς και οι διαθέσιμοι τρόποι διαχείρισής τους.

Τέλος, διερευνάται η QoL των ασθενών που υποβάλλονται σε ακτινοθεραπεία, με επίκεντρο τους παράγοντες που την επηρεάζουν, τις επιπτώσεις του καρκίνου και της θεραπείας, καθώς και τις μεθόδους αξιολόγησής της. Η μελέτη στοχεύει στη συνολική κατανόηση της ακτινοθεραπείας όχι μόνο ως μέσου παράτασης της επιβίωσης των ασθενών, αλλά και ως παράγοντα που επηρεάζει την καθημερινή τους ζωή. Μέσω της διερεύνησης της σχέσης μεταξύ θεραπείας, παρενεργειών και ποιότητας ζωής, επιδιώκεται η ανάδειξη της σημασίας μιας πιο ολοκληρωμένης και εξατομικευμένης προσέγγισης στη διαχείριση των ασθενών με καρκίνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : Ιοντίζουσα Ακτινοβολία

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία αποτελεί θεμελιώδη συνιστώσα της σύγχρονης ιατρικής τεχνολογίας, διαδραματίζοντας κυρίαρχο ρόλο τόσο στις διαγνωστικές όσο και στις θεραπευτικές παρεμβάσεις. Περιλαμβάνει μορφές όπως οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα, οι οποίες έχουν επαρκή ενέργεια για να προκαλέσουν αλλοιώσεις σε κυτταρικό επίπεδο, επηρεάζοντας το γενετικό υλικό, δηλαδή το DNA ([Santivasi & Xia 2014]) .



Παρά την ευρεία χρήση της στην ιατρική, εγείρονται σοβαρές ανησυχίες αναφορικά με την ασφάλεια της έκθεσης σε ιοντίζουσα ακτινοβολία. Ενδεχόμενα αποτελέσματα, όπως η καρκινογένεση και οι γενετικές μεταλλάξεις, δεν είναι πάντα προβλέψιμα, γεγονός που εντείνει τις επιφυλάξεις για τη χρήση αυτής της τεχνολογίας. Οι βιολογικές επιπτώσεις εξαρτώνται από τη δοσολογία της έκθεσης, τον τύπο των ιστών και ουσία και η φύση του κυτταρικού τραυματισμού μπορεί να είναι μη αναστρέψιμη ([Talapko et al. 2024]).

Στο πλαίσιο της βιολογικής δράσης, η ιοντίζουσα ακτινοβολία προκαλεί κυρίως διπλές θραύσεις της διπλής έλικας του DNA. Εάν αυτές δεν επιδιορθωθούν αποτελεσματικά, δύνανται να οδηγήσουν είτε σε απόπτωση είτε σε μόνιμη αναστολή του κυτταρικού πολλαπλασιασμού ([Santivasi & Xia 2014]). Παράλληλα, θίγονται και άλλα βιομόρια —όπως πρωτεΐνες και λιπίδια— κυρίως μέσω παραγωγής ελευθέρων ριζών οξυγόνου και αντιδραστικών μορφών αζώτου, με ενίσχυση της συνολικής κυτταροτοξικότητας ([ResearchGate 2025]).

Ορισμένοι μη-ακτινοβοληθέντες γειτονικοί ιστοί ανταποκρίνονται στο φαινόμενο του “bystander effect”, μέσω έκκρισης κυτοκινών όπως IL-6, TNF-α και TGF-β, επιδεικνύοντας βιολογικές μεταβολές παρά την απουσία άμεσης έκθεσης ([ResearchGate 2025]).

Ένα κρίσιμο πρόβλημα στην ακτινοθεραπεία αποτελεί η υποξία εντός του όγκου, η οποία μειώνει την αποτελεσματικότητα της θεραπείας λόγω ανεπαρκούς σταθεροποίησης των βλαβών μέσω των ελευθέρων ριζών. Η ραδιοανθεκτικότητα που απορρέει από τη χαμηλή οξυγόνωση αποτελεί ενεργό πεδίο έρευνας ([Wikipedia: Oxygen enhancement ratio 2025]).

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία περιλαμβάνει τόσο υψηλής ενέργειας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ακτίνες X, γάμμα) όσο και φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια, σωματίδια άλφα). Ο κοινός μηχανισμός δράσης είναι ο ιονισμός — δηλαδή η απομάκρυνση ηλεκτρονίων από μόρια —, ο οποίος πυροδοτεί μοριακές αλλοιώσεις και κυτταρική βλάβη ([Obrador et al. 2023]).

Η διάκριση από τις **μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες** είναι κρίσιμη: αυτές οι τελευταίες (όπως υπέρυθρη, ορατή, ραδιοκύματα κ.λπ.) δεν διαθέτουν επαρκή ενέργεια για να ιονίσουν



μόρια, περιοριζόμενες σε διεγέρσεις ή θερμικά φαινόμενα ([CDC 2024]; [Wikipedia Non-ionizing radiation 2025]) .

Η ακτινοβιολογία εξετάζει τη φυσική και βιολογική αλληλεπίδραση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας με τους ιστούς, εισάγοντας έννοιες όπως δόση, είδος ακτινοβολίας και μοριακές επιπτώσεις — διαμορφώνοντας τη βάση για την κατανόηση της αποτελεσματικότητας και των κινδύνων της ακτινοθεραπείας ([Baeyens 2023]) .

Εξάγει, αναπόφευκτα, το συμπέρασμα ότι η ιοντίζουσα ακτινοβολία δεν αποτελεί απλώς τεχνικό εργαλείο. Αντίθετα, η χρήση της επεκτείνεται στην ηθική, κοινωνική και πολιτισμική σφαίρα της ιατρικής πρακτικής — καθιστώντας επιτακτική την ενσωμάτωση αυτών των διαστάσεων στην ανάλυση της θεραπευτικής της εφαρμογής.

1.1 Ακτινοβολία α

Η ακτινοβολία άλφα (α) αποτελεί μορφή σωματιδιακής ιοντίζουσας ακτινοβολίας και συνίσταται από πυρήνες ηλίου-4, δηλαδή σωματίδια που περιέχουν δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Οι πυρήνες αυτοί εκλύονται κατά τη διάρκεια της άλφα-διάσπασης ραδιενεργών ισοτόπων ([ARPANSA] 2025) .

Τα σωματίδια άλφα έχουν ιδιαίτερα μεγάλη μάζα και θετικό ηλεκτρικό φορτίο, γεγονός που τα καθιστά ισχυρά ιονίζοντα — απορροφώνται γρήγορα από την ύλη. Συγκεκριμένα, η εμβέλειά τους στον αέρα περιορίζεται σε λίγα εκατοστά — έως περίπου 4 cm — ενώ στον βιολογικό ιστό δεν υπερβαίνει μερικά μικρόμετρα, όπως το ανώτατο στρώμα της επιδερμίδας ή ένα φύλλο χαρτί ([NIH Bookshelf] 2025) .

Κατά συνέπεια, η εξωτερική έκθεση στην ακτινοβολία άλφα δεν θεωρείται σοβαρός κίνδυνος, δεδομένου ότι δεν διαπερνά το δέρμα. Ωστόσο, η εσωτερική έκθεση — μέσω εισπνοής, κατάποσης ή μέσω πληγής — εγείρει σημαντικότερες ανησυχίες. Όταν οι ραδιοϊσότοποι εκπέμπουν σωματίδια άλφα εντός του σώματος, η ενέργειά τους αποδίδεται σε εξαιρετικά περιορισμένη απόσταση, προκαλώντας εκτεταμένη κυτταρική και DNA-βλάβη, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε γενετικές βλάβες ή ακόμη και καρκινογένεση ([EPA] 2024) .



Η εισπνοή ραδονίου, ένα φυσικώς απαντώμενο ραδιενεργό ευγενές αέριο, αποτελεί κλασικό παράδειγμα εσωτερικής έκθεσης. Το ραδόνιο και τα προϊόντα διάσπασής του μπορούν να εισέλθουν στο αναπνευστικό σύστημα, να εναποτεθούν στους πνεύμονες και να προκαλέσουν βιολογικές βλάβες, αυξάνοντας σημαντικά τον κίνδυνο για πνευμονικό καρκίνο ([Aerosol Air Quality Research] 2020) .

Επιπλέον, τα άλφα-σωμάτια απελευθερώνονται ή παράγονται φυσικά κατά τη διάσπαση ραδιενεργών στοιχείων — όπως το ουράνιο-238, το ράδιο-226 ή άλλοι εκπρόσωποι των σειρών διάσπασης ουρανίου, θορίου και ακτινίου — που βρίσκονται σχεδόν παντού στο περιβάλλον (εδάφη, βράχοι, νερά) ([ARPANSA] 2025) . Όταν τέτοιοι ραδιενεργοί παράγοντες εισέλθουν στο σώμα, η περιορισμένη τους διάχυσή τους συνοδεύεται από υπερβολικά ισχυρή τοπική βλάβη. Χαρακτηριστική συνέπεια αποτελεί η αύξηση του κινδύνου εμφάνισης νεοπλασιών, κυρίως του πνεύμονα ([EPA] 2024) .

Συγκεκριμένα, μελέτες σε εργαζομένους σε πυρηνικούς σταθμούς έχουν τεκμηριώσει ότι η εσωτερική έκθεση σε άλφα-εκπέμποντα ισότοπα (όπως το πλουτώνιο) σχετίζεται με ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά καρκίνου του πνεύμονα. Οι δείκτες σχετικού κινδύνου (Excess OR/Gy) φθάνουν έως και 50 για το πλουτώνιο — πολύ υψηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με άλλες μορφές ακτινοβολίας — υποδηλώνοντας πολύ αυξημένη δυνητική καρκινογόνο δράση ([Grellier et al.] 2017) .

Συνοψίζοντας, η ακτινοβολία άλφα είναι:

- **Ασφαλής ως προς την εξωτερική έκθεση**, λόγω της εξαιρετικά περιορισμένης διεισδυτικότητάς της.
- **Ιδιαίτερα επικίνδυνη ως εσωτερική έκθεση**, καθώς προκαλεί ισχυρή τοπική βλάβη και αυξημένο κίνδυνο καρκινογένεσης.

Η χρήση αυτής της γνώσης είναι κρίσιμη για τη διαμόρφωση και εφαρμογή μέτρων προστασίας σε περιβάλλοντα με πιθανή ραδιενεργό μόλυνση.



1.2 Ακτινοβολία β

Η ακτινοβολία βήτα αποτελεί μορφή σωματιδιακής ιοντίζουσας ακτινοβολίας, η οποία προκύπτει κατά τη ραδιενεργό διάσπαση πυρήνων. Αυτή η διαδικασία παράγει είτε ηλεκτρόνια (β^- -διάσπαση) είτε, λιγότερο συχνά, ποζιτρόνια (β^+ -διάσπαση) — σωματίδια με ίδια μάζα όπως τα ηλεκτρόνια αλλά θετικό φορτίο ([Wikipedia Beta Particle] 2025) .

Σε σύγκριση με την ακτινοβολία άλφα, τα σωματίδια βήτα διαθέτουν μεγαλύτερη διεισδυτικότητα. Επιτυγχάνουν εμβέλεια διαμέσου αέρα που εκτείνεται σε μερικά εκατοστά έως μερικά μέτρα, και σε μαλακά βιολογικά υλικά διεισδύουν σε βάθος μερικών χιλιοστών έως εκατοστών διαμέσου δέρματος ή πλαστικού ([ARPANSA Beta Particles] 2025) .

Η προστασία από ακτινοβολία βήτα είναι σχετικά απλή: συστήνεται η χρήση λεπτού φύλλου αλουμινίου με πάχος μερικών χιλιοστών, που εξουδετερώνει αποτελεσματικά τα σωματίδια βήτα ([EPA Radiation Basics] 2024) .

Ωστόσο, η έκθεση στη βήτα ακτινοβολία είναι δυνητικά επικίνδυνη τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά. Εξωτερικά, τα σωματίδια μπορούν να διεισδύσουν την επιφάνεια του δέρματος και να προκαλέσουν τοπικές βλάβες — δερματικές εγκαύματα, γνωστά ως «beta burns», που μοιάζουν με σοβαρό ηλιακό έγκαυμα ([Wikipedia Radiation Burn] 2025) . Έμφαση χρειάζεται επίσης στα μάτια — ειδικά στον φακό —, όπου τα σωματίδια βήτα ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντική βλάβη, επιβάλλοντας τη χρήση προστατευτικών γυαλιών ([Wikipedia Radiation Burn] 2025) .

Ο κίνδυνος γίνεται πιο σοβαρός σε περιπτώσεις εσωτερικής έκθεσης: μέσω εισπνοής ή κατάποσης ραδιοϊσοτόπων βήτα, αυτά τα σωματίδια κατακαθίζονται στους ιστούς των εσωτερικών οργάνων, ασκούν ιονιστική δράση σε πολύ μικρές αποστάσεις και προκαλούν DNA-βλάβες, καθώς και δυνητική καρκινογένεση ([NCBI Radiation Biology] 2025) .

Αξίζει να σημειωθεί ότι, αν και τα σωματίδια βήτα έχουν μεγαλύτερη διεισδυτικότητα από την α -ακτινοβολία, η ενεργειακή τους απόδοση ανά μονάδα μήκους διαδρομής (linear energy transfer, LET) είναι χαμηλότερη. Κατά συνέπεια, η βιολογική τους



αποτελεσματικότητα είναι μειωμένη συγκριτικά με τη βλάβη που προκαλεί η ακτινοβολία άλφα ([EPA Radiation Basics] 2024) .

Παρά τις ανησυχίες για την έκθεση, η ακτινοβολία βήτα έχει σημαντικές εφαρμογές στον ιατρικό τομέα: χρησιμοποιείται στη θεραπεία επιφανειακών όγκων, στην απεικόνιση (π.χ. PET scan μέσω ποζιτρονικής διάσπασης) και σε άλλες διαγνωστικές πρακτικές ([Wikipedia Beta Particle] 2025) .

Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι, όπως ισχύει σε όλες τις μορφές ιοντίζουσας ακτινοβολίας, και τα σωματίδια βήτα δύνανται να συμβάλουν σε αυξημένο κίνδυνο καρκίνου — είτε μέσω εξωτερικής είτε μέσω εσωτερικής έκθεσης — ανάλογα με τη συνολική δόση και το σθένος της ατομικής ιονιστικής επίδρασης ([WHO Ionizing Radiation Effects] 2023)

1.3 Ακτινοβολία γ

Η ακτινοβολία γάμμα αποτελεί μία από τις πλέον ενεργητικές και διεισδυτικές μορφές ιοντίζουσας ακτινοβολίας, με εξαιρετικά υψηλή συχνότητα και μικρό μήκος κύματος — στο ανώτατο άκρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος — και άρα μεγάλη ικανότητα διάτρησης υλικών και βιολογικών ιστών. Προκύπτει κατά τη ραδιενεργό διάσπαση πυρήνων, συχνά σε ταυτότητα με εκπομπή σωματιδίων άλφα ή βήτα ([Wikipedia Gamma Ray] 2025) .

Δεδομένης της μεγάλης διεισδυτικότητάς της, η ακτινοβολία γάμμα απαιτεί βαριά και πυκνά υλικά, όπως μόλυβδος ή σκυρόδεμα, για αποτελεσματική θωράκιση. Αποτελεί σοβαρό κίνδυνο τόσο σε εξωτερική — λόγω εισχώρησης σε εσωτερικά όργανα και ανα-ιονίζουσα δράση στο μυελό οστών — όσο και σε εσωτερική έκθεση, όπου η βιολογική επίδραση είναι ευρείας έκτασης ([Wikipedia Gamma Ray] 2025) .

Στον ιατρικό τομέα, η ακτινοβολία γάμμα χρησιμεύει ως βασικός πυλώνας της εξωτερικής ακτινοθεραπείας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου απαιτείται διείσδυση σε βαθύτερους ιστούς χωρίς υπερβολική απορρόφηση σε υγιείς περιοχές. Ισοτόπα όπως το κοβάλτιο-60 (Co-60) χρησιμοποιούνται σε παραδοσιακές μονάδες teletherapy, παρέχοντας υψηλής ενέργειας, σταθερής έντασης δέσμες ακτίνων [Cobalt Therapy] 2025 .



Μία εξειδικευμένη εφαρμογή είναι η στερεοτακτική ακτινοχειρουργική (SRS), όπως το **Gamma Knife**, όπου πολλαπλές, συγχρονισμένες δέσμες ακτίνων γάμμα συγκλίνουν με ακρίβεια σε ενδοκρανιακούς όγκους. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει υψηλή δόση στο στόχο με ελάχιστη έκθεση σε υγιό ιστό, χωρίς χειρουργική επέμβαση, και έχει αποδειχθεί αποτελεσματική για όγκους, μεταστάσεις και αγγειακές δυσπλασίες ([Desai et al.] 2020) · [Radiosurgery – Gamma Knife] 2025 .

Η ακτινοβιολογική αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας γάμμα (δηλαδή η καταστροφή καρκινικών κυττάρων) συγκρίνεται συχνά με αυτήν της ακτινοβολίας X όταν οι ενεργειακές παραμέτρους και η κατανομή της δόσης είναι όμοιες ([Wikipedia Gamma Ray] 2025) .

Επιπλέον, η ακτινοβολία γάμμα έχει ευρεία χρήση στην αποστείρωση ιατρικών εργαλείων, επεξεργασία τροφίμων και βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της αποτελεσματικής αντιμικροβιακής της δράσης και της ικανότητας διεισδύσεως ([Wikipedia Gamma Ray] 2025).

Η ισχυρή διεισδυτικότητα όμως συνεπάγεται ότι η ανεξέλεγκτη έκθεση σε υψηλές δόσεις μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη σε όλα τα όργανα — και για αυτό απαιτούνται αυστηρά μέτρα προστασίας σε επαγγελματικά και κλινικά περιβάλλοντα.

1.4 Ακτίνες χ

Η ακτινοβολία X αποτελεί θεμελιώδη πυλώνα της εξωτερικής ακτινοθεραπείας (external beam radiotherapy), αξιοποιούμενη ευρύτατα για τη θεραπεία πολλαπλών κακοηθειών. Μέσω στοχευμένης κατεύθυνσης φωτονικής δέσμης στον όγκο, αποσκοπείται η μεγιστοποιημένη καταστροφή των καρκινικών κυττάρων, με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της έκθεσης στους υγιείς περιβάλλοντες ιστούς — αποτέλεσμα επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλής ακρίβειας εστίαση και διαβαθμισμένη κατανομή της δόσης (Bernier et al., 2004).

Οι ακτίνες X είναι μορφή ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με ενέργειες που συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 20 keV και πάνω από 1 MeV, αναλόγως της εφαρμογής (διάγνωση ή θεραπεία). Στη σύγχρονη ακτινοθεραπεία, παράγονται από γραμμικούς επιταχυντές (LINAC), όπου επιταχύνονται ηλεκτρόνια σε υψηλές ενέργειες, τα οποία σύρονται



και προσκρούουν σε στόχο (συνήθως βολφράμιο), παράγοντας δέσμες υψηλής ενέργειας φωτονίων μέσω της διαδικασίας βρεμστραληχύσης (bremsstrahlung) ([Shirato 2018]) .

Η θεραπευτική δράση των ακτίνων X βασίζεται κυρίως στην ικανότητά τους να διεισδύουν στον ιστό και να αποθέτουν ενέργεια σε προκαθορισμένα βάθη. Η δέσμη προκαλεί ιονισμό, κυρίως μέσω παραγωγής ελευθέρων ριζών από την ακτινοβόληση του κυτταρικού νερού, οι οποίες επιφέρουν έμμεσες αλλά θανατηφόρες βλάβες στο DNA των κυττάρων ([Mehta et al., 2011]) .

Η διαγνωστική και θεραπευτική πιθανότητα των ακτίνων X ενισχύεται από σύγχρονες τεχνολογίες πλοήγησης και απεικόνισης, όπως IGRT (Image-Guided Radiotherapy) και IMRT (Intensity-Modulated Radiotherapy), οι οποίες επιτρέπουν εξαιρετικά ακριβή στόχευση των όγκων με ελαχιστοποίηση της ακτινοβολίας στους υγιείς ιστούς. Η δοσομετρία, δηλαδή ο ακριβής υπολογισμός της δόσης εντός του σώματος, είναι κρίσιμη για την επίτευξη θεραπευτικών αποτελεσμάτων με παράλληλη προστασία των υγιών ιστών ([RadiologyInfo LINAC]) .

Η φυσική προέλευση των ακτίνων X διαφέρει από αυτή της γάμμα ακτινοβολίας. Ενώ οι τελευταίες προέρχονται από πυρηνική διάσπαση, οι ακτίνες X παράγονται τεχνητά όταν ταχύτατα ηλεκτρόνια επιβραδύνουν πάνω σε ανόδιο σωλήνα ακτίνων X (X-ray tube) ή σε γραμμικό επιταχυντή. Όσο υψηλότερη είναι η τάση του ανόδου ή του accelerator, τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και τόσο μικρότερο το μήκος κύματος της δέσμης ([ARPANSA X-rays]) .

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ασφαλείας είναι ότι η ακτινοβολία X παράγεται μόνο κατά τη λειτουργία της συσκευής—όταν η συσκευή είναι απενεργοποιημένη, δεν υπάρχει υπολειπόμενη ραδιενέργεια ή εκλυόμενη ακτινοβολία ([Linear Particle Accelerator]) . Ωστόσο, η ανεπαρκώς ελεγχόμενη ή υπερβολική έκθεση σε ακτινοβολία X, ειδικά χωρίς άρτια λειτουργία συσκευής ή δικαιολόγηση της έκθεσης, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες, όπως δερματικές βλάβες, οξεία τοξικότητα ή καρκινική μετάλλαξη ([Mehta et al., 2011])



1.5 Μηχανισμούς

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία αποτελεί μορφή ενέργειας ικανή να απομακρύνει ηλεκτρόνια από άτομα ή μόρια, προκαλώντας ιονισμό και διαταραχή της μοριακής σταθερότητας. Η αλληλεπίδρασή της με τη βιολογική ύλη, και ιδιαίτερα με το DNA, έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας λόγω της ικανότητάς της να επιφέρει βλάβες που σχετίζονται με την καρκινογένεση, την κυτταρική θνησιμότητα και τη δημιουργία μεταλλάξεων [Foray et al., 2016]. Οι βλάβες αυτές δεν είναι τυχαίες, αλλά εξαρτώνται από την ποιότητα της ακτινοβολίας, την ενέργειά της, το οξυγόνο του ιστού, καθώς και από το είδος και τη φάση των κυττάρων.

Θραύσεις διπλής έλικας (DSBs) και πολύπλοκη βλάβη DNA

Σύμφωνα με τον Foray και συνεργάτες [2016], η ιοντίζουσα ακτινοβολία προκαλεί πολλαπλές μορφές μοριακών αλλοιώσεων, με πιο τοξική τη θραύση της διπλής έλικας (double-strand break, DSB). Η DSB αποτελεί βλάβη υψηλής επικινδυνότητας για την επιβίωση του κυττάρου, καθώς η ατελής ή εσφαλμένη επιδιόρθωση οδηγεί σε γονιδιακή αστάθεια, αναδιατάξεις και τελικώς σε καρκινογένεση. Εξίσου κρίσιμη είναι η έννοια της «πολύπλοκης βλάβης DNA» (complex DNA damage), όπου σε μικρή χωρική κλίμακα εμφανίζονται ταυτόχρονα θραύσεις, βάσεις με οξειδωτικές αλλοιώσεις και μοριακές διασταυρώσεις [Goodhead, 2006]. Η δημιουργία τέτοιων «συστάδων ιονισμών» (ionization clusters) αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και συνδέεται με αυξημένη κυτταροτοξικότητα και δυσκολία επιδιόρθωσης [Mavragani et al., 2019].

Μηχανισμοί επιδιόρθωσης του DNA

Η επιδιόρθωση των DSBs γίνεται μέσω δύο κύριων μηχανισμών:



1. **Ομόλογος ανασυνδυασμός (Homologous Recombination, HR):** υψηλής πιστότητας διαδικασία, που απαιτεί διαθέσιμο ομόλογο DNA και δρα κυρίως στη φάση S/G2 του κυτταρικού κύκλου.
2. **Μη-ομόλογη σύνδεση άκρων (Non-Homologous End Joining, NHEJ):** ταχύτερος αλλά λιγότερο ακριβής μηχανισμός, ο οποίος επικρατεί σε μη διαιρούμενα κύτταρα.

Η επιλογή μεταξύ HR και NHEJ καθορίζεται από το είδος της βλάβης, τη φάση του κυτταρικού κύκλου και το κυτταρικό υπόστρωμα. Σφάλματα στην επιδιόρθωση αυξάνουν τον κίνδυνο μεταλλάξεων και καρκινικού μετασχηματισμού [Sancar et al., 2004; Foray et al., 2016].

Απόκριση στη βλάβη DNA (DNA Damage Response, DDR)

Η ενεργοποίηση του DDR αποτελεί κεντρικό στοιχείο της κυτταρικής απάντησης μετά την ακτινοβολήση. Περιλαμβάνει αισθητήριες πρωτεΐνες όπως το σύμπλοκο MRN (Mre11-Rad50-Nbs1) και τις κινάσες ATM/ATR, οι οποίες ανιχνεύουν τη βλάβη και ενεργοποιούν καταρράκτες φωσφορυλίωσης. Αυτό οδηγεί σε αναστολή του κυτταρικού κύκλου, επιστράτευση επιδιορθωτικών πρωτεϊνών ή ενεργοποίηση της απόπτωσης, όταν η βλάβη είναι μη αναστρέψιμη [Jackson & Bartek, 2009].

Ο ρόλος των microRNAs

Τα microRNAs (miRNAs) έχουν αναδειχθεί σε ρυθμιστές-κλειδιά της κυτταρικής απόκρισης. Συμμετέχουν στη ρύθμιση κρίσιμων μονοπατιών όπως τα PI3K/AKT και MAPK, που ελέγχουν την επιδιόρθωση DNA, την απόπτωση και την πρόοδο του κυτταρικού κύκλου. Έχει φανεί ότι η μεταβολή της έκφρασης ορισμένων miRNAs μπορεί να ενισχύσει την ακτινοανθεκτικότητα καρκινικών κυττάρων, καθιστώντας τα πιθανούς θεραπευτικούς στόχους [Szatkowska & Krupa, 2020].



Το φαινόμενο “Bystander”

Η επίδραση της ακτινοβολίας δεν περιορίζεται στα απευθείας εκτεθειμένα κύτταρα. Έχει καταγραφεί το «φαινόμενο bystander», όπου μη ακτινοβολημένα κύτταρα εκδηλώνουν βιολογικές αποκρίσεις λόγω παραγόντων που εκκρίνονται από γειτονικά ακτινοβολημένα κύτταρα. Κυτοκίνες όπως TNF-α, IL-1 και TGF-β, αλλά και μικροσωματίδια, μπορούν να μεταβιβάσουν σήματα καταστροφής ή στρες, οδηγώντας σε μεταβολές του μικροπεριβάλλοντος και σε δευτερογενείς βλάβες [Prise & O’Sullivan, 2009].

Βλαστικά και καρκινικά βλαστικά κύτταρα

Ιδιαίτερη προσοχή αποδίδεται στα καρκινικά βλαστικά κύτταρα (cancer stem cells), τα οποία εμφανίζουν υψηλή ικανότητα επιδιόρθωσης DNA, χαμηλή μεταβολική δραστηριότητα και αυξημένη ανθεκτικότητα στην απόπτωση. Οι ιδιότητες αυτές τα καθιστούν υπεύθυνα για την επιμονή και υποτροπή των όγκων μετά από ακτινοθεραπεία [Bao et al., 2006]. Αντίστοιχα, η ακτινοβόληση των φυσιολογικών βλαστικών κυττάρων μπορεί να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμες παρενέργειες, όπως ίνωση, δυσλειτουργία σιελογόνων αδένων ή νευρολογικές βλάβες [Chaudhry, 2014].

Θεραπευτική δράση και περιορισμοί

Η θεραπευτική αποτελεσματικότητα της ακτινοθεραπείας στηρίζεται στην πρόκληση θανατηφόρων βλαβών στο DNA των καρκινικών κυττάρων. Η απορρόφηση ενέργειας από την ακτινοβολία οδηγεί σε μονές και διπλές θραύσεις της έλικας, με τις δεύτερες να είναι οι πιο κρίσιμες για την καταστροφή του όγκου. Η τελική κυτταρική απάντηση μπορεί να περιλαμβάνει επιδιόρθωση, γήρανση, απόπτωση ή μιτωτική καταστροφή [Bernier et al., 2004].

Ωστόσο, η υποξία που επικρατεί στο μικροπεριβάλλον πολλών όγκων περιορίζει την παραγωγή ελευθέρων ριζών οξυγόνου (ROS), οι οποίες είναι απαραίτητες για τη



σταθεροποίηση των βλαβών. Έτσι, τα υποξικά κύτταρα παρουσιάζουν ραδιοανθεκτικότητα, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα της θεραπείας [Horsman & Overgaard, 2016].

Άμεση και έμμεση δράση της ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία δρα με δύο βασικούς τρόπους:

- **Άμεση δράση:** απορρόφηση ενέργειας απευθείας από το DNA και πρόκληση βλάβης.
- **Έμμεση δράση:** ιοντοποίηση μορίων νερού, παραγωγή ROS και επακόλουθες βλάβες σε DNA, πρωτεΐνες και μεμβράνες [Ravanat et al., 2014].

Ο συνδυασμός αυτών των μηχανισμών, μαζί με το DDR, τα miRNAs, τους φλεγμονώδεις παράγοντες και την παρουσία βλαστικών κυττάρων, συνθέτει ένα περίπλοκο βιολογικό δίκτυο που καθορίζει την τελική έκβαση της ακτινοθεραπείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Τι είναι καρκίνος

Ο καρκίνος ορίζεται ως ομάδα ασθενειών που χαρακτηρίζονται από ανεξέλεγκτη κυτταρική ανάπτυξη και από την ικανότητα των κυττάρων να διηθούν παρακείμενους ιστούς ή/και να μεταναστεύουν σε απομακρυσμένα σημεία του σώματος μέσω της διαδικασίας της μετάστασης. Η νόσος δύναται να ξεκινήσει σχεδόν σε οποιονδήποτε ιστό του ανθρώπινου σώματος, το οποίο αποτελείται από τρισεκατομμύρια κύτταρα [National Cancer Institute, 2021]. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η κυτταρική διαίρεση ρυθμίζεται από αυστηρούς μηχανισμούς ελέγχου, οι οποίοι διασφαλίζουν την αντικατάσταση των γερασμένων ή κατεστραμμένων κυττάρων με νέα [National Cancer Institute, 2021]. Όταν, ωστόσο, οι μηχανισμοί αυτοί απορρυθμιστούν λόγω γενετικών μεταλλάξεων ή εξωγενών παραγόντων, παρατηρείται ανεξέλεγκτος πολλαπλασιασμός παθολογικών κυττάρων, τα οποία ενδέχεται να σχηματίσουν όγκους [Hausman, 2019· National Cancer Institute, 2021].



Οι όγκοι διακρίνονται σε καλοήθεις και κακοήθεις. Οι καλοήθεις όγκοι, παρότι δεν διηθούν τους γειτονικούς ιστούς ούτε δίνουν μεταστάσεις, είναι δυνατόν να προκαλέσουν προβλήματα εξαιτίας του μεγέθους ή της εντόπισής τους, ιδίως όταν αναπτύσσονται σε ζωτικά όργανα όπως ο εγκέφαλος [National Cancer Institute, 2021]. Αντιθέτως, οι κακοήθεις όγκοι παρουσιάζουν διηθητική και μεταστατική συμπεριφορά, χαρακτηριστικά που καθιστούν τον καρκίνο ιδιαίτερα επιθετική και απειλητική για τη ζωή νόσο [National Cancer Institute, 2021]. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι ορισμένοι καρκίνοι, όπως η λευχαιμία, δεν σχηματίζουν στερεές μάζες αλλά επηρεάζουν τα κύτταρα του αίματος και του μυελού των οστών [National Cancer Institute, 2021].

Η καρκινογένεση σχετίζεται άμεσα με συσσωρευτικές γενετικές μεταλλάξεις που διαταράσσουν κρίσιμες κυτταρικές διεργασίες, όπως ο πολλαπλασιασμός, η απόπτωση και η επιδιόρθωση του DNA. Οι μεταλλάξεις αυτές μπορεί να είναι κληρονομικές ή επίκτητες, ως συνέπεια περιβαλλοντικών παραγόντων, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή αποτελεί ισχυρό μεταλλαξιογόνο και καρκινογόνο παράγοντα, ικανό να προκαλέσει άμεσες ή έμμεσες βλάβες στο DNA, οι οποίες, εάν δεν επιδιορθωθούν ορθά, οδηγούν σε γονιδιακή αστάθεια και ενδεχομένως σε κακοήγη μετασχηματισμό των κυττάρων [Hausman, 2019].

Το έργο του Hausman [2019] αναδεικνύει τη συσχέτιση ανάμεσα στην έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία και στην εμφάνιση καρκίνου, επισημαίνοντας ότι οι μεταλλάξεις που προκαλεί η ακτινοβολία ενδέχεται να οδηγήσουν σε κακοήθεις εξεργασίες ακόμη και αρκετές δεκαετίες μετά την αρχική έκθεση. Ενδεικτικά, η νόσος δύναται να εκδηλωθεί έως και 25 έτη αργότερα, γεγονός που καταδεικνύει τη μακρά λανθάνουσα περίοδο η οποία χαρακτηρίζει την καρκινογένεση [Hausman, 2019].

Πέραν της καρκινογόνου δράσης της, η ιοντίζουσα ακτινοβολία έχει αναγνωρισθεί και ως τερατογόνος, καθώς και γενικότερα ως κυτταροτοξικός παράγοντας, ικανός να προκαλέσει χρόνιες βλάβες όπως καταρράκτη, υπογονιμότητα, πρόωρη γήρανση και δερματικές αλλοιώσεις. Όσον αφορά στα είδη καρκίνου που συνδέονται στενότερα με την ακτινοβολία, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη λευχαιμία και σε στερεά νεοπλάσματα, με τον



τύπο του όγκου να εξαρτάται από την περιοχή του σώματος που εκτέθηκε, καθώς και από τη δόση και τη διάρκεια της έκθεσης [Hausman, 2019].

2.1 Τύποι καρκίνου

Ο καρκίνος περιλαμβάνει πάνω από 100 διαφορετικούς τύπους, οι οποίοι συνήθως ονομάζονται με βάση το όργανο ή τον ιστό προέλευσης. Οι βασικές κατηγορίες περιλαμβάνουν:

- Καρκινώματα: Προέρχονται από επιθηλιακά κύτταρα (π.χ. καρκίνος πνεύμονα, παχέος εντέρου, δέρματος). Είναι οι συχνότεροι καρκίνοι.
- Σαρκώματα: Αναπτύσσονται σε οστά ή μαλακούς ιστούς, όπως οι μύες και τα αγγεία.
- Λευχαιμίες: Καρκίνοι του αίματος και του μυελού των οστών, χωρίς στερεούς όγκους.
- Λεμφώματα: Προέρχονται από τα λεμφοκύτταρα του ανοσοποιητικού, με κύριους τύπους το Hodgkin και μη-Hodgkin λέμφωμα.
- Πολλαπλούν μυέλωμα: Καρκίνος των πλασματοκυττάρων στον μυελό των οστών.
- Μελανώματα: Κακοήθεις όγκοι των μελανοκυττάρων, κυρίως στο δέρμα, με υψηλή επιθετικότητα.
- Όγκοι ΚΝΣ (εγκεφάλου και νωτιαίου μυελού): Μπορεί να είναι καλοήθεις ή κακοήθεις, και ονομάζονται ανάλογα με τα κύτταρα προέλευσης.

Επιπλέον, υπάρχουν νευροενδοκρινικοί και καρκινοειδείς όγκοι, καθώς και όγκοι γεννητικών κυττάρων, που είναι πιο σπάνιοι αλλά κλινικά σημαντικοί (National Cancer Institute, 2021).

2.2 Στατιστικά τύπων καρκίνου στην Ευρώπη

Ο καρκίνος παραμένει ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα δημόσιας υγείας στην Ευρώπη, με έντονες περιφερειακές ανισότητες ως προς την επίπτωση, τη θνησιμότητα και την πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του GLOBOCAN 2020,



καταγράφηκαν 4,47 εκατομμύρια νέα περιστατικά καρκίνου στην Ευρώπη, με ηλικιακά προσαρμοσμένο δείκτη επίπτωσης (ASR) 280 ανά 100.000 κατοίκους και συσσωρευμένο κίνδυνο (έως την ηλικία των 75 ετών) 27,9% [Ferlay et al., 2021].

Όσον αφορά τους συχνότερους τύπους καρκίνου, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις ανά φύλο. Στους άνδρες, οι υψηλότεροι δείκτες επίπτωσης καταγράφονται για τον καρκίνο του προστάτη, των πνευμόνων και του παχέος εντέρου, ενώ στις γυναίκες επικρατεί ο καρκίνος του μαστού, ακολουθούμενος από τον καρκίνο του παχέος εντέρου και των πνευμόνων. Οι άνδρες παρουσιάζουν συνολικά υψηλότερους δείκτες επίπτωσης και θνησιμότητας, με συσσωρευμένο κίνδυνο 31,9% έναντι 24,7% για τις γυναίκες [Ferlay et al., 2021].

Η παρακολούθηση της παγκόσμιας επιβάρυνσης από τον καρκίνο αποτελεί βασική αρμοδιότητα του Τμήματος Καταγραφής Καρκίνου (Cancer Surveillance Branch, CSU) του Διεθνούς Οργανισμού Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC), το οποίο παρέχει σε τακτική βάση τα δεδομένα του GLOBOCAN. Η βάση αυτή προσφέρει εκτιμήσεις επίπτωσης και θνησιμότητας για 36 τύπους καρκίνου, κατανεμημένα ανά χώρα, φύλο και ηλικιακή ομάδα, στηριζόμενη σε εθνικά μητρώα και επίσημες πηγές. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση μέσω της διαδραστικής πλατφόρμας *Global Cancer Observatory* [Ferlay et al., 2021].

Σε παγκόσμια κλίμακα, το 2020 καταγράφηκαν περίπου 19,3 εκατομμύρια νέες περιπτώσεις καρκίνου – 10,06 εκατομμύρια σε άνδρες και 9,23 εκατομμύρια σε γυναίκες. Ο συνολικός ηλικιακά προσαρμοσμένος δείκτης επίπτωσης (ASR) ήταν 201,0 ανά 100.000 κατοίκους, υψηλότερος στους άνδρες (222,0) σε σχέση με τις γυναίκες (182,6). Εξαιρουμένων των μη-μελανωματικών καρκίνων του δέρματος, τα περιστατικά μειώνονται σε 18,1 εκατομμύρια [Ferlay et al., 2021].

Η ανάλυση των ευρωπαϊκών δεδομένων αποκαλύπτει σημαντικές γεωγραφικές διαφοροποιήσεις:

- **Ανατολική Ευρώπη:** Καταγράφει τη μεγαλύτερη θνησιμότητα από καρκίνο, εξαιτίας καθυστερημένης διάγνωσης, περιορισμένης πρόσβασης σε προσυμπτωματικούς ελέγχους και ανεπαρκών υποδομών υγείας. Ο καρκίνος του πνεύμονα αποτελεί κύρια



αιτία θανάτου και στα δύο φύλα, με την Ουγγαρία να εμφανίζει τον υψηλότερο δείκτη θνησιμότητας.

- **Βόρεια Ευρώπη:** Παρουσιάζει τους υψηλότερους δείκτες επίπτωσης, γεγονός που σχετίζεται με εκτεταμένα προγράμματα προσυμπτωματικού ελέγχου και υψηλή ποιότητα καταγραφής. Παρά την αυξημένη επίπτωση, η θνησιμότητα παραμένει σχετικά χαμηλή, αντιστακώνοντας την αποτελεσματικότητα των συστημάτων υγείας.
- **Νότια Ευρώπη:** Εμφανίζει μέτρια επίπεδα επίπτωσης και θνησιμότητας. Στις γυναίκες παρατηρείται υψηλή συχνότητα καρκίνου του μαστού, ενώ τα προγράμματα προσυμπτωματικού ελέγχου συχνά περιορίζονται λόγω κοινωνικοοικονομικών και οργανωτικών παραγόντων.
- **Δυτική Ευρώπη:** Καταγράφει υψηλή επίπτωση αλλά χαμηλότερη θνησιμότητα, ως αποτέλεσμα επενδύσεων στα συστήματα υγείας, τεχνολογικής καινοτομίας και συστηματικών προγραμμάτων πρόληψης και πρώιμης διάγνωσης.

Σε επίπεδο τύπων καρκίνου, ο καρκίνος του μαστού είναι ο συχνότερος στην Ευρώπη (ASR 70,6/100.000), με σχετικά χαμηλή θνησιμότητα (ASR 11,8). Ο καρκίνος του πνεύμονα, αν και λιγότερο συχνός (ASR 24,7/100.000), καταλαμβάνει την πρώτη θέση στη θνησιμότητα (ASR 17,7). Ο καρκίνος του παχέος εντέρου παρουσιάζει σταθερά υψηλή επίπτωση και θνησιμότητα, ενώ ο καρκίνος του παγκρέατος, αν και σπανιότερος (ASR 5,6), χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλή θνητότητα. Αντιθέτως, ο καρκίνος του θυρεοειδούς εμφανίζει υψηλή επίπτωση (ASR 7,5), αλλά πολύ χαμηλή θνησιμότητα (ASR 0,21) [Ferlay et al., 2021].

Η αύξηση της επίπτωσης του καρκίνου οφείλεται σε πολλαπλούς παράγοντες, όπως η γήρανση του πληθυσμού, η χρήση καπνού και αλκοόλ, η διατροφή, η παχυσαρκία, η διαθεσιμότητα υπηρεσιών πρόληψης και θεραπείας, καθώς και η εφαρμογή εθνικών προγραμμάτων εμβολιασμού (π.χ. HPV). Χώρες όπως η Φινλανδία και η Σουηδία εφαρμόζουν οργανωμένα προγράμματα screening, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον έλεγχο του καρκίνου του παχέος εντέρου μέσω FIT, γεγονός που έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση της θνησιμότητας. Αντιθέτως, στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, η χαμηλή συμμετοχή και η καθυστερημένη διάγνωση συμβάλλουν στην αυξημένη θνησιμότητα [Ferlay et al., 2021; Arnold et al., 2022].



Συνοψίζοντας, το ευρωπαϊκό τοπίο του καρκίνου χαρακτηρίζεται από έντονες ανισότητες στην επίπτωση και τη θνησιμότητα. Οι χώρες της Βόρειας και Δυτικής Ευρώπης επωφελούνται από την πρόωπη διάγνωση και τις προηγμένες θεραπευτικές δυνατότητες, ενώ οι χώρες της Ανατολικής και Νότιας Ευρώπης εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν σοβαρές προκλήσεις. Η αντιμετώπιση αυτών των ανισοτήτων απαιτεί:

1. Ενίσχυση των δημόσιων συστημάτων υγείας.
2. Καθολική πρόσβαση σε προγράμματα προσυμπτωματικού ελέγχου.
3. Στοχευμένες παρεμβάσεις πρόληψης.
4. Επέκταση εμβολιασμών για HPV και ηπατίτιδα.
5. Προώθηση υγιεινών τρόπων ζωής.

Η έγκαιρη διάγνωση και η ισότιμη πρόσβαση στη φροντίδα παραμένουν τα θεμελιώδη κλειδιά για τη μείωση της θνησιμότητας και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών με καρκίνο στην Ευρώπη [Ferlay et al., 2021; Arnold et al., 2022].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : Ακτινοθεραπεία: Τεχνικές και Χρήσεις

Από τη δεκαετία του 1990 έως σήμερα, η ακτινοθεραπεία έχει σημειώσει σημαντική τεχνολογική πρόοδο με κύριο στόχο τη βελτίωση της ακρίβειας στη χορήγηση της ακτινοβολίας στον όγκο, περιορίζοντας παράλληλα την έκθεση των υγιών ιστών [Barazzuol et al., 2020].

Η πρώτη σημαντική καινοτομία ήταν η εισαγωγή της τρισδιάστατης σύμμορφης ακτινοθεραπείας (3DCRT) στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Η τεχνική αυτή βασίζεται στη χρήση τρισδιάστατων απεικονιστικών δεδομένων πριν από την έναρξη της θεραπείας, προκειμένου να σχεδιαστούν δέσμες ακτινοβολίας με συγκεκριμένο σχήμα και ομοιόμορφη κατανομή δόσης, προσαρμοσμένη στη γεωμετρία του όγκου [Barazzuol et al., 2020].

Κατά την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα, η μέθοδος αυτή εξελίχθηκε στην ακτινοθεραπεία διαμορφούμενης έντασης (IMRT), η οποία επιτρέπει τη διαφοροποίηση της δόσης εντός κάθε ακτινικής δέσμης. Η χρήση πολλαπλών δεσμών παρέχει μεγαλύτερη



ακρίβεια και καλύτερη κατανομή δόσης, οδηγώντας σε βελτιωμένη στόχευση του όγκου [Barazzuol et al., 2020].

Ακολούθως αναπτύχθηκε η ακτινοθεραπεία με τόξα (VMAT – Volumetric Modulated Arc Therapy), κατά την οποία η συσκευή περιστρέφεται γύρω από τον ασθενή, χορηγώντας την ακτινοβολία σε συνεχές τόξο αντί για σταθερές γωνίες. Η τεχνική αυτή προσφέρει ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια, ταχύτητα και ευελιξία στη θεραπευτική διαδικασία [Barazzuol et al., 2020].

Παρότι οι ανωτέρω τεχνικές χρησιμοποιούν δεδομένα πριν από την έναρξη της θεραπείας, τα τελευταία χρόνια έχει καταστεί σαφής η αξία των απεικονίσεων κατά τη διάρκεια της θεραπείας, οδηγώντας στην ανάπτυξη της ακτινοθεραπείας καθοδηγούμενης από απεικόνιση (IGRT). Η IGRT επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση της θέσης του όγκου και την προσαρμογή της θεραπείας σε πραγματικό χρόνο [Barazzuol et al., 2020].

Παράλληλα με τις τεχνικές φωτονίων (ακτίνες X), αναπτύχθηκαν και μέθοδοι θεραπείας με σωματίδια, όπως η πρωτονιοθεραπεία και η θεραπεία με ιόντα άνθρακα. Τα σωματίδια αυτά, σε αντίθεση με τα φωτόνια, αποθέτουν το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειάς τους σε συγκεκριμένο βάθος (φαινόμενο Bragg), εξασφαλίζοντας βέλτιστη προστασία των υγιών ιστών [Barazzuol et al., 2020].

Η ακτινοθεραπεία αποτελεί σήμερα έναν από τους κύριους θεραπευτικούς πυλώνες της ογκολογίας, μαζί με τη χειρουργική, τη χημειοθεραπεία και την ανοσοθεραπεία. Υπολογίζεται ότι περίπου το 50% των ασθενών με καρκίνο θα υποβληθούν σε κάποια μορφή ακτινοθεραπείας κατά τη διάρκεια της νόσου [Barton et al., 2014].

Ανάλογα με τον στόχο της θεραπείας, η ακτινοθεραπεία διακρίνεται σε:

- **Θεραπευτική**, με στόχο την ίαση.
- **Συμπληρωματική**, πριν ή μετά από άλλες θεραπείες.
- **Παρηγορική**, για ανακούφιση των συμπτωμάτων και βελτίωση της ποιότητας ζωής.



Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις εφαρμόζεται και σε καλοήθεις παθήσεις, όπως χηλοειδείς ουλές, νευραλγία τριδύμου, ακουστικά σβαννώματα και αρτηριοφλεβώδεις δυσπλασίες [Cmrecak et al., 2019].

Ο θεραπευτικός μηχανισμός της ακτινοθεραπείας βασίζεται στην πρόκληση βλαβών στο DNA των καρκινικών κυττάρων μέσω ιοντίζουσας ακτινοβολίας, οδηγώντας σε αναστολή του κυτταρικού κύκλου και καταστροφή των κακοήθων κυττάρων. Οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν πλέον πιο στοχευμένες και εξατομικευμένες προσεγγίσεις, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα και μειώνοντας τις παρενέργειες [Cmrecak et al., 2019].

Χρήσεις

Η ακτινοθεραπεία χρησιμοποιείται:

- Ως μονοθεραπεία, κυρίως σε πρώιμους όγκους.
- Σε συνδυασμό με άλλες θεραπείες:
 1. Χημειοθεραπεία
 2. Ορμονοθεραπεία
 3. Ανοσοθεραπεία
 4. Χειρουργική

Η εφαρμογή εξαρτάται από:

- Τον τύπο του όγκου.
- Το στάδιο της νόσου.
- Τον θεραπευτικό στόχο (ίαση ή παρηγορία).

Εκτός από τα κακοήγη νοσήματα, μπορεί να εφαρμοσθεί και σε καλοήθεις καταστάσεις, όπως:

- Χηλοειδείς ουλές.
- Νευραλγία τριδύμου.
- Ακουστικό σβάνωμα.
- Πτερυγοειδές.
- Ετερότοπη οστεοποίηση.



Αρτηριοφλεβώδης δυσπλασία εγκεφάλου.

3.1 Τι είναι η ακτινοθεραπεία

Η ακτινοθεραπεία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες θεραπευτικές μεθόδους στη σύγχρονη ογκολογία, αξιοποιώντας ιονίζουσα ακτινοβολία για την καταστροφή ή τον έλεγχο των καρκινικών κυττάρων. Η αποτελεσματικότητά της βασίζεται στην πρόκληση ανεπανόρθωτων βλαβών στο DNA, γεγονός που οδηγεί σε αναστολή του κυτταρικού πολλαπλασιασμού και τελικά σε θάνατο των καρκινικών κυττάρων [Cmrecak et al., 2019].

Σύμφωνα με επιδημιολογικά δεδομένα, περίπου το 50% των ασθενών με καρκίνο θα υποβληθούν σε ακτινοθεραπεία κατά τη διάρκεια της θεραπευτικής τους πορείας [Chandra et al., 2021]. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται τόσο με ριζικό σκοπό, δηλαδή για την ίαση του όγκου, όσο και με παρηγορικό στόχο, προκειμένου να ανακουφιστούν συμπτώματα όπως ο πόνος ή η πίεση σε ζωτικά όργανα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ακτινοθεραπεία δεν περιορίζεται αποκλειστικά σε κακοήθεις νεοπλασίες. Εφαρμόζεται επίσης σε καλοήθεις παθήσεις, όπως χηλοειδή, τριδυμική νευραλγία, ακουστικό σβάννωμα, ετερότοπη οστεοποίηση και αρτηριοφλεβώδεις δυσπλασίες του εγκεφάλου [Cmrecak et al., 2019]. Παράλληλα, σε ασθενείς με ολιγομεταστατική νόσο, η ακτινοθεραπεία μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη, ιδίως όταν οι μεταστάσεις είναι μικρού μεγέθους και εντοπισμένες [Chandra et al., 2021].

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στην απεικόνιση και στον σχεδιασμό ακτινοθεραπείας έχουν επιτρέψει την ανάπτυξη τεχνικών ακριβούς στόχευσης, με αποτέλεσμα βελτιωμένη αποτελεσματικότητα και περιορισμό των παρενεργειών. Η παρακολούθηση της θέσης του όγκου σε πραγματικό χρόνο και η προσαρμογή της θεραπείας σε μορφολογικές αλλαγές του σώματος συμβάλλουν στη μέγιστη καταστροφή των καρκινικών κυττάρων με ταυτόχρονη προστασία των υγιών ιστών [Chandra et al., 2021].

Η ιστορική εξέλιξη της ακτινοθεραπείας ξεκινά με την ανακάλυψη των ακτίνων X, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν αρχικά στη θεραπεία δερματικών παθήσεων, λόγω της ικανότητάς τους να προκαλούν εγκαύματα. Στη συνέχεια, οι αντιβακτηριακές ιδιότητες της ακτινοβολίας



αξιοποιήθηκαν στην επούλωση τραυμάτων, ενώ η ανάπτυξη υψηλότερων ενεργειών ακτινοβολίας κατέστησε δυνατή τη θεραπεία καρκίνων εσωτερικών οργάνων [Shirzadfar & Khanahmadi, 2018].

Στη σύγχρονη κλινική πράξη, ο γραμμικός επιταχυντής (linear accelerator) αποτελεί το βασικό εργαλείο παραγωγής ακτινοβολίας. Μέσω επιτάχυνσης ηλεκτρονίων και πρόσκρουσής τους σε στόχο από βολφράμιο, παράγονται ακτίνες X που διεισδύουν στον οργανισμό προκαλώντας ιονισμό στους ιστούς. Εκτός από τις ακτίνες X, χρησιμοποιούνται και ακτίνες γάμμα, άλφα ή βήτα, ανάλογα με την κλινική ένδειξη [Shirzadfar & Khanahmadi, 2018].

Παρότι η ακτινοβολία επηρεάζει και τα φυσιολογικά κύτταρα, στις περισσότερες περιπτώσεις τα τελευταία διαθέτουν μηχανισμούς επιδιόρθωσης που τους επιτρέπουν να αποκαθιστούν τη βλάβη, σε αντίθεση με τα καρκινικά κύτταρα, τα οποία παρουσιάζουν μειωμένη ικανότητα αποκατάστασης [Shirzadfar & Khanahmadi, 2018].

Η ακτινοθεραπεία μπορεί να έχει θεραπευτικό, υποστηρικτικό ή παρηγορικό χαρακτήρα και εφαρμόζεται για:

- την καταστροφή όγκων,
- τη βελτίωση της λειτουργικότητας οργάνων όπως το ήπαρ, τα νεφρά ή ο προστάτης,
- την αποτροπή περαιτέρω εξάπλωσης της νόσου.

Οι κύριοι τύποι ακτινοθεραπείας περιλαμβάνουν:

- **Εξωτερική ακτινοθεραπεία**, όπου η ακτινοβολία χορηγείται εξωτερικά μέσω μηχανήματος.
- **Εσωτερική ακτινοθεραπεία (βραχυθεραπεία)**, όπου εμφυτεύονται ραδιενεργά υλικά εντός ή πλησίον του όγκου.
- **Συστηματική ακτινοθεραπεία**, όπου ραδιενεργές ουσίες χορηγούνται στο σώμα (από του στόματος ή ενδοφλεβίως) και διασπείρονται μέσω της κυκλοφορίας [Shirzadfar & Khanahmadi, 2018].

Για την ακριβή στόχευση χρησιμοποιούνται απεικονιστικές τεχνικές όπως αξονική τομογραφία (CT), μαγνητική τομογραφία (MRI) και τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων



(PET). Ο δοσιμέτρης είναι υπεύθυνος για τον υπολογισμό της κατάλληλης δόσης ακτινοβολίας, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη θεραπευτική απόδοση με ελάχιστη βλάβη στους υγιείς ιστούς [Shirzadfar & Khanahmadi, 2018].

Η διάρκεια και η ένταση της θεραπείας εξαρτώνται από τον τύπο και τη θέση του όγκου, καθώς και από τη γενική κατάσταση του ασθενούς. Η εφαρμογή μπορεί να είναι:

- **Ριζική**, με στόχο την ίαση.
- **Παρηγορική**, με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Η αποτελεσματική εφαρμογή της ακτινοθεραπείας προϋποθέτει τη συνεργασία πολυεπιστημονικής ομάδας, η οποία περιλαμβάνει ογκολόγους, ακτινοθεραπευτές, ιατρούς πυρηνικής ιατρικής, δοσιμέτρες και ακτινοφυσικούς. Ο σχεδιασμός πραγματοποιείται μέσω CT εξομοιωτή (CT simulator), που επιτρέπει την τρισδιάστατη απεικόνιση του όγκου και την ακριβή κατανομή της δόσης. Η συνεχής έρευνα επικεντρώνεται στη βελτίωση της ακρίβειας και στη μείωση των παρενεργειών, επιδιώκοντας την ιδανική ισορροπία μεταξύ αποτελεσματικότητας και ασφάλειας [Shirzadfar & Khanahmadi, 2018].

3.2 Είδη ακτινοθεραπείας

Η σύγχρονη ακτινοθεραπεία αποτελεί ραγδαίως εξελισσόμενο πεδίο της ογκολογίας, το οποίο έχει επωφεληθεί σημαντικώς από τις τεχνολογικές και βιολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών. Οι εξελίξεις αυτές οδήγησαν στη διαμόρφωση ποικίλων τύπων ακτινοθεραπείας, με σκοπό την αύξηση της ακριβείας, την ελαχιστοποίηση της βλάβης στους υγιείς ιστούς και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών [Chandra et al. 2021].

Η πλέον διαδεδομένη μορφή παγκοσμίως είναι η φωτονική ακτινοθεραπεία, η οποία περιλαμβάνει διαφορετικές τεχνικές σχεδιασμού και χορηγήσεως της ακτινοβολίας. Αρχικώς, ο σχεδιασμός και η χορήγηση γίνονταν σε δύο διαστάσεις με βάση την οστική ανατομία και με πεδία ευρείας εκτάσεως [Chandra et al. 2021]. Η εισαγωγή της τρισδιάστατης συμμορφωτικής ακτινοθεραπείας (3D-CRT) αποτέλεσε ορόσημο: αξιοποιεί δεδομένα από αξονική ή μαγνητική τομογραφία ώστε να προσαρμόζεται η δέσμη ακτινοβολίας στο σχήμα του όγκου, ελαττώνοντας τη δόση στους υγιείς ιστούς και βελτιστοποιώντας τον θεραπευτικό



έλεγχο [Cmrecak et al. 2019; Chandra et al. 2021]. Η 3D-CRT επέτρεψε ακριβεστέρα οριοθέτηση στόχων και ευγενών οργάνων και, συνακολούθως, κατανομή δόσεως υψηλότερου επιπέδου [Chandra et al. 2021].

Η τεχνολογία εξελίχθηκε περαιτέρω με την ακτινοθεραπεία διαμορφούμενης εντάσεως (Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT), προηγμένη τεχνική που επιτρέπει παραχώρηση ακτινοβολίας με μεταβαλλόμενη ένταση εντός της δέσμης μέσω δυναμικής κινήσεως πολυφυλλικών κολλιματών (MLC). Έτσι επιτυγχάνεται λεπτομερής προσαρμογή σχήματος και εντάσεως της δέσμης [Ezzell et al. 2003; Chandra et al. 2021]. Η IMRT, μέσω αντίστροφου σχεδιασμού (inverse planning), βελτιστοποιεί την κατανομή της δόσεως ισορροπώντας την επιθυμητή δόση στον όγκο με τους περιορισμούς δόσεως στα παρακείμενα όργανα [Ezzell et al. 2003]. Κλινικές εφαρμογές σε περιοχές σύνθετης ανατομίας, όπως κεφαλή-τράχηλος, επέφεραν μείωση τοξικοτήτων (π.χ. ξηροστομία) έναντι παλαιότερων τεχνικών [Chandra et al. 2021]. Παρά ταύτα, η IMRT απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και χρόνο προετοιμασίας, ενώ η ευρεία διασπορά χαμηλών δόσεων σε μεγάλους όγκους σωμάτων έχει συσχετισθεί με μικρή αύξηση κινδύνου δευτερογενών κακοηθειών σε μακροχρόνιους επιζώντες [Hall & Wu 2003].

Παρακλάδι της IMRT αποτελεί η ακτινοθεραπεία με διαμορφούμενη δέσμη σε περιστρεφόμενο τόξο (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT), όπου η χορήγηση γίνεται κατά συνεχή περιστροφή του γκαντρί, με ταυτόχρονη δυναμική μεταβολή ταχύτητας περιστροφής, θέσεως MLC και ρυθμού δόσεως. Η VMAT μειώνει ουσιαστικά τον χρόνο παραδόσεως και επιτυγχάνει ισοδύναμη ή βελτιωμένη κάλυψη-προστασία έναντι στατικών δεσμών [Otto 2008; Bertelsen et al. 2010].

Σημαντική πρόοδος συνιστούν οι στερεοτακτικές τεχνικές: Στερεοτακτική Ακτινοχειρουργική (SRS) και Στερεοτακτική Ακτινοθεραπεία Σώματος (SBRT/SABR). Πρόκειται για μη επεμβατικές προσεγγίσεις με χορήγηση υψηλών δόσεων με εξαιρετική ακρίβεια σε 1-5 συνεδρίες. Αρχικώς αναπτύχθηκαν για ενδοκρανιακούς στόχους και πλέον εφαρμόζονται και εξωκρανίως (πνεύμων, ήπαρ, οστά, προστάτης), ιδίως σε μικρούς όγκους ή ολιγομεταστατική νόσο [Cmrecak et al. 2019; Chandra et al. 2021; Tree et al. 2013]. Η αποτελεσματικότητα συνοδεύεται από ανάγκη ακριβεστάτης απεικονίσεως/εντοπισμού, διότι



μικρά σφάλματα δύνανται να εκτρέψουν την υψηλή δόση [Tree et al. 2013; Cmrecak et al. 2019].

Άλλη προηγμένη προσέγγιση είναι η πρωτονοθεραπεία (θεραπεία με φορτισμένα σωματίδια). Τα πρωτόνια αποθέτουν το μέγιστο της ενέργειας στο βάθος του «Bragg peak», με απότομη πτώση μετά το στόχο, επιτρέποντας ακριβέστερη προστασία υγιών ιστών. Ιδιαίτερο όφελος παρατηρείται σε παιδιατρικούς ασθενείς και σε όγκους πλησίον ευαίσθητων δομών (εγκέφαλος, νωτιαίος μυελός, βάση κρανίου), καθώς και σε ενδείξεις που απαιτούν υψηλές δόσεις με ελαχιστοποίηση τοξικότητας [Mohan 2022; Chandra et al. 2021]. Παρά την κλινική αξία, η διάδοση παραμένει περιορισμένη λόγω υψηλού κόστους και υποδομών [Mohan 2022].

Η βραχυθεραπεία, ως ενδοσωματική ακτινοθεραπεία, τοποθετεί ραδιενεργές πηγές εντός/πλησίον του όγκου· διακρίνεται σε LDR και HDR και εφαρμόζεται ευρέως σε καρκίνους τραχήλου μήτρας, προστάτου και μαστού, επιτυγχάνοντας υψηλές δόσεις στον στόχο με προστασία των γύρω ιστών [Chandra et al. 2021].

Η υποκλασματοποίηση (hypofractionation) —χορήγηση της συνολικής δόσεως σε λιγότερες αλλά μεγαλύτερες δόσεις ανά συνεδρία— από παρηγορική προσέγγιση αναδείχθηκε σε ριζική θεραπευτική επιλογή, λ.χ. στον καρκίνο μαστού, όπου έχει αποδειχθεί κλινικός ισοδύναμη και ασφαλής σε επιλεγμένα σχήματα [Brunt et al. 2020].

Η Ακτινοθεραπεία Καθοδηγούμενη από Απεικόνιση (Image-Guided Radiotherapy, IGRT) ενσωματώνει συστήματα απεικονίσεως κατά την παράδοση (π.χ. cone-beam CT), εξασφαλίζοντας ταχεία διόρθωση θέσεως και ακριβή στόχευση ακόμη και με εσωτερικές μετακινήσεις οργάνων [Sterzing et al. 2011]. Σε περιοχές υψηλής κινητικότητας, όπως πνεύμονες, τεχνικές respiratory gating και tumor tracking αντιμετωπίζουν την κίνηση λόγω αναπνοής [Guckenberger et al. 2009].

Η Προσαρμοστική Ακτινοθεραπεία (Adaptive Radiotherapy) επιτρέπει αναθεώρηση του σχεδίου εν ώρα αγωγής λαμβάνοντας υπ' όψιν μορφολογικές μεταβολές (π.χ. απώλεια βάρους, υποχώρηση μάζας). Η εξατομίκευση ενισχύεται μέσω dose painting, κατά το οποίο



περιοχές υψηλού κινδύνου λαμβάνουν μεγαλύτερα δόση βάσει λειτουργικής/μοριακής απεικονίσεως [Bentzen & Gregoire 2011].

Τέλος, προηγμένα συστήματα όπως το MRI-LINAC (συνδυασμός γραμμικού επιταχυντού και μαγνητικού τομογράφου) και αναδυόμενες προσεγγίσεις όπως η FLASH ακτινοθεραπεία (υπερυψηλός ρυθμός δόσεως με δυνητικώς χαμηλή τοξικότητα) υπόσχονται περαιτέρω ακρίβεια και εξατομίκευση της θεραπείας [Raaymakers et al. 2017; Chandra et al. 2021].

3.3 Στόχοι και τρόπος λειτουργίας

Η ακτινοθεραπεία είναι μια κλινική μέθοδος που χρησιμοποιεί ιονίζουσες ακτινοβολίες για τη θεραπεία κακοήθων νεοπλασιών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, καλοήθων παθήσεων. Ο βασικός στόχος της είναι η τοπική εξάλειψη του καρκίνου χωρίς να προκαλούνται υπερβολικές παρενέργειες στους υγιείς ιστούς. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ακριβούς στόχευσης της ακτινοβολίας, ώστε να ελαχιστοποιείται η βλάβη στους γειτονικούς φυσιολογικούς ιστούς και να μεγιστοποιείται ο έλεγχος του όγκου (Mehta, et al., 2010).

Ο τρόπος λειτουργίας της ακτινοθεραπείας βασίζεται κυρίως στην πρόκληση βλάβης στο DNA των καρκινικών κυττάρων, κυρίως μέσω διπλών θραύσεων της δίκλωνης έλικας, γεγονός που τα οδηγεί σε μη αναστρέψιμη απώλεια της αναπαραγωγικής τους ικανότητας και τελικά σε κυτταρικό θάνατο. Η βλάβη αυτή μπορεί να είναι άμεση ή, πιο συχνά, έμμεση, μέσω της δημιουργίας ελευθέρων ριζών από την ακτινοβόληση του νερού των κυττάρων (Mehta, et al., 2010).

Η ακτινοθεραπεία εφαρμόζεται με δύο κύριες μεθόδους: τηλεθεραπεία (external beam), κατά την οποία η ακτινοβολία εφαρμόζεται εξωτερικά προς τον όγκο, και βραχυθεραπεία, όπου το ραδιενεργό υλικό τοποθετείται απευθείας εντός ή πλησίον του όγκου. Η απόδοση της θεραπείας βασίζεται στις 4 βασικές αρχές της ακτινοβιολογίας – επιδιόρθωση, ανακατανομή, επανοξυγόνωση και αναπαραγωγή – οι οποίες εκμεταλλεύονται τις διαφορές ανάμεσα στα φυσιολογικά και τα καρκινικά κύτταρα για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα και να μειώσουν την τοξικότητα (Mehta, et al., 2010).



Η επιτυχία της ακτινοθεραπείας εξαρτάται από την ευαισθησία του όγκου στην ακτινοβολία (ραδιοευαισθησία) και την αντοχή των γειτονικών υγιών ιστών (ανοχή φυσιολογικών ιστών). Για την επίτευξη του βέλτιστου θεραπευτικού αποτελέσματος, χρησιμοποιούνται εξελιγμένες τεχνικές όπως η τρισδιάστατη σύμμορφη ακτινοθεραπεία (3D-CRT), η ακτινοθεραπεία με διαμορφούμενης έντασης δέσμη (IMRT) και η ακτινοθεραπεία καθοδηγούμενη από απεικόνιση (IGRT). Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την ακριβέστερη και πιο στοχευμένη χορήγηση της ακτινοβολίας, βελτιώνοντας την έκβαση της θεραπείας και μειώνοντας τις παρενέργειες (Mehta, et al., 2010).

3.4 Σε ποιους καρκίνους χρησιμοποιείται ακτινοθεραπεία

Ο καρκίνος εμφανίζεται όταν τα κύτταρα του σώματος χάνουν τον φυσιολογικό τους έλεγχο και αρχίζουν να πολλαπλασιάζονται ανεξέλεγκτα. Αυτή η ανεξέλεγκτη ανάπτυξη μπορεί να προκαλέσει βλάβες στους γύρω ιστούς και τελικά να δημιουργήσει όγκους. Μέσω του κυκλοφορικού και του λεμφικού συστήματος, τα καρκινικά κύτταρα μπορούν να μετακινηθούν και να εξαπλωθούν σε άλλα μέρη του σώματος. Υπάρχουν πάνω από 200 είδη καρκίνου, το καθένα με διαφορετικά συμπτώματα και επιπτώσεις (Coller, 2014· Shirzadfar & Khanahmadi, 2018).

Στις γυναίκες, οι πιο συχνοί τύποι καρκίνου είναι ο καρκίνος του μαστού, των πνευμόνων και του τραχήλου της μήτρας, ενώ στους άνδρες παρατηρείται συχνότερα ο καρκίνος του στομάχου, του προστάτη και του ήπατος. Σε ηλικιωμένα άτομα, η εμφάνιση καρκίνου είναι πιο πιθανή λόγω της μείωσης της άμυνας των βλαστοκυττάρων (Asthana, et al., 2014· Shirzadfar & Khanahmadi, 2018).

Διάφοροι παράγοντες, όπως η κακή διατροφή, η μόλυνση του περιβάλλοντος, η έκθεση σε βλαβερές ακτινοβολίες, το άγχος και η παχυσαρκία, μπορούν να συμβάλλουν στην εμφάνιση καρκίνου. Επίσης, περίπου το 5–10% των περιπτώσεων έχουν κληρονομική προδιάθεση (Shirzadfar & Khanahmadi, 2018).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Παρενέργειες της Ακτινοθεραπείας

Η ακτινοθεραπεία, μολονότι αποτελεσματική στην καταστροφή καρκινικών κυττάρων ή στην επιβράδυνση της αναπτύξεώς των, επηρεάζει συχνά και τους υγιείς ιστούς που γειτνιάζουν προς την υπό θεραπεία περιοχή, προκαλώντας ανεπιθύμητες ενέργειες. Οι εν λόγω ανεπιθύμητες ενέργειες εξαρτώνται πρωτίστως από τη συνολική δόση της ακτινοβολίας και από το μέγεθος του φυσιολογικού ιστού που εκτίθεται σε αυτήν [National Cancer Institute 2023; Williams & Newhauser 2019].

Πρόσφατα δεδομένα καταδεικνύουν ότι η ραδιοευαισθησία των ιστών δεν είναι ομοιογενής· δύναται να διαφοροποιείται ανά υποπεριοχή του αυτού οργάνου και να επηρεάζεται από δια-οργανικές αλληλεπιδράσεις. Η κλασσική εργασία σε παρωτίδες ανέδειξε περιοχο-εξαρτώμενη ραδιοευαισθησία και όγκο-εξαρτώμενα φαινόμενα, τα οποία περιορίζουν την προγνωστική ισχύ του μέσου όρου δόσεως ως μοναδικού δείκτη [Konings et al. 2005]. Επιπροσθέτως, προκλινικά δεδομένα και κλινικές παρατηρήσεις αναδεικνύουν συναθροιστικό αποτέλεσμα καρδιάς-πνεύμονος στην τοξικότητα θώρακος [Ghobadi et al. 2012]. Οι ανωτέρω γνώσεις συνετέλεσαν στην ανάπτυξη σύγχρονων τεχνολογιών που επιτρέπουν βελτιστοποίηση της θεραπείας με βάση την ενδο-οργανική ετερογένεια και τις δια-οργανικές αλληλεπιδράσεις [Barazzuol et al. 2020; Voschart et al. 2021].

Προς εφαρμογήν τοιαύτης εξατομικευμένης ακτινοθεραπείας, απαιτείται βαθιά κατανόηση των βιολογικών μηχανισμών που γεννούν τις παρενέργειες. Ειδικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι σιελογόνοι αδένες, το καρδιοπνευμονικό σύστημα και ο εγκέφαλος· μολονότι εμφανίζουν συγγενείς κυτταρικές αντιδράσεις σε τοπικό επίπεδο, αποκρίνονται διαφορετικώς στο σύνολο, λόγω διαφορών ιστικής αρχιτεκτονικής και λειτουργικής σημασίας [Bentzen 2006; Barazzuol et al. 2020].

Η ιονίζουσα ακτινοβολία ενεργοποιεί καταρράκτη αποκρίσεως βλάβης με έναρξη στο DNA (DNA damage response), περιλαμβανομένων αποπτώσεως, μιτωτικής θνησιμότητας και κυτταρικής γηράνσεως (senescence)· ακολουθεί φλεγμονώδης αντίδραση, υπερβολική εναπόθεση κολλαγόνου και εξωκυτταρίου ουσίας, συμμετοχή αντιδραστικών ειδών



οξυγόνου/αζώτου (ROS/RNS) και επιδείνωση λόγω ιστικής υποξίας [Bentzen 2006; Barazzuol et al. 2020].

Οι παρενέργειες διακρίνονται σε πρωΐμες (οξείες) και όψιμες (χρόνιες).

Πρωΐμες αντιδράσεις εκδηλώνονται κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά τη θεραπεία και απαντώνται κυρίως σε ιστούς υψηλής ανανεωτικής δραστηριότητας (στοματικός βλεννογόνο, έντερο, δέρμα). Συχνά είναι αναστρέψιμες εφόσον η δόση είναι ελεγχόμενη και η επούλωση επαρκής· ενίοτε, π.χ. σε πνεύμονα (πνευμονίτις), δέρμα και εγκέφαλο (κόπωσης/γνωσιακή έκπτωση), η αναστροφή είναι μερική [Bentzen 2006; Barazzuol et al. 2020]. Η κόπωση είναι εκ των συχνότερων οξέων παρενεργειών και βιώνεται με διαφορετική ένταση από ασθενή σε ασθενή [National Cancer Institute 2023].

Όψιμες παρενέργειες εμφανίζονται μετά μήνες ή και έτη, είναι συχνά χρόνιες και προοδευτικές, με ενδεχόμενη μόνιμη βλάβη και επιδείνωση ποιότητας ζωής. Εδράζονται σε χρόνια φλεγμονή, επίμονη υποξία, γηράνση κυττάρων και ιδίως ίνωση, επηρεάζοντας κρίσιμα όργανα (καρδία, πνεύμονες, ήπαρ) και καθορίζοντας τα ανώτατα επιτρεπτά όρια δόσεως [Bentzen 2006; Barazzuol et al. 2020].

Παρά ομοιότητες σε κυτταρικό επίπεδο, η συνολική αντίδραση οργάνου καθορίζεται από μη τοπικούς μηχανισμούς· λ.χ. απώλεια βλαστοκυττάρων σε κρίσιμες υποπεριοχές ή λειτουργική εξάρτηση μεταξύ οργάνων οδηγούν σε βαρύτερες επιπλοκές. Ενδεικτικώς, η προστασία της βλαστοκυτταρικής ζώνης της παρωτίδος διαφυλάσσει σημαντικώς την παραγωγή σιέλου μετά ακτινοθεραπεία [van Luijk et al. 2015], ενώ η σύγχρονη ακτινοβολήση καρδιάς-πνεύμονος επιδεινώνει αμοιβαίως τη δυσλειτουργία [Ghobadi et al. 2012]. Η κατανόηση αυτών των διαφορών είναι κρίσιμη για εξατομίκευση θεραπείας και στοχευμένες προληπτικές/θεραπευτικές στρατηγικές [Voshart et al. 2021].

4.1 Οξείες παρενέργειες

Όσον αφορά τις οξείες παρενέργειες, αυτές εμφανίζονται κατά τη διάρκεια ή σύντομα μετά την ακτινοθεραπεία (συνήθως εντός εβδομάδων). Συνδέονται με ιστική φλεγμονή,



κυτταρική απόπτωση και ενεργοποίηση ανοσολογικών μηχανισμών. Είναι συχνά αναστρέψιμες, ιδίως σε ιστούς με υψηλό ρυθμό ανανέωσης (Majeed & Gupta, 2023).

- Κεφαλή και Τράχηλος

Δέρμα και βλεννογόνοι:

Ερυθρότητα (ερύθημα)

Φλεγμονή

Απολέπιση (ξηρή/υγρή)

Μυκητίτιδα, έλκη, πόνος, φαγούρα, υπερευαισθησία

Δυσκολία στη σίτιση, ανάγκη για σίτιση μέσω σωλήνα σε σοβαρή βλάβη

- Νευρικό σύστημα (κρανιακή ακτινοβολία):

Κόπωση, απώλεια όρεξης, ναυτία, εμετός, πονοκέφαλος

Απώλεια ακοής, οξεία εγκεφαλοπάθεια (σπάνια)

Επιδείνωση νευρολογικών συμπτωμάτων λόγω οιδήματος του όγκου και των γύρω ιστών

- Σιελογόνοι αδένες:

Οίδημα, ευαισθησία μετά την πρώτη δόση

Θώρακας

- Πνεύμονες:

Συμφορήσεις, βήχας, δύσπνοια, πυρετός, πόνος στο στήθος



Ακτινική πνευμονίτιδα με διηθήματα στις απεικονίσεις

Σε σοβαρές περιπτώσεις: υποξία, δεξιά καρδιακή ανεπάρκεια

Αμφίπλευρη ανοσολογική πνευμονίτιδα (σπάνια – υποχωρεί αυτόματα)

Κοιλία και Πύελος

- Γαστρεντερικό:

Ανορεξία, ναυτία, έμετος

Κοιλιακά άλγη, διάρροια (2–3 εβδομάδες μετά την ακτινοθεραπεία)

Στο παχύ έντερο: υδαρής διάρροια μεγάλης ποσότητας

Ορθό: βλεννώδεις εκκρίσεις, διάρροια, τενέσμο λόγω απώλειας του βλεννογόνου

- Ουροποιητικό:

Ήπια δυσουρία, συχνουρία, επείγουσα ούρηση, αιματουρία, ακράτεια

Σοβαρή νέκρωση της κύστης σε σπάνιες περιπτώσεις

- Γυναικολογικά (κολπίτιδα, τραχηλίτιδα):

Ερυθρότητα, έλκη, εξιδρωματικές αλλοιώσεις, ορώδεις εκκρίσεις

Αυξημένος κίνδυνος λοίμωξης

- Γονάδες:

Απώλεια γονιμότητας ή πρόιμη εμμηνόπαυση σε γυναίκες



Στυτική δυσλειτουργία, διαταραχές σπερματογένεσης σε άνδρες

4.2 Χρόνιες παρενέργειες

Εμφανίζονται μήνες ή και χρόνια μετά την ακτινοθεραπεία, συχνά είναι μη αναστρέψιμες και επηρεάζουν τη λειτουργικότητα του οργάνου. Χαρακτηρίζονται από ίνωση, φλεγμονή, χρόνια υποξία και γήρανση των κυττάρων (Majeed & Gupta, 2023).

Κεφαλή και Τράχηλος

- Δέρμα/Μυς:

Αλωπεκία, τελαγγειεκτασίες, ίνωση των μασητήριων μυών → τρισμός (5–10%)

- Σιελογόνοι:

Μόνιμη ξηροστομία, τερηδόνα, οστεονέκρωση, δυσκολία στη μάσηση/ομιλία

Δυσκολία με οδοντοστοιχίες

- Νευρικό σύστημα:

Χρόνια κόπωση, γνωσιακές διαταραχές, αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια

Ορμονικές διαταραχές, δευτερογενείς καρκίνοι

Μυελοπάθεια με πιθανή παραπληγία

Σύνδρομο κατώτερου κινητικού νευρώνα, τελαγγειεκτασίες, αιμορραγία

Θώρακας



- Πνεύμονες:

Χρόνια πνευμονική ίνωση, περιοριστική πνευμονοπάθεια

Μείωση διαχυτικής ικανότητας και πνευμονικού όγκου

- Καρδιά:

Μυοκαρδιακή ίνωση, στεφανιαία νόσος

Βαλβιδοπάθειες, δυσλειτουργία αγωγίμου συστήματος

Αυξημένος καρδιαγγειακός κίνδυνος ακόμα και 10 χρόνια μετά

Ιδιαίτερη προσοχή σε νεότερες γυναίκες με καρκίνο μαστού

Κοιλία και Πύελος

- Γαστρεντερικό:

Χρόνια διάρροια, δυσαπορρόφηση, αποφράξεις, τηλαγγειεκτασίες, έλκη

Αύξηση κενώσεων, επείγουσες ανάγκες, αιμορραγία, πόνος

Στενώσεις ή συρίγγια

- Ουροποιητικό:

Δυσλειτουργία εξωστήρα, ακράτεια, έλκη, συρίγγια, υδρονέφρωση

- Γυναικολογικά:

Κολπική στένωση, δυσπαρευνία, επίμονα έλκη, συρίγγια (π.χ. ορθοπρωκτικά)



- Γονάδες:

Μόνιμη στειρότητα, ορμονική ανεπάρκεια (αντικαθίσταται με ορμονική θεραπεία)

Λεμφικό Σύστημα

- Λεμφοίδημα:

Πρήξιμο και απόφραξη λεμφικών οδών

Αντιμετωπίζεται με: φυσικοθεραπεία, ανύψωση άκρου, ελαστικούς επιδέσμους, αποσυμφορητική θεραπεία

Δευτερογενείς κακοήθειες προκαλούμενες από ακτινοβολία (RISMs)

Η ακτινοθεραπεία, αν και αποτελεσματική στη θεραπεία πολλών μορφών καρκίνου, ενδέχεται να προκαλέσει την εμφάνιση δευτερογενών νεοπλασιών, δηλαδή νέων, ακτινοπροκληθέντων καρκίνων μετά τη θεραπεία (Hoskin, 2002).

- Απόλυτος κίνδυνος:

Υπολογίζεται ότι το ποσοστό εμφάνισης τέτοιων κακοηθειών κυμαίνεται μεταξύ 0,2% και 1% ανά έτος στους επιζώντες καρκίνου που έχουν υποβληθεί σε ακτινοθεραπεία.

- Διφασική κατανομή εμφάνισης:

1. Πρώτη αιχμή:

Μέσα στα πρώτα 3 χρόνια από την έκθεση.

Συχνότερα: Αιματολογικές κακοήθειες (π.χ. οξείες λευχαιμίες).



2. Δεύτερη αιχμή:

Μετά από 10 χρόνια ή και περισσότερο.

Συχνότερα: Στερεοί όγκοι (καρκίνοι συμπαγών οργάνων).

Πρωτοπαθείς καρκίνοι και οι συνδεδεμένες δευτερογενείς κακοήθειες

Πίνακας 3.

Πρωτοπαθής Καρκίνος	Συχνές Δευτερογενείς Κακοήθειες (μετά από ακτινοθεραπεία)
Hodgkin	Μαστός, πνεύμονας, θυρεοειδής, στομάχι
Μαστός	Πνεύμονας, λευχαιμία, αντίθετος μαστός
Όρχεις	Λευχαιμία, λέμφωμα, καρκίνος πυέλου, σαρκώματα οστών και μαλακών μορίων
Τράχηλος μήτρας	Ουροδόχος κύστη, ορθό, λευχαιμία, σάρκωμα
Παιδικοί καρκίνοι	Θυρεοειδής, μαστός, λευχαιμία, σάρκωμα

(Majeed & Gupta, 2023).

Η εμφάνιση δευτερογενούς κακοήθειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

Η ηλικία κατά την ακτινοθεραπεία (οι νεότεροι διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο)

Το συνολικό ποσό και η περιοχή της ακτινοβολίας

Συνδυασμός με χημειοθεραπεία

Ατομική γενετική προδιάθεση (Hoskin, 2002).

4.3 Τρόποι αντιμετώπισης

Η αυξημένη ανάγκη κατανόησης των βλαβών που προκαλεί η ακτινοβολία έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ποικίλων θεραπευτικών στρατηγικών για την ανακούφιση των επιπτώσεων της ακτινοθεραπείας στους σιελογόνους αδένες. Στο πλαίσιο τούτο, είναι δυνατόν να εστιασθεί κανείς σε μεθόδους που βασίζονται στους μηχανισμούς της βλάβης [Barazzuol et al. 2020].

Μία ομάδα ουσιών που έχει μελετηθεί εκτενώς είναι οι συλλέκτες ελευθέρων ριζών (*radical scavengers*), οι οποίοι στοχεύουν στη μείωση της επίδρασης της ακτινοβολίας στους φυσιολογικούς ιστούς, χωρίς να επηρεάζουν τον όγκο. Ένα παράδειγμα είναι η αμιφοστίνη (*amifostine*), η οποία σε πειραματικά μοντέλα—όπως στους αρουραίους—έδειξε ικανότητα μείωσης της βλάβης στους σιελογόνους αδένες, ιδίως όταν χορηγείται μέσω των εκφορητικών πόρων των αδένων. Ωστόσο, οι κλινικές δοκιμές σε ανθρώπους δεν ήταν απόλυτα καταληκτικές, κυρίως λόγω προβλημάτων στη σχεδίαση των μελετών και σημαντικών παρενεργειών (όπως η ναυτία), γεγονός που περιορίζει τη χρήση της σε δόσεις αποτελεσματικές στα πειραματόζωα [Jasmer et al. 2020· Varghese et al. 2018]. Μια πιο ήπια εναλλακτική είναι η *tempol*, η οποία έχει αποδειχτεί ότι προστατεύει τους σιελογόνους αδένες σε πειραματικά μοντέλα, χωρίς να επηρεάζει τον όγκο.

Άλλες θεραπευτικές προσεγγίσεις εστιάζουν στην αποκατάσταση της λειτουργίας των σιελογόνων αδένων μετά την ακτινοβολία, κυρίως μέσω της ενεργοποίησης των εναπομεινάντων σωματογενών βλαστικών κυττάρων (*Salivary Stem/Progenitor Cells – SSPCs*). Αυτές οι μέθοδοι είναι πιο αποτελεσματικές όταν ο ιστός έχει λάβει χαμηλότερες δόσεις ακτινοβολίας [Coppes & van de Water 2014].

Στο πλαίσιο αυτό περιλαμβάνονται:

- **Φαρμακολογικοί παράγοντες** που ενεργοποιούν την παρασυμπαθητική διέγερση των αδένων, όπως η πιλοκαρπίνη (*pilocarpine*). Μελετήθηκε τόσο πριν όσο και μετά την ακτινοθεραπεία, με θετικά αποτελέσματα στην αύξηση της σιαλόρροιας [Valdez et al. 1993· Johnson et al. 1993].

- **Αυξητικοί παράγοντες**, όπως ο IGF-1 και ο *Keratinocyte Growth Factor* (KGF), οι οποίοι ενισχύουν τον πολλαπλασιασμό των επιβιωσάντων κυττάρων [Lombaert et al. 2008·Coppes & van de Water 2014·Barazzuol et al. 2020].

Επιπλέον, μεσεγχυματικά βλαστικά κύτταρα (*mesenchymal stem cells* – MSCs), προερχόμενα από μυελό των οστών ή λιπώδη ιστό, έχουν δείξει ικανότητα στην αναγέννηση ακτινοβολημένων ιστών, περιλαμβανομένων των σιελογόνων αδένων. Πρόσφατη κλινική δοκιμή φάσης I/II αποδείκνυε ότι η χρήση MSCs είναι εφικτή και ασφαλής, αν και το θεραπευτικό τους αποτέλεσμα ήταν περιορισμένο [Barazzuol et al. 2020].

Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι τα MSCs δεν διαφοροποιούνται σε σιελογόνια κύτταρα, αλλά ενισχύουν την αναγέννηση μέσω της διέγερσης των επιζώντων SSPCs. Συνεπώς, η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από το αν έχουν απομείνει ενεργά βλαστικά κύτταρα στον ιστό. Επιπλέον, τα MSCs μπορούν να βελτιώσουν την ακτινοπροκληθείσα ίνωση. Κατά συνέπεια, συνδυαστικές θεραπείες με *senolytics* (φάρμακα που απομακρύνουν γερασμένα κύτταρα) θα μπορούσαν να βελτιώσουν το μικροπεριβάλλον των κατεστραμμένων αδένων πριν από τη μεταμόσχευση βλαστικών κυττάρων [Barazzuol et al. 2020].

Η κυτταρική θεραπεία με βλαστικά κύτταρα αποτελεί πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την αντιμετώπιση της υποσαλίας μετά την ακτινοθεραπεία. Πειράματα σε ποντίκια έδειξαν ότι η μεταμόσχευση αυτογενών ενήλικων SSPCs από ανθρώπους ή ζώα μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη λειτουργία των σιελογόνων αδένων, μέσω αναδόμησης του ιστού [Pringle et al. 2013·Weng et al. 2018].

Όμως, η λήψη SSPCs από ασθενείς με ήδη σοβαρή ακτινική βλάβη δεν είναι δυνατή. Στην περίπτωση αυτή, ενδέχεται να αποτελέσει λύση ο επαναπρογραμματισμός σωματικών κυττάρων, όπως μονοκύρηνα κύτταρα αίματος, σε πολυδύναμα βλαστικά κύτταρα (*pluripotent stem cells* – PSCs), τα οποία μπορούν να διαφοροποιηθούν σε οποιονδήποτε κυτταρικό τύπο, συμπεριλαμβανομένων των σιελογόνων [Pringle et al. 2013]. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί και με τη χρήση εμβρυικών βλαστικών κυττάρων (*embryonic stem cells* – ESCs), ανοίγοντας νέους δρόμους στην αναγεννητική ιατρική [Tanaka et al. 2018·Barazzuol et al. 2020].



Συνολικά, μία πολυπαραγοντική προσέγγιση που συνδυάζει την αναδόμηση του ιστού, την ενίσχυση των επιζώντων κυττάρων και τη χρήση βλαστικών κυττάρων φαίνεται να είναι η πιο υποσχόμενη στρατηγική για την αποκατάσταση της λειτουργίας των σιελογόνων αδένων μετά την ακτινοθεραπεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Ποιότητα ζωής: Ορισμός και παράγοντες

Η έννοια της ποιότητας ζωής (*Quality of Life – QoL*) αποτελεί μία πολυδιάστατη κατασκευή, η οποία περιλαμβάνει την υποκειμενική αξιολόγηση του ατόμου αναφορικά με τη φυσική του κατάσταση, την ψυχική ευεξία, τις κοινωνικές του σχέσεις, το επίπεδο λειτουργικότητας και την ικανοποίηση από τη ζωή στο σύνολό της [WHOQOL Group 1995].

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, η ποιότητα ζωής ορίζεται ως ο τρόπος με τον οποίο ένα άτομο αντιλαμβάνεται τη θέση του στη ζωή, στο πλαίσιο του πολιτισμού και των αξιακών του συστημάτων, καθώς και σε σχέση με τους στόχους, τις προσδοκίες, τα πρότυπα και τις ανησυχίες του [WHO, 2025].

Το εργαλείο WHOQOL αναπτύχθηκε από την ομάδα WHOQOL του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σε συνεργασία με δεκαπέντε διεθνή κέντρα, με σκοπό τη δημιουργία ενός έγκυρου εργαλείου αξιολόγησης της ποιότητας ζωής, εφαρμόσιμου σε διάφορα πολιτισμικά πλαίσια [WHO, 1995·2025].

Η ποιότητα ζωής δεν αποτελεί μία στατική κατάσταση, αλλά διαμορφώνεται δυναμικά μέσω της αλληλεπίδρασης βιολογικών, ψυχολογικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Στον τομέα της υγείας, συχνά χρησιμοποιείται ο όρος *υγεία-σχετιζόμενη ποιότητα ζωής (Health-Related Quality of Life – HRQoL)*, ο οποίος επικεντρώνεται στις πτυχές της ζωής που επηρεάζονται άμεσα από την κατάσταση της υγείας και τις θεραπευτικές παρεμβάσεις [Wilson & Cleary 1995].

Οι κύριες παράμετροι που διαμορφώνουν την ποιότητα ζωής περιλαμβάνουν:

- **Φυσική υγεία:** παρουσία ή απουσία νόσων, επίπεδα ενέργειας, λειτουργικότητα, ικανότητα διαχείρισης του πόνου.



- **Ψυχική υγεία:** ψυχολογική ευεξία, διαχείριση άγχους και συναισθημάτων, καθώς και η ύπαρξη ελπίδος και νοήματος στη ζωή.
- **Κοινωνικές σχέσεις:** υποστήριξη από οικογένεια και φίλους, κοινωνική αποδοχή, συμμετοχή σε δραστηριότητες.
- **Ανεξαρτησία και λειτουργικότητα:** ικανότητα εκτέλεσης καθημερινών δραστηριοτήτων χωρίς εξάρτηση από άλλους.
- **Οικονομικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες:** εισόδημα, συνθήκες διαβίωσης, πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας, επαγγελματική κατάσταση.

Επιπλέον, υποκειμενικοί παράγοντες όπως οι προσωπικές αξίες, οι πολιτισμικές πεποιθήσεις και το επίπεδο αποδοχής της κατάστασης υγείας διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην αντίληψη της ποιότητας ζωής. Παράγοντες όπως η παρουσία χρόνιων νοσημάτων, η κοινωνική απομόνωση, το χαμηλό εισόδημα και η ανεργία έχουν συσχετισθεί με υποβαθμισμένα επίπεδα ποιότητας ζωής [Ferrans et al. 2005]. Αντιθέτως, ένα υποστηρικτικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μηχανισμών ανθεκτικότητας μπορούν να προσφέρουν προστασία.

Η κατανόηση της ποιότητας ζωής ως σύνθετου και πολυδιάστατου φαινομένου είναι ζωτικής σημασίας για μία ολιστική προσέγγιση στη φροντίδα των ασθενών. Η αξιολόγησή της μπορεί να καθοδηγήσει τις κλινικές αποφάσεις και τη διαμόρφωση πολιτικών υγείας, με στόχο όχι μόνο την αντιμετώπιση της νόσου, αλλά και τη βελτίωση της καθημερινής ζωής των ασθενών [WHOQOL Group 1995].

5.1 Επιπτώσεις καρκίνου και θεραπείες στην ποιότητα ζωής

Η διάγνωση του καρκίνου συνιστά καθοριστικό γεγονός, το οποίο δύναται να επηρεάσει βαθύτατα τόσο την καθημερινότητα όσο και τη συνολική ποιότητα ζωής του ατόμου, περιλαμβάνοντας τη σωματική και την ψυχική του υγεία. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το πεδίο της Ποιότητας Ζωής αφορά στην αντίληψη του ατόμου για τη θέση του στη ζωή, σε συνδυασμό με τις προσδοκίες, τις φιλοδοξίες, τις επιθυμίες και την προδιάθεσή του. Δεν περιλαμβάνει μόνο την σωματική υγεία, αλλά και την ψυχολογική κατάσταση, το επίπεδο ανεξαρτησίας, τις κοινωνικές σχέσεις, τις προσωπικές πεποιθήσεις και τη σχέση του με το περιβάλλον (World Health Organization, 2020). Στην περίπτωση των



ογκολογικών ασθενών, όλες αυτές οι διαστάσεις επηρεάζονται συχνά με πολύπλοκους και αλληλεξαρτώμενους τρόπους (Aaronson et al., 1993; Cella et al., 2019).

Ιδιαίτερα, οι σωματικές συνέπειες της καρκινικής θεραπείας έχουν αναδειχθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία και περιλαμβάνουν ποικίλα συμπτώματα. Η κόπωση έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα πλέον επίμονα και εξουθενωτικά συμπτώματα, το οποίο δύναται να παραμένει και μετά την ολοκλήρωση της θεραπείας (Bower, 2014; Wang, 2020). Η μείωση της ενεργητικότητας περιορίζει σημαντικά την καθημερινή λειτουργικότητα και την ικανότητα συμμετοχής σε δραστηριότητες, συμβάλλοντας στην ενίσχυση συναισθημάτων απομόνωσης και εξάρτησης από τρίτους (Mustian et al., 2017).

Στο ψυχολογικό επίπεδο, η εμπειρία του καρκίνου χαρακτηρίζεται από υψηλή πολυπλοκότητα. Πολλοί ασθενείς εμφανίζουν σοβαρές αγχώδεις ή καταθλιπτικές διαταραχές, καθώς και έντονα συναισθήματα αβεβαιότητας για το μέλλον. Η απώλεια ελέγχου, οι αλλαγές στην εικόνα του σώματος και ο φόβος υποτροπής αποτελούν κρίσιμους ψυχολογικούς παράγοντες που διαταράσσουν την ψυχική ισορροπία (Mitchell et al., 2011; Simard et al., 2013). Επιπλέον, η δυσκολία αποδοχής της νέας ταυτότητας ως «καρκινοπαθούς» ενδέχεται να επηρεάσει αρνητικά την αυτοεκτίμηση και τη διάθεση για ζωή (Avis et al., 2004).

Στο κοινωνικό πλαίσιο, οι ασθενείς συχνά βιώνουν σημαντικές αλλαγές στους ρόλους τους εντός της οικογένειας και των επαγγελματικών τους κύκλων, οι οποίες δύνανται να προκαλέσουν συναισθήματα ανεπάρκειας και ενοχής. Η αδυναμία επιστροφής στην εργασία ή συμμετοχής σε οικογενειακές δραστηριότητες επιδρά αρνητικά στη δυναμική των σχέσεων (Foster et al., 2009). Παράλληλα, η σεξουαλική δυσλειτουργία και οι αλλαγές στην εξωτερική εμφάνιση μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ερωτική ζωή και τις σχέσεις με σύντροφο, οδηγώντας σε αυξημένα συναισθήματα μοναξιάς (Beckjord et al., 2008).

Ένα πρόσθετο βάρος αφορά στις οικονομικές συνέπειες της νόσου. Η θεραπεία του καρκίνου είναι συνήθως μακροχρόνια και υψηλού κόστους. Τα έξοδα μετακινήσεων, νοσηλείας, φαρμάκων και φροντίδας επιβαρύνουν σημαντικά τον οικογενειακό προϋπολογισμό, ενώ η αδυναμία εργασίας και η απώλεια εισοδήματος εντείνουν την



οικονομική και ψυχολογική πίεση, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο στρες (Sharp & Timmons, 2010).

Οι μακροχρόνιοι επιζώντες του καρκίνου συχνά αντιλαμβάνονται τις επιπτώσεις της ασθένειας με διαφοροποιημένο τρόπο, ανάλογα με την ηλικία, το εισόδημα και την ύπαρξη άλλων προβλημάτων υγείας. Ειδικότερα, οι μεγαλύτερης ηλικίας ασθενείς αναφέρουν συχνά καλύτερη ψυχική υγεία και ποιότητα ζωής συγκριτικά με τους νεότερους, παρά τις σωματικές δυσκολίες. Το γεγονός αυτό αποδίδεται σε αυξημένη ανθεκτικότητα, συσσωρευμένες εμπειρίες ζωής και πιο σταθερές στρατηγικές αντιμετώπισης (Zebrack et al., 2008). Η μελέτη των Zebrack και συνεργατών (2008) ανέδειξε ότι η ερμηνεία της εμπειρίας του καρκίνου — είτε με θετική είτε με αρνητική προσέγγιση— επιδρά ουσιαστικά στην ψυχική ευεξία και στην ποιότητα ζωής. Η έμφαση σε θετικές συνέπειες, όπως η προσωπική ανάπτυξη και η ενίσχυση των διαπροσωπικών σχέσεων, συνδέεται με υψηλότερα επίπεδα ψυχικής υγείας, ανεξάρτητα από τη σωματική κατάσταση. Αντιθέτως, η επικέντρωση σε αρνητικές εμπειρίες, όπως η κοινωνική απομόνωση ή ο φόβος επανεμφάνισης, σχετίζεται με αυξημένη ψυχολογική δυσφορία.

Η εμπειρία του καρκίνου διαφοροποιείται επίσης με βάση το φύλο, την κοινωνικοοικονομική κατάσταση και τον τύπο του νεοπλάσματος. Γυναίκες με καρκίνο μαστού συχνά αντιμετωπίζουν ζητήματα που αφορούν τη θηλυκότητα και τη μητρότητα, ενώ άνδρες με καρκίνο του προστάτη καλούνται να διαχειριστούν προκλήσεις που σχετίζονται με τον ανδρισμό και τη σεξουαλικότητα (Avis et al., 2004). Οι νεότεροι ασθενείς, ιδίως, βιώνουν εντονότερα την απώλεια ανεξαρτησίας και την αναστολή μελλοντικών σχεδίων όπως η καριέρα ή η δημιουργία οικογένειας (Zebrack, 2011).

Η κατανόηση των ανωτέρω παραμέτρων συνιστά προϋπόθεση για την αποτελεσματική υποστήριξη των ασθενών. Οι παρεμβάσεις για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής περιλαμβάνουν ψυχολογική υποστήριξη, συμμετοχή σε ομάδες ασθενών, προγράμματα σωματικής άσκησης και ψυχοεκπαιδευτικές παρεμβάσεις (Faller et al., 2013; Mustian et al., 2017). Στο πλαίσιο αυτό, οι σύγχρονες ογκολογικές ομάδες υιοθετούν μια ολιστική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη τις εξατομικευμένες ανάγκες κάθε ασθενούς.



Συνοψίζοντας, ο καρκίνος επηρεάζει την ποιότητα ζωής σε πολλαπλά επίπεδα, και η θεραπεία δεν πρέπει να επικεντρώνεται αποκλειστικά στην επιβίωση, αλλά να αποσκοπεί επίσης στη διατήρηση και αποκατάσταση της σωματικής και ψυχικής ευημερίας. Η διεπιστημονική συνεργασία και οι δομές υποστήριξης αποτελούν καίρια εργαλεία για τη μείωση της συνολικής επιβάρυνσης και τη βελτίωση της εμπειρίας του ασθενούς κατά τη διάρκεια και μετά την θεραπευτική διαδικασία.

5.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα ζωής ασθενών υπό ακτινοθεραπεία

Ο αριθμός των επιζώντων από καρκίνο αυξάνεται σταθερά διεθνώς. Η ακτινοθεραπεία παραμένει θεμελιώδης θεραπευτική επιλογή για ευρύ φάσμα κακοηθειών, είτε ως κύρια είτε ως συμπληρωματική αγωγή. Παρά την υψηλή αποτελεσματικότητά της στον έλεγχο της νόσου, σημαντικό ποσοστό ασθενών εξακολουθεί να εμφανίζει, επί μακρόν μετά την ολοκλήρωση της αρχικής αγωγής, συμπτώματα που επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα ζωής, επεκτεινόμενα τόσο στη σωματική όσο και στην ψυχοκοινωνική λειτουργικότητα [Harrington et al. 2010].

Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα ζωής κατά και μετά την ακτινοθεραπεία

Οι καθοριστικοί παράγοντες κατηγοριοποιούνται σε βιολογικούς, ψυχολογικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς.

Σωματικές παρενέργειες (οξείες και όψιμες)

Το φάσμα των όψιμων τοξικοτήτων εξαρτάται από την ανατομική περιοχή που εκτίθεται στην ακτινοβολία και την αθροιστική δόση. Συχνές εκδηλώσεις είναι: δερματικές αλλοιώσεις (σκουρόχρωμη χροιά, αυξημένη φωτοευαισθησία, μεταβολή υφής/αισθητικότητας), απώλεια ή μεταβολές τριχοφυΐας, τηλαγγειεκτασίες, λεμφοίδημα, διαταραχή γονιμότητας (μετά από ακτινοβολήση γονάδων) και παρατεταμένη καρκινοσχετιζόμενη κόπωση, η οποία συχνά επιμένει και μετά την θεραπεία, περιορίζοντας την λειτουργικότητα και την αυτονομία [Cancer Research UK 2025; Bower 2014].



Ιδιαίτερη μορφή όψιμης τοξικότητας αποτελεί η **ινώδης μετατροπή ιστών λόγω ακτινοβολίας (radiation fibrosis)**, η οποία μπορεί να εκδηλωθεί ως: μείωση ελαστικότητας ουροδόχου κύστεως (συχνουρία), εντερικές διαταραχές (διάρροια/δυσκοιλιότητα) μετά από πυελική θεραπεία, μεταβολές σχήματος/υφής μαστού (σκλήρυνση, αύξηση πυκνότητας) μετά από μαστική ακτινοβολήση, στένωση/υποελαστικότητα κόλπου με επιπτώσεις στην σεξουαλική λειτουργικότητα, οίδημα άνω ή κάτω άκρου λόγω διαταραχής λεμφικής παροχέτευσεως, δύσπνοια και επιδείνωση αναπνευστικής ικανότητας μετά από θωρακική ακτινοθεραπεία, καθώς και στένωση οισοφάγου με δυσφαγία σε τραχηλοθωρακικές πεδίες [Cancer Research UK 2025].

Εστίαση στην πυελική ακτινοθεραπεία

Η πύελος αποτελεί συχνό πεδίο θεραπείας σε πολλούς καρκίνους. Οι όψιμες επιπλοκές μπορεί να εμφανισθούν σταδιακά, ακόμη και έτη μετά την αγωγή: μεταβολές εντερικής λειτουργίας (διάρροια, δυσκοιλιότητα, ατελής κένωση), κυστίτιδα με άλγος/συχνουρία (απαιτείται αποκλεισμός λοιμώξεως), μικρορωγμές οστών πυέλου, μειωμένη απορρόφηση βιταμίνης B12, αιμορραγία από κύστη/έντερο/κόλπο (χρήζει άμεσης ιατρικής αξιολογήσεως), σπάνια αλλά σοβαρή βλάβη οσφυοϊερού πλέγματος (RILP) με αισθητικοκινητικά συμπτώματα, καθώς και μείωση οστικής πυκνότητας που δύναται να τεκμηριωθεί με DEXA [Cancer Research UK 2025]. Οι εν λόγω επιπλοκές αναπτύσσονται βραδέως και ενίοτε παραμένουν αδιάγνωστες, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την μακροχρόνια παρακολούθηση και την έγκαιρη αναζήτηση ιατρικής συμβουλής.

Λειτουργικές εκβάσεις στον καρκίνο του προστάτου

Σε εντοπισμένο καρκίνο προστάτου, η επιλογή μεταξύ ριζικής προστατεκτομής και εξωτερικής ακτινοθεραπείας συνοδεύεται από διακριτά προφίλ μακροπροθέσμων παρενεργειών. Σε προοπτική μελέτη 15ετούς παρακολουθήσεως, η προστατεκτομή συνδέθηκε αρχικώς με υψηλότερα ποσοστά ακράτειας και στυτικής δυσλειτουργίας σε σχέση με την ακτινοθεραπεία, αλλά οι διαφορές αμβλύνθηκαν σημαντικά μακροπροθέσμως: η γενικευμένη έκπτωση της σεξουαλικής λειτουργικότητας κατεγράφη σχεδόν καθολικά (>85%) και στις δύο ομάδες [Resnick et al. 2013]. Η πορεία των λειτουργικών εκβάσεων χαρακτηρίζεται από αρχική σταθεροποίηση/ήπια βελτίωση έως πενταετία και κατόπιν νέα φθίνουσα τάση, αντανακλώντας συνδυασμό θεραπευτικών επιδράσεων και γήρανσης



[Resnick et al. 2013]. Τα ευρήματα επιβάλλουν ρεαλιστική, προθεραπευτική ενημέρωση και εξατομικευμένη στάθμιση οφελών–κινδύνων.

Ψυχολογικοί παράγοντες, γνωστικές και κοινωνικές επιδράσεις

Η ψυχολογική επίδραση του καρκίνου έχει μελετηθεί εκτενώς. Μεταναλυτικά δεδομένα δείχνουν ότι αγχώδεις και καταθλιπτικές διαταραχές απαντώνται με σημαντική συχνότητα, με διακύμανση κατά τύπο όγκου, στάδιο και φάση θεραπείας [Mitchell et al. 2011]. Η κλινική πρακτική χρησιμοποιεί συχνά αυτοαναφερόμενα εργαλεία (π.χ. HADS), αν και η διαγνωστική τους ακρίβεια και η παραγοντική δομή απασχολούν τη βιβλιογραφία [Mitchell et al. 2011].

Ιδιαίτερη θέση κατέχει το **άγχος υποτροπής** (Fear of Cancer Recurrence, FCR), το οποίο συνιστά καίρια, συχνά παρατεινόμενη ανησυχία επιζώντων. Το **FCRI** έχει επικρατήσει ως πολυδιάστατο μέτρο αξιολογήσεως του FCR και διαθέτει τεκμηριωμένες ψυχομετρικές ιδιότητες [Simard & Savard 2009]. Παράλληλα, σωματικές παράμετροι όπως **πόνος** και **κόπωση** τείνουν να ενισχύουν το άγχος/τη θλίψη, ενώ οι θεραπευτικές τοξικότητες (π.χ. λεμφοίδημα) περιορίζουν την λειτουργικότητα και, εμμέσως, την κοινωνική υποστήριξη [Bower 2014; Mitchell et al. 2011].

Στο γνωστικό πεδίο, τεκμηριώνονται διαταραχές μνήμης, προσοχής και γλωσσικών λειτουργιών στην πορεία αντικαρκινικών θεραπειών· συστάσεις εναρμονίσεως πρωτοκόλλων αξιολογήσεως έχουν εκδοθεί από την International Cognition and Cancer Task Force [Wefel et al. 2011]. Στο κοινωνικό επίπεδο, παρατηρούνται μεταβολές στους ρόλους εντός οικογένειας/εργασίας, κοινωνική απομόνωση και **σεξουαλικές δυσλειτουργίες**, με σημαντική επίπτωση στην ευημερία· η βιβλιογραφία υπογραμμίζει την ανάγκη συστηματικών παρεμβάσεων και συμβουλευτικής σεξουαλικής υγείας σε ογκολογικούς πληθυσμούς [Schover 2014].

Ατομικά/δημογραφικά χαρακτηριστικά και αντιλήψεις ασθενούς

Ηλικία, φύλο, μορφωτικό επίπεδο, εισόδημα και προϋπάρχουσα ψυχική/σωματική νόσος διαμορφώνουν την εμπειρία της ασθένειας και την προσαρμογή στη θεραπεία.



Νεότεροι ασθενείς συχνά εκδηλώνουν εντονότερα άγχος για το μέλλον, ενώ οι μεγαλύτεροι – παρά την σωματική ευαλωτότητα– εμφανίζουν αυξημένη ψυχολογική ανθεκτικότητα.

Καθοριστικής σημασίας είναι οι **υποκειμενικές ερμηνείες**: η αναγνώριση θετικών συνεπειών (προσωπική ενδυνάμωση, επαναπροσδιορισμός αξιών, ενίσχυση σχέσεων) συνδέεται με καλύτερους δείκτες ψυχικής υγείας, ενώ ερμηνείες εστιασμένες σε φόβο/μοναξιά/αποδιοργάνωση σχετίζονται με αυξημένη δυσφορία.

Κλινικές συνέπειες

Η ολιστική, διεπιστημονική φροντίδα επιβάλλεται: τακτική, μακροχρόνια παρακολούθηση για όψιμες τοξικότητες, έγκαιρη διάγνωση και αντιμετώπιση καρκινοσχετιζόμενης κόπωσης, δομημένος έλεγχος και διαχείριση άγχους/καταθλίψεως και FCR, αξιολόγηση γνωστικών λειτουργιών με τυποποιημένα πρωτόκολλα, συστηματική σεξουαλική συμβουλευτική, καθώς και ενίσχυση κοινωνικής υποστηρίξεως. Κεντρικός στόχος δεν είναι μόνο η επιβίωση, αλλά η διασφάλιση της **ανθρώπινης αξιοπρεπείας** και της συνολικής **ευημερίας** του ατόμου.

5.3 Μέθοδοι αξιολόγησης της ποιότητας ζωής

Η αξιολόγηση της ποιότητας ζωής (ΠΖ) είναι ένα κρίσιμο στοιχείο της σύγχρονης ιατρικής και υγειονομικής πολιτικής, ιδιαίτερα όσον αφορά την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων στον τομέα της υγείας. Δύο από τις πιο σημαντικές και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους μέτρησης είναι οι QALYs (Quality-Adjusted Life Years) και οι DALYs (Disability-Adjusted Life Years). Αυτοί οι δείκτες συνδυάζουν δεδομένα σχετικά με τη διάρκεια και την ποιότητα ζωής, διευκολύνοντας τη συγκριτική αξιολόγηση θεραπειών, ασθενειών και στρατηγικών παρέμβασης (Gold, et al., 2002).

► Quality-Adjusted Life Years (QALYs)

Η έννοια των QALYs (Ποιοτικά Προσαρμοσμένα Έτη Ζωής) αναπτύχθηκε για να αποτυπώσει τα αναμενόμενα έτη ζωής ενός ατόμου, προσαρμοσμένα σύμφωνα με την ποιότητα αυτών των ετών. Κάθε έτος ζωής αξιολογείται με έναν συντελεστή που αντικατοπτρίζει την υγειονομική κατάσταση του ατόμου, σε κλίμακα από 0 (θάνατος) έως 1 (άριστη υγεία). Έτσι, ένα έτος ζωής σε ιδανικές συνθήκες υγείας ισοδυναμεί με 1 QALY, ενώ ένα έτος ζωής με σοβαρούς περιορισμούς μπορεί να έχει αξία, για παράδειγμα, 0,5



QALY. Η σχετική φόρμουλα είναι: $QALY = \text{Έτη Ζωής} \times \text{Συντελεστής Ποιότητας Ζωής}$ (Gold, et al., 2002).

Οι QALYs (ποιοτικά προσαρμοσμένα έτη ζωής) χρησιμοποιούνται ευρέως σε οικονομικές αξιολογήσεις (cost-utility analyses) για να εκτιμήσουν το όφελος μιας θεραπευτικής παρέμβασης σε σχέση με το κόστος της. Με αυτόν τον τρόπο, συμβάλλουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με την κατανομή πόρων στο σύστημα υγείας) (Murray, 1996 · Drummond, et al., 2015).

► Disability-Adjusted Life Years (DALYs)

Σε αντίθεση με τους QALYs, οι DALYs αποτυπώνουν το βάρος της ασθένειας, αναδεικνύοντας τα "χαμένα" υγιή έτη ζωής λόγω πρόωρης θνησιμότητας και αναπηρίας. Αυτές οι μετρήσεις αναπτύχθηκαν από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και χρησιμοποιούνται κυρίως στους τομείς της δημόσιας υγείας και της επιδημιολογίας. Η σχετική φόρμουλα είναι: $DALY = YLL (\text{Χρόνια Ζωής Χαμένα}) + YLD (\text{Χρόνια Ζωής με Αναπηρία})$ (Gold, et al., 2002· World Health Organization. (2020).

- Τα YLL (Έτη Ζωής που Χάθηκαν) υπολογίζονται ως η διαφορά μεταξύ του προσδοκώμενου χρόνου ζωής και του πραγματικού χρόνου θανάτου.

- Τα YLD (Έτη Ζωής με Αναπηρία) υπολογίζονται με βάση τον αριθμό των ετών που ένα άτομο ζει με μια πάθηση, προσαρμοσμένα σύμφωνα με τη σοβαρότητα της αναπηρίας (disability weight).

Οι DALYs αξιολογούν την επιβάρυνση που προκαλεί μια νόσος στον πληθυσμό, διευκολύνοντας έτσι την εκτίμηση και την ιεράρχηση προτεραιοτήτων στον τομέα της δημόσιας υγείας (Murray, 1996 · Gold, et al., 2002· Drummond, et al., 2015).

► Σύγκριση και Εφαρμογές

Πίνακας 4.

Χαρακτηριστικό	QALY	DALY
Σκοπός	Μέτρηση του κέρδους από παρεμβάσεις υγείας	Μέτρηση του φορτίου ασθένειας



Τύπος δεικτών	Θετικός (όφελος)	Αρνητικός (απώλεια)
Χρήση	Οικονομικές αξιολογήσεις	Δημόσια υγεία, επιδημιολογία
Υπολογισμός	Προσαρμογή ετών ζωής ως προς την ποιότητα	Άθροισμα ετών απώλειας λόγω πρόωρου θανάτου και αναπηρίας
Ανώτερη τιμή	1 (τέλεια υγεία)	0 (καμία επιβάρυνση)

(Gold, et al., 2002).

► Επιστημονική Αξιοπιστία και Περιορισμοί

Οι δείκτες QALY και DALY παρέχουν μια ποσοτική προσέγγιση στην υγεία, αλλά έχουν επίσης δεχτεί κριτική. Οι QALYs, για παράδειγμα, μπορεί να υποτιμούν την αξία των παρεμβάσεων για ηλικιωμένα άτομα ή άτομα με αναπηρίες. Από την άλλη πλευρά, οι DALYs συχνά στηρίζονται σε γενικούς συντελεστές αναπηρίας, οι οποίοι ενδέχεται να μην αποτυπώνουν με ακρίβεια τις υποκειμενικές εμπειρίες των ασθενών. Παρ' όλα αυτά, παραμένουν διεθνώς αναγνωρισμένα εργαλεία για τον σχεδιασμό πολιτικών υγείας και τη σύγκριση της αποτελεσματικότητας διαφόρων στρατηγικών (Gold, et al., 2002).

Συμπεράσματα

Η ακτινοθεραπεία, αν και αποτελεί θεμέλιο λίθο στην αντιμετώπιση πολλών μορφών καρκίνου, επιφέρει σημαντικές επιδράσεις στην ποιότητα ζωής των ασθενών. Οι επιδράσεις αυτές είναι πολυπαραγοντικές και επηρεάζονται από τη φύση της νόσου, τη δόση της ακτινοβολίας, τη διάρκεια της θεραπείας, καθώς και από ατομικούς και κοινωνικούς παράγοντες.

Κύρια σωματικά συμπτώματα όπως η κόπωση, ο πόνος και οι δυσλειτουργίες των οργάνων στόχου, καθώς και ψυχολογικά φαινόμενα όπως το άγχος και η κατάθλιψη, συντελούν στη μείωση της λειτουργικότητας και της ευεξίας. Η κατανόηση της εμπειρίας των ασθενών μέσω ποιοτικών και ποσοτικών εργαλείων αξιολόγησης (QALYs, DALYs, WHOQOL) είναι καθοριστική για την ολιστική διαχείριση των αναγκών τους.



Επιπλέον, η βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι οι μακροχρόνιοι επιζώντες συχνά επανεκτιμούν τη ζωή τους, ενσωματώνοντας την εμπειρία της νόσου ως παράγοντα προσωπικής ανάπτυξης. Ωστόσο, αυτή η θετική αναδόμηση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κοινωνική υποστήριξη, τη διαθεσιμότητα πόρων και τη δυνατότητα πρόσβασης σε εξατομικευμένες παρεμβάσεις φροντίδας.

Συνεπώς, η ενσωμάτωση της αξιολόγησης της ποιότητας ζωής στις κλινικές αποφάσεις και η υιοθέτηση διεπιστημονικών μοντέλων φροντίδας, συνιστούν ουσιώδεις στρατηγικές για την αναβάθμιση της ογκολογικής φροντίδας. Το μέλλον της ακτινοθεραπείας δεν εστιάζει μόνο στην επιβίωση, αλλά και στην ποιότητα με την οποία οι ασθενείς συνεχίζουν να ζουν.

Βιβλιογραφία

1. ARPANSA. (2025) Beta particles, Radiation understanding
2. ARPANSA. (2025) X-rays, Radiation understanding
3. Aaronson, N. K., Ahmedzai, S., & Bergman, B. (1993). The EORTC QLQ-C30: A quality of life instrument for use in international clinical trials in oncology. *Journal of the National Cancer Institute*, 85(365), 1993–376.
4. Avis, N. E., Crawford, S., & Manuel, J. (2004). Psychosocial problems among younger women with breast cancer. *Psycho-Oncology: Journal of the Psychological, Social and Behavioral Dimensions of Cancer*, 13(5), 295-308.
5. Barazzuol, L., Coppes, R. P., & van Luijk, P. (2020). Prevention and treatment of radiotherapy-induced side effects. *Molecular oncology*, 14(7), 1538-1554.
<https://doi.org/10.1002/1878-0261.12750>
6. Barazzuol, L., Jolly, S., & Kirby, A. M. (2020). Clinical radiotherapy physics and techniques. *British Journal of Radiology*, 93(1115), 20190389. doi: 10.1259/bjr.20190389
7. Barton, M. B., Jacob, S., Shafiq, J., Wong, K., Thompson, S. R., Hanna, T. P., & Delaney, G. P. (2014). Estimating the demand for radiotherapy from the evidence: a review of changes from 2003 to 2012. *Radiotherapy and Oncology*, 112(1), 140-144.
8. Baeyens A. et al. (2023) Basic Concepts of Radiation Biology, σε: Radiobiology Textbook https://doi.org/10.1007/978-3-031-18810-7_2
9. Beckjord, E. B., Arora, N. K., McLaughlin, W., Oakley-Girvan, I., Hamilton, A. S., & Hesse, B. W. (2008). Health-related information needs in a large and diverse sample of adult cancer survivors: implications for cancer care. *Journal of Cancer Survivorship*, 2, 179-189.



10. Bentzen, S. M. (2006). Preventing or reducing late side effects of radiation therapy: radiobiology meets molecular pathology. *Nature Reviews Cancer*, 6(9), 702-713.
11. Bentzen, S. M., & Gregoire, V. (2011). Molecular imaging-based dose painting: a novel paradigm for radiation therapy prescription. *Seminars in Radiation Oncology*, 21(2), 101-110.
12. Bertelsen, A., Hansen, C. R., Johansen, J., & Brink, C. (2010). Single Arc Volumetric Modulated Arc Therapy of head and neck cancer. *Radiotherapy and Oncology*, 95(2), 142-148.
13. Bower, J. E. (2014). Cancer-related fatigue—mechanisms, risk factors, and treatments. *Nature reviews Clinical oncology*, 11(10), 597-609.
14. Brunt, A.M., et al. (2020). FAST-Forward: hypofractionated whole-breast RT... *The Lancet*, 395(10237), 1613–1626.
15. CDC. (2024) About Non-Ionizing Radiation.
16. Cancer Research UK. (2025). Long term side effects of radiotherapy. Retrieved April 16, 2025, from <https://www.cancerresearchuk.org/about-cancer/treatment/radiotherapy/side-effects/long-term-side-effects>
17. Chandra, R. A., Keane, F. K., Voncken, F. E., & Thomas, C. R. (2021). Contemporary radiotherapy: present and future. *The Lancet*, 398(10295), 171-184. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00233-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00233-6)
18. Cmrecak, F., Andrasek, I., Solak Mekic, M., Ravlic, M., & Beketic-Oreskovic, L. (2019). Modern Radiotherapy Techniques. *Libertas Oncol*, 47(2-3), 91-97.
19. Coppes, R. P., & van de Water, T. A. (2014). Future Prevention and Treatment of Radiation-Induced Hyposalivation. In *Dry Mouth: A Clinical Guide on Causes, Effects and Treatments* (pp. 195-212). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
20. Desai R et al. (2020) Therapeutic role of Gamma Knife SRS, PMC
21. Drummond, M. F., Sculpher, M. J., Claxton, K., Stoddart, G. L., & Torrance, G. W. (2015). *Methods for the economic evaluation of health care programmes*. Oxford university press.
22. Earl, M.A., et al. (2003). Inverse planning for IMAT... *Physics in Medicine & Biology*, 48(12), 2293–2311.
23. Ezzell, G.A., et al. (2003). Guidance on IMRT delivery/planning... *Medical Physics*, 30(8), 2089–2115.
24. Faller, H., Schuler, M., Richard, M., Heckl, U., Weis, J., & Küffner, R. (2013). Effects of psycho-oncologic interventions on emotional distress and quality of life in adult patients with cancer: systematic review and meta-analysis. *Journal of clinical oncology*, 31(6), 782-793.
25. Ferlay, J., Colombet, M., Soerjomataram, I., Parkin, D. M., Piñeros, M., Znaor, A., & Bray, F. (2021). Cancer statistics for the year 2020: An overview. *International Journal of Cancer*. doi:10.1002/ijc.33588



26. Ferrans, C. E., Zerwic, J. J., Wilbur, J. E., & Larson, J. L. (2005). Conceptual model of health-related quality of life. *Journal of nursing scholarship*, 37(4), 336-342.
27. Foray, N., Bourguignon, M., & Hamada, N. (2016). Individual response to ionizing radiation. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 770, 369–386. doi:10.1016/j.mrrev.2016.09.001
28. Foster, C., Wright, D., Hill, H., Hopkinson, J., & Roffe, L. (2009). Psychosocial implications of living 5 years or more following a cancer diagnosis: a systematic review of the research evidence. *European journal of cancer care*, 18(3), 223-247.
29. Ghobadi, G., Van Der Veen, S., Bartelds, B., De Boer, R. A., Dickinson, M. G., De Jong, J. R., ... & Van Luijk, P. (2012). Physiological interaction of heart and lung in thoracic irradiation. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 84(5), e639-e646.
30. Goodhead DT. (2006) Energy deposition stochastics and track structure... *Radiat Prot Dosimetry*. doi: 10.1093/rpd/nc1016
31. Gold, M. R., Stevenson, D., & Fryback, D. G. (2002). HALYS and QALYS and DALYS, Oh My: similarities and differences in summary measures of population Health. *Annual review of public health*, 23(1), 115-134.
32. Guckenberger, M., Krieger, T., Richter, A., Baier, K., Wilbert, J., Sweeney, R. A., & Flentje, M. (2009). Potential of image-guidance, gating and real-time tracking to improve accuracy in pulmonary stereotactic body radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology*, 91(3), 288-295
33. Hall, E. J., & Wu, C. S. (2003). Radiation-induced second cancers: the impact of 3D-CRT and IMRT. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, 56(1), 83-88.
34. Harrington, C. B., Hansen, J. A., Moskowitz, M., Todd, B. L., & Feuerstein, M. (2010). It's not over when it's over: long-term symptoms in cancer survivors—a systematic review. *The International Journal of Psychiatry in Medicine*, 40(2), 163-181
35. Hausman, D. M. (2019). What Is Cancer? Perspectives in Biology and Medicine, 62(4), 778–784. doi:10.1353/pbm.2019.0046
36. Horsman MR, Overgaard J. (2016) The impact of hypoxia... *J Radiat Res*. doi: 10.1093/jrr/rrw007
37. Hubenak, J.R., et al. (2014). Mechanisms of injury to normal tissue... *Plast Reconstr Surg*, 133(1), 49e–59e.
38. Ihsani RN (2024) An overview of gamma radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry*
39. Konings, A.W.T., et al. (2005). Volume effects and radiosensitivity... *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 62(4), 1090–1095.
40. Kolavekar SB et al. (2022) Investigation of gamma-ray shielding parameters... *Radiation Physics and Chemistry*



41. Linear particle accelerator, Wikipedia (2025)
42. Mehta, S. R., Suhag, V., Semwal, M., & Sharma, N. (2010). Radiotherapy: Basic concepts and recent advances. *Medical Journal Armed Forces India (MJAFI)*, 66(2), 158–162.
43. Mitchell, A. J., et al. (2017). Comparison of pharmaceutical, psychological, and exercise... *JAMA Oncology*, 3(7), 961–968.
44. Mavragani IV, et al. (2019) Ionizing radiation and complex DNA damage... *Int J Mol Sci*. doi: 10.3390/ijms20061446
45. Mavragani IV, et al. (2019) Ionizing radiation and complex DNA damage... *Int J Mol Sci*. doi: 10.3390/ijms20061446
46. Mustian, K. M., Alfano, C. M., Heckler, C., Kleckner, A. S., Kleckner, I. R., Leach, C. R., ... & Miller, S. M. (2017). Comparison of pharmaceutical, psychological, and exercise treatments for cancer-related fatigue: a meta-analysis. *JAMA oncology*, 3(7), 961-968.
47. National Cancer Institute. (2021). What is cancer? Ανακτήθηκε στις 05 Μαρτίου 2025, από: <https://www.cancer.gov/about-cancer/understanding/what-is-cancer>
48. National Cancer Institute. (2023). Radiation therapy side effects. Ανακτήθηκε από <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/radiation-therapy/side-effects>
49. NCBI. (2025) Principles of Radiation Biology.
50. Obrador E. et al. (2023) Ionizing Radiation, Antioxidant Response and Oxidative <https://doi.org/10.3390/antiox12061219>
51. Otto, K. (2008). Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Medical Physics*, 35(1), 310-317.
52. Oxygen enchantment effect (Wikipedia 2025)
53. RadiologyInfo.org LINAC (Linear Accelerator)
54. Ravana JL, Douki T, Cadet j. (2014) Direct and indirect effects... *Radiat Res*. Doi: 10.1667/RR13504. 1
55. Raaymakers, BW., et al. (2017). First patients treated with a 1.5 T MRI-Linac... *Physics in Medicine & Biology*, 62(23), L41-L50.
56. Resnick, M. J., Koyama, T., Fan, K. H., Albertsen, P. C., Goodman, M., Hamilton, A. S., ... & Penson, D. F. (2013). Long-term functional outcomes after treatment for localized prostate cancer. *New England Journal of Medicine*, 368(5), 436-445. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1209978>
57. Santivasi WL, Xia F. (2014) Ionizing radiation-induced DNA damage... <https://doi.org/10.1089/ars.2013.5668>
58. Seenappa L (2017) A Study of Shielding Properties of X-ray and Gamma... *Journal of Radiation Protection and Research*
59. Sharp, L., & Timmons, A. (2010). The financial impact of a cancer diagnosis.
60. Shirato H. (2018) Selection of external beam radiotherapy approaches, PMC



61. Simard, S., & Savard, J. (2009). Fear of Cancer Recurrence Inventory: development and initial validation of a multidimensional measure of fear of cancer recurrence. *Supportive care in cancer*, 17, 241-251.
62. Simard, S., Thewes, B., Humphris, G., Dixon, M., Hayden, C., Mireskandari, S., & Ozakinci, G. (2013). Fear of cancer recurrence in adult cancer survivors: a systematic review of quantitative studies. *Journal of cancer survivorship*, 7, 300-322.
63. Sterzing, F., Engenhart-Cabillic, R., Flentje, M., & Debus, J. (2011). Image-guided radiotherapy: a new dimension in radiation oncology. *Deutsches Ärzteblatt International*, 108(16), 274-280.
64. Talapko J. et al. (2024). Health Effects of Ionizing Radiation on the Human Body. <https://doi.org/10.3390/medicina6040653>
65. Tree, A. C., Khoo, V. S., Eeles, R. A., Ahmed, M., Dearnaley, D. P., Hawkins, M. A., ... & van As, N. J. (2013). Stereotactic body radiotherapy for oligometastases. *The Lancet Oncology*, 14(1), e28-e37.
66. Tree, A.C., et al. (2013). Stereotactic body radiotherapy for oligometastases... *Clinical Oncology*, 25(4), 236–246.
67. Van Luijk, P., Pringle, S., Deasy, J. O., Moiseenko, V. V., Faber, H., Hovan, A., ... & Coppes, R. P. (2015). Sparing the region of the salivary gland containing stem cells preserves saliva production after radiotherapy for head and neck cancer. *Science translational medicine*, 7(305), 305ra147-305ra147.
68. Voshart, D.C., et al. (2021). Regional Responses in Radiation-Induced Normal Tissue Damage. *Cancers*, 13(3), 367.
69. Wefel, J. S., Vardy, J., Ahles, T., & Schagen, S. B. (2011). International Cognition and Cancer Task Force recommendations to harmonise studies of cognitive function in patients with cancer. *The lancet oncology*, 12(7), 703-708.
70. WHO. (2023). Ionizing radiation and health effects.
71. Wikipedia. (2025). Beta particle
72. Wikipedia. (2025). Non-Ionizing Radiation
73. Wikipedia. (2025). Radiation burn
74. Williams, J.P., & Newhauser, W. (2019). Normal tissue damage... *Br J Radiol*, 92(1093):20180048.
75. Wilson, I. B., & Cleary, P. D. (1995). Linking clinical variables with health-related quality of life: a conceptual model of patient outcomes. *Jama*, 273(1), 59-65.
76. World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research. (2018). Diet, nutrition, physical activity and cancer.
77. World Health Organization. (2020). *WHOQOL: Measuring quality of life*. <https://www.who.int/tools/whoqol>
78. Whoqol Group. (1995). The World Health Organization quality of life assessment (WHOQOL): position paper from the World Health Organization. *Social science & medicine*, 41(10), 1403-1409.



79. Zebrack, B. J. (2011). Psychological, social, and behavioral issues for young adults with cancer. *Cancer*, 117(S10), 2289-2294.
80. Zebrack, B. J., Yi, J., Petersen, L., & Ganz, P. A. (2008). The impact of cancer and quality of life for long-term survivors. *Psycho-Oncology*, 17(9), 891–900.