ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ:

«ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ: « ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ: ΓΝΩΣΕΙΣ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΙΑΤΡΙΚΗΣ»

Ανδρέας Πετρόπουλος

ΠΑΤΡΑ

2026

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ:

«ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ: « ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ: ΓΝΩΣΕΙΣ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΙΑΤΡΙΚΗΣ»

Ανδρέας Πετρόπουλος

ΠΑΤΡΑ

2026

ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

1. Γεώργιος Παναγιωτάκης, Ομότιμος Καθηγητής Ιατρικής (Επιβλέπων)
2. Μιχαήλ Λεοτσινίδης, Ομότιμος Καθηγητής Ιατρικής
3. Γεώργιος Σακελλαρόπουλος, Καθηγητής Ιατρικής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Γεώργιο Παναγιωτάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο ερευνητικό θέμα, και για την πολύτιμη καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γεώργιο Βλαχόπουλο για τις συμβουλές του κατά την συλλογή δεδομένων και την βοήθεια του στη στατιστική ανάλυση τους.

Τέλος, ευχαριστώ όλους τους φοιτητές του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Πατρών που συμμετείχαν εθελοντικά στην έρευνα, καθώς χωρίς τη δική τους συμβολή η πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας δεν θα ήταν δυνατή.

Περίληψη

Η αρχή της αιτιολόγησης αποτελεί μία από τις τρεις θεμελιώδεις αρχές του συστήματος ακτινοπροστασίας και διασφαλίζει ότι κάθε ιατρική έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία πραγματοποιείται μόνο όταν το αναμενόμενο διαγνωστικό ή θεραπευτικό όφελος υπερτερεί των πιθανών κινδύνων για τον ασθενή. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση απεικονιστικών εξετάσεων που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία καθιστά ιδιαίτερα σημαντική την επαρκή εκπαίδευση των μελλοντικών ιατρών στις βασικές αρχές της ακτινοπροστασίας και, ειδικότερα, στην ορθή εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης.

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η αξιολόγηση των γνώσεων των φοιτητών Ιατρικής σχετικά με την αρχή της αιτιολόγησης στην ακτινοπροστασία, καθώς και η διερεύνηση πιθανών διαφορών ανάλογα με τα δημογραφικά και εκπαιδευτικά χαρακτηριστικά τους. Πραγματοποιήθηκε συγχρονική, περιγραφική μελέτη με τη συμμετοχή 138 φοιτητών του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Πατρών από όλα τα έτη σπουδών. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με ανώνυμο, αυτοσυμπληρούμενο έντυπο ερωτηματολόγιο 42 ερωτήσεων, το οποίο είχε προηγουμένως αξιολογηθεί μέσω πιλοτικής εφαρμογής σε ανεξάρτητο δείγμα δέκα φοιτητών, με σκοπό τη βελτίωση της σαφήνειας και της κατανόησής του. Το ερωτηματολόγιο περιλάμβανε ερωτήσεις σχετικά με τις βασικές έννοιες της ακτινοπροστασίας, την αναγνώριση των απεικονιστικών μεθόδων που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία, τις σχετικές δόσεις ακτινοβολίας, την αρχή της αιτιολόγησης και την εφαρμογή της στην κλινική πράξη.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι φοιτητές παρουσίασαν συνολικά ικανοποιητικό επίπεδο γνώσεων, με διάμεσο συνολικό σκορ 29/34, το οποίο αντιστοιχούσε στις ερωτήσεις που αξιολογούσαν τις γνώσεις των συμμετεχόντων. Το υψηλότερο ποσοστό ορθών απαντήσεων καταγράφηκε στις ερωτήσεις που αφορούσαν την αρχή της αιτιολόγησης (83,3%), ακολουθούμενο από τις αρχές ακτινοπροστασίας (80,1%), τις βασικές γνώσεις ακτινοβολίας (79,7%) και την αναγνώριση των απεικονιστικών τεχνικών (75,1%). Ωστόσο, διαπιστώθηκαν σημαντικά γνωσιακά κενά σχετικά με τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (DRLs), τη συμβολή της ιατρικής απεικόνισης στη συλλογική έκθεση του πληθυσμού, την αναγνώριση του υπερηχογραφήματος ως μη ιοντίζουσας απεικονιστικής μεθόδου και την αυξημένη ακτινοευαισθησία των νεότερων ηλικιών. Επιπλέον, οι φοιτητές των κλινικών ετών παρουσίασαν

στατιστικά σημαντικά καλύτερες επιδόσεις σε σύγκριση με τους φοιτητές των προκλινικών ετών **(**p = 0,038**).**

Συμπερασματικά, τα ευρήματα της μελέτης καταδεικνύουν ότι, παρά το συνολικά ικανοποιητικό επίπεδο γνώσεων, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές εκπαιδευτικές ανάγκες σχετικά με την ακτινοπροστασία και ιδιαίτερα με την εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης στην κλινική πράξη. Η συστηματικότερη ενσωμάτωση σχετικών εκπαιδευτικών ενοτήτων στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών της Ιατρικής, με έμφαση στην κλινική λήψη αποφάσεων και στην ορθολογική χρήση των απεικονιστικών εξετάσεων, μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό των μη απαραίτητων εκθέσεων σε ιοντίζουσα ακτινοβολία και στη βελτίωση της ασφάλειας και της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας.

Λέξεις-κλειδιά: ακτινοπροστασία, αρχή της αιτιολόγησης, φοιτητές Ιατρικής, ιοντίζουσα ακτινοβολία, ιατρική απεικόνιση, εκπαίδευση, δημόσια υγεία.

Abstract

The principle of justification is one of the three fundamental principles of the radiation protection system and ensures that any medical exposure to ionizing radiation is performed only when the expected diagnostic or therapeutic benefit outweighs the potential risks to the patient. The continuously increasing use of imaging examinations involving ionizing radiation highlights the importance of adequately educating future physicians in the basic principles of radiation protection, with particular emphasis on the proper application of the principle of justification.

The aim of the present study was to assess medical students' knowledge regarding the principle of justification in radiation protection and to investigate potential differences according to their demographic and educational characteristics. A cross-sectional descriptive study was conducted among 138 medical students from all years of study at the School of Medicine, University of Patras, Greece. Data were collected using an anonymous, self-administered questionnaire consisting of 42 items, which had previously been pilot-tested on an independent sample of ten medical students to improve its clarity and comprehensibility. The questionnaire included questions addressing the basic principles of radiation protection, identification of imaging modalities using ionizing radiation, radiation doses, the principle of justification, and its application in clinical practice.

The results showed that the participants demonstrated an overall satisfactory level of knowledge, with a **median total score of 29/34**, calculated from the knowledge-assessment items of the questionnaire. The highest percentage of correct responses was observed in the section related to the principle of justification (83.3%), followed by radiation protection principles (80.1%), basic radiation knowledge (79.7%), and identification of imaging modalities (75.1%). However, important knowledge gaps were identified regarding Diagnostic Reference Levels (DRLs), the contribution of medical imaging to the collective radiation exposure of the population, the recognition of ultrasound as a non-ionizing imaging modality, and the increased radiosensitivity of younger individuals. Furthermore, students in the clinical years achieved significantly higher scores than those in the preclinical years (**$p = 0.038$**).

In conclusion, although medical students demonstrated an overall satisfactory level of knowledge, important educational needs remain regarding radiation protection and, particularly, the practical

application of the principle of justification in clinical practice. The systematic integration of radiation protection education into the undergraduate medical curriculum, with greater emphasis on clinical decision-making and the appropriate use of diagnostic imaging, may contribute to reducing unnecessary exposure to ionizing radiation and improving patient safety and the quality of healthcare services.

Keywords: radiation protection; principle of justification; medical students; ionizing radiation; medical imaging; education; public health.

Περιεχόμενα

1. Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία 13

1.1 Ιοντίζουσα Ακτινοβολία 15

2 Αλληλεπίδραση της Ακτινοβολίας με την Ύλη 16

1.3 Αλληλεπίδραση της Ιοντίζουσας Ακτινοβολίας με τους Ιστούς 19

2 Ιατρική Απεικόνιση και Θεραπευτικές Εφαρμογές 22

2.1 Εισαγωγή 22

2.2 Τεχνικές Απεικόνισης 22

2.2.1 Ακτινογραφία 23

2.2.2 Ακτινοσκόπηση 25

2.2.3 Μαστογραφία 26

2.2.4 Αξονική Τομογραφία (CT) 28

2.2.5 Πυρηνική Ιατρική 30

2.3 Απεικονιστικές μέθοδοι χωρίς ιοντίζουσα ακτινοβολία 36

2.3.1 Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (Magnetic Resonance Imaging – MRI) 36

2.3.2 Υπερηχογράφημα 38

2.4 Θεραπευτικές εφαρμογές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας 41

2.4.1 Εξωτερική ακτινοθεραπεία 41

2.4.2 Βραχυθεραπεία 42

2.4.3 Ραδιοϊσοτοπικές θεραπείες 43

3 Ακτινοπροστασία 45

3.1 Εισαγωγή στην Ακτινοπροστασία 45

3.2 Σύστημα Ακτινοπροστασίας της ICRP 46

3.3 Αρχή της Αιτιολόγησης (Justification) 48

3.3.1 Τα Επίπεδα της Αιτιολόγησης 49

3.3.2 Εναλλακτικές Μέθοδοι χωρίς Ιοντίζουσα Ακτινοβολία 50

3.3.3 Υπερβολική Χρήση Απεικονιστικών Εξετάσεων 50

3.3.4 Η Σημασία της Αιτιολόγησης στη Δημόσια Υγεία 51

3.4 Αρχή της Βελτιστοποίησης (Optimization) *51*
3.4.1 Η Αρχή της Βελτιστοποίησης **52**
3.4.2 Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (Diagnostic Reference Levels – DRLs) **52**
3.5 Αρχή του Περιορισμού της Δόσης (Dose Limitation) *53*
3.6 Ακτινοπροστασία στην Ιατρική Απεικόνιση *55*
3.6.1 Ακτινοπροστασία στη Συμβατική Ακτινογραφία **55**
3.6.2 Ακτινοπροστασία στην Υπολογιστική Τομογραφία **56**
3.6.3 Ακτινοπροστασία στην Ακτινοσκόπηση και την Επεμβατική Ακτινολογία **56**
3.6.4 Ακτινοπροστασία στην Πυρηνική Ιατρική **57**
3.7 Ακτινοπροστασία Ευαίσθητων Πληθυσμών *57*
3.8 Εκπαίδευση και Ενημέρωση στην Ακτινοπροστασία *58*
3.9 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση *60*
4 Μεθοδολογία *67*
4.1 Σχεδιασμός και δείγμα **67**
4.2 Εργαλείο μέτρησης **67**
4.3 Διαδικασία βαθμολόγησης **68**
4.4 Στατιστική ανάλυση **68**
5 Αποτελέσματα *70*
5.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά δείγματος **70**
5.2 Περιγραφική στατιστική συνολικού σκορ **70**
5.3 Ποσοστά ορθότητας ανά ερώτηση **72**
5.4 Κατηγοριοποίηση γνώσεων ανά θεματική ενότητα **74**
5.5 Συγκρίσεις υποομάδων **75**
5.5.1 Σύγκριση ανά φύλο **75**
5.5.2 Σύγκριση μεταξύ προκλινικών και κλινικών ετών **76**
5.5.3. Σύγκριση ανά παρακολούθηση μαθημάτων **78**
5.6 Συσχέτιση αυτοαξιολόγησης με πραγματικό σκορ **79**
5.7 Ερωτήσεις με υψηλότερη και χαμηλότερη ορθότητα **79**
6 Συζήτηση *80*

6.1 Κύρια ευρήματα της μελέτης 80
6.2 Αναγνώριση των απεικονιστικών εξετάσεων 82
6.3 Γνώσεις σχετικά με τις δόσεις και τις πηγές έκθεσης 83
6.4 Γνώσεις σχετικά με τους κινδύνους και την ακτινοευαισθησία 83
6.5 Γνώσεις των αρχών ακτινοπροστασίας 84
6.6 Κατανόηση της αρχής της αιτιολόγησης 85
6.7 Διαφορές μεταξύ προκλινικών και κλινικών ετών 86
6.8 Επίδραση της παρακολούθησης μαθημάτων και εκπαιδευτικές ανάγκες 87
6.9 Φύλο και αυτοαξιολόγηση των γνώσεων 88
6.10 Συσχέτιση αυτοαξιολόγησης και πραγματικών γνώσεων 89
6.11 Εκπαιδευτικές και κλινικές προεκτάσεις 89
6.12 Περιορισμοί της μελέτης 90
7 Συμπεράσματα 91
8 Μελλοντικά Βήματα 92
9. Βιβλιογραφία 94
9 Παραρτήματα 97
9.1 Λίστα Εικόνων 97
9.2 Λίστα Πινάκων 100
9.3 Λίστα Γραφημάτων 101
9.4 Ερωτηματολόγιο 102
9.5 Πίνακας Συντομογραφιών 110

Γενικό Μέρος

1. Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία είναι ουσιαστικά ενέργεια που διαδίδεται μέσω του χώρου ή της ύλης, παίζει σημαντικό ρόλο στην ιατρική απεικόνιση. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματος (λ), τη συχνότητα (ν) και την ενέργειά της. Η ενέργεια της ακτινοβολίας εκφράζεται από τη σχέση E = hν, όπου h είναι η σταθερά του Planck. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν διαθέτει μάζα και διαδίδεται με τη μέγιστη ταχύτητα στο κενό.

Τα είδη ακτινοβολίας είναι το ορατό φως, τα ραδιοκύματα, η υπέρυθρη και υπεριώδης ακτινοβολία, καθώς και η ακτινοβολία Χ και Γάμμα. Τα δύο τελευταία είδη αποτελούν μορφές της λεγόμενης ιοντίζουσας ακτινοβολίας και χρησιμοποιούνται στη διαγνωστική και θεραπευτική ιατρική.

Η παραγωγή της ακτινοβολίας Χ συντελείται όταν ηλεκτρόνια επιταχύνονται σε υψηλή διαφορά δυναμικού και προσκρούουν σε μεταλλικό στόχο πολύ υψηλού ατομικού αριθμού, όπως Βολφράμιο. Αντίστοιχα, στην πυρηνική ιατρική χρησιμοποιούνται ραδιοφαρμακευτικές ουσίες, οι οποίες εκπέμπουν ακτινοβολία γάμμα κατά τη διαδικασία της ραδιενεργού διάσπασης.

Η ιατρική εικόνα είναι αποτέλεσμα της εξασθένησης της ακτινοβολίας μέσα στην ύλη, (φαινόμενα σκέδασης ή απορρόφησης) (Bushberg et al., 2021).

Εικόνα 1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Πηγή: Bushberg et al., 2021).

1.1 Ιοντίζουσα Ακτινοβολία

Ιονισμός είναι η διαδικασία δημιουργίας ιόντων και μπορεί να προκληθεί από ορισμένες μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ιόν είναι ένα άτομο που έχει απωλέσει ή αποκτήσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια. Η ενέργεια της ακτινοβολίας καθορίζει την ικανότητά της να προκαλέσει ιονισμό.

Σε γενικές γραμμές η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε ιοντίζουσα και μη ιοντίζουσα. Η ιοντίζουσα ακτινοβολία περιλαμβάνει φωτόνια υψηλής ενέργειας, όπως οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γάμμα. Ενώ, τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία και το ορατό φως, τα οποία δεν διαθέτουν επαρκή ενέργεια για να προκαλέσουν ιονισμό, αποτελούν τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία.

Υπάρχει μια ελάχιστη τιμή ενέργειας (ενέργεια ιονισμού) που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από ένα άτομο. Η ενέργεια ιονισμού διαφέρει ανάλογα με το είδος της ύλης. Πρέπει να σημειωθεί ότι ιονισμό μπορούν να προκαλέσουν και φορτισμένα σωματίδια υψηλής ενέργειας, όπως ηλεκτρόνια, πρωτόνια και σωματίδια άλφα.

Όσον αφορά την ιατρική απεικόνιση ο σημαντικότερος βιολογικός στόχος αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας είναι το νερό αφού αποτελεί το κυριότερο συστατικό του ανθρώπινου σώματος. Η ενέργεια ιονισμού του νερού είναι περίπου 11 eV και είναι η τιμή που χρησιμοποιείται συχνά ως πρακτικό όριο μεταξύ ιοντίζουσας και μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Η διάκριση μεταξύ ιοντίζουσας και μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πεδίο της ακτινοπροστασίας. Η ασφαλής χρήση των διαγνωστικών και θεραπευτικών ιατρικών εφαρμογών βασίζεται στη γνώση των φυσικών χαρακτηριστικών και των βιολογικών επιδράσεων της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και πρέπει να αποτελεί βασικό στοιχείο της εκπαίδευσης των φοιτητών ιατρικής (Bushberg et al., 2021).

2 Αλληλεπίδραση της Ακτινοβολίας με την Ύλη

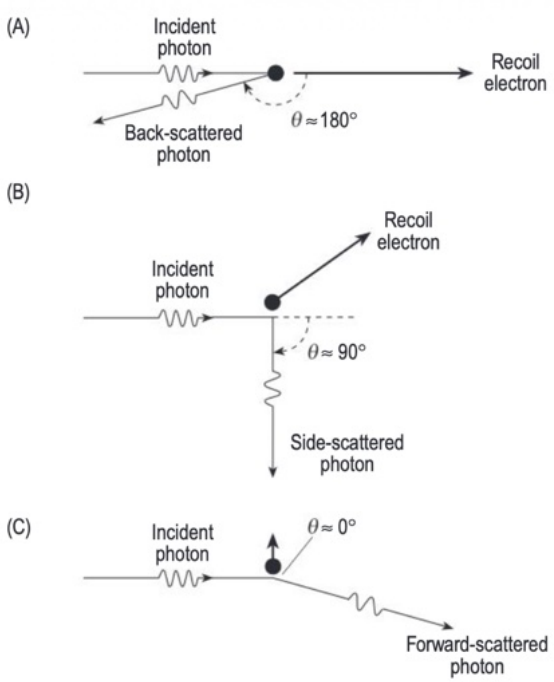
Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη καθορίζει τόσο τη δημιουργία των ιατρικών εικόνων όσο και τις βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας στους ιστούς, και παίζει βασικό ρόλο τόσο στην ιατρική φυσική όσο και στην ακτινοπροστασία. Οι βασικές διαδικασίες που οδηγούν συνολικά στην εξασθένηση της ακτινοβολίας Χ ή γάμμα μέσα από την ύλη είναι τρείς. Τα φωτόνια μπορεί να διέλθουν από την ύλη έιτε χωρίς να αλληλοεπιδράσουν, είτε να απορροφηθούν πλήρως ή ακόμα και να σκεδαστούν προς διαφορετικές κατευθύνσεις.

Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την εξασθένηση της ακτινοβολίας είναι το πάχος, η πυκνότητα και ο ατομικό αριθμός του υλικού αλληλεπίδρασης, καθώς και από την ενέργεια των φωτονίων της προσπίπτουσας δέσμης. Υλικά τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλό ατομικό αριθμό (π.χ. μόλυβδος), εμφανίζουν μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης της ακτινοβολίας και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται για σκοπούς ακτινοπροστασίας. Επιπλέον, όσο χαμηλότερη είναι η ενέργεια των φωτονίων της προσπίπτουσας δέσμης της ακτινοβολίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να αλληλεπιδράσσουν με την ύλη.

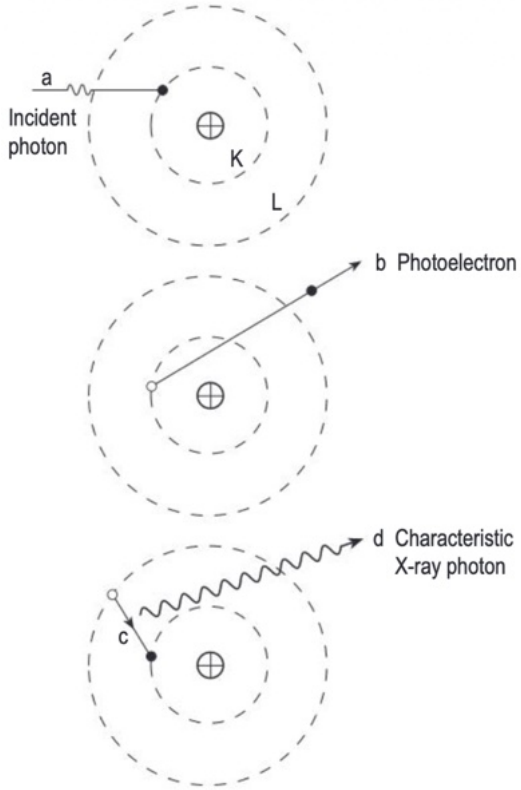
Στην ακτινολογία δύο είναι τα κυριότερα φαινόμενα αλληλεπίδρασης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας με την ύλη είναι, η σκέδαση Compton και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Κατά την σκέδαση Compton ένα φωτόνιο αλληλεπιδρά με ένα ηλεκτρόνιο ενός ατόμου, μεταφέροντας μέρος της ενέργειάς του και αλλάζοντας κατεύθυνση, παράγοντας σκεδαζόμενη ακτινοβολίας και ένα ηλεκτρόνιο ανάκρουσης (Εικ. 2). Το φαινόμενο Compton είναι η σημαντικότερη πηγή σκεδαζόμενης ακτινοβολίας στην ακτινολογία το οποίο συμβάλλει τόσο στη μείωση της ποιότητας της εικόνας όσο και στην αύξηση της έκθεσης του προσωπικού σε ακτινοβολία.

Ενώ, όταν ένα φωτόνιο απορροφάται πλήρως από ένα εσωτερικό ηλεκτρόνιο ενός ατόμου, το οποίο κι απομακρύνεται από τη στοιβάδα του, πραγματοποιείται το λεγόμενο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Κατά το φαινόμενο αυτό η ενέργεια του φωτονίου απορροφάται πλήρως, ενώ πρεπει να σημειωθεί ότι η αλληλεπίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη δημιουργία αντίθεσης στις ακτινογραφικές εικόνες (Εικ. 3). Η πιθανότητα να συμβεί το φωτοηλεκτρικό φαινομένο είναι μεγαλύτερη σε υλικά με υψηλό ατομικό αριθμό ενώ μειώνεται με την αύξηση της ενέργειας των προσπιπτόντων φωτονίων.

Τέλος, οι αλληλεπιδράσεις αυτές συνοδεύονται από την παραγωγη δευτερογενών ηλεκτρόνιων, τα οποία προκαλούν περαιτέρω ιονισμούς και διεγέρσεις στα άτομα της ύλης. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές είναι υπεύθυνες για τις βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς, καθώς είναι πιθανόν να προκαλέσουν βλάβες στο DNA και στους κυτταρικούς ιστούς (Yucel-Finn et al., 2024).



Εικόνα 2. Σκέδαση Compton από ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο (Πηγή: Yucel-Finn et al.,2024).



Εικόνα 3. Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Πηγή: Yucel-Finn et al., 2024).

1.3 Αλληλεπίδραση της Ιοντίζουσας Ακτινοβολίας με τους Ιστούς

Η αλληλεπίδραση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας με τους βιολογικούς ιστούς αποτελεί βασικό αντικείμενο μελέτης της ακτινοβιολογίας και της ακτινοπροστασίας. Η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει ιονισμούς των ατόμων ή μορίων και τη δημιουργία φορτισμένων σωματιδίων, με αποτέλεσμα την πιθανή εμφάνιση σημαντικών βιολογικών βλαβών.

Η ενέργεια που παράγεται από τον ιονισμό ενός ατόμου είναι περίπου 35 eV, η οποία είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ενέργεια των χημικών δεσμών του DNA. Επομένως, μπορεί να προκληθούν θραύσεις των χημικών δεσμών και αλλοιώσεις σε κρίσιμα βιολογικά μόρια, από την ακτινοβολία. Επιπρόσθετα, η παραγωγή δευτερογενών ηλεκτρόνιων είναι δυνατό να προκαλέσουν κι άλλους ιονισμούς, δημιουργώντας αλυσιδωτές βλάβες μέσα στους ιστούς.

Δύο είναι οι βασικοί μηχανισμοί βλαβών στους ιστούς από την ιοντίζουσα ακτινοβολία: ο άμεσος και ο έμμεσος. Κατά τον πρώτο μηχανισμό, υπάρχει απευθείας αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με το DNA ή άλλα κυτταρικά μόρια, οδηγώντας σε θραύσεις στους μοριακούς δεσμούς. Ενώ, κατά τον δεύτερο μηχανισμό, η ακτινοβολία προκαλεί ιονισμό των μορίων νερού, που αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό του ανθρώπινου σώματος, παράγοντας ελεύθερες ρίζες, όπως η ρίζα υδροξυλίου. Οι ελεύθερες ρίζες είναι ιδιαίτερα δραστικές και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες στα κύτταρα και στο γενετικό υλικό. Περίπου τα δύο τρίτα των βλαβών που προκαλούνται από ακτίνες Χ και γάμμα οφείλονται σε αυτές τις ελεύθερες ρίζες.

Η σημαντικότερη βιολογική επίδραση της ακτινοβολίας αφορά το DNA των κυττάρων. Οι βλάβες στο DNA μπορεί να περιλαμβάνουν μονόκλωνες ή δίκλωνες θραύσεις. Οι δίκλωνες θραύσεις θεωρούνται ιδιαίτερα σοβαρές, επειδή είναι δύσκολο να επιδιορθωθούν πλήρως και μπορεί να οδηγήσουν σε κυτταρικό θάνατο ή μεταλλάξεις. Οι μεταλλάξεις αυτές σχετίζονται με την ανάπτυξη κακοήθων νεοπλασιών και άλλων μακροχρόνιων βιολογικών επιδράσεων.

Η έκταση της βιολογικής βλάβης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το είδος της ακτινοβολίας, η απορροφούμενη δόση, ο ρυθμός δόσης και η ευαισθησία του ιστού που εκτίθεται. Η απορροφούμενη δόση εκφράζει την ενέργεια που αποτίθεται ανά μονάδα μάζας ιστού και μετράται σε gray (Gy). Οι δόσεις στις διαγνωστικές εξετάσεις είναι συνήθως χαμηλές και εκφράζονται σε mGy ή μGy, ενώ οι δόσεις είναι υψηλές κυρίως στην ακτινοθεραπεία.

Σημαντικό ρόλο στη βιολογική δράση της ακτινοβολίας διαδραματίζει και ο γραμμικός μετασχηματισμός ενέργειας (Linear Energy Transfer – LET). Αυτός ο δείκτης περιγράφει την ποσότητα ενέργειας που αποτίθεται κατά μήκος της τροχιάς της ακτινοβολίας μέσα στην ύλη. Ακτινοβολίες υψηλού LET είναι τα σωματίδια άλφα και τα νετρόνια τα οποία προκαλούν πυκνούς ιονισμούς και σοβαρότερες βλάβες στο DNA σε σχέση με ακτινοβολίες χαμηλού LET, όπως είναι οι ακτίνες Χ και γάμμα.

Η ευαισθησία στην ακτινοβολία ποικίλει μεταξύ των ιστών του ανθρώπινου σώματος, αναλόγα με την ικανότητα των κυττάρων να πολλαπλασιάζονται και να επιδιορθώνουν τις βλάβες που προκαλούνται από την ακτινοβολία. Πιο ακτινοευαίσθητοι ιστοί είναι αυτοί με υψηλό ρυθμό κυτταρικού πολλαπλασιασμού, όπως ο μυελός των οστών, οι γονάδες, το γαστρεντερικό σύστημα και ο μαστός, είναι περισσότερο ακτινοευαίσθητοι. Ενώ, λιγότερο ακτινοευαίσθητοι ιστοί είναι οι μύες, τα οστά και το νευρικό σύστημα.

Ο οργανισμός διαθέτει μηχανισμούς επιδιόρθωσης των βλαβών του DNA χωρίς όμως να είναι πάντα αποτελεσματικοί. Σε ορισμένες περιπτώσεις, κύτταρα με γενετικές αλλοιώσεις μπορεί να επιβιώσουν και να πολλαπλασιαστούν, αυξάνοντας τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου μετά από χρόνια ή δεκαετίες.

Οι βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας χωρίζονται σε ντετερμινιστικές και στοχαστικές. Οι ντετερμινιστικές επιδράσεις εμφανίζονται μετά από έκθεση σε υψηλές δόσεις ακτινοβολίας και παρουσιάζουν συγκεκριμένο κατώφλι δόσης, ενώ η σοβαρότητα των επιδράσεων αυξάνεται με τη δόση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων βλαβών ειναι το ερύθημα, η απώλεια τριχών, η καταστολή του μυελού των οστών, η στειρότητα και ο καταρράκτης.

Αντίθετα, οι στοχαστικές επιδράσεις δεν εμφανίζουν κατώφλι δόσης και σχετίζονται κυρίως με την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου και γενετικών ανωμαλιών. Η πιθανότητα εμφάνισης τους αυξάνεται με τη δόση, χωρίς όμως να ισχύει απαραίτητα το ίδιο και για τη σοβαρότητά τους. Οι στοχαστικές επιδράσεις αποτελούν τη σημαντικότερη ανησυχία στην ιατρική απεικόνιση και δικαιολογούν την ανάγκη εφαρμογής αυστηρών μέτρων ακτινοπροστασίας.

Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας με τους ιστούς είναι απαραίτητη για τους φοιτητές ιατρικής, καθώς συμβάλλει στην ορθολογική χρήση των ακτινολογικών

εξετάσεων και στην εφαρμογή της ακτινοπροστασίας γενικότερα αλλά και ειδικότερα της αρχής της αιτιολόγησης.

2 Ιατρική Απεικόνιση και Θεραπευτικές Εφαρμογές

2.1 Εισαγωγή

Η ακτινολογική απεικόνιση στοχεύει στην παραγωγή εικόνων ανατομικών δομών ή φυσιολογικών λειτουργιών εντός του σώματος. Ανάλογα με την απεικονιστική τεχνική χρησιμοποιούνται διάφορες περιοχέες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στη μαστογραφία, την ακτινογραφία, την ακτινοσκόπηση και την αξονική τομογραφία (CT) χρησιμοποιούνται οι ακτίνες. Στη μαγνητική τομογραφία (MRI) και στην πυρηνική ιατρική χρησιμοποιούνται τα ραδιοκύματα και οι ακτίνες γ αντίστοιχα. Επιπλέον, στην υπερηχογραφική απεικόνιση χρησιμοποιούνται ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας.

Όλες οι μέθοδοι ιατρικής απεικόνισης, πλην της πυρηνικής ιατρικής, έχουν σαν προϋπόθεση η ακτινοβολία που διαπερνά τους ιστούς του σώματος να αλληλεπιδρά με αυτούς. Εάν η ακτινοβολία διέσχιζε το σώμα χωρίς είτε να απορροφάται είτε να σκεδάζεται, τότε το σήμα που θα καταγραφόταν από τον ανιχνευτή δεν θα περιείχε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την εσωτερική ανατομία και έτσι δεν θα ήταν δυνατή η παραγωγή διαγνωστικής εικόνας. Αντίθετα στην πυρηνική ιατρική, χορηγούνται στον εξεταζόμενο ραδιενεργές ουσίες, συνήθως μέσω έγχυσης και η κατανομή τους στον οργανισμό, αποτελεί την πληροφορία που απεικονίζεται στην στην εικόνα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ποιότητα της ιατρικής εικόνας, και κατά συνέπεια η διαγνωστική της αξία, αποτελεί αποτέλεσμα συμβιβασμού. Ενδεικτικά, η ποιότητα της εικόνας ακτίνων Χ μπορεί να βελτιωθεί αυξανομένης της δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει ο εξεταζόμενος. Όμως, κατά την απεικόνιση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η ασφάλεια και η άνεση του ασθενούς. Συνεπώς, η υπερβολική δόσης ακτινοβολίας που στοχεύει στην επίτευξη μιας «τέλειας» εικόνας δεν είναι αποδεκτή. Για τον λόγο αυτό, πρέπει να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της ποιότητας της εικόνας και της ασφάλειας του ασθενούς.

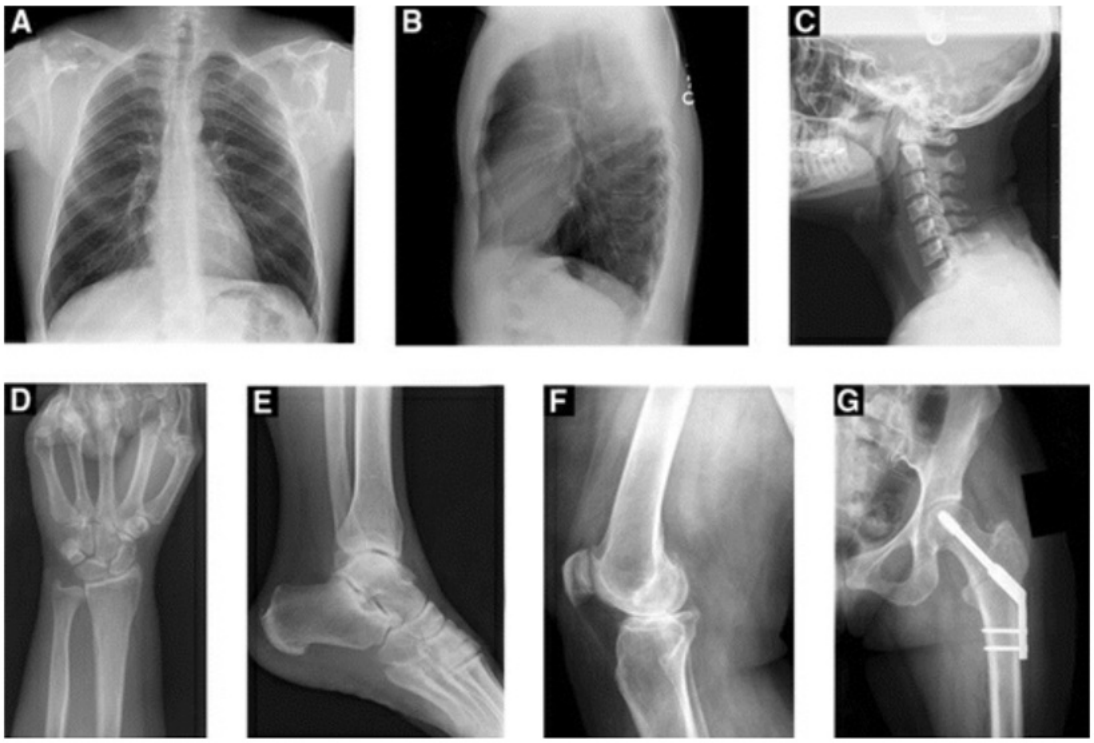
2.2 Τεχνικές Απεικόνισης

Οι διαφορετικοί τρόποι παραγωγής εικόνων στην ακτινολογία (είδος ακτινοβολίας, γεωμετρία λήψης) ονομάζονται **απεικονιστικές μέθοδοι (modalities)**. Μια κατά γενική ομολογία σημαντική παράμετρος στην ιατρική απεικόνιση είναι ο χρόνος απεικόνισης. Είναι επιθυμητό οι χρόνοι λήψης των εικόνων να είναι όσο το δυνατόν μικρότεροι λόγο των κινήσεων του ασθενούς, για την αποφυγή του επηρεασμού της ποιότητας της εικόνας. Σε κάποιες απεικονιστικές τεχνικές όμως ο χρόνος αυτός περιορίζεται από θεμελιώδεις φυσικούς παράγοντες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η πυρηνική ιατρική όπου το απεικονιστικό σύστημα καταγράφει την ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη ραδιενεργό διάσπασή των χορηγούμενων ραδιοισοτόπων. Ορισμένα εξ αυτών διαθέτουν σχετικά μεγάλους χρόνους ημιζωής, με αποτέλεσμα ο απαιτούμενος χρόνος σάρωσης για την παραγωγή των εικόνων να είναι αναγκαστικά μεγάλος, συχνά της τάξης των 10 λεπτών ή και περισσότερο.

2.2.1 Ακτινογραφία

Ο φυσικός Wilhelm Röntgen ανακάλυψε τις ακτίνες Χ στις 8 Νοεμβρίου 1895, και στη συνέχεια πραγματοποίησε τις πρώτες ακτινογραφικές εικόνες ανθρώπινης ανατομίας. Η τεχνική της ακτινογραφίας οδήγησε στη δημιουργία του επαγγέλματος του ακτινολόγου ιατρού, ο οποίος εξειδικεύεται στην ερμηνεία των ακτινογραφιών. Η τεχνικής της ακτινογραφίας απαιτεί μία πηγή (λυχνία) ακτίνων Χ τοποθετημένη μπροστά από τον ασθενή και έναν ανιχνευτή πίσω του (Εικ. 4). Η λυχνία εκπέμπει ακτινοβολία που αλληλεπιδρά με τους ιστούς του ασθενούς, με ένα μέρος των ακτίνων Χ να διαπερνούν το σώμα και να φτάνουν στον ανιχνευτή δημιουργώντας την ακτινογραφική εικόνα (Εικ. 5) . Η κατανομή των ακτίνων Χ ενώ αρχικά εκπέμπεται ομοιόμορφα από τη λυχνία, διερχόμενη από το σώμα μεταβάλλεται (εξασθενεί) εξαιτίας φαινομένων απορρόφησης και σκέδασης, παράγοντας την αντίθεση της εικόνας και απεικονίζοντας τις ανατομικές δομές. Η εξασθένηση της ακτινοβολίας εξαρτάται από το είδος του ανθρώπινου ιστού, και οι διαφορές στην εξασθένιση δημιουργούν την απαραίτητη αντίθεση εικόνας. Σήμερα, τα ακτινογραφικά συστήματα διαθέτουν ψηφιακούς ανιχνευτές, οι οποίοι προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ποιότητα της εικόνας, την αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων, σε αντίθεση με παλαιότερα όπου χρησιμοποιούνται ως ανιχνευτές το σύστημα φιλμ–ενισχυτικής πινακίδας (screen-film cassette) (Bushberg et al., 2021) (IAEA, 2014).

Εικόνα 4. Σύστημα Ψηφιακής Ακτινογράφησης (Πηγή: Philips, χ.χ.).



Εικόνα. 4 Οι ακτινογραφικές εικόνες εξακολουθούν να αποτελούν τον συχνότερο τύπο ιατρικής εικόνας που παράγεται στα περισσότερα ακτινολογικά τμήματα, καθώς παρέχουν μια γρήγορη και χαμηλού κόστους απεικόνιση της ανατομίας του ασθενούς. Απεικονίζονται η προσθιοπίσθια ακτινογραφία θώρακος (A) και η πλάγια ακτινογραφία θώρακος (B). Η πλάγια ακτινογραφία της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης (C) αναδεικνύει την

ευθυγράμμιση σημαντικών οστικών δομών του τραχήλου. Οι ακτινογραφίες των άκρων [D: περιφερικό άκρο της κερκίδας και άκρα χείρας, E: ποδοκνημική άρθρωση, F: γόνατο] καταδεικνύουν με σαφήνεια τη μορφολογία και την ευθυγράμμιση των οστών. Τέλος, τα μεταλλικά εμφυτεύματα (G) απεικονίζονται εύκολα στις ακτινογραφίες λόγω της υψηλής αντίθεσης που παρουσιάζουν τα υλικά με μεγάλο ατομικό αριθμό (Πηγή: Bushberg et al., 2021).

2.2.2 Ακτινοσκόπηση

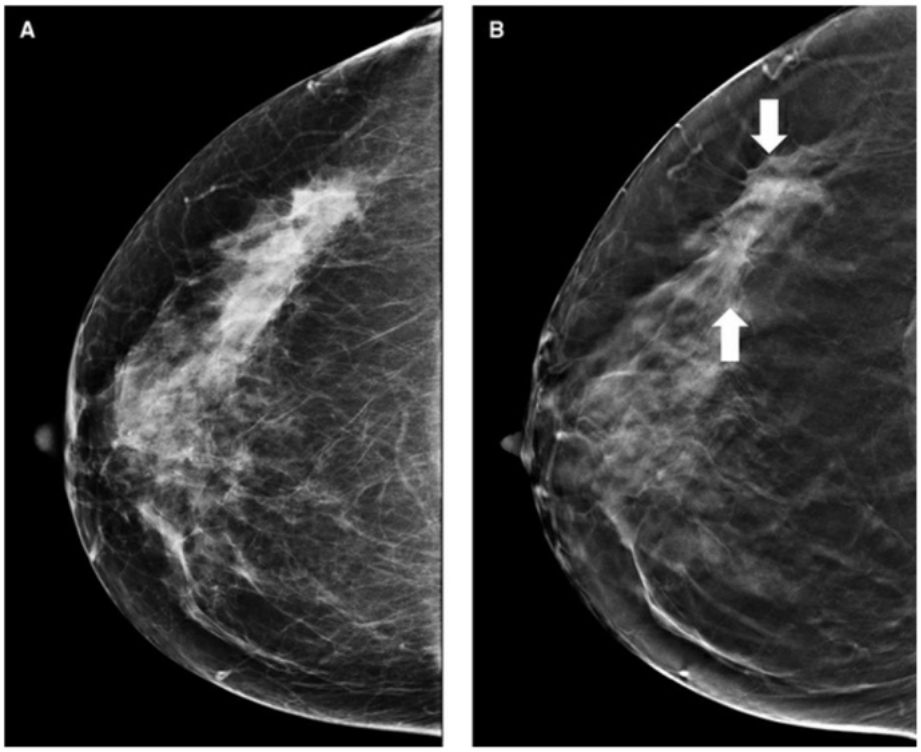
Τα συστήματα ακτινοσκόπησης παράγουν διαδοχικές εικόνες με την πάροδο του χρόνου (συνήθως έως και 30 καρέ / s), δημιουργώντας ουσιαστικά μια ακτινοσκοπική «ταινία» του ασθενούς σε πραγματικό χρόνο. Οι ανιχνευτές των ακτινοσκοπικών συστημάτων είναι ευαίσθητοι σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας, αφού σε μια ακτινοσκοπηση λαμβάνεται μεγάλος αριθμός εικόνων (π.χ. δέκα λεπτά ακτινοσκόπησης περίπου 18.000 εικόνες με ρυθμό 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο). Σε γενικές γραμμές η ακτινοσκόπηση χρησιμοποιείται σε επεμβατικές πράξεις υπό απεικονιστική καθοδήγηση, όπως η τοποθέτηση αρτηριακών stent, η εισαγωγή παροχετευτικών καθετήρων και οι βιοψίες υπό καθοδήγηση εικόνας. Συνήθως, οι περισσότερες ακτινοσκοπικές εικόνες δεν αποθηκεύονται, όμως ορισμένες ακολουθίες εικόνων καταγράφονται και χρησιμοποιούνται για τη μελέτη διαφόρων μορφών κίνησης (π.χ. οι εξετάσεις κατάποσης για την αξιολόγηση της περισταλτικής κίνησης του οισοφάγου) (Bushberg et al., 2021) (IAEA, 2014).

Εικόνα 5. Κινητό σύστημα ακτινοσκόπησης (Πηγή: Ziehm, χ.χ.).

2.2.3 Μαστογραφία

Μαστογραφία ονομάζεται η απεικόνιση του μαστού με ακτίνες Χ, οι οποίες είναι χαμηλότερης ενέργειας σε σχέση με την κλασική ακτινογραφία με στόχο την αύξηση της χαμηλής αντίθεσης μεταξύ των ιστών του μαστού. Συνεπώς, η λυχνία των ακτίνων Χ και ο ανιχνευτής είναι ειδικά σχεδιασμένα για την απεικόνιση του μαστού (Εικ. 6). Μια τυπική μαστογραφία προσυμπτωματικού ελέγχου ενός συμπιεσμένου μαστού παρουσιάζεται στην Εικ. 7Α. Η μαστογραφία προσυμπτωματικού ελέγχου (screening mammography) χρησιμοποιείται για την τακτική εξέταση ασυμπτωματικών γυναικών με σκοπό την έγκαιρη ανίχνευση του καρκίνου του μαστού. Ενώ, η διαγνωστική μαστογραφία (diagnostic mammography) εφαρμόζεται για τη διερεύνηση γυναικών με ύποπτα ευρήματα ή πιθανή παθολογία του μαστού (Bushberg et al., 2021; Kopans, 2007).

Εικόνα 6. Σύστημα ψηφιακής μαστογραφίας, με δυνατότητα ψηφιακής τομοσύνθεσης (Πηγή: Hologic, χ.χ.).



Εικόνα 7. Α. Η κρανιοουραία προβολή (craniocaudal – CC) του δεξιού μαστού παρουσιάζει ετερογενώς πυκνό μαζικό παρέγχυμα, χωρίς να διακρίνεται κάποια σαφής παθολογική αλλοίωση. Β. Η λήψη με ψηφιακή τομοσύνθεση (digital breast tomosynthesis), με περίπου την ίδια δόση ακτινοβολίας, παράγει περίπου 50 ανακατασκευασμένες τομές στην κρανιοουραία προβολή. Σε μία από αυτές τις εικόνες απεικονίζονται με σαφήνεια δύο αστεροειδείς μάζες (συμπαγή βέλη). Η επακόλουθη βιοψία με βελόνα (core biopsy) των ύποπτων βλαβών ανέδειξε πολυεστιακό διηθητικό πορογενές καρκίνωμα χαμηλού βαθμού κακοήθειας (Πηγή: Bushberg et al., 2021).

Πλέον στα περισσότερα σύγχρονα ψηφιακά συστήματα μαστογραφίας υπάρχει και η δυνατότητα **τομοσύνθεσης (digital breast tomosynthesis)**. Κατά την ψηφιακή τομοσύνθεση μαστού η λυχνία ακτίνων Χ κινείται σε ένα περιορισμένο γωνιακό εύρος (15° έως 50°) γύρω από τον μαστό, όπου και λαμβάνονται συνήθως από 9 έως 25 προβολές, οι οποίες παράγουν ανακατασκευασμένες εικόνες πάχους 1 mm κατά μήκος του συμπιεσμένου μαστού. Οι εικόνες αυτές είναι παράλληλες προς το επίπεδο του ανιχνευτή και συμβάλλουν στη μείωση της επικάλυψης ανατομικών δομών που βρίσκονται πάνω ή κάτω από το επίπεδο εστίασης (Εικ. 7Β). Επίσης, πλέον σε πολλά κέντρα τείνει να καθιερωθεί ως πρότυπο πρακτικής η παραγωγή **συνθετικής προβολικής μαστογραφικής εικόνας (synthetic mammogram)**. Η εικόνα αυτή παράγεται από τα δεδομένα της τομοσύνθεσης αποφεύγοντας την επιπλέον συμβατική μαστογραφία, και μειώνοντας της συνολικής δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει η εξεταζόμενη.

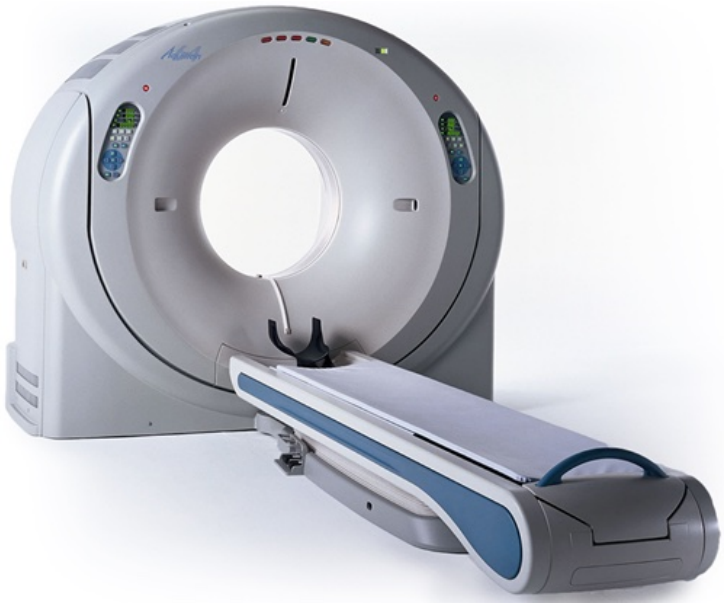
2.2.4 Αξονική Τομογραφία (CT)

Το 1970 η **αξονική ή υπολογιστική τομογραφία (Computed Tomography - CT)** άλλαξε σημαντικά ριζικά την ιατρική πρακτική, αφού περιόρισε κατά πολύ τις διερευνητικές χειρουργικές επεμβάσεις, που χρησιμοποιούνταν ως διαγνωστική μέθοδος την τότε εποχή.

Η λυχνία ακτίνων Χ μαζί με τον ανιχνευτή περιστρέφονται γύρω από τον ασθενή (συνήθως 360°), και αφού η δέσμη διέλθει από το σώμα του εξεταζόμενου, παράγονται πολλές προβολικές εικόνες (~ 1000), οι οποίες ανακατασκευάζονται με ειδικούς αλγορίθμους σε εγκάρσιες τομογραφικές εικόνες (Εικ. 8). Αυτές οι εικόνες να είναι μικρού πάχους τομής και υψηλής ανάλυσης ώστε να απεικονίζονται τα διαδοχικά τμήματα του σώματος του εξεταζόμενου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής απεικόνισης είναι η εξάλειψη της αλληλοεπικάλυψης των ανατομικών δομών, που είναι σημαντικό μειονέκτημα της κλασικής ακτινογραφίας.

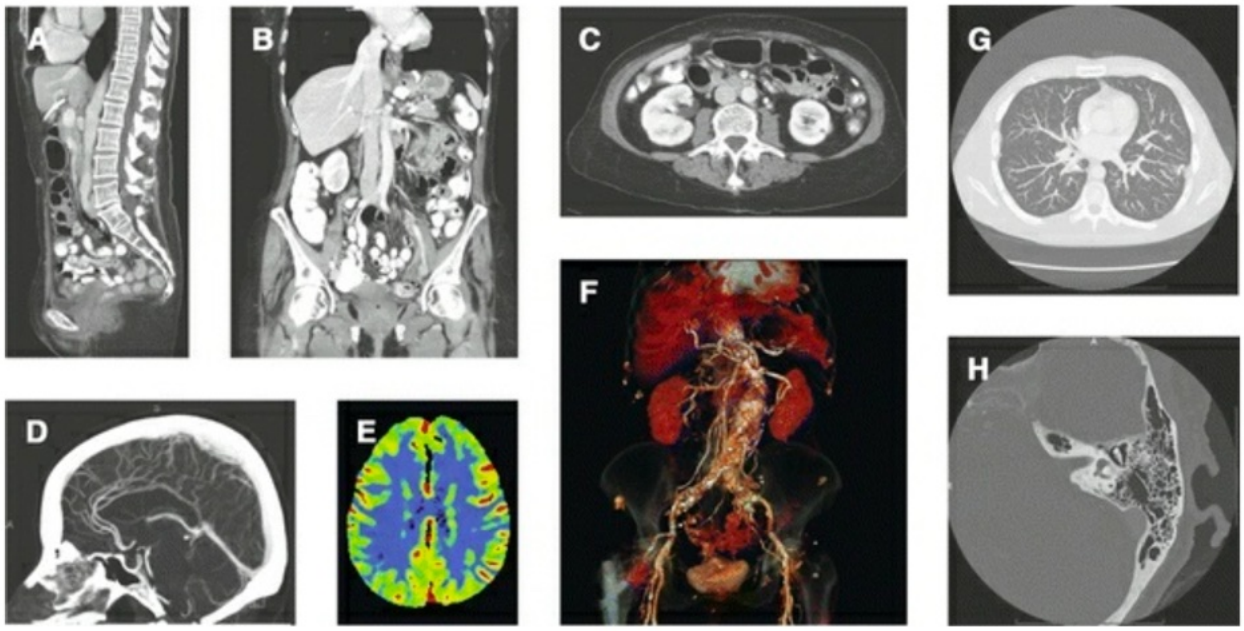
Η αξονική τομογραφία χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα λήψης (της τάξης των δευτερολέπτων), και σε συνδυασμό με την εξαιρετική χωρική ανάλυση, την καθιστά τ ιδιαίτερα χρήσιμη για τη διάγνωση πολλών παθολογικών καταστάσεων, όπως νεοπλάσματα, κήλες μεσοσπονδύλιων δίσκων, υποσκληρίδια αιματώματα, ανευρύσματα και πολλές άλλες παθήσεις (Εικ. 9) . Οι νεότερες γενιές αξονικών τομογράφων υψηλής ανάλυσης προσφέρουν ακόμη μεγαλύτερη ευκρίνεια, με πολύ μικρότερες διαστάσεις εικονοστοιχείων (pixels) και δυνατότητα λήψης τομών πάχους έως και 0,25 mm, βελτιώνοντας σημαντικά την απεικόνιση μικρών ανατομικών δομών και λεπτών παθολογικών αλλοιώσεων.

Ωστοσο, όταν οι διαστάσεις των εικονοστοιχείων όγκου (**voxels**) μειώνονται ενώ τα επίπεδα δόσης ακτινοβολίας παραμένουν σταθερά, οι εικόνες εμφανίζουν αυξημένο θόρυβο. Επομένως, στην αξονική τομογραφία υπάρχει πάντοτε ένας συμβιβασμός μεταξύ του θορύβου της εικόνας, της δόσης ακτινοβολίας και της χωρικής ανάλυσης. Η μείωση του θορύβου διορθώνετα πλέον μέσω των αλγορίθμων επαναληπτικής ανακατασκευής (**iterative reconstruction**), καθώς και των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης.



Εικόνα 8. Υπολογιστικός τομογράφος 64 τομών (Πηγή: Canon, χ.χ.).

Σήμερα οι αξονικοί τομογράφοι διαθέτουν πολλαπλές τεχνικές λήψης εικόνων, όπως η απεικόνιση διπλής ενέργειας (**dual-energy CT**), η αξονική και ελικοειδής σάρωση (**axial και helical imaging**), η απεικόνιση αιμάτωσης (**perfusion imaging**) και η συγχρονισμένη με τον καρδιακό κύκλο καρδιακή αξονική τομογραφία (**prospectively gated cardiac CT**). Παρότι η αξονική τομογραφία χρησιμοποιείται κυρίως για την ανατομική απεικόνιση, η ενδοφλέβια χορήγηση ιωδιούχου σκιαγραφικού μέσου επιτρέπει και τη λειτουργική αξιολόγηση της αγγείωσης των οργάνων, της αιμάτωσής τους και της φυσιολογικής τους κατάστασης. Λόγω της ταχύτητας λήψης των εικόνων και της ευρείας διαθεσιμότητας των αξονικών τομογράφων σε πολλές χώρες, η αξονική τομογραφία έχει αντικαταστήσει τη συμβατική ακτινογραφία σε πολλές κλινικές ενδείξεις, Παρόλο που η δόση ακτινοβολίας είναι υψηλότερη στην αξονική τομογραφία, η διαγνωστική της ακρίβεια είναι σημαντικά βελτιωμένη (Bushberg et al., 2021; Klein & Mellnick, 2025).



Εικόνα 9. Οι εικόνες αξονικής τομογραφίας απεικονίζουν την ανατομία σε εγκάρσιες τομές και μπορούν να παρουσιαστούν σε διαφορετικά επίπεδα απεικόνισης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται εικόνες της κοιλιακής και πυελικής χώρας σε (A) οβελιαίο (sagittal), (B) στεφανιαίο (coronal) και (C) εγκάρσιο ή αξονικό (transaxial) επίπεδο. (D) Παρουσιάζεται οβελιαία εικόνα αξονικής τομογραφίας εγκεφάλου μετά από χορήγηση σκιαγραφικού μέσου. (E) Η αξονική τομογραφία αιμάτωσης (perfusion CT) του εγκεφάλου επιτρέπει τον υπολογισμό παραμετρικών εικόνων, όπως φαίνεται στο παράδειγμα. (F) Εξειδικευμένο λογισμικό τρισδιάστατης ανασύνθεσης επιτρέπει την απεικόνιση των δεδομένων CT με ψευδοχρωματισμό, δημιουργώντας ιδιαίτερα ρεαλιστικές τρισδιάστατες αναπαραστάσεις της ανατομίας. (G) Η αξονική τομογραφία υψηλής ανάλυσης μπορεί να απεικονίσει ανατομικές δομές με λεπτομέρεια της τάξης των 0,15–0,25 mm. Στην εικόνα παρουσιάζεται αξονική τομογραφία θώρακος με σκιαγραφικό μέσο, η οποία έχει επεξεργαστεί με τη μέθοδο προβολής μέγιστης έντασης (Maximum Intensity Projection – MIP). (H) Παρουσιάζεται εικόνα αξονικής τομογραφίας υψηλής ανάλυσης του κροταφικού οστού, η οποία αποδίδει με εξαιρετική ευκρίνεια τις μικρές οστικές ανατομικές δομές της περιοχής (Πηγή: Bushberg et al., 2021).

2.2.5 Πυρηνική Ιατρική

Η **πυρηνική ιατρική** αποτελεί κλάδο της απεικόνισης στον οποίο είτε ένα ραδιενεργό ισότοπο χορηγείται απευθείας στον εξεταζόμενο, (π.χ. Ιώδιο-131), είτε, συνηθέστερα, ένα ραδιοϊσότοπο συνδέεται με μια φαρμακευτική ουσία σχηματίζοντας ένα ραδιοφάρμακο, και το οποίο στη συνέχεια χορηγείται στον εξεταζόμενο. Οι τρόποι χορήγησης ποικίλουν ανάλογα το ριαδιοφάρμακο και το είδος της εξέτασης και μπορεί να είναι από το στόμα, με ένεση ή μέσω εισπνοής. Μετά τη χορήγηση του, το ραδιοφάρμακο κατανέμεται στον οργανισμό μέσω φυσιολογικών διεργασιών, και έπειτα χρησιμοποιείται ένας ανιχνευτής ακτινοβολίας (γ-camera) για την καταγραφή εικόνων που προκύπτουν από τις ακτίνες Χ ή/και γ που εκπέμπονται κατά τη

ραδιενεργό διάσπαση του ραδιοισοτόπου. Σύμφωνα με τον ορισμό τους, οι ακτίνες γ εκπέμπονται από τον ατομικό πυρήνα, ενώ οι ακτίνες Χ παράγονται από μεταβολές στις τροχιές των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα. Γενικά οι διαδικασίες ραδιενεργού διάσπασης μπορούν να συνοδεύονται από εκπομπή είτε ακτίνων γ είτε ακτίνων Χ ή και των δύο τύπων ακτινοβολίας.

Η απεικόνιση στην πυρηνική ιατρική καλείται **λειτουργική απεικόνιση (functional imaging)**. Και αντίθετα από άλλες μεθόδους απεικόνισης οι οποίες παρέχουν κυρίως ανατομική πληροφορία, οι εικόνες πυρηνικής ιατρικής προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με τη φυσιολογική και μεταβολική κατάσταση των ιστών και των οργάνων. Ένα παράδειγμα που μπορεί να αναφερθεί, είναι η εξέταση μυοκαρδίου με Θάλλιο το οποίο τείνει να συγκεντρώνεται στο φυσιολογικό μυοκάρδιο, ενώ σε περιοχές εμφράγματος ή ισχαιμίας η συσσώρευσή του είναι μειωμένη. Οι περιοχές αυτές εμφανίζονται ως «ψυχρές εστίες» (*cold spots*) στις εικόνες πυρηνικής ιατρικής και μπορεί να υποδηλώνουν βλάβη του καρδιακού μυός. Το πιο διαδεδομένο ραδιοϊσότοπο στην κλινική πυρηνική ιατρική είναι το μετασταθερό Τεχνήτιο (**Technetium-99m, 99mTc**). Ο λογος είναι ότι διαθέτει ευνοϊκά φυσικά χαρακτηριστικά για απεικονιστικές εφαρμογές, όπως κατάλληλη ενέργεια εκπομπής, ευνοϊκό τρόπο διάσπασης και κατάλληλο χρόνο ημιζωής (Bushberg et al., 2021; Cherry et al., 2012a).

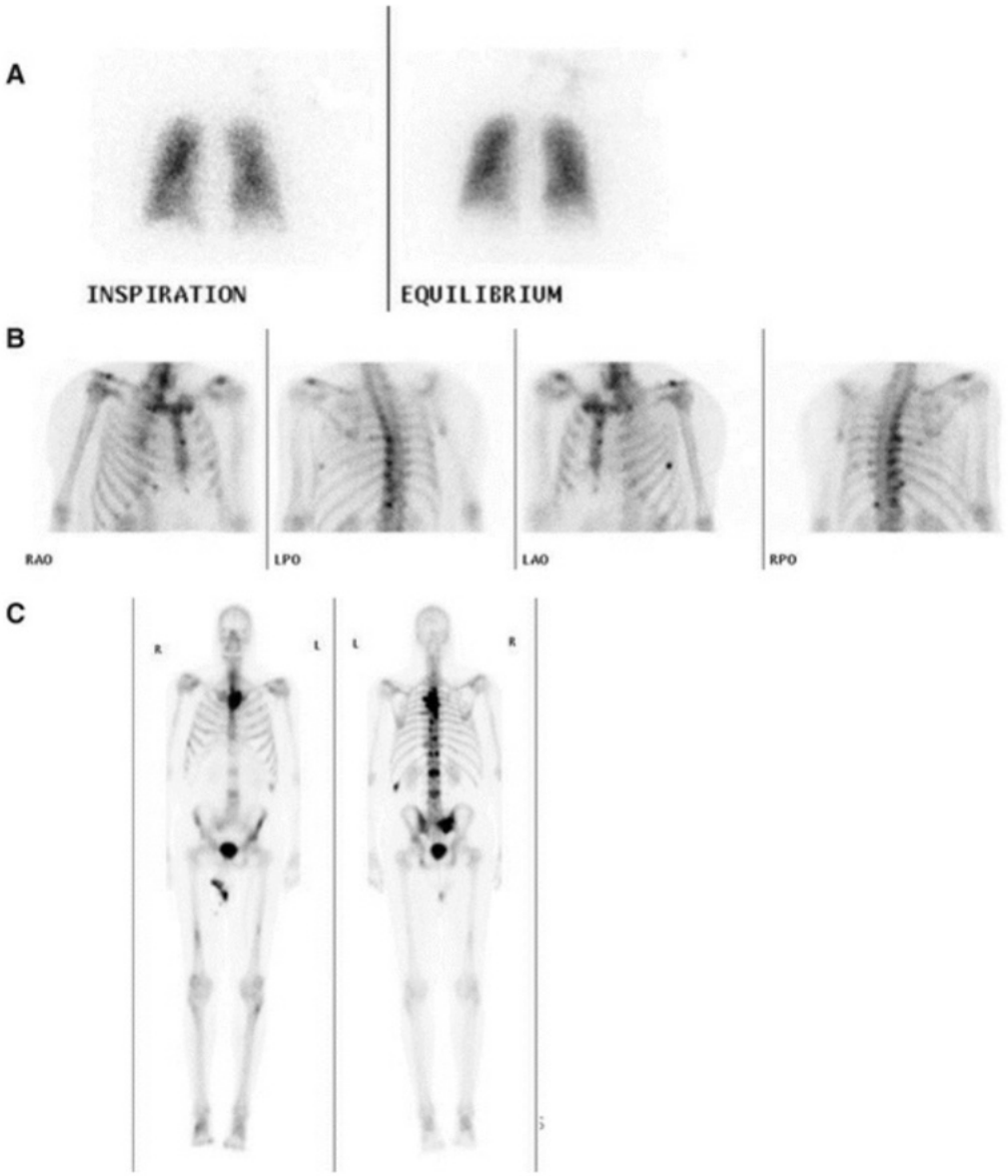
Επίπεδη σπινθηρογραφική απεικόνιση στην Πυρηνική Ιατρική

Η ενέργεια των ακτίνων γ που χρησιμοποιούνται στην πυρηνική απεικόνιση είναι συνήθως υψηλότερη από εκείνη των ακτίνων Χ της συμβατικής ακτινογραφίας, συνεπώς η γ-camera διαθέτει παχύτερο ανιχνευτή, όπως κρύσταλλο NaI πάχους περίπου 10 mm, για την επίτευξη αποτελεσματικής απορρόφησης των φωτονίων. Σε αντίθεση με τα περισσότερα συστήματα ακτίνων Χ, η πυρηνική ιατρική βασίζεται στην καταμέτρηση φωτονίων (photon-counting), όπου κάθε φωτόνιο καταγράφεται ξεχωριστά, ενώ η μέτρηση της ενέργειας κάθε φωτονίου συνεισφέρει στην απόρριψη της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, βελτιώνοντας την ποιότητα της εικόνας.

Μετά τη χορήγηση του ραδιοφαρμακου/ραδιοϊχνηθετη (radiotracer) ο ανιχνευτής της γ-camera τοποθετείται κοντά στον ασθενή για να ληφθούν οι εικόνες. Οι επίπεδες εικόνες αυτές αποτελούν δισδιάστατες προβολές της τρισδιάστατης κατανομής του ραδιοϊσοτόπου και χρησιμοποιούνται

είτε άμεσα για διάγνωση (Εικ. 10) είτε ως δεδομένα για την ανακατασκευή εικόνων τομογραφίας εκπομπής μονοφωτονίων (Single Photon Emission Computed Tomography – SPECT).

Η χρήση κατευθυντήρα (collimator), ο οποίος τοποθετείται μπροστά από τον ανιχνευτή και επιτρέπει τη διέλευση μόνο των φωτονίων με κατάλληλη κατεύθυνση, είναι απαραίτητη. Ο συνηθέστερος τύπος κατευθυντήρα αποτελείται από φύλλο μολύβδου μεγάλου πάχους με πολλές παράλληλες οπές. Ο κατευθυντήρας μειώνει σημαντικά την ευαισθησία του συστήματος, καθώς μόνο μικρό ποσοστό φωτονίων φτάνει στον ανιχνευτή, ωστόσο είναι απαραίτητος για την εξασφάλιση της χωρικής πληροφορίας και της διαγνωστικής ποιότητας της εικόνας (Bushberg et al., 2021; Cherry et al., 2012a).



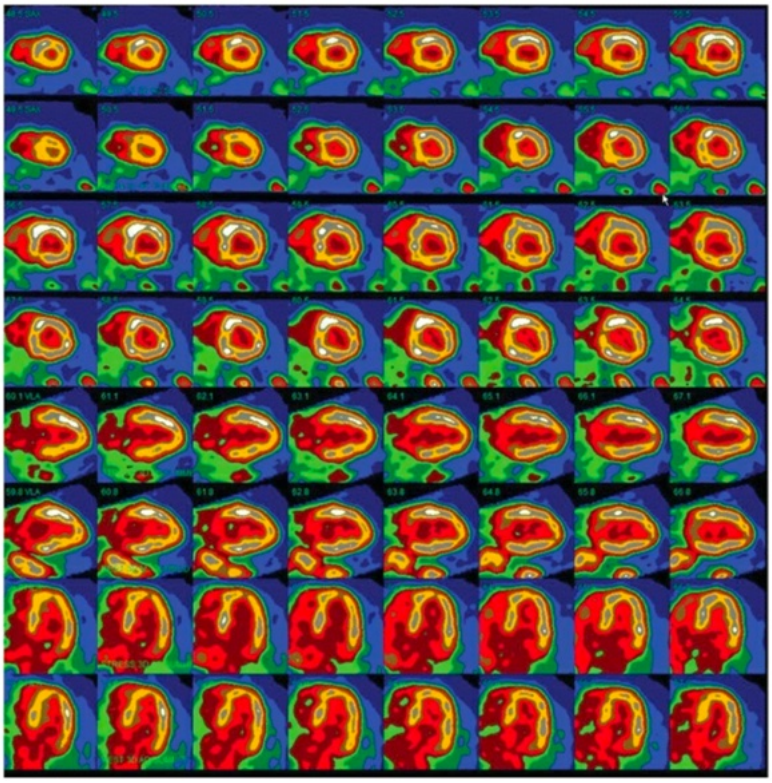
Εικόνα 10. Ενδεικτικές εικόνες επίπεδης σπινθηρογραφικής απεικόνισης στην πυρηνική ιατρική: (A) απεικόνιση αερισμού πνευμόνων με ραδιενεργό ξένο, (B) σπινθηρογράφημα οστών θώρακα και (C) εκτεταμένες οστικές μεταστάσεις σε ασθενή με καρκίνο του προστάτη (Πηγή: Bushberg et al., 2021).

Υπολογιστική Τομογραφία Εκπομπής Μονοφωτονίων (Single Photon Emission Computed Tomography – SPECT)

Η Τομογραφία Εκπομπής Μονοφωτονίων (Single Photon Emission Computed Tomography – SPECT) αποτελεί το τομογραφικό αντίστοιχο της επίπεδης απεικόνισης στην πυρηνική ιατρική, όπως η αξονική τομογραφία (CT) αποτελεί το τομογραφικό αντίστοιχο της συμβατικής

ακτινογραφίας. Στη SPECT, μία γ-camera περιστρέφεται γύρω από το σώμα του εξεταζομενου καταγράφοντας τις εκπομπές ακτίνων Χ ή γ (Εικ. 11). Στη συνέχεια ειδικοί αλγόριθμοί ανακατασκευής χρησιμοποιούν αυτά τα προβολικά αυτά δεδομένα παράγοντας μια σειρά τομογραφικών εικόνων εκπομπής. Οι τομογραφικές εικόνες παρέχουν λειτουργικές διαγνωστικές πληροφορίες παρόμοιες με εκείνες των επίπεδων εξετάσεων πυρηνικής ιατρικής, δίνοντας όμως την δυνατότητα στους ιατρους να μπορούν να απεικονίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την κατανομή του ραδιοφαρμάκου στον οργανισμό και να αξιολογήσουν καλύτερα τη λειτουργία συγκεκριμένων οργάνων ή ιστών. Η τρισδιάστατη απεικόνιση που προσφέρει η SPECT βελτιώνει τον εντοπισμό παθολογικών ευρημάτων και την εκτίμηση της έκτασής τους (Εικ. 12). Επίσης, χρησιμοποιουνται τα ίδια ή παρόμοια ραδιοφάρμακα με την επίπεδη σπινθηρογραφική απεικόνιση, το οποιο επιτρέπει τη μετάβαση από τη δισδιάστατη στη τρισδιάστατη λειτουργική απεικόνιση χωρίς σημαντικές αλλαγές στη διαδικασία χορήγησης του ραδιοφαρμάκου.

Εικόνα 11. Υβριδικό σύστημα SPECT CT (Πηγή: GE Heathcare, χ.χ.).



Εικόνα 12. Τομογραφικές εικόνες SPECT του μυοκαρδίου σε διαφορετικές θέσεις τομής και προβολές, οι οποίες επιτρέπουν την αξιολόγηση της αιμάτωσης και της λειτουργικής κατάστασης του καρδιακού μυός (Πηγή: Bushberg et al., 2021).

Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography – PET)

Το βασικό στοιχείο της απεικόνισης PET αφορά τα ποζιτρόνια (positrons, e^+) τα οποία είναι θετικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από ισότοπα με έλλειμμα νετρονίων, όπως το Φθόριο-18 (^{18}F), το Οξυγόνο-15 (^{15}O) και το Άζωτο-13 (^{13}N). Μετά την εκπομπή τους αλληλεπιδρούν σχεδόν ακαριαία με ηλεκτρόνια (e^-) των ιστών, προκαλώντας το φαινόμενο της εξαΰλωσης (annihilation), παράγοντας δύο φωτόνια ενέργειας 511 keV, τα οποία εκπέμπονται σχεδόν σε αντίθετες κατευθύνσεις (180°).

Στην PET τα παραγόμενα φωτόνια ανιχνεύονται από ζεύγη ανιχνευτών που περιβάλλουν τον εξεταζόμενο. Για να θεωρηθεί ότι δυο φωτόνια προέρχονται από την ίδια εξαύλωση πρέπει να καταγράφουν εντός λίγων νανοδευτερολέπτων. Οι θέσεις ανίχνευσής τους ορίζουν μία γραμμή απόκρισης (line of response – LOR), ενώ η καταγραφή εκατομμυρίων τέτοιων γεγονότων επιτρέπει την ανακατασκευή της τρισδιάστατης κατανομής του ραδιοφαρμάκου.

Η PET δεν απαιτεί τη χρήση κατευθυντήρα (collimator), καθώς η χωρική πληροφορία προκύπτει από την ταυτόχρονη ανίχνευση των δύο φωτονίων, γεγονός που προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερη ευαισθησία σε σύγκριση με τη γ-camera. Επιπρόσθετα, οι PET σύγχρονοι τομογράφοι αξιοποιούν την τεχνολογία Time-of-Flight (TOF), κατά την οποία εκτιμάται η θέση της εξαΰλωσης κατά μήκος της γραμμής απόκρισης από τη διαφορά στον χρόνο άφιξης των φωτονίων στον ανιχνευτή. Έτσι μειώνεται ο θόρυβος και βελτιώνεται η ποιότητα της εικόνας.

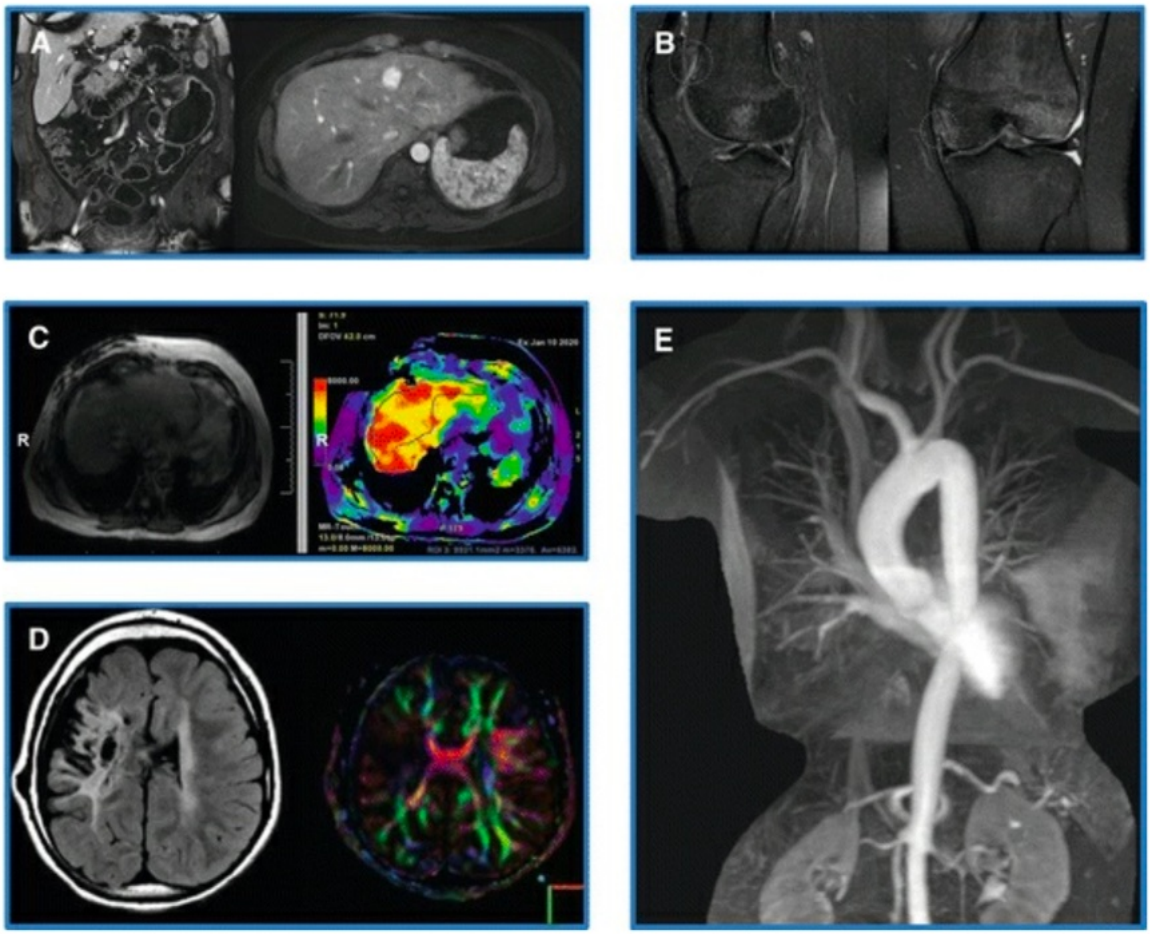
Σήμερα η PET χρησιμοποιείται ευρέως στην κλινική πράξη κυρίως λόγω της υψηλής ευαισθησίας της και της δυνατότητας χρήσης βιολογικά σημαντικών ισοτόπων, όπως ο άνθρακας, το οξυγόνο, το άζωτο και το φθόριο. Το συχνότερα χρησιμοποιούμενο ραδιοφάρμακο είναι η ^{18}F-φθοριοδεοξυγλυκόζη (^{18}F-FDG), η οποία τείνει να συσσωρεύεται σε ιστούς με αυξημένο μεταβολισμό γλυκόζης, όπως οι κακοήθεις όγκοι. Για τον λόγο αυτό, η PET αποτελεί βασικό εργαλείο στην ογκολογία, τόσο για τη διάγνωση και σταδιοποίηση όσο και για την αξιολόγηση της ανταπόκρισης στη θεραπεία (Bushberg et al., 2021; Cherry et al., 2012b; IAEA, 2015).

2.3 Απεικονιστικές μέθοδοι χωρίς ιοντίζουσα ακτινοβολία

2.3.1 Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (Magnetic Resonance Imaging – MRI)

Σε αντίθεση με ότι έχει συζητηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια οι μαγνητικοί τομογράφοι είναι συστήματα απεικόνισης που δεν κάνουν χρήση ιοντιζουσας ακτινοβολίας. Οι MRI τομογράφοι χρησιμοποιούν ισχυρά μαγνητικά πεδία, πολύ μεγαλύτερα από το μαγνητικό πεδίο της Γης, για να απεικονίσουν τις εσωτερικές δομές του σώματος του εξεταζόμενου. Η φιλοσοφία του μαγνητικού τομογράφου βασίζεται στις ιδιότητες του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (Nuclear Magnetic Resonance – NMR) των πρωτονίων του υδρογόνου, τα οποία αφθονούν στους βιολογικούς ιστούς. Όταν ο εξεταζόμενος τοποθετηθεί μέσα στο ισχυρό μαγνητικό πεδίο, τα πρωτόνια ευθυγραμμίζονται με αυτό και εκτελούν κίνηση προήγησης (precession). Η εφαρμογή παλμού ραδιοσυχνοτήτων (RF) στη συχνότητα συντονισμού προκαλεί διέγερση των πρωτονίων, ενώ μετά τη διακοπή του παλμού αυτά επιστρέφουν στη βασική τους κατάσταση εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητικό σήμα, το οποίο ανιχνεύεται από ειδικά πηνία λήψης και χρησιμοποιείται για για να παραχθεί η εικόνα. Η χωρική κωδικοποίηση των σημάτων επιτυγχάνεται με τα πηνία

βαθμίδων μαγνητικού πεδίου (gradient coils), τα οποία δημιουργούν μικρές μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο, επιτρέποντας τον προσδιορισμό της θέσης προέλευσης κάθε σήματος. Με τον τρόπο αυτό ανακατασκευάζονται τομογραφικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Η ένταση του σήματος εξαρτάται από την πυκνότητα των πρωτονίων και τις μαγνητικές ιδιότητες των ιστών. Επειδή οι μαλακοί ιστοί εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, η MRI προσφέρει εξαιρετική αντίθεση μεταξύ τους, ενώ οι συμπαγείς οστικές δομές παράγουν ελάχιστο σήμα λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς τους σε ελεύθερα πρωτόνια. Η MRI χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για την απεικόνιση του εγκεφάλου, της σπονδυλικής στήλης, του μυοσκελετικού συστήματος, του μαστού και των οργάνων της κοιλίας. Σύγχρονες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη Μαγνητική Αγγειογραφία (MR Angiography – MRA), τη Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία (Functional MRI – fMRI) για τη μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας, καθώς και την Απεικόνιση Διάχυσης (Diffusion-Weighted Imaging – DWI) και την Απεικόνιση Τανυστή Διάχυσης (Diffusion Tensor Imaging – DTI), οι οποίες επιτρέπουν τη μελέτη της μικροδομής και της συνδεσιμότητας της λευκής ουσίας. Επιπλέον, η Φασματοσκοπία Μαγνητικού Συντονισμού (Magnetic Resonance Spectroscopy – MRS) παρέχει πληροφορίες για τη βιοχημική σύσταση των ιστών, συμβάλλοντας στη διάγνωση όγκων και άλλων παθολογικών καταστάσεων. Νεότερες τεχνικές, όπως η Μαγνητική Τομογραφία Ελαστογραφίας (MR Elastography), επιτρέπουν την εκτίμηση της μηχανικής σκληρότητας των ιστών, διευρύνοντας περαιτέρω τις κλινικές εφαρμογές της μεθόδου (Εικ. 13) (Bushberg et al., 2021; Hashemi et al., 2004).



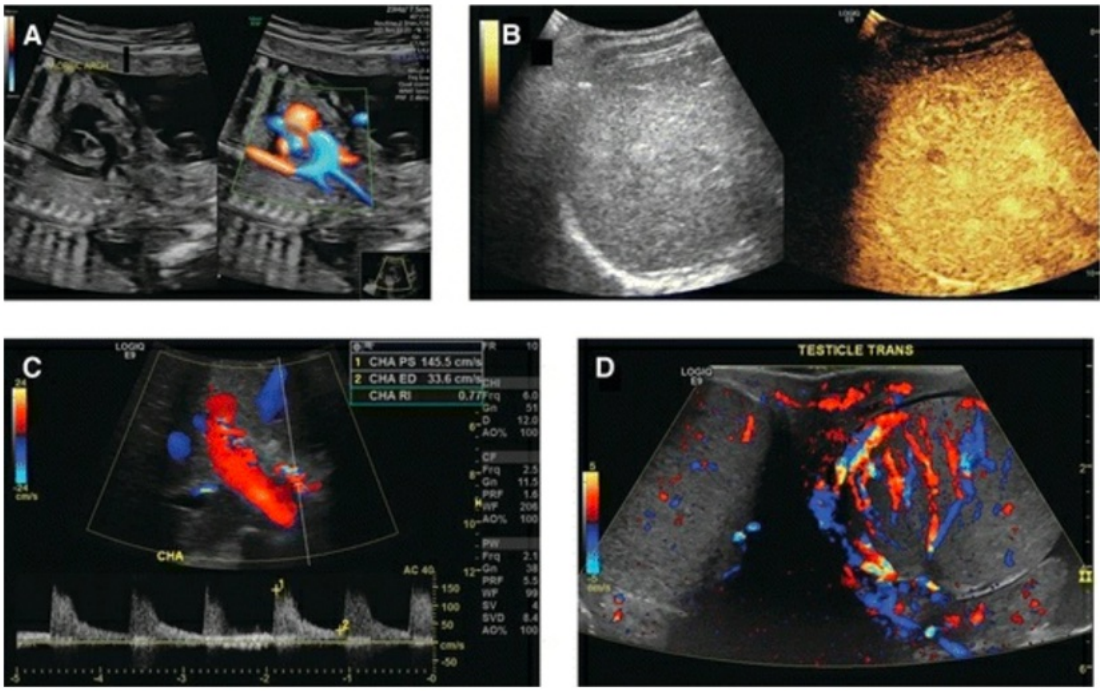
Εικόνα 13. Οι εικόνες Μαγνητικής Τομογραφίας παρέχουν εξαιρετική αντίθεση μεταξύ των ανατομικών δομών και προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με τη σύσταση των ιστών, τη σκληρότητα, τη διάχυση και τη ροή του αίματος. (A) Εικόνες MRI της κοιλιακής χώρας σε στεφανιαίο (coronal) και εγκάρσιο (axial) επίπεδο. (B) Πολυεπίπεδη απεικόνιση MRI του αριστερού γόνατος. Παρουσιάζονται οβελιαίες (sagittal) και στεφανιαίες (coronal) εικόνες με καταστολή του σήματος του λίπους (fat saturation) για την αξιολόγηση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου. (C) Η Μαγνητική Τομογραφία Ελαστογραφίας (MR Elastography) επιτρέπει τη μέτρηση της σκληρότητας των ιστών και αποτελεί αξιόπιστο δείκτη της ηπατικής ίνωσης. Αριστερά παρουσιάζεται εγκάρσια εικόνα της κοιλίας και δεξιά το αντίστοιχο ελαστόγραμμα, όπου η χρωματική κλίμακα απεικονίζει τον βαθμό σκληρότητας των ιστών. (D) MRI του εγκεφάλου. Αριστερά παρουσιάζεται ακολουθία FLAIR (Fluid-Attenuated Inversion Recovery) σε εγκάρσιο επίπεδο. Δεξιά απεικονίζεται ανακατασκευή Απεικόνισης Τανυστή Διάχυσης (Diffusion Tensor Imaging – DTI), η οποία αναδεικνύει τις κατευθύνσεις διάχυσης των νευρικών ινών. Οι χρωματικοί κώδικες αντιστοιχούν στις εξής κατευθύνσεις: κόκκινο = αριστερά–δεξιά, πράσινο = πρόσθια–οπίσθια και μπλε = άνω–κάτω. (E) Εικόνα Μαγνητικής Αγγειογραφίας (MR Angiography – MRA) μετά από χορήγηση σκιαγραφικού γαδολινίου, η οποία απεικονίζει σε στεφανιαίο επίπεδο το αγγειακό δίκτυο του θώρακα και της κοιλιακής χώρας (Πηγή: Bushberg et al., 2021).

2.3.2 Υπερηχογράφημα

Η υπερηχογραφία χρησιμοποιεί μηχανικά ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας (υπέρηχοι) για τη παραγωγή εικόνων των ανατομικών δομών του σώματος του εξεταζόμενου. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια ενός υπερηχογραφήματος, εκπέμπονται σύντομοι παλμοί υπερήχων από έναν μετατροπέα (ultrasound transducer), ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με το σώμα του εξεταζόμενου. Στη συνέχεια, οι υπέρηχοι διαδίδονται στους ιστούς και ανακλώνται στις διεπιφάνειες μεταξύ διαφορετικών ιστών, αυτές οι ανακλώμενες ηχώ (echoes) καταγράφονται από τον ίδιο μετατροπέα, ο οποίος λειτουργεί και ως πομπός και δέκτης. Ο προσδιορισμός της θέσης και των χαρακτηριστικών των ανατομικών δομών προκύπτει από την ανάλυση του χρόνου άφιξης και του πλάτους των ηχώ. Η διαδικασία αυτή (απεικόνιση παλμού–ηχούς - pulse-echo imaging), επαναλαμβάνεται σε πολλές κατευθύνσεις, δημιουργώντας δισδιάστατες εικόνες λειτουργίας φωτεινότητας (Brightness Mode – B-mode) (Εικ 14).

Αναφορικά με τους ηχοβολείς, πλέον αποτελούνται από διατάξεις πολλών πιεζοηλεκτρικών στοιχείων (arrays), επιτρέποντας την ηλεκτρονική σάρωση και εκτροπή της δέσμης υπερήχων χωρίς μηχανική κίνηση και βελτιώνοντας με αυτόν το τρόπο τόσο την ταχύτητα όσο και την ποιότητα της απεικόνισης.

Η υπερηχογραφία μία είναι αρκετά αποτελεσματική μέθοδος απεικόνισης των μαλακών ιστών και των οργάνων της κοιλιακής χώρας, εκεί όπου οι υπέρηχοι ανακλώνται σε μικρό βαθμό και μπορούν να διεισδύσουν επαρκώς. Ενώ, υστερεί σημαντικά στην απεικόνιση των πνευμόνων και του εγκεφάλου, καθώς ο αέρας και τα οστά προκαλούν έντονη ανάκλαση των υπερήχων. Ωστόσο, επειδή δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία και παράγει εικόνες σε πραγματικό χρόνο, η υπερηχογραφία αποτελεί μέθοδο πρώτης επιλογής σε πολλές κλινικές εφαρμογές, ιδίως στη μαιευτική και στη γυναικολογία.



Εικόνα 14. Παραδείγματα υπερηχογραφικών εξετάσεων. (A) Στιγμιότυπο από βίντεο υπερηχογραφικής εξέτασης σε πραγματικό χρόνο που απεικονίζει φυσιολογικό αορτικό τόξο εμβρύου. Αριστερά παρουσιάζεται εικόνα σε κλίμακα του γκρι (grayscale image), ενώ δεξιά έγχρωμη απεικόνιση ροής (color-flow imaging) που αναδεικνύει την κατεύθυνση της αιματικής ροής. (B) Υπερηχογραφική απεικόνιση του ήπατος σε πραγματικό χρόνο. Αριστερά παρουσιάζεται εικόνα χωρίς σκιαγραφικό μέσο, ενώ δεξιά εικόνα μετά από χορήγηση υπερηχογραφικού σκιαγραφικού. Η χρήση του σκιαγραφικού αναδεικνύει μια υποηχογενή βλάβη (hypoechoic lesion) που αντιστοιχεί σε εστιακή μετάσταση και η οποία καθίσταται ορατή μόνο μετά τη χορήγηση του σκιαγραφικού. (C) Έγχρωμη απεικόνιση ροής (Color Doppler) και παλμικό Doppler της περιοχής της πυλαίας πύλης του ήπατος (porta hepatis). Η μεγαλύτερη έγχρωμη αγγειακή δομή αντιστοιχεί στην πυλαία φλέβα. Ο δρομέας Doppler έχει τοποθετηθεί στη μικρότερη δομή που αντιστοιχεί στην κοινή ηπατική αρτηρία, παράγοντας το φασματικό διάγραμμα Doppler στο κάτω μέρος της εικόνας, το οποίο καταδεικνύει παλμική αιματική ροή. (D) Εγκάρσια υπερηχογραφική εικόνα των όρχεων. Στην αριστερή πλευρά απεικονίζεται φυσιολογικός όρχις, ενώ στη δεξιά παρατηρείται αυξημένη αιματική ροή εντός του όρχεως, όπως αναδεικνύεται από την έγχρωμη απεικόνιση Doppler (Πηγή: Bushberg et al., 2021).

Υπερηχογραφία Doppler

Μια εξειδικευμένη τεχνική υπερηχογραφικής απεικόνισης αποτελεί η υπερηχογραφία Doppler, η οποία όπως προδίδει και το όνομα της βασίζεται στο φαινόμενο Doppler. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αιματικής ροής, μετρώντας τη μεταβολή της συχνότητας των ανακλώμενων υπερηχητικών κυμάτων και υπολογίζοντας την ταχύτητα και την κατεύθυνση της ροής του αίματος στα αγγεία. Η πληροφορία αυτή παρουσιάζεται συνήθως με έγχρωμη κωδικοποίηση, διευκολύνοντας έτσι την αξιολόγηση της αιμοδυναμικής κατάστασης του εξεταζόμενου αγγείου ή οργάνου (Εικ.14) (Bushberg et al., 2021).

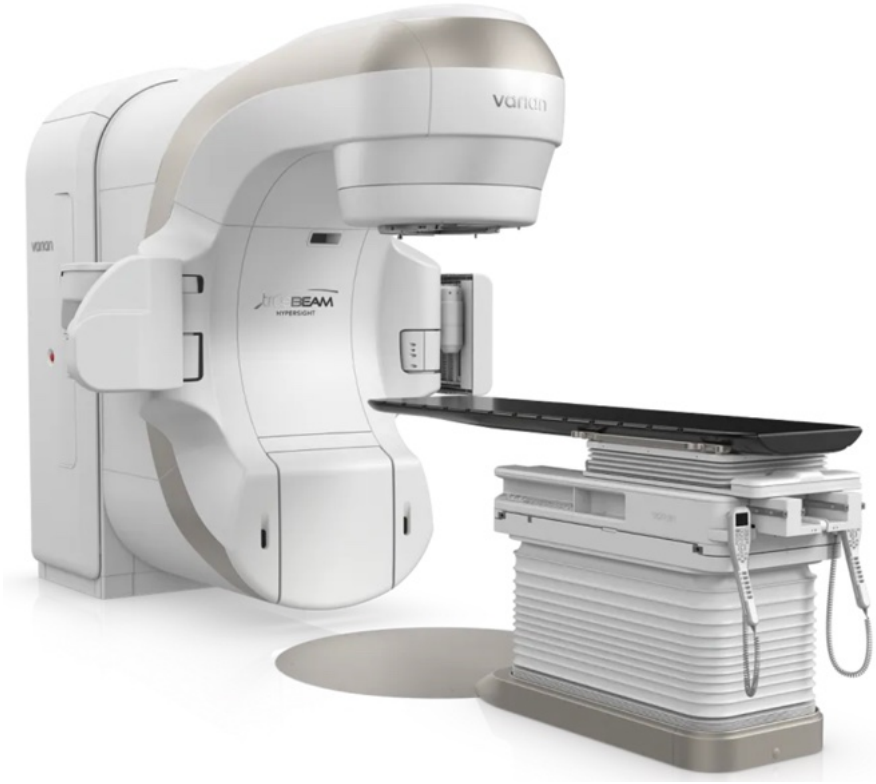
2.4 Θεραπευτικές εφαρμογές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θεραπευτικά μέσα της σύγχρονης ιατρικής, ιδιαίτερα στον τομέα της ογκολογίας. Η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλεί βλάβες στο γενετικό υλικό των κυττάρων κι έτσι είτε να αναστέλλει τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό είτε να προκαλεί κυτταρικό θάνατο, τα οποία είναι οι βάσεις της θεραπευτικής της χρήσης. Ιδιαίτερα όσον αφορά τα καρκινικά κύτταρα, αυτά παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία στην ακτινοβολία λόγω του υψηλού ρυθμού διαίρεσής τους και της μειωμένης ικανότητας επιδιόρθωσης των βλαβών του DNA. Η ακτινοθεραπεία στοχευει στην χορήγηση επαρκούς δόσης στον όγκο με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της ακτινοβόλησης των φυσιολογικών ιστών. Τρεις είναι οι κατηγορίες θεραπευτικών εφαρμογών της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, εξωτερική ακτινοθεραπεία, βραχυθεραπεία και ραδιοϊσοτοπικές θεραπείες (Podgoršak & International Atomic Energy Agency, 2005).

2.4.1 Εξωτερική ακτινοθεραπεία

Η εξωτερική ακτινοθεραπεία (External Beam Radiation Therapy – EBRT) είναι η εφαρμογή ακτινοθεραπείας που χρησιμοποιείται πιο συχνά. Κατά την εξωτερική ακτινοθεραπεία εκπέμπεται, προς τον επιθυμητό όγκο, ακτινοβολία από μια από συσκευή που βρίσκεται εκτός του σώματος του ασθενούς. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ονομάζονται γραμμικοί επιταχυντές (Linear Accelerators – LINACs), κι οι οποίοι μπορούν να παράξουν είτε δέσμες ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας είτε δέσμες φωτονίων υψηλής ενέργειας (Εικ. 15). Τα ηλεκτρόνια χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία επιφανειακών βλαβών, ενώ τα φωτόνια για την θεραπεία βαθύτερων ανατομικών περιοχών. Το μεγαλύτερο ζήτημα της εξωτερικής ακτινοθεραπείας είναι η επίτευξη υψηλής δόσης στον όγκο χωρίς την πρόκληση σημαντικής βλάβης στους υγιείς ιστούς. Με σκοπό την επίλυση αυτού του ζητήματος έχουν αναπτυχθεί σύγχρονες τεχνικές που βελτιώνουν την ακρίβεια της ακτινοβόλησης. Η τρισδιάστατη σύμμορφη ακτινοθεραπεία (3DCRT) αξιοποιεί τρισδιάστατα απεικονιστικά δεδομένα για την προσαρμογή των πεδίων ακτινοβόλησης στο σχήμα του όγκου. Η ακτινοθεραπεία διαμορφούμενης έντασης (IMRT) και η ογκομετρικά διαμορφούμενη τοξοειδής θεραπεία (VMAT) επιτρέπουν ακριβέστερη

κατανομή της δόσης, αυξάνοντας την προστασία των γειτονικών φυσιολογικών οργάνων και μειώνοντας τη διάρκεια της θεραπείας. Παράλληλα, η ακτινοθεραπεία καθοδηγούμενη από εικόνα (IGRT) συμβάλλει στην ακριβή επαλήθευση της θέσης του ασθενούς, περιορίζοντας τα σφάλματα κατά την εφαρμογή της θεραπείας. Επιπλέον, οι στερεοτακτικές τεχνικές (SRS και SBRT) επιτρέπουν τη χορήγηση υψηλών δόσεων ακτινοβολίας σε μικρούς όγκους με μεγάλη ακρίβεια, ενώ η πρωτονική θεραπεία, αξιοποιώντας το φαινόμενο Bragg Peak, εξασφαλίζει αποτελεσματικότερη προστασία των υγιών ιστών. Όλες οι παραπάνω τεχνολογίες έχουν αναβαθμίσει σημαντικά τις θεραπευτικές δυνατότητες της εξωτερικής ακτινοθεραπείας, η οποία συνεισφέρει πλέον σε ένα ευρύ φάσμα κακοηθειών είτε ως αυτόνομη θεραπεία είτε σε συνδυασμό με χειρουργική επέμβαση και συστηματικές αντικαρκινικές θεραπείες.



Εικόνα 15. Γραμμικός επιταχυντής (Πηγή: Siemens Healthineers, χ.χ.).

2.4.2 Βραχυθεραπεία

Η βραχυθεραπεία αποτελεί μορφή ακτινοθεραπείας κατά την οποία ραδιενεργές πηγές τοποθετούνται εντός ή σε πολύ μικρή απόσταση από τον όγκο. Σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι η δόση μειώνεται απότομα με την αύξηση της απόστασης από την πηγή. Συνεπώς, επιτυγχάνεται πολύ υψηλή δόση στον όγκο ενώ ταυτόχρονα οι γειτονικοί υγιείς ιστοί λαμβάνουν σημαντικά μικρότερη δόση. Οι βασικές κατηγορίες βραχυθεραπείας είναι τρείς και ανάλογα με τη θέση τοποθέτησης των πηγών σε, Ενδοκοιλοτική, Ενδοϊστική και Επιφανειακή βραχυθεραπεία.

Στην πρώτη κατηγορία οι ραδιονεργέςπηγές τοποθετούνται μέσα σε φυσικές κοιλότητες του σώματος, με την μέθοδο να έχει εφαρμογή κυρίως σε γυναικολογικούς καρκίνους (π.χ. καρκίνος του τραχήλου της μήτρας). Στην δεύτερη κατηγορία οι πηγές εμφυτεύονται απευθείας μέσα στον όγκο, με την μέθοδο αυτή να εφαρμόζεται συχνά για την θεραπεία του καρκίνου του προστάτη, όπου μικροί ραδιενεργοί σπόροι Ιωδίου-125 ή Παλλαδίου-103 παραμένουν μόνιμα στον αδένα. Επίσης, η βραχυθεραπεία διακρίνεται σε χορήγησης χαμηλού ρυθμού χορήγησης δόσης (Low Dose Rate – LDR) και σε χορήγησης υψηλού ρυθμού δόσης (High Dose Rate – HDR).

2.4.3 Ραδιοϊσοτοπικές θεραπείες

Οι ραδιοϊσοτοπικές θεραπείες αποτελούν θεραπευτικές εφαρμογές της Πυρηνικής Ιατρικής, όπου χορηγούνται ραδιοφάρμακα που συγκεντρώνονται επιλεκτικά σε συγκεκριμένους ιστούς ή όγκους. Η θεραπευτική δράση προέρχεται κυρίως από την εκπομπή β-σωματιδίων ή α-σωματιδίων, τα οποία προκαλούν κυτταρική βλάβη σε μικρή απόσταση από το σημείο συγκέντρωσης του ραδιοφαρμάκου. Η πιο γνωστή εφαρμογή είναι η θεραπεία με Ιώδιο-131, το οποίο προσλαμβάνεται φυσιολογικά από τα κύτταρα του θυρεοειδούς αδένα και χρησιμοποιείται τόσο για τη θεραπεία του υπερθυρεοειδισμού όσο και για την αντιμετώπιση διαφοροποιημένων καρκινωμάτων του θυρεοειδούς. Το I-131 εκπέμπει τόσο β-σωματίδια που καταστρέφουν τον παθολογικού ιστό, όσο και φωτόνια γ που δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατανομής του ραδιοφαρμάκου μές απεικόνισης σε γ κάμερα. Σήμερα, η ανάπτυξη της μοριακής απεικόνισης παρουσιάζει στοχευμένες ραδιονουκλιδικές θεραπείες. Για παράδειγμα, το Lutetium-177 PSMA χρησιμοποιείται σε ασθενείς με μεταστατικό καρκίνο του προστάτη, στοχεύοντας ειδικούς

υποδοχείς στα καρκινικά κύτταρα του προστάτη. Οι σύγχρονες αυτές θεραπείες εντάσσονται στο πλαίσιο της **θεραδιαγνωστικής (theranostics)**, όπου το ίδιο ή παρόμοιο μόριο χρησιμοποιείται και για τη διάγνωση και για τη θεραπεία. Η θεραδιαγνωστική θεωρείται ένας πολύ αναπτυσσόμενος τομέας της εξατομικευμένης ιατρικής και αναμένεται να έχει σημαντικό ρόλο στη μελλοντική αντιμετώπιση του καρκίνου.

3 Ακτινοπροστασία

3.1 Εισαγωγή στην Ακτινοπροστασία

Σήμερα η χρήση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας έχει επεκταθεί σημαντικά τόσο στη διαγνωστική απεικόνιση όσο και στη θεραπευτική αντιμετώπιση πολλών νοσημάτων. Ωστόσο, παρά τα σημαντικά οφέλη που προσφέρει στην ιατρική, η έκθεση σε αυτή συνοδεύεται από πιθανούς βιολογικούς κινδύνους, κάτι το οποίο συνέβαλε στην ανάπτυξη της επιστήμης της ακτινοπροστασίας.

Η ακτινοπροστασία αναφέρεται στο σύνολο των αρχών, των μέτρων και των πρακτικών με στόχο την προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος από τις επιβλαβείς επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, διατηρώντας παράλληλα τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση της. Βασικός στόχος της ακτινοπροστάσιας είναι η ελαχιστοποίηση των κινδύνων που συνδέονται με την έκθεση στην ακτινοβολία, χωρίς να περιορίζεται αδικαιολόγητα η αξιοποίηση των ιατρικών εφαρμογών της.

Από τα πρώτα κιόλας χρήσης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, όταν παρατηρήθηκαν σοβαρές βιολογικές επιδράσεις σε εργαζόμενους χωρίς επαρκή προστασία, δημιουργήθηκε Η ανάγκη εφαρμογής αποτελεσματικών μέτρων ακτινοπροστασίας. Τα επιστημονικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στην πάροδο του χρόνου, σχετικά με τις επιπτώσεις της ακτινοβολίας στην ανθρώπινη υγεία, κατέληξαν στην δημιουργία διεθνών οργανισμών και επιτροπών, με σημαντικότερη τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (International Commission on Radiological Protection – ICRP). Η ICRP διαμορφώνει έως και σήμερα το διεθνές πλαίσιο ακτινοπροστασίας.

Τα τελευταία χρόνια η ευρεία χρήση της αξονικής τομογραφίας, των επεμβατικών ακτινολογικών πράξεων και των εξετάσεων πυρηνικής ιατρικής έχει συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της συλλογικής δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει ο πληθυσμός. Συνεπώς, η εφαρμογή των αρχών της ακτινοπροστασίας αποτελεί βασικές προτεραιότητες της σύγχρονης δημόσιας υγείας.

Αναφορικά με τον τομέα της υγείας η ακτινοπροστασία αφορά τους επαγγελματικά εκτιθέμενους εργαζόμενους, τους εξεταζόμενους/ασθενείς που υποβάλλονται σε ιατρικές πράξεις με χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας και τον γενικό πληθυσμό. Κάθε κατηγορία απαιτεί διαφορετική προσέγγιση σχετικά με τη διαχείριση της έκθεσης στην ακτινοβολία, λόγο των διαφορετικών χαρακτηριστικών τους.

Η αποτελεσματική εφαρμογή της ακτινοπροστασίας προϋποθέτει όχι μόνο τη χρήση κατάλληλων τεχνικών μέτρων αλλά και την επαρκή εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας. Οι κλινικοί ιατροί διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με τη διενέργεια απεικονιστικών εξετάσεων και συνεπώς οφείλουν να διαθέτουν επαρκείς γνώσεις σχετικά με τα οφέλη, τους κινδύνους και τις βασικές αρχές της ακτινοπροστασίας. Η ανάγκη αυτή καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική για τους φοιτητές ιατρικής, οι οποίοι ως μελλοντικοί επαγγελματίες υγείας θα κληθούν να εφαρμόσουν τις αρχές αυτές στην καθημερινή κλινική πρακτική (Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2007; Yucel-Finn et al., 2024).

3.2 Σύστημα Ακτινοπροστασίας της ICRP

Το σύγχρονο σύστημα ακτινοπροστασίας έχει αναπτυχθεί από τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP) και περιγράφεται αναλυτικά στις συστάσεις της ICRP Publication 103, η οποία αποτελεί τη βάση των διεθνών προτύπων ακτινοπροστασίας (Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2007). Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει ένα συνεκτικό πλαίσιο προστασίας για όλες τις καταστάσεις έκθεσης στην ιοντίζουσα ακτινοβολία.

Βασικός σκοπός του συστήματος ακτινοπροστασίας είναι η προστασία των ανθρώπων από τις επιβλαβείς επιδράσεις της ακτινοβολίας, χωρίς να περιορίζονται αδικαιολόγητα οι ωφέλιμες εφαρμογές της στην ιατρική, τη βιομηχανία και την έρευνα. Το σύστημα βασίζεται στην παραδοχή ότι ακόμη και χαμηλά επίπεδα έκθεσης ενδέχεται να συνοδεύονται από κάποιο βαθμό κινδύνου, ιδιαίτερα όσον αφορά τις στοχαστικές επιδράσεις, όπως η εμφάνιση καρκίνου.

Η ICRP διακρίνει τρεις βασικές κατηγορίες καταστάσεων έκθεσης:

Προγραμματισμένες καταστάσεις έκθεσης: Πρόκειται για καταστάσεις στις οποίες η χρήση πηγών ακτινοβολίας είναι εκ των προτέρων σχεδιασμένη και ελεγχόμενη. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι περισσότερες ιατρικές εφαρμογές, οι βιομηχανικές χρήσεις ακτινοβολίας και οι εγκαταστάσεις παραγωγής πυρηνικής ενέργειας. Στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζονται πλήρως οι αρχές της αιτιολόγησης, της βελτιστοποίησης και του περιορισμού της δόσης.

Καταστάσεις έκτακτης ανάγκης: Οι καταστάσεις αυτές προκύπτουν αιφνίδια και απαιτούν άμεση λήψη μέτρων για τον περιορισμό των συνεπειών της έκθεσης. Παραδείγματα αποτελούν τα πυρηνικά ατυχήματα, οι ραδιολογικές καταστροφές και τα περιστατικά ακούσιας διασποράς ραδιενεργών υλικών.

Υφιστάμενες καταστάσεις έκθεσης: Αφορούν εκθέσεις που υπάρχουν ήδη όταν λαμβάνεται η απόφαση ελέγχου τους. Σε αυτές περιλαμβάνονται η έκθεση στο φυσικό υπόβαθρο ακτινοβολίας, η έκθεση σε ραδόνιο και οι συνέπειες παλαιότερων ραδιολογικών συμβάντων.

Παράλληλα, η ICRP ταξινομεί τις εκθέσεις σε τρεις βασικές κατηγορίες:

Επαγγελματική έκθεση (Occupational Exposure): Αφορά την έκθεση εργαζομένων που χρησιμοποιούν πηγές ιοντίζουσας ακτινοβολίας στο πλαίσιο της εργασίας τους, όπως ακτινολόγοι, τεχνολόγοι ακτινολογίας, επεμβατικοί καρδιολόγοι, ακτινοφυσικοί και εργαζόμενοι στην πυρηνική βιομηχανία.

Δημόσια έκθεση (Public Exposure): Περιλαμβάνει την έκθεση των μελών του γενικού πληθυσμού από πηγές ακτινοβολίας που δεν σχετίζονται με την εργασία ή με ιατρικές πράξεις.

Ιατρική έκθεση (Medical Exposure): Αφορά την έκθεση ασθενών κατά τη διάρκεια διαγνωστικών ή θεραπευτικών ιατρικών διαδικασιών. Η κατηγορία αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς η έκθεση πραγματοποιείται με σκοπό την παροχή άμεσου οφέλους στον ασθενή. Για τον λόγο αυτό, η ICRP επισημαίνει ότι οι ασθενείς δεν υπόκεινται σε συγκεκριμένα όρια δόσης, αλλά προστατεύονται μέσω της εφαρμογής των αρχών της αιτιολόγησης και της βελτιστοποίησης.

Το σύστημα ακτινοπροστασίας της ICRP βασίζεται σε τρεις θεμελιώδεις αρχές: την αρχή της αιτιολόγησης, την αρχή της βελτιστοποίησης και την αρχή του περιορισμού της δόσης. Οι αρχές αυτές λειτουργούν συμπληρωματικά και αποτελούν τον πυρήνα της σύγχρονης ακτινοπροστασίας.

Στις επόμενες ενότητες αναλύονται οι αρχές αυτές, με ιδιαίτερη έμφαση στην αρχή της αιτιολόγησης, η οποία αποτελεί και το κεντρικό αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

3.3 Αρχή της Αιτιολόγησης (Justification)

Η αρχή της αιτιολόγησης αποτελεί τη θεμελιώδη αρχή του συστήματος ακτινοπροστασίας και το πρώτο βήμα πριν από οποιαδήποτε έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία (European Commission, 2001; Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2007, 2008). Σύμφωνα με την ICRP, καμία πρακτική που συνεπάγεται έκθεση στην ακτινοβολία δεν πρέπει να υιοθετείται ή να εφαρμόζεται εάν δεν προσφέρει καθαρό όφελος στο άτομο ή στην κοινωνία. Με άλλα λόγια, κάθε απόφαση που οδηγεί σε έκθεση στην ακτινοβολία πρέπει να επιφέρει περισσότερο όφελος παρά βλάβη.

Η αρχή αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι η έκθεση στην ιοντίζουσα ακτινοβολία συνοδεύεται πάντοτε από κάποιο επίπεδο κινδύνου. Παρότι οι περισσότερες διαγνωστικές εξετάσεις πραγματοποιούνται με σχετικά χαμηλές δόσεις, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχει πλήρως ακίνδυνη έκθεση. Επομένως, απαιτείται αξιολόγηση του αναμενόμενου οφέλους σε σχέση με τον πιθανό κίνδυνο, πριν από τη διενέργεια οποιασδήποτε εξέτασης ή θεραπευτικής πράξης που χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία.

Στον τομέα της υγείας, το όφελος μπορεί να περιλαμβάνει την έγκαιρη διάγνωση μιας νόσου, τη σωστή επιλογή θεραπείας, την παρακολούθηση της πορείας μιας πάθησης ή ακόμη και τη βελτίωση της πρόγνωσης του ασθενούς. Αντίθετα, ο κίνδυνος σχετίζεται κυρίως με την πιθανότητα εμφάνισης στοχαστικών επιδράσεων, όπως η πρόκληση καρκίνου, καθώς και με τις ντετερμινιστικές επιδράσεις σε περιπτώσεις υψηλών δόσεων.

Στις σύγχρονες κοινωνίες, όπου η αυξανόμενη διαθεσιμότητα απεικονιστικών μεθόδων έχει οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του αριθμού των εξετάσεων που πραγματοποιούνται ετησίως, η εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης έχει ιδιαίτερη σημασία. Επίσης, η ευκολία πρόσβασης σε προηγμένες τεχνολογίες, όπως η αξονική τομογραφία, μπορεί να έχει συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της διαγνωστικής ακρίβειας, ταυτόχρονα όμως έχει αυξήσει τον κίνδυνο άσκοπης

έκθεσης των εξεταζόμενων σε ιοντίζουσα ακτινοβολία. Συνεπώς, η εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης είναι ένα σημαντικό εργαλείο πρόληψης της υπερβολικής χρήσης απεικονιστικών εξετάσεων.

3.3.1 Τα Επίπεδα της Αιτιολόγησης

Τα επίπεδα αιτιολόγησης για τις ιατρικές εκθέσεις στην ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι τρία, σύμφωνα με την ICRP.

Γενική αιτιολόγηση της χρήσης της ακτινοβολίας στην ιατρική

Το πρώτο επίπεδο αφορά τη γενική αποδοχή της χρήσης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας στην ιατρική. Η διεθνής επιστημονική κοινότητα αναγνωρίζει ότι τα οφέλη που προκύπτουν από τις διαγνωστικές και θεραπευτικές εφαρμογές της ακτινοβολίας υπερτερούν σημαντικά των πιθανών κινδύνων. Χάρη στις ακτινολογικές εξετάσεις και την ακτινοθεραπεία, εκατομμύρια ασθενείς διαγιγνώσκονται και θεραπεύονται αποτελεσματικά κάθε χρόνο.

Αιτιολόγηση συγκεκριμένης διαδικασίας

Το δεύτερο επίπεδο αφορά την αξιολόγηση μιας συγκεκριμένης απεικονιστικής ή θεραπευτικής διαδικασίας για μια κατηγορία ασθενών. Για παράδειγμα, η χρήση αξονικής τομογραφίας σε ασθενείς με σοβαρό κρανιοεγκεφαλικό τραύμα θεωρείται αιτιολογημένη, αφού η εξέταση παρέχει κρίσιμες πληροφορίες που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη θεραπευτική αντιμετώπιση και την επιβίωση του ασθενούς.

Αντίστοιχα, η χρήση μιας εξέτασης σε περιπτώσεις όπου δεν αναμένεται να προσφέρει σημαντική διαγνωστική πληροφορία δεν θεωρείται αιτιολογημένη. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες και πρωτόκολλα παραπομπής που βοηθούν τους κλινικούς ιατρούς να επιλέγουν την καταλληλότερη εξέταση.

Αιτιολόγηση για τον συγκεκριμένο ασθενή

Το τρίτο και σημαντικότερο επίπεδο αφορά την εξατομικευμένη αξιολόγηση του κάθε ασθενούς. Ακόμη και όταν μια εξέταση θεωρείται γενικά χρήσιμη, ο ιατρός οφείλει να εξετάζει εάν είναι απαραίτητη για τον συγκεκριμένο ασθενή και εάν τα πιθανά οφέλη υπερτερούν των κινδύνων.

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την αξιολόγηση:

- της κλινικής εικόνας,
- του ιατρικού ιστορικού,
- προηγούμενων απεικονιστικών εξετάσεων,
- της ηλικίας του ασθενούς,
- της πιθανότητας εγκυμοσύνης,
- καθώς και της διαθεσιμότητας εναλλακτικών διαγνωστικών μεθόδων.

3.3.2 Εναλλακτικές Μέθοδοι χωρίς Ιοντίζουσα Ακτινοβολία

Η εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης δεν περιορίζεται μόνο στην απόφαση για το εάν θα πραγματοποιηθεί μια εξέταση, αλλά περιλαμβάνει και την επιλογή της καταλληλότερης διαγνωστικής μεθόδου. Σε πολλές περιπτώσεις, η απαραίτητη κλινική πληροφορία μπορεί να ληφθεί μέσω μεθόδων που δεν χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία. Το υπερηχογράφημα και η μαγνητική τομογραφία αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα. Η αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης τέτοιων απεικονιστικών μεθόδων αποτελεί σημαντικό στοιχείο της διαδικασίας αιτιολόγησης και συμβάλλει στη μείωση της περιττής έκθεσης των ασθενών.

3.3.3 Υπερβολική Χρήση Απεικονιστικών Εξετάσεων

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται σημαντική αύξηση στη χρήση απεικονιστικών εξετάσεων παγκοσμίως. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως η τεχνολογική πρόοδος, η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα των συστημάτων απεικόνισης, η αμυντική ιατρική πρακτική και οι αυξημένες προσδοκίες των ασθενών. Η υπερβολική χρήση εξετάσεων με ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συλλογικής δόσης του πληθυσμού χωρίς το αντίστοιχο κλινικό όφελος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αξονική τομογραφία η οποία παρόλο που αντιπροσωπεύει μικρό ποσοστό του συνολικού αριθμού απεικονιστικών

εξετάσεων, συνεισφέρει σημαντικά στη συνολική δόση ακτινοβολίας που λαμβάνει ο πληθυσμός. Η εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης συμβάλλει στον περιορισμό των περιττών εξετάσεων και διασφαλίζει ότι η χρήση της ακτινοβολίας περιορίζεται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει πραγματική κλινική ανάγκη.

3.3.4 Η Σημασία της Αιτιολόγησης στη Δημόσια Υγεία

Η αρχή της αιτιολόγησης δεν αφορά μόνο την προστασία του μεμονωμένου ασθενούς αλλά και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας. Η αποφυγή περιττών εξετάσεων συμβάλλει στη μείωση της συνολικής έκθεσης του πληθυσμού στην ακτινοβολία και περιορίζει τους μακροπρόθεσμους κινδύνους που σχετίζονται με τις στοχαστικές επιδράσεις. Παράλληλα, η ορθολογική χρήση των απεικονιστικών εξετάσεων οδηγεί σε αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων των συστημάτων υγείας, μειώνοντας το οικονομικό κόστος και βελτιώνοντας την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Για τον λόγο αυτό, η κατανόηση και η εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης θεωρείται βασική δεξιότητα για όλους τους επαγγελματίες υγείας και ιδιαίτερα για τους μελλοντικούς ιατρούς, οι οποίοι καλούνται καθημερινά να λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με την παραπομπή ασθενών για απεικονιστικές εξετάσεις.

3.4 Αρχή της Βελτιστοποίησης (Optimization)

Η δεύτερη θεμελιώδης αρχή του συστήματος ακτινοπροστασίας είναι η αρχή της βελτιστοποίησης. Αφού πρώτα μια πρακτική έχει κριθεί αιτιολογημένη, η έκθεση στην ακτινοβολία πρέπει να διατηρείται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα είναι λογικά εφικτό, λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικούς, οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες (Bushberg et al., 2021; Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2007). Η βελτιστοποίηση δεν συνεπάγεται πλήρης εξάλειψη της έκθεσης στην ακτινοβολία, το οποίο θα ήταν συχνά αδύνατο ή θα οδηγούσε σε απώλεια σημαντικών διαγνωστικών και θεραπευτικών οφελών. Αντίθετα, επιδιώκει την εξεύρεση της βέλτιστης ισορροπίας μεταξύ οφέλους και κινδύνου.

Η βελτιστοποίηση εξελίσσεται συνεχώς, αφού τόσο οι τεχνολογικές εξελίξεις όσο κι οι νέες επιστημονικές γνώσεις επιτρέπουν τη συνεχή αναθεώρηση των πρακτικών στοχεύοντας την περαιτέρω μείωση της έκθεσης στην ακτινοβολία διατηρώντας το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας αμετάβλητο. Η σημασία της αρχής της βελτιστοποίησης είναι ιδιαίτερα

εμφανής στην αξονική τομογραφία και στις επεμβατικές ακτινολογικές πράξεις, όπου οι δόσεις ακτινοβολίας είναι σημαντικά υψηλότερες σε σύγκριση με άλλες διαγνωστικές εξετάσεις.

3.4.1 Η Αρχή της Βελτιστοποίησης

Η πρακτική εφαρμογή της βελτιστοποίησης εκφράζεται μέσω μίας εκ των πιο γνωστών εννοιών της ακτινοπροστασίας, της αρχής ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Η αρχή αυτή υποδηλώνει ότι κάθε έκθεση στην ακτινοβολία πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν χαμηλότερα είναι λογικά εφικτό, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τεχνικούς αλλά και κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Ωστόσο, η εφαρμογή της δεν σημαίνει ότι η δόση πρέπει να μειώνεται ανεξάρτητα από τις συνέπειες. Μια υπερβολική μείωση της δόσης μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας και άρα σε λανθασμένη ή ανεπαρκή διάγνωση.

Στην κλινική πράξη, η αρχή ALARA εφαρμόζεται μέσω:

- της χρήσης κατάλληλων τεχνικών παραμέτρων,
- της επιλογής πρωτοκόλλων χαμηλής δόσης,
- της αποφυγής επαναλαμβανόμενων εξετάσεων χωρίς σαφή κλινική ένδειξη,
- της ελαχιστοποίησης του χρόνου ακτινοσκόπησης,
- και της συνεχούς εκπαίδευσης του προσωπικού.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η εφαρμογή της αρχής ALARA στην παιδιατρική απεικόνιση, λόγω της αυξημένης ακτινοευαισθησία των παιδιών, υποχρεώνοντας την προσαρμογή των τεχνικών παραμέτρων με στόχο την μικρότερη δυνατή έκθεση.

3.4.2 Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (Diagnostic Reference Levels – DRLs)

Σημαντικό εργαλείο για την εφαρμογή της αρχής της βελτιστοποίησης αποτελούν τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (Diagnostic Reference Levels – DRLs). Τα DRLs εισήχθησαν από την ICRP με σκοπό την παρακολούθηση και αξιολόγηση των δόσεων ακτινοβολίας που λαμβάνουν οι ασθενείς κατά τη διάρκεια διαγνωστικών και επεμβατικών διαδικασιών (Clement & Ogino, n.d.).

Τα DRLs δεν αποτελούν όρια δόσης ούτε καθορίζουν το μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο έκθεσης ενός ασθενούς. Αντίθετα, αποτελούν επίπεδα αναφοράς που χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση των

δόσεων μιας συγκεκριμένης εξέτασης με καθιερωμένες τιμές που έχουν προκύψει από δεδομένα καλής πρακτικής.

Όταν οι δόσεις μιας εξέτασης υπερβαίνουν συστηματικά τα καθορισμένα επίπεδα αναφοράς, απαιτείται διερεύνηση των αιτίων και επανεξέταση των εφαρμοζόμενων πρωτοκόλλων. Αντίστοιχα, ιδιαίτερα χαμηλές δόσεις μπορεί να υποδηλώνουν ανεπαρκή ποιότητα εικόνας, γεγονός που ενδέχεται να επηρεάσει αρνητικά τη διαγνωστική ακρίβεια.

Τα DRLs εφαρμόζονται σε μεγάλο εύρος εξετάσεων, όπως:

- η κλασική ακτινοδιαγνωστική,
- η μαστογραφία,
- η αξονική τομογραφία,
- η ακτινοσκόπηση,
- και οι εξετάσεις πυρηνικής ιατρικής.

Στην αξονική τομογραφία χρησιμοποιούνται συνήθως δείκτες όπως ο CTDIvol (Computed Tomography Dose Index Volume) και το DLP (Dose Length Product), ενώ στις ακτινογραφικές εξετάσεις χρησιμοποιείται συχνά το γινόμενο δόσης–επιφάνειας (Dose Area Product – DAP). Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα παιδιατρικά DRLs, τα οποία έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τις ανάγκες των παιδιών και λαμβάνουν υπόψη την ηλικία και το σωματικό βάρος τους. Η χρήση των DRLs αποτελεί σήμερα βασικό στοιχείο των προγραμμάτων διασφάλισης ποιότητας και θεωρείται απαραίτητη για την αποτελεσματική εφαρμογή της αρχής της βελτιστοποίησης.

3.5 Αρχή του Περιορισμού της Δόσης (Dose Limitation)

Η τρίτη θεμελιώδης αρχή του συστήματος ακτινοπροστασίας είναι η αρχή του περιορισμού της δόσης (dose limitation). Σύμφωνα με την ICRP, οι δόσεις που λαμβάνουν τα άτομα από προγραμματισμένες εκθέσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν προκαθορισμένα όρια, τα οποία έχουν θεσπιστεί με σκοπό την προστασία από τις επιβλαβείς επιδράσεις της ακτινοβολίας (Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2007).

Η αρχή αυτή εφαρμόζεται κυρίως στους επαγγελματικά εκτιθέμενους εργαζομένους και στα μέλη του γενικού πληθυσμού. Στόχος της είναι η πρόληψη των ντετερμινιστικών επιδράσεων και η διατήρηση του κινδύνου εμφάνισης στοχαστικών επιδράσεων σε αποδεκτά επίπεδα.

Για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους εργαζομένους, το όριο ενεργού δόσης 20 mSv ανά έτος κατά μέσο όρο σε περίοδο πέντε ετών, με την πρόσθετη προϋπόθεση ότι η δόση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 50 mSv σε οποιοδήποτε μεμονωμένο έτος. Τα όρια αυτά έχουν θεσπιστεί ώστε να διασφαλίζουν την προστασία των εργαζομένων που εκτίθενται συστηματικά στην ακτινοβολία κατά την άσκηση των επαγγελματικών τους καθηκόντων.

Για τα μέλη του γενικού πληθυσμού, το αντίστοιχο όριο ενεργού δόσης είναι 1 mSv ανά έτος. Το χαμηλότερο αυτό όριο αντανακλά την αρχή ότι τα άτομα του γενικού πληθυσμού δεν αποκομίζουν άμεσο όφελος από την έκθεση στην ακτινοβολία και συνεπώς πρέπει να προστατεύονται σε μεγαλύτερο βαθμό.

Εκτός από τα όρια ενεργού δόσης, καθορίζονται και ειδικά όρια για συγκεκριμένους ιστούς και όργανα, όπως:

- ο φακός του οφθαλμού,
- το δέρμα,
- και τα άκρα.

Τα όρια αυτά αποσκοπούν στην αποφυγή τοπικών βλαβών που μπορεί να προκύψουν από υψηλές δόσεις ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες ανατομικές περιοχές.

Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στην προστασία των εγκύων εργαζομένων. Μετά τη γνωστοποίηση της εγκυμοσύνης, οι συνθήκες εργασίας πρέπει να διαμορφώνονται κατά τρόπο ώστε η επιπλέον δόση στο έμβρυο να μην υπερβαίνει το 1 mSv για το υπόλοιπο της κύησης (ICRP, 2007).

Ωστόσο, η αρχή του περιορισμού της δόσης δεν εφαρμόζεται στους ασθενείς που υποβάλλονται σε ιατρικές εξετάσεις ή θεραπείες, αφού αυτές πραγματοποιούνται με σκοπό την επίτευξη άμεσου οφέλους για τον ασθενή. Στις περιπτώσεις αυτές, η προστασία βασίζεται κυρίως στις αρχές της αιτιολόγησης και της βελτιστοποίησης.

3.6 Ακτινοπροστασία στην Ιατρική Απεικόνιση

Η εφαρμογή των αρχών της ακτινοπροστασίας στην ιατρική απεικόνιση αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ασφαλή χρήση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Η διενέργεια κάθε εξέτασης πρέπει να βασίζεται στις αρχές της αιτιολόγησης και της βελτιστοποίησης, ώστε να εξασφαλίζεται ότι το αναμενόμενο όφελος υπερτερεί του πιθανού κινδύνου.

Η συνεχής τεχνολογική πρόοδος έχει βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα των απεικονιστικών εξετάσεων και έχει συμβάλει στη μείωση των δόσεων ακτινοβολίας. Όμως, η αυξημένη διαθεσιμότητα των εξετάσεων έχει οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της χρήσης τους, γεγονός που καθιστά ακόμη πιο αναγκαία την τήρηση των αρχών της ακτινοπροστασίας (Bushberg et al., 2021; Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2008; Yucel-Finn et al., 2024).

3.6.1 Ακτινοπροστασία στη Συμβατική Ακτινογραφία

Η συμβατική ακτινογραφία αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαγνωστική εξέταση ακτίνων Χ. Παρότι οι δόσεις ακτινοβολίας είναι σχετικά χαμηλές σε σύγκριση με άλλες απεικονιστικές μεθόδους, η μεγάλη συχνότητα χρήσης της καθιστά απαραίτητη την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων προστασίας.

Η βελτιστοποίηση της ακτινοπροστασίας στη συμβατική ακτινογραφία περιλαμβάνει:

- την κατάλληλη επιλογή τεχνικών παραμέτρων,
- τη σωστή επιλογή πεδίου (μεσω διαφραγμάτων) της δέσμης ακτίνων Χ,
- την αποφυγή επαναληπτικών λήψεων,
- τη χρήση συστημάτων ψηφιακής απεικόνισης,
- και τη διασφάλιση της σωστής τοποθέτησης του ασθενούς.

Η επιλογή πεδίου θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς περιορίζει το πεδίο ακτινοβόλησης μόνο στην περιοχή κλινικού ενδιαφέροντος, μειώνοντας έτσι τη δόση που λαμβάνουν οι γειτονικοί ιστοί.

3.6.2 Ακτινοπροστασία στην Υπολογιστική Τομογραφία

Η υπολογιστική τομογραφία (Computed Tomography – CT) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες απεικονιστικές τεχνικές της σύγχρονης ιατρικής. Παράλληλα όμως, αποτελεί και μία από τις σημαντικότερες πηγές ιατρικής έκθεσης στην ακτινοβολία, καθώς οι δόσεις που χρησιμοποιούνται είναι σημαντικά υψηλότερες από αυτές της συμβατικής ακτινογραφίας.

Η εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης είναι ιδιαίτερα σημαντική στην αξονική τομογραφία. Κάθε εξέταση πρέπει να πραγματοποιείται μόνο όταν υπάρχει σαφής κλινική ένδειξη και όταν η απαιτούμενη πληροφορία δεν μπορεί να ληφθεί με άλλη μέθοδο που δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία.

Η βελτιστοποίηση των εξετάσεων CT επιτυγχάνεται μέσω:

- της χρήσης πρωτοκόλλων χαμηλής δόσης,
- της αυτόματης προσαρμογής του ρεύματος της λυχνίας,
- της κατάλληλης επιλογής του μήκους σάρωσης,
- της χρήσης τεχνικών ανακατασκευής εικόνας,
- και της συνεχούς παρακολούθησης των δεικτών δόσης.

3.6.3 Ακτινοπροστασία στην Ακτινοσκόπηση και την Επεμβατική Ακτινολογία

Οι ακτινοσκοπικές και επεμβατικές διαδικασίες χρησιμοποιούν ακτίνες Χ σε πραγματικό χρόνο για την καθοδήγηση διαγνωστικών ή θεραπευτικών πράξεων. Οι εξετάσεις αυτές ενδέχεται να συνοδεύονται από υψηλές δόσεις ακτινοβολίας τόσο για τους ασθενείς όσο και για το προσωπικό.

Η ακτινοπροστασία στις διαδικασίες αυτές βασίζεται στις τρεις κλασικές αρχές προστασίας:

Χρόνος

Η μείωση του χρόνου ακτινοσκόπησης οδηγεί σε αντίστοιχη μείωση της δόσης ακτινοβολίας.

Απόσταση

Η αύξηση της απόστασης από την πηγή ακτινοβολίας μειώνει σημαντικά την έκθεση του προσωπικού.

Θωράκιση

Η χρήση προστατευτικών μέσων, όπως μολύβδινες ποδιές, προστατευτικά κολάρα θυρεοειδούς και ακτινοπροστατευτικά γυαλιά, συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση της επαγγελματικής έκθεσης.

3.6.4 Ακτινοπροστασία στην Πυρηνική Ιατρική

Η πυρηνική ιατρική διαφέρει από τις υπόλοιπες απεικονιστικές τεχνικές, καθώς η πηγή ακτινοβολίας βρίσκεται μέσα στο σώμα του ασθενούς μετά τη χορήγηση κατάλληλου ραδιοφαρμάκου.

Η ακτινοπροστασία στην πυρηνική ιατρική βασίζεται:

- στη σωστή επιλογή του ραδιοφαρμάκου,
- στη χορήγηση της ελάχιστης απαιτούμενης ενεργότητας,
- στη βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων απεικόνισης,
- και στην εφαρμογή κατάλληλων μέτρων προστασίας για το προσωπικό.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στη διαχείριση των ασθενών μετά τη χορήγηση ραδιοφαρμάκων, καθώς οι ίδιοι αποτελούν προσωρινά πηγή ακτινοβολίας για το περιβάλλον τους. Ειδικότερα, πρέπει να δίδονται συγκεκριμένες συστάσεις κι οδηγίες σχετικά με την επαφή με παιδιά κι εγκύους

3.7 Ακτινοπροστασία Ευαίσθητων Πληθυσμών

Τα παιδιά κι οι έγκυες ασθενείς είναι ομάδες πληθυσμού με αυξημένη ευαισθησία στις βιολογικές επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, απαιτώντας ιδιαίτερη προσοχή κατά τη λήψη αποφάσεων που αφορούν τη χρήση της. (Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2007).

Τα παιδιά θεωρούνται περισσότερο ευαίσθητα στην ακτινοβολία σε σχέση με τους ενήλικες για δύο βασικούς λόγους. Καταρχάς, οι ιστοί τους βρίσκονται σε φάση ανάπτυξης και χαρακτηρίζονται από αυξημένη κυτταρική διαίρεση, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης ακτινογενών βλαβών. Επίσης, διαθέτουν μεγαλύτερο προσδόκιμο ζωής, γεγονός που αυξάνει τον χρόνο κατά τον οποίο μπορεί να εκδηλωθούν μακροχρόνιες στοχαστικές επιδράσεις. Επομένως, η εφαρμογή της αιτιολόγησης και της βελτιστοποίησης στις παιδιατρικές εξετάσεις καθίσταται πιο αυστηρή. Βασικές πρακτικές ακτινοπροστασίας είναι η χρήση ειδικών πρωτοκόλλων χαμηλής δόσης και η προσαρμογή των τεχνικών παραμέτρων στο σωματικό μέγεθος του παιδιού.

Η ευαισθησία του εμβρύου στην ακτινοβολία εξαρτάται από το στάδιο της κύησης και τη δόση που λαμβάνεται. Κατά την αξιολόγηση μιας απεικονιστικής εξέτασης σε έγκυο ασθενή, πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά η αναγκαιότητά της και να διερευνώνται εναλλακτικές μέθοδοι που δεν χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία, όπως το υπερηχογράφημα ή η μαγνητική τομογραφία.

3.8 Εκπαίδευση και Ενημέρωση στην Ακτινοπροστασία

Η αποτελεσματική εφαρμογή των αρχών της ακτινοπροστασίας δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την ύπαρξη κανονισμών, τεχνολογικού εξοπλισμού και διαδικασιών ελέγχου, αλλά και από το επίπεδο γνώσεων και ευαισθητοποίησης των επαγγελματιών υγείας. Η διασφάλιση της ασφαλούς χρήσης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και η αποτελεσματική προστασία των ασθενών, τόσο των εργαζομένων όσο και του γενικού πληθυσμού, βασίζονται κυρίως στην εκπαίδευση στην ακτινοπροστασία.

Η γνώση των σχετικών ε τη χρήση της ακτινοβολίας κινδύνων και οφελών είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθή εφαρμογή των αρχών της αιτιολόγησης και της βελτιστοποίησης (ICRP, 2007). Οι επαγγελματίες υγείας που συμμετέχουν στη διαδικασία παραπομπής, διενέργειας ή ερμηνείας απεικονιστικών εξετάσεων πρέπει να διαθέτουν επαρκή εκπαίδευση, ώστε να έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση της ακτινοβολίας.

Στο σύγχρονο περιβάλλον υγείας, οι κλινικοί ιατροί καλούνται καθημερινά να αποφασίζουν εάν μια απεικονιστική εξέταση είναι απαραίτητη, ποια μέθοδος είναι καταλληλότερη και εάν υπάρχουν εναλλακτικές επιλογές που δεν περιλαμβάνουν έκθεση στην ακτινοβολία. Η διαδικασία

αυτή απαιτεί γνώσεις αναφορικά με τις δόσεις ακτινοβολίας, τους πιθανούς κινδύνους και τις βασικές αρχές ακτινοπροστασίας.

Παρά τη σημασία της εκπαίδευσης, έχει φανεί ότι οι γνώσεις των φοιτητών ιατρικής και των νέων ιατρών σχετικά με την ακτινοπροστασία παραμένουν συχνά ανεπαρκείς. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες χώρες καταδεικνύουν ότι σημαντικό ποσοστό φοιτητών και ειδικευόμενων ιατρών δυσκολεύεται να εκτιμήσει τις δόσεις ακτινοβολίας των συχνότερων απεικονιστικών εξετάσεων, να αναγνωρίσει τις σχετικές βιολογικές επιδράσεις ή να εφαρμόσει σωστά την αρχή της αιτιολόγησης κατά την παραπομπή ασθενών για απεικονιστικό έλεγχο.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η γνώση των διαφορών μεταξύ εξετάσεων που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία και εξετάσεων που δεν χρησιμοποιούν.

Η εκπαίδευση στην ακτινοπροστασία θα πρέπει να ξεκινά ήδη από το προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών των ιατρικών σχολών και να συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια της επαγγελματικής σταδιοδρομίας των επαγγελματιών υγείας. Η ενσωμάτωση σχετικών μαθημάτων μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση των γνώσεων και στην ανάπτυξη υπεύθυνης επαγγελματικής συμπεριφοράς.

Επιπλέον, η συνεχής επαγγελματική εκπαίδευση και η συμμετοχή σε προγράμματα επιμόρφωσης αποτελούν σημαντικά μέσα διατήρησης και επικαιροποίησης των γνώσεων, λόγο των συνεχών τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης, και των αναθεωρήσεων των διεθνών κατευθυντήριων οδηγιών.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η εκπαίδευση σχετικά με την αρχή της αιτιολόγησης, καθώς η απόφαση για την παραπομπή ενός ασθενούς σε απεικονιστική εξέταση λαμβάνεται συνήθως από τον κλινικό ιατρό. Η επαρκής γνώση των ενδείξεων, των εναλλακτικών μεθόδων και των πιθανών κινδύνων συμβάλλει στη μείωση των περιττών εξετάσεων και στην αποτελεσματικότερη προστασία των ασθενών από την άσκοπη έκθεση στην ακτινοβολία.

Συνεπώς, η αξιολόγηση του επιπέδου γνώσεων των φοιτητών ιατρικής σχετικά με τις βασικές αρχές ακτινοπροστασίας και ιδιαίτερα με την αρχή της αιτιολόγησης παρουσιάζει ιδιαίτερο

επιστημονικό ενδιαφέρον, καθώς οι μελλοντικοί ιατροί θα κληθούν να εφαρμόσουν τις αρχές αυτές κατά τη λήψη κλινικών αποφάσεων.

3.9 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η αυξανόμενη χρήση απεικονιστικών εξετάσεων που βασίζονται στην ιοντίζουσα ακτινοβολία έχει αναδείξει τη σημασία της επαρκούς εκπαίδευσης των μελλοντικών ιατρών σε θέματα ακτινοπροστασίας. Οι ιατροί διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία παραπομπής των ασθενών για διαγνωστικές εξετάσεις και, ως εκ τούτου, απαιτείται να διαθέτουν γνώσεις σχετικά με τις πηγές ιοντίζουσας ακτινοβολίας, τις σχετικές δόσεις, τους πιθανούς κινδύνους της έκθεσης και τις διαθέσιμες εναλλακτικές απεικονιστικές μεθόδους (European Society of Radiology et al., 2021; Internationale Atomenergie-Organisation, 2011; Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2007).

Η διεθνής βιβλιογραφία έχει διερευνήσει εκτενώς τις γνώσεις των φοιτητών Ιατρικής σχετικά με την ιοντίζουσα ακτινοβολία, την ακτινοπροστασία και τους κινδύνους της ιατρικής έκθεσης. Τα αποτελέσματα των περισσότερων μελετών συγκλίνουν στην ύπαρξη σημαντικών ελλείψεων γνώσεων σε διαφορετικές χώρες και εκπαιδευτικά συστήματα. Η διαχρονικότητα του προβλήματος επιβεβαιώνεται τόσο από παλαιότερες ευρωπαϊκές και βορειοαμερικανικές έρευνες όσο και από πρόσφατες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στη Σαουδική Αραβία, την Ιαπωνία και την Αίγυπτο (Aljondi et al., 2025a; Eid et al., 2026; Faggioni et al., 2017; Kada, 2017; McCusker et al., 2009; O'Sullivan et al., 2010; Yamauchi et al., 2025).

Ένα από τα συχνότερα ευρήματα αφορά τη δυσκολία αναγνώρισης των απεικονιστικών εξετάσεων που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην Ιρλανδία και τον Καναδά κατέδειξαν ότι σημαντικό ποσοστό φοιτητών αδυνατούσε να διακρίνει τις εξετάσεις που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία από εκείνες που δεν τη χρησιμοποιούν, εμφανίζοντας λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με τη μαγνητική τομογραφία και το υπερηχογράφημα (McCusker et al., 2009; O'Sullivan et al., 2010). Παρόμοια ευρήματα καταγράφηκαν και σε άλλες μελέτες, στις οποίες διαπιστώθηκαν δυσκολίες στη διάκριση των

ιοντιζουσών από τις μη ιοντίζουσες απεικονιστικές τεχνικές (Faggioni et al., 2017; Zhou et al., 2010).

Σε πρόσφατη μελέτη στη Σαουδική Αραβία, μόνο περίπου οι μισοί φοιτητές απάντησαν σωστά σε ερώτηση σχετικά με τις απεικονιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούν ακτίνες Χ, παρότι η συνολική επίδοσή τους στις απεικονιστικές μεθόδους ήταν υψηλότερη από την επίδοσή τους στα θέματα ακτινοπροστασίας (Aljondi et al., 2025). Αντίστοιχα, παλαιότερη μελέτη στη Σαουδική Αραβία κατέγραψε ότι πριν από σχετική εκπαιδευτική παρέμβαση λιγότεροι από τους μισούς φοιτητές αναγνώριζαν σωστά ότι η μαγνητική τομογραφία δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία (Hagi & Khafaji, 2011). Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι εξακολουθούν να υπάρχουν ελλείψεις στις βασικές γνώσεις των φοιτητών Ιατρικής σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά και τις αρχές λειτουργίας των απεικονιστικών μεθόδων.

Σημαντικά κενά γνώσεων έχουν επίσης καταγραφεί σχετικά με τις δόσεις ακτινοβολίας των διαγνωστικών εξετάσεων. Στην έρευνα των O'Sullivan et al. (2010), μόνο περίπου το 20% των φοιτητών αναγνώρισε σωστά τη σχετική δόση μιας υπολογιστικής τομογραφίας κοιλίας σε σύγκριση με την ακτινογραφία θώρακος, ενώ ακόμη και μεταξύ των τελειόφοιτων φοιτητών το αντίστοιχο ποσοστό δεν ξεπερνούσε το 60%. Αντίστοιχα, οι McCusker et al. (2009) διαπίστωσαν ότι λιγότερο από το 3% των εκτιμήσεων δόσεων ήταν σωστές, ενώ σχεδόν το 90% των συμμετεχόντων υποεκτίμησε τη δόση της υπολογιστικής τομογραφίας θώρακος, κοιλίας και πυέλου.

Πρόσφατη μελέτη στη Σκωτία ανέδειξε επίσης χαμηλό επίπεδο γνώσεων σχετικά με τις δόσεις ακτινοβολίας και τους κινδύνους της έκθεσης στους συμμετέχοντες, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονταν φοιτητές Ιατρικής και επαγγελματίες που παρέπεμπαν ασθενείς για απεικονιστικές εξετάσεις (Mellis et al., 2024). Επειδή η συγκεκριμένη μελέτη δεν αφορά αποκλειστικά φοιτητές Ιατρικής, τα αποτελέσματά της λειτουργούν συμπληρωματικά και υποδηλώνουν ότι τα σχετικά ελλείμματα γνώσεων μπορεί να συνεχίζονται και κατά την επαγγελματική άσκηση.

Τα παραπάνω ευρήματα επιβεβαιώνονται από νεότερες έρευνες αποκλειστικά σε φοιτητές Ιατρικής. Σε μελέτη 170 φοιτητών κλινικών ετών και ασκούμενων ιατρών στη Σαουδική Αραβία,

η μέση βαθμολογία γνώσεων ακτινοπροστασίας ήταν χαμηλή, ενώ ιδιαίτερα περιορισμένες ήταν οι γνώσεις σχετικά με τις δόσεις συνηθισμένων εξετάσεων, τα επιτρεπόμενα όρια έκθεσης και ορισμένα πρακτικά μέτρα προστασίας (Aljondi et al., 2025). Αντίστοιχα, σε εθνική μελέτη 1.960 φοιτητών Ιατρικής από πέντε πανεπιστήμια της Αιγύπτου, μόνο περίπου το ένα πέμπτο των συμμετεχόντων ταξινομήθηκε ως έχον καλό επίπεδο γνώσεων. Οι χαμηλότερες επιδόσεις καταγράφηκαν στις ερωτήσεις σχετικά με την εξέταση που συνεπάγεται τη μεγαλύτερη δόση και τη δοσιμετρία της επαγγελματικής έκθεσης (Eid et al., 2026).

Συνολικά, τα διαθέσιμα δεδομένα καταδεικνύουν ότι οι φοιτητές Ιατρικής υποεκτιμούν συχνά τη δόση της υπολογιστικής τομογραφίας και παρουσιάζουν περιορισμένη γνώση των σχετικών επιπέδων έκθεσης (Aljondi et al., 2025; Eid et al., 2026; Faggioni et al., 2017; McCusker et al., 2009; O'Sullivan et al., 2010). Η σημασία του ευρήματος αυτού ενισχύεται από το γεγονός ότι η υπολογιστική τομογραφία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές ιατρικής έκθεσης του πληθυσμού σε ιοντίζουσα ακτινοβολία (Mettler et al., 2009).

Παράλληλα, η βιβλιογραφία αναδεικνύει περιορισμένη γνώση σχετικά με τους κινδύνους της έκθεσης σε ιοντίζουσα ακτινοβολία. Στη μελέτη των O'Sullivan et al. (2010), το 30% των φοιτητών δεν αναγνώριζε τη συσχέτιση μεταξύ της υπολογιστικής τομογραφίας και του αυξημένου κινδύνου καρκίνου, ενώ στους φοιτητές των πρώτων ετών το ποσοστό αυτό ήταν ακόμη υψηλότερο. Αντίστοιχα, οι McCusker et al. (2009) διαπίστωσαν ότι μόνο το 68% των συμμετεχόντων γνώριζε ότι η ιοντίζουσα ακτινοβολία συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο κακοήθειας. Η μελέτη των Mellis et al. (2024) ανέδειξε επίσης ελλείψεις γνώσεων σχετικά με τους κινδύνους της ιοντίζουσας ακτινοβολίας στο μικτό δείγμα φοιτητών και επαγγελματιών υγείας.

Σε νεότερες έρευνες, οι φοιτητές παρουσίασαν σχετικά καλύτερες επιδόσεις σε ορισμένες γενικές ερωτήσεις σχετικά με τη συσχέτιση της ακτινοβολίας με τη βλάβη των ιστών ή την καρκινογένεση, αλλά χαμηλότερες επιδόσεις σε πιο εξειδικευμένα και πρακτικά ζητήματα, όπως οι στοχαστικές επιδράσεις, οι σχετικές δόσεις, τα όρια έκθεσης και η εφαρμογή μέτρων ακτινοπροστασίας (Aljondi et al., 2025; Eid et al., 2026). Επομένως, η γενική αναγνώριση ότι η ακτινοβολία μπορεί να είναι επιβλαβής δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκην επαρκή κατανόηση του μεγέθους του κινδύνου ή ικανότητα εφαρμογής της σχετικής γνώσης κατά τη λήψη κλινικών αποφάσεων.

Η αρχή της αιτιολόγησης αποτελεί θεμελιώδη αρχή της ακτινοπροστασίας (Malone et al., 2012; Valentin & International Commission on Radiological Protection, 2007). Η εφαρμογή της προϋποθέτει την αξιολόγηση των αναμενόμενων κλινικών οφελών σε σχέση με τους πιθανούς κινδύνους, καθώς και τη συνεκτίμηση εναλλακτικών εξετάσεων που δεν χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία (European Society of Radiology et al., 2021; Internationale Atomenergie-Organisation, 2011).

Ωστόσο, η πλειονότητα των διαθέσιμων ερευνών σε φοιτητές Ιατρικής αξιολογεί κυρίως τις γνώσεις σχετικά με τις δόσεις ακτινοβολίας, τους κινδύνους της έκθεσης, τα μέτρα προστασίας και τα χαρακτηριστικά των απεικονιστικών εξετάσεων και όχι την κατανόηση της ίδιας της αρχής της αιτιολόγησης (Aljondi et al., 2025; Eid et al., 2026; Faggioni et al., 2017; McCusker et al., 2009; O'Sullivan et al., 2010). Ακόμη και όταν περιλαμβάνονται ερωτήσεις που σχετίζονται έμμεσα με την αιτιολόγηση, όπως η αναγνώριση μη ιοντιζουσών εναλλακτικών μεθόδων ή η εκτίμηση κινδύνου και οφέλους, συνήθως δεν αξιολογείται συνολικά η κατανόηση και η εφαρμογή της αρχής σε συγκεκριμένα κλινικά σενάρια.

Η σημασία του κενού αυτού υποστηρίζεται έμμεσα και από μελέτες σε ήδη ασκούντες ιατρούς. Στο Καμερούν, οι Moifo et al. (2014) αξιολόγησαν τις γνώσεις 151 παραπεμπόντων ιατρών σχετικά με την αιτιολόγηση των απεικονιστικών εξετάσεων. Η γνώση κρίθηκε μη ικανοποιητική για την πλειονότητα των συμμετεχόντων, ενώ μόνο μικρό ποσοστό ήταν σε θέση να ορίσει σωστά την έννοια της αιτιολογημένης εξέτασης. Καταγράφηκαν επίσης λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με τις απεικονιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία και σχετικά με την κατανομή της ευθύνης για την αιτιολόγηση (Moifo et al., 2014). Παρότι η μελέτη δεν αφορά φοιτητές Ιατρικής, τα ευρήματά της δείχνουν ότι η ελλιπής κατανόηση της αιτιολόγησης μπορεί να επιμένει και μετά την αποφοίτηση, επηρεάζοντας τη διαδικασία παραπομπής των ασθενών.

Κατά συνέπεια, η διαθέσιμη βιβλιογραφία επιτρέπει κυρίως την αξιολόγηση επιμέρους γνώσεων που σχετίζονται με την ακτινοπροστασία, ενώ η άμεση διερεύνηση της κατανόησης και της εφαρμογής της αρχής της αιτιολόγησης από τους φοιτητές Ιατρικής παραμένει περιορισμένη και αποτελεί πεδίο που χρήζει περαιτέρω μελέτης.

Τέλος, αρκετές μελέτες έχουν αναδείξει τη θετική επίδραση της εκπαίδευσης στο επίπεδο γνώσεων των φοιτητών. Οι φοιτητές των ανώτερων ετών παρουσιάζουν συχνά καλύτερες επιδόσεις συγκριτικά με τους φοιτητές των πρώτων ετών, πιθανώς λόγω της μεγαλύτερης έκθεσής τους στην κλινική εκπαίδευση και στη διδασκαλία της ακτινολογίας (Eid et al., 2026; O'Sullivan et al., 2010). Παράλληλα, στη μελέτη των Aljondi et al. (2025), όσοι είχαν παρακολουθήσει προηγουμένως σχετική διάλεξη παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερες βαθμολογίες τόσο στην ακτινοπροστασία όσο και στις απεικονιστικές μεθόδους.

Η θετική επίδραση μιας οργανωμένης εκπαιδευτικής παρέμβασης είχε καταγραφεί ήδη στη μελέτη των Hagi και Khafaji (2011), στην οποία συμμετείχαν 253 φοιτητές Ιατρικής τέταρτου έτους. Μετά από τρίωρη διάλεξη σχετικά με την ιοντίζουσα ακτινοβολία και την ακτινοπροστασία, η μέση βαθμολογία αυξήθηκε από 47% σε 78%. Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι ακόμη και μία σύντομη, αλλά στοχευμένη και οργανωμένη, εκπαιδευτική δραστηριότητα μπορεί να διορθώσει λανθασμένες αντιλήψεις και να βελτιώσει σημαντικά τις βασικές γνώσεις των φοιτητών (Hagi & Khafaji, 2011).

Αντίστοιχα, η αποτελεσματικότητα εκπαιδευτικής παρέμβασης επιβεβαιώθηκε πρόσφατα σε 95 φοιτητές Ιατρικής πέμπτου έτους στην Ιαπωνία. Μετά από σύντομη διάλεξη σχετικά με τη βιολογία της ακτινοβολίας, τους σχετικούς κινδύνους, το θεσμικό πλαίσιο και τα προστατευτικά μέτρα, καταγράφηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση στις διαστάσεις της γνώσης και της διαχείρισης της έκθεσης σε ακτινοβολία (Yamauchi et al., 2025). Τα ευρήματα των δύο μελετών, παρά τη χρονική και γεωγραφική τους απόσταση, ενισχύουν την άποψη ότι οι στοχευμένες εκπαιδευτικές παρεμβάσεις μπορούν να βελτιώσουν ουσιαστικά τις γνώσεις των φοιτητών Ιατρικής.

Παρά τη βελτίωση που παρατηρείται με την πρόοδο των σπουδών ή μετά από εκπαιδευτικές παρεμβάσεις, τα καταγεγραμμένα κενά γνώσεων δεν εξαλείφονται πάντοτε πλήρως. Η ανάγκη για δομημένη εκπαίδευση δεν φαίνεται, μάλιστα, να περιορίζεται στους φοιτητές Ιατρικής. Σε πρόσφατη πολυκεντρική έρευνα στην Πολωνία συμμετείχαν 1.161 φοιτητές από προγράμματα Ιατρικής, Νοσηλευτικής, Ακτινολογίας, Φυσικοθεραπείας και Επείγουσας Προνοσοκομειακής Φροντίδας. Η μέση βαθμολογία σωστών απαντήσεων ήταν μόλις 30,1%, ενώ οι χαμηλότερες επιδόσεις καταγράφηκαν στην εκτίμηση των δόσεων ακτινοβολίας (Szarmach et al., 2026). Αν

και η συγκεκριμένη μελέτη δεν αφορά αποκλειστικά φοιτητές Ιατρικής, ενισχύει την άποψη ότι οι εκπαιδευτικές ελλείψεις στην ακτινοπροστασία αποτελούν ευρύτερο ζήτημα στον χώρο των επιστημών υγείας.

Συνολικά, η διεθνής βιβλιογραφία συγκλίνει στο συμπέρασμα ότι οι γνώσεις των φοιτητών Ιατρικής σχετικά με την ιοντίζουσα ακτινοβολία, τις δόσεις των διαγνωστικών εξετάσεων, τους σχετικούς κινδύνους και τις βασικές αρχές της ακτινοπροστασίας παραμένουν ανεπαρκείς ή ανομοιογενείς. Τα διαθέσιμα δεδομένα καταδεικνύουν ότι η εκπαίδευση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το επίπεδο γνώσεων, αλλά υπογραμμίζουν παράλληλα την ανάγκη συστηματικής, πρακτικά προσανατολισμένης και επαναλαμβανόμενης διδασκαλίας καθ' όλη τη διάρκεια των ιατρικών σπουδών. Επιπλέον, παρατηρείται έλλειψη μελετών που να διερευνούν ειδικά την κατανόηση και την πρακτική εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης από τους φοιτητές Ιατρικής. Το κενό αυτό αναδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω έρευνας στον συγκεκριμένο τομέα και τεκμηριώνει τη σκοπιμότητα της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4 Μεθοδολογία

4.1 Σχεδιασμός και δείγμα

Πραγματοποιήθηκε συγχρονική, περιγραφική μελέτη με τη συμμετοχή 138 φοιτητών του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Πατρών από όλα τα έτη σπουδών (1ο έως 6ο έτος). Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω ανώνυμου έντυπου ερωτηματολογίου, το οποίο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από τον ερευνητή ειδικά για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης. Πριν από τη χορήγησή του στο τελικό δείγμα, το ερωτηματολόγιο υποβλήθηκε σε πιλοτική εφαρμογή σε δείγμα 10 ατόμων, διαφορετικό από το δείγμα της κύριας μελέτης, με σκοπό την αξιολόγηση της σαφήνειας, της κατανόησης και της λειτουργικότητάς του, καθώς και την πραγματοποίηση των απαραίτητων βελτιώσεων. Στη συνέχεια, το τελικό ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε εθελοντικά από τους συμμετέχοντες. Η συμμετοχή ήταν ανώνυμη και τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς.

4.2 Εργαλείο μέτρησης

Χρησιμοποιήθηκε δομημένο ερωτηματολόγιο το οποίο περιλάμβανε:

1. **Δημογραφικά στοιχεία** (Q1–Q3): φύλο, ηλικία, έτος σπουδών.
2. **Εκπαιδευτικό ιστορικό** (Q4–Q8): παρακολούθηση μαθήματος Ιατρικής Φυσικής, Εισαγωγής στην Ακτινολογία, Ακτινολογίας, επιπλέον εκπαίδευση στην ακτινοπροστασία και αναζήτηση πληροφοριών από άλλες πηγές.
3. **Ερωτήσεις γνώσεων** (Q9–Q38): συνολικά 30 ερωτήσεις κλειστού τύπου. Η Q13 περιελάμβανε 7 υποερωτήματα (αναγνώριση τεχνικών απεικόνισης που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία). Οι απαντήσεις δίνονταν σε κλίμακα «Σωστό/Λάθος/Δεν γνωρίζω» ή σε πολλαπλές επιλογές.
4. **Ερωτήσεις αυτοαξιολόγησης** (Q39, Q40): βαθμολόγηση των γνώσεων των συμμετεχόντων σε κλίμακα 5 βαθμών (Πολύ κακές – Πολύ καλές).

5. **Ερωτήσεις εκπαιδευτικών αναγκών** (Q41, Q42): επιθυμία για περισσότερη εκπαίδευση.

4.3 Διαδικασία βαθμολόγησης

Η βαθμολόγηση πραγματοποιήθηκε **αυστηρά βάσει των σωστών απαντήσεων** που είχαν προκαθοριστεί. Για κάθε συμμετέχοντα, κάθε απάντηση στις ερωτήσεις Q9–Q38 (συμπεριλαμβανομένων των υποερωτημάτων Q13_1 έως Q13_7) βαθμολογήθηκε ως εξής:

- **1 βαθμός**: όταν η απάντηση του συμμετέχοντα ταυτιζόταν ακριβώς με τη σωστή απάντηση.
- **0 βαθμοί**: για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση (λανθασμένη απάντηση, «Δεν γνωρίζω» ή κενή απάντηση).

Το **συνολικό σκορ** κάθε φοιτητή προέκυψε από το άθροισμα των βαθμών σε όλες τις ερωτήσεις (μέγιστο δυνατό σκορ: 34, καθώς η Q13 μετράει ως 7 επιμέρους ερωτήματα, ενώ οι Q13_4 και Q13_7 έχουν ως σωστή απάντηση το κενό – δηλαδή η μη επιλογή της τεχνικής).

4.4 Στατιστική ανάλυση

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό λογισμικό **R (έκδοση 4.3.1)**, με χρήση των πακέτων readxl, dplyr, ggplot2 και ggpubr. Εφαρμόστηκαν οι εξής μέθοδοι:

- **Περιγραφική στατιστική**: υπολογισμός μέσου όρου, διάμεσου, τυπικής απόκλισης, ελάχιστης και μέγιστης τιμής για το συνολικό σκορ. Παρουσιάστηκαν επίσης πίνακες συχνοτήτων για τα δημογραφικά χαρακτηριστικά και τα ποσοστά ορθότητας ανά ερώτηση.
- **Έλεγχοι σύγκρισης**:
    - Για τη σύγκριση του σκορ μεταξύ **δύο ανεξάρτητων ομάδων** (φύλο, παρακολούθηση μαθημάτων) χρησιμοποιήθηκε το **Mann-Whitney U test** (μη παραμετρικό, λόγω μη κανονικής κατανομής των δεδομένων).

- Για τη σύγκριση μεταξύ **περισσότερων των δύο ομάδων** (έτος σπουδών) εφαρμόστηκε το **Kruskal-Wallis test**, ενώ πραγματοποιήθηκε και σύγκριση μεταξύ Προκλινικών (1ο–4ο έτος) και Κλινικών (5ο–6ο έτος) ετών.

- **Έλεγχος συσχέτισης**: υπολογίστηκε ο **συντελεστής συσχέτισης Spearman (rho)** μεταξύ της αυτοαξιολόγησης των γνώσεων (Q39, Q40) και του συνολικού σκορ, λόγω της ύπαρξης ισοβαθμιών (ties) στις μεταβλητές.

- **Επίπεδο σημαντικότητας**: ορίστηκε σε **α = 0,05**.

5 Αποτελέσματα

5.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά δείγματος

Το δείγμα της μελέτης αποτελείται από **138 φοιτητές Ιατρικής**, με **41 άνδρες (29,7%)** και **97 γυναίκες (70,3%)**. Η κατανομή ανά έτος σπουδών παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Κατανομή δείγματος ανά έτος σπουδών και φύλο

Έτος σπουδών	Άνδρες (N)	Γυναίκες (N)	Σύνολο (N)	Ποσοστό (%)
1ο	14	30	44	31,9
2ο	6	13	19	13,8
3ο	7	15	22	15,9
4ο	4	13	17	12,3
5ο	6	16	22	15,9
6ο	4	10	14	10,1
Σύνολο	**41**	**97**	**138**	**100,0**

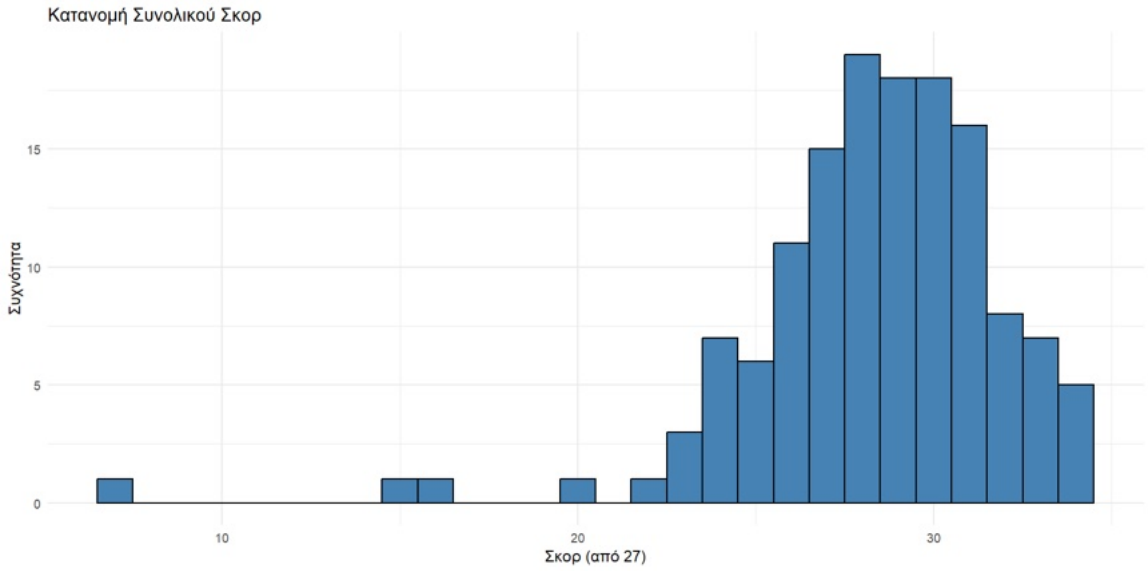
Παρατηρείται υπεροχή των γυναικών σε όλα τα έτη σπουδών, με το 1ο έτος να συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετεχόντων (31,9%), ενώ το 6ο έτος το μικρότερο (10,1%).

5.2 Περιγραφική στατιστική συνολικού σκορ

Ο συνολικός βαθμός γνώσεων κυμάνθηκε από **7 έως 34**, με **μέσο όρο 28,30** (SD = 3,68) και **διάμεσο 29**. Η κατανομή του σκορ απεικονίζεται στο Ιστόγραμμα 1 και παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Περιγραφικά μέτρα συνολικού σκορ γνώσεων (N=138)

Στατιστικό μέτρο	Τιμή
Μέσος όρος	28,30
Διάμεσος	29,00
Τυπική απόκλιση	3,68
Ελάχιστη τιμή	7
Μέγιστη τιμή	34
Εύρος τιμών	27



Σχήμα 1. Κατανομή συνολικού σκορ γνώσεων

(Η κατανομή του συνολικού σκορ εμφάνισε ελαφρά αριστερή ασυμμετρία, καθώς οι περισσότερες τιμές συγκεντρώνονταν σε σκορ μεγαλύτερα των 25 μονάδων, ενώ παρατηρήθηκαν λίγες ακραίες χαμηλές τιμές.)

5.3 Ποσοστά ορθότητας ανά ερώτηση

Η ανάλυση ανά ερώτηση ανέδειξε σημαντικές διακυμάνσεις στις γνώσεις. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται αναλυτικά τα ποσοστά των συμμετεχόντων που απάντησαν σωστά σε κάθε ερώτηση, ταξινομημένα κατά θεματική ενότητα.

Πίνακας 3. Ποσοστά ορθότητας ανά ερώτηση (N=138)

Κωδικός	Θεματική ενότητα / Περιγραφή ερώτησης	% ορθότητας
Α. Βασικές γνώσεις ακτινοβολίας και κινδύνων		
Q9	Η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει καρκινογένεση	94,2
Q10	Όλες οι απεικονιστικές εξετάσεις χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία	92,8
Q11	Η ιατρική απεικόνιση αποτελεί σημαντική πηγή έκθεσης για τον πληθυσμό	**36,2**
Q12	Η επαναλαμβανόμενη έκθεση αυξάνει τον κίνδυνο βιολογικών επιδράσεων	95,7
Β. Αναγνώριση τεχνικών απεικόνισης (Q13)		
Q13_1	Αξονική τομογραφία (CT) – χρησιμοποιεί ιοντίζουσα	94,9
Q13_2	Μαστογραφία – χρησιμοποιεί ιοντίζουσα	99,3
Q13_3	Ακτινοσκόπηση – χρησιμοποιεί ιοντίζουσα	76,8
Q13_4	Μαγνητική τομογραφία (MRI) – ΔΕΝ χρησιμοποιεί ιοντίζουσα	81,9
Q13_5	Σπινθηρογράφημα – χρησιμοποιεί ιοντίζουσα	80,4

Q13_6	Ψηφιακή μαστογραφία – χρησιμοποιεί ιοντίζουσα	58,0
Q13_7	Υπερηχογράφημα – ΔΕΝ χρησιμοποιεί ιοντίζουσα	**34,1**
Γ. Αρχές ακτινοπροστασίας		
Q14	Η CT έχει μεγαλύτερη δόση από ακτινογραφία	79,0
Q15	Η ακτινοπροστασία στοχεύει στη μείωση της έκθεσης	90,6
Q16	Οι νέοι είναι πιο ευαίσθητοι στην ακτινοβολία	48,6
Q17	Η δόση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη	87,7
Q18	Υπάρχουν πάντα εναλλακτικές χωρίς ιοντίζουσα	55,1
Q19	Σε ποιους αφορά η ακτινοπροστασία; (σωστό: όλα τα παραπάνω)	84,8
Q20	Υπάρχουν όρια δόσης για εργαζόμενους	97,8
Q21	Τα ΔΕΑ βοηθούν στον έλεγχο δόσης του προσωπικού (Λάθος)	**14,5**
Q22	Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εγκυμοσύνη	99,3
Q23	Μονάδα απορροφούμενης δόσης (Gray)	72,5
Q24	Η δόση μειώνεται με μείωση χρόνου και αύξηση απόστασης	85,5
Q25	Ο μολύβδινος εξοπλισμός μειώνει τη δόση	96,4
Δ. Αρχή της αιτιολόγησης		
Q26	ALARA και αρχή αιτιολόγησης είναι συνώνυμες (Λάθος)	57,2

Q27	Η αρχή της αιτιολόγησης εφαρμόζεται σε γενικό και ατομικό επίπεδο	81,9
Q28	Σε ποιες εφαρμογές εφαρμόζεται η αιτιολόγηση (σωστό: όλα)	89,1
Q29	Το υπερηχογράφημα εμπίπτει στην αρχή της αιτιολόγησης (Λάθος)	71,0
Q30	Το όφελος πρέπει να υπερτερεί του κινδύνου	94,2
Q31	Εξετάσεις μόνο με σαφή κλινική ένδειξη	92,8
Q32	Πρέπει να εξετάζονται εναλλακτικές χωρίς ακτινοβολία	93,5
Q33	Το ιστορικό βοηθά στην αιτιολόγηση	97,8
Q34	Η επιθυμία του ασθενούς από μόνη της δεν είναι επαρκής λόγος	92,0
Q35	Ο φόβος του ασθενούς δεν αποτρέπει την αιτιολογημένη εξέταση	74,6
Q36	Ο φόβος ιατρικού λάθους αυξάνει τη χρήση εξετάσεων	92,8
Q37	Ευθύνη για εφαρμογή της αιτιολόγησης (σωστό: παραπέμπων ιατρός)	55,8
Q38	Η αρχή της αιτιολόγησης αποτελεί νομική υποχρέωση	81,2

5.4 Κατηγοριοποίηση γνώσεων ανά θεματική ενότητα

Για την καλύτερη αξιολόγηση των γνώσεων, οι ερωτήσεις ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις θεματικές ενότητες. Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα ποσοστά ορθότητας ανά ενότητα.

Πίνακας 4. Μέσα ποσοστά ορθότητας ανά θεματική ενότητα

Θεματική ενότητα	Αριθμός ερωτήσεων	Μέσο % ορθότητας	Εύρος (%)
Α. Βασικές γνώσεις ακτινοβολίας	4	79,7	36,2 – 95,7
Β. Αναγνώριση τεχνικών απεικόνισης	7	75,1	34,1 – 99,3
Γ. Αρχές ακτινοπροστασίας	11	80,1	14,5 – 99,3
Δ. Αρχή της αιτιολόγησης	13	83,3	55,8 – 97,8

5.5 Συγκρίσεις υποομάδων

5.5.1 Σύγκριση ανά φύλο

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στο συνολικό σκορ μεταξύ ανδρών και γυναικών (Mann-Whitney U test, **p = 0,989**). Ο μέσος όρος των ανδρών ήταν 28,0 έναντι 28,42 των γυναικών (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Σύγκριση συνολικού σκορ ανά φύλο

Φύλο	N	Μέσος όρος	SD	Διάμεσος	p-value
Άνδρες	41	28,00	3,84	28	0,989
Γυναίκες	97	28,42	3,63	29	

5.5.2 Σύγκριση μεταξύ προκλινικών και κλινικών ετών

Πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση των φοιτητών σε δύο ομάδες:

- **Ομάδα Α (Προκλινικά έτη)**: Φοιτητές 1ου, 2ου, 3ου και 4ου έτους (N = 102)
- **Ομάδα Β (Κλινικά έτη)**: Φοιτητές 5ου έτους και άνω (5ο, 6ο, >6ο) (N = 36)

Η ομαδοποίηση επιλέχθηκε με κριτήριο στο τμήμα Ιατρικής του Πανεπιστημίου Πατρών η έναρξη της εντονότερης κλινικής έκθεσης των φοιτητών και η ουσιαστική επαφή με ακτινολογικές εξετάσεις είναι το 5ο έτος, γεγονός που αναμένεται να επιδράσει θετικά στις γνώσεις ακτινοπροστασίας.

Πίνακας 6. Κατανομή ανά ομάδα ετών σπουδών

Ομάδα	Έτη σπουδών	N	Ποσοστό (%)
Α (Προκλινικά)	1ο – 4ο	102	73,9
Β (Κλινικά)	5ο – >6ο	36	26,1
Σύνολο		138	100,0

Σύγκριση συνολικού σκορ μεταξύ των δύο ομάδων

Εφαρμόστηκε το **Mann-Whitney U test** για τη σύγκριση των διάμεσων τιμών του συνολικού σκορ μεταξύ των δύο ανεξάρτητων ομάδων, λόγω της μη κανονικής κατανομής των δεδομένων.

Πίνακας 7. Περιγραφικά μέτρα και σύγκριση συνολικού σκορ ανά ομάδα

Ομάδα	N	Μέσος όρος	SD	Διάμεσος	Ελάχιστο	Μέγιστο	p-value
Α (1ο–4ο έτος)	102	28,07	3,84	28	7	34	**0,038**
Β (5ο–>6ο έτος)	36	28,94	3,13	29	22	34	

p = 0,038 (στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας α = 0,05)

Παρατηρείται **στατιστικά σημαντική υπεροχή** των φοιτητών των κλινικών ετών (5ο έτος και άνω) έναντι των προκλινικών ετών, με μέση διαφορά 0,87 μονάδων στο συνολικό σκορ.

Σύγκριση ποσοστών ορθότητας ανά θεματική ενότητα

Για την καλύτερη κατανόηση των διαφορών, αναλύθηκαν τα ποσοστά ορθότητας ανά θεματική ενότητα μεταξύ των δύο ομάδων.

Πίνακας 8. Ποσοστά ορθότητας ανά θεματική ενότητα ανά ομάδα

Θεματική ενότητα	Ομάδα Α (1ο–4ο)	Ομάδα Β (5ο–>6ο)	Διαφορά
Α. Βασικές γνώσεις ακτινοβολίας	78,4%	83,3%	+4,9%
Β. Αναγνώριση τεχνικών απεικόνισης	74,2%	77,8%	+3,6%
Γ. Αρχές ακτινοπροστασίας	79,1%	82,8%	+3,7%
Δ. Αρχή της αιτιολόγησης	82,4%	85,9%	+3,5%

Σε όλες τις θεματικές ενότητες, οι φοιτητές των κλινικών ετών εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά ορθότητας, με τη μεγαλύτερη διαφορά να εντοπίζεται στις βασικές γνώσεις ακτινοβολίας (+4,9%).

Ανάλυση ανά ερώτηση – Σημεία με τη μεγαλύτερη βελτίωση

Πίνακας 9. Ερωτήσεις με τη μεγαλύτερη αύξηση ορθότητας στις κλινικές ομάδες

Ερώτηση	Περιγραφή	Ομάδα Α (%)	Ομάδα Β (%)	Διαφορά
Q11	Η ιατρική απεικόνιση αποτελεί σημαντική πηγή έκθεσης	32,4	47,2	**+14,8%**
Q13_6	Ψηφιακή μαστογραφία – χρησιμοποιεί ιοντίζουσα	54,9	66,7	**+11,8%**
Q16	Οι νέοι είναι πιο ευαίσθητοι στην ακτινοβολία	46,1	55,6	**+9,5%**
Q23	Μονάδα απορροφούμενης δόσης (Gray)	70,6	77,8	**+7,2%**
Q35	Ο φόβος του ασθενούς δεν αποτρέπει την αιτιολογημένη εξέταση	72,5	80,6	**+8,1%**
Q37	Ευθύνη για εφαρμογή της αιτιολόγησης (παραπέμπων ιατρός)	54,9	58,3	**+3,4%**

Q21	Τα ΔΕΑ βοηθούν στον έλεγχο δόσης του προσωπικού (Λάθος)	13,7	16,7	**+3,0%**

Οι μεγαλύτερες βελτιώσεις παρατηρούνται σε ερωτήσεις που απαιτούν κλινική εμπειρία και εξοικείωση με την πράξη (π.χ. Q11, Q13_6, Q16).

Σύγκριση αυτοαξιολόγησης και εκπαιδευτικών αναγκών

Πίνακας 10. Αυτοαξιολόγηση και επιθυμία για εκπαίδευση ανά ομάδα

Μεταβλητή	Ομάδα Α (1ο–4ο)	Ομάδα Β (5ο–>6ο)	p-value
Q39 (Αυτοαξιολόγηση ακτινοπροστασίας)*	3,04 (Μέτριες)	3,44 (Καλές)	**0,004**
Q40 (Αυτοαξιολόγηση αιτιολόγησης)*	2,89 (Μέτριες)	3,19 (Καλές)	**0,042**
Q41 (Επιθυμία εκπαίδευσης ακτινοπροστασίας)	91,2% (ΝΑΙ)	88,9% (ΝΑΙ)	0,754
Q42 (Επιθυμία εκπαίδευσης αιτιολόγησης)	88,2% (ΝΑΙ)	83,3% (ΝΑΙ)	0,547

Οι τιμές αντιστοιχούν σε κλίμακα: 1=Πολύ κακές, 2=Κακές, 3=Μέτριες, 4=Καλές, 5=Πολύ καλές

Οι φοιτητές των κλινικών ετών αξιολογούν σημαντικά υψηλότερα τις γνώσεις τους τόσο στην ακτινοπροστασία (p=0,004) όσο και στην αρχή της αιτιολόγησης (p=0,042). Ωστόσο, η επιθυμία για περισσότερη εκπαίδευση παραμένει υψηλή και στις δύο ομάδες (>83%), υποδεικνύοντας ότι οι φοιτητές αναγνωρίζουν την ανάγκη περαιτέρω κατάρτισης.

5.5.3. Σύγκριση ανά παρακολούθηση μαθημάτων

Δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο συνολικό σκορ μεταξύ όσων είχαν παρακολουθήσει τα μαθήματα Ιατρικής Φυσικής (Q5), Εισαγωγής στην Ακτινολογία (Q6) ή Ακτινολογίας (Q7) και εκείνων που δεν τα είχαν παρακολουθήσει (Πίνακας 11).

Πίνακας 11. Σύγκριση συνολικού σκορ ανά παρακολούθηση μαθημάτων

Ερώτηση	ΝΑΙ (N)	Μέσος όρος	ΟΧΙ (N)	Μέσος όρος	p-value
Q5 (Ιατρική Φυσική)	99	28,37	39	28,10	0,308
Q6 (Εισαγωγή στην Ακτινολογία)	83	28,33	55	28,25	0,935
Q7 (Ακτινολογία)	92	28,38	46	28,13	0,664

5.6 Συσχέτιση αυτοαξιολόγησης με πραγματικό σκορ

Ο συντελεστής Spearman έδειξε **μέτρια θετική συσχέτιση** μεταξύ:

- της αυτοαξιολόγησης των γνώσεων στην **ακτινοπροστασία** (Q39) και του συνολικού σκορ: **rho = 0,396, p < 0,001**.
- της αυτοαξιολόγησης των γνώσεων στην **αρχή της αιτιολόγησης** (Q40) και του συνολικού σκορ: **rho = 0,359, p < 0,001**.

Και οι δύο συσχετίσεις είναι στατιστικά σημαντικές (Πίνακας 12).

Πίνακας 12. Συσχέτιση αυτοαξιολόγησης με συνολικό σκορ (Spearman)

Μεταβλητή	rho	p-value
Q39 (Αυτοαξιολόγηση ακτινοπροστασίας)	0,396	< 0,001
Q40 (Αυτοαξιολόγηση αρχής αιτιολόγησης)	0,359	< 0,001

5.7 Ερωτήσεις με υψηλότερη και χαμηλότερη ορθότητα

Υψηλότερη ορθότητα (>95%) παρουσίασαν οι ερωτήσεις:

- Q13_2 (Μαστογραφία – χρησιμοποιεί ιοντίζουσα): **99,3%**
- Q20 (Υπάρχουν όρια δόσης για εργαζόμενους): **97,8%**
- Q22 (Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εγκυμοσύνη): **99,3%**
- Q33 (Το ιστορικό βοηθά στην αιτιολόγηση): **97,8%**
- Q25 (Ο μολύβδινος εξοπλισμός μειώνει τη δόση): **96,4%**
- Q12 (Η επαναλαμβανόμενη έκθεση αυξάνει τον κίνδυνο): **95,7%**

Χαμηλότερη ορθότητα (<50%) παρουσίασαν οι ερωτήσεις:

- Q21 (Τα ΔΕΑ βοηθούν στον έλεγχο δόσης του προσωπικού): **14,5%**
- Q13_7 (Υπερηχογράφημα – ΔΕΝ χρησιμοποιεί ιοντίζουσα): **34,1%**
- Q11 (Η ιατρική απεικόνιση αποτελεί σημαντική πηγή έκθεσης): **36,2%**
- Q16 (Οι νέοι είναι πιο ευαίσθητοι στην ακτινοβολία): **48,6%**

6 Συζήτηση

6.1 Κύρια ευρήματα της μελέτης

Η παρούσα μελέτη διερεύνησε το επίπεδο γνώσεων 138 φοιτητών Ιατρικής σχετικά με την ιοντίζουσα ακτινοβολία, την ακτινοπροστασία και, ειδικότερα, την αρχή της αιτιολόγησης. Το δείγμα της μελέτης εμφάνισε **υψηλό μέσο όρο σκορ** (28,3/34), γεγονός που υποδηλώνει ότι οι φοιτητές Ιατρικής του Πανεπιστημίου Πατρών διαθέτουν σε γενικές γραμμές επαρκείς βασικές γνώσεις ακτινοπροστασίας. Το εύρημα αυτό είναι ενθαρρυντικό, καθώς υποδηλώνει ότι η βασική εκπαίδευση στις επιστήμες υγείας παρέχει ένα ικανοποιητικό υπόβαθρο.

Η ύπαρξη ακραίων τιμών (ελάχιστο 7) και η σχετικά μικρή τυπική απόκλιση (3,68) υποδηλώνουν ότι η πλειοψηφία βρίσκεται κοντά στο μέσο όρο, με λίγους φοιτητές να παρουσιάζουν σημαντικές ελλείψεις.

Η ανάλυση ανά θεματική ενότητα έδειξε ότι η υψηλότερη μέση επίδοση καταγράφηκε στις ερωτήσεις για την αρχή της αιτιολόγησης (83,3%), ακολουθούμενη από τις αρχές ακτινοπροστασίας (80,1%), τις βασικές γνώσεις ακτινοβολίας (79,7%) και την αναγνώριση των απεικονιστικών τεχνικών (75,1%).

Η συνολική εικόνα της παρούσας μελέτης φαίνεται ευνοϊκότερη από εκείνη αρκετών διεθνών ερευνών, στις οποίες καταγράφηκαν χαμηλές ή μέτριες επιδόσεις. Η σύγκριση, ωστόσο, πρέπει να γίνεται με επιφύλαξη, λόγω των διαφορών στα εργαλεία μέτρησης, στη σύνθεση των δειγμάτων και στον τρόπο υπολογισμού των βαθμολογιών. (Faggioni et al., 2017; Kada, 2017; McCusker et al., 2009; O'Sullivan et al., 2010).

Ωστόσο, η σχετικά υψηλή συνολική επίδοση δεν ήταν ομοιόμορφη σε όλες τις επιμέρους έννοιες. Παρατηρήθηκαν σημαντικά κενά σε συγκεκριμένα ζητήματα, όπως τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς, η αναγνώριση του υπερηχογραφήματος ως μη ιοντίζουσας μεθόδου, η συμβολή της ιατρικής απεικόνισης στην έκθεση του πληθυσμού, η αυξημένη ακτινοευαισθησία των νεότερων ατόμων, η διάκριση της αιτιολόγησης από τη βελτιστοποίηση και η ευθύνη για την εφαρμογή της αιτιολόγησης. Συγκεκριμένα:

Q21 (14,5%) – Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (ΔΕΑ): Μόλις 1 στους 7 φοιτητές γνώριζε ότι τα ΔΕΑ αφορούν τον έλεγχο της δόσης **των ασθενών** και όχι του προσωπικού. Αυτή η σύγχυση είναι ιδιαίτερα ανησυχητική, καθώς τα ΔΕΑ αποτελούν βασικό εργαλείο βελτιστοποίησης στην ακτινολογία και η κατανόησή τους είναι απαραίτητη για την ασφαλή πρακτική.

Q13_7 (34,1%) – Αναγνώριση υπερηχογραφήματος: Η αναγνώριση ότι το υπερηχογράφημα **δεν** χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία βρέθηκε σε πολύ χαμηλό ποσοστό, παρά το γεγονός ότι διδάσκεται από τα πρώτα έτη. Αυτό υποδηλώνει ότι η βασική διάκριση μεταξύ τεχνικών που χρησιμοποιούν και δεν χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία δεν έχει γίνει πλήρως κατανοητή.

Q11 (36,2%) – Συμβολή της ιατρικής απεικόνισης στη συλλογική δόση: Η υποεκτίμηση της συμβολής της ιατρικής απεικόνισης στη συλλογική δόση του πληθυσμού δείχνει έλλειψη επίγνωσης της δημόσιας υγείας διάστασης του θέματος.

Q16 (48,6%) – Ευαισθησία νέων: Η ευαισθησία των νέων στην ακτινοβολία, μια θεμελιώδης αρχή της ακτινοπροστασίας, αγνοείται από τους μισούς φοιτητές.

Q26 (57,2%) – Διάκριση ALARA και αιτιολόγησης: Η διάκριση μεταξύ της αρχής ALARA (βελτιστοποίηση) και της αρχής της αιτιολόγησης είναι συγκεχυμένη, γεγονός που καταδεικνύει εννοιολογικές αδυναμίες. Το εύρημα αυτό συνάδει με άλλες μελέτες, όπου μόνο το 14,78% των φοιτητών αναγνώρισε σωστά την αρχή ALARA.

Q37 (55,8%) – Ευθύνη για την αιτιολόγηση: Η ευθύνη για την αιτιολόγηση αποδίδεται σε μικρό ποσοστό στον παραπέμποντα ιατρό, παρά το γεγονός ότι αυτός είναι ο κύριος υπεύθυνος βάσει της νομοθεσίας.

6.2 Αναγνώριση των απεικονιστικών εξετάσεων

Οι συμμετέχοντες παρουσίασαν υψηλά ποσοστά ορθότητας στην αναγνώριση της υπολογιστικής τομογραφίας, της μαστογραφίας και του σπινθηρογραφήματος ως εξετάσεων που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία. Επίσης, το 81,9% αναγνώρισε σωστά ότι η μαγνητική τομογραφία δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία. Αντίθετα, μόνο το 34,1% απάντησε σωστά ότι το υπερηχογράφημα αποτελεί μη ιοντίζουσα απεικονιστική μέθοδο.

Η αναγνώριση της MRI ως μη ιοντίζουσας μεθόδου ήταν σχετικά υψηλή και ευνοϊκότερη από εκείνη που καταγράφηκε σε αρκετές προηγούμενες μελέτες.Οι O'Sullivan et al. (2010), McCusker et al. (2009) και Hagi και Khafaji (2011) είχαν καταγράψει σημαντική σύγχυση ως προς το εάν η MRI χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία. Ειδικά, στη μελέτη των Hagi και Khafaji, πριν από την εκπαιδευτική παρέμβαση, μόνο το 47% των φοιτητών γνώριζε ότι η MRI δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία.

Αντίστοιχα, στη μελέτη των Aljondi et al. (2025), μόνο το 47% αναγνώρισε σωστά τις απεικονιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούν ακτίνες Χ, παρότι η συνολική επίδοση στην αναγνώριση των μεθόδων ήταν υψηλότερη από την επίδοση στην ακτινοπροστασία.

Αντίθετα, η ιδιαίτερα χαμηλή αναγνώριση του υπερηχογραφήματος ως μη ιοντίζουσας μεθόδου αποκλίνει από τη διεθνή βιβλιογραφία και απαιτεί προσεκτική ερμηνεία, καθώς δεν μπορεί να αποκλειστεί επίδραση της διατύπωσης ή της κωδικοποίησης της συγκεκριμένης ερώτησης.

6.3 Γνώσεις σχετικά με τις δόσεις και τις πηγές έκθεσης

Το 79,0% των συμμετεχόντων αναγνώρισε ότι η υπολογιστική τομογραφία συνεπάγεται μεγαλύτερη δόση από τη συμβατική ακτινογραφία. Το υψηλό ποσοστό αναγνώρισης ότι η CT συνεπάγεται μεγαλύτερη δόση από τη συμβατική ακτινογραφία είναι ευνοϊκό σε σύγκριση με τη διεθνή βιβλιογραφία. Ωστόσο, η παρούσα ερώτηση αξιολογούσε μία γενική ποιοτική σύγκριση και όχι την ικανότητα ποσοτικής εκτίμησης της δόσης. Συνεπώς, το εύρημα δεν αποδεικνύει κατ' ανάγκην επαρκή γνώση των πραγματικών επιπέδων έκθεσης. Οι O'Sullivan et al. (2010) είχαν διαπιστώσει ότι μόνο μικρό ποσοστό των φοιτητών μπορούσε να εκτιμήσει σωστά τη σχετική δόση μιας CT κοιλίας έναντι μιας ακτινογραφίας θώρακος, ενώ οι McCusker et al. (2009) κατέγραψαν συστηματική υποεκτίμηση της δόσης της CT. Παρόμοια προβλήματα παρατηρήθηκαν στις νεότερες μελέτες των Aljondi et al. (2025) και Eid et al. (2026). Στην αιγυπτιακή μελέτη, μόνο το 41,5% απάντησε σωστά σε ερωτήσεις για τις δόσεις κοινών ακτινολογικών εξετάσεων και μόλις το 14,2% αναγνώρισε την εφαρμογή που συνεπάγεται τη μεγαλύτερη έκθεση.

Παρά την καλή επίδοση στη σχετική σύγκριση της CT με την ακτινογραφία, μόνο το 36,2% των συμμετεχόντων αναγνώρισε ότι η ιατρική απεικόνιση αποτελεί σημαντική πηγή έκθεσης του πληθυσμού.

Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι οι φοιτητές ενδέχεται να γνωρίζουν τη σχετική ιεράρχηση της δόσης μεταξύ δύο συγκεκριμένων εξετάσεων, χωρίς να έχουν αντίστοιχη επίγνωση της συνολικής συμβολής των ιατρικών εφαρμογών στη συλλογική έκθεση του πληθυσμού. Η διάκριση είναι σημαντική, διότι η γνώση της δόσης σε επίπεδο μεμονωμένης εξέτασης δεν ταυτίζεται με την κατανόηση της διάστασης της δημόσιας υγείας που έχει η αυξανόμενη χρήση της ιατρικής απεικόνισης.

6.4 Γνώσεις σχετικά με τους κινδύνους και την ακτινοευαισθησία

Οι βασικές γνώσεις για τους κινδύνους της ακτινοβολίας ήταν γενικά υψηλές. Το 94,2% γνώριζε ότι η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει καρκινογένεση και το 95,7% ότι η επαναλαμβανόμενη έκθεση αυξάνει την πιθανότητα βιολογικών επιδράσεων.

Η γενική αναγνώριση της καρκινογόνου δυνατότητας της ιοντίζουσας ακτινοβολίας ήταν υψηλή. Το ποσοστό αυτό ήταν μεγαλύτερο από εκείνο προηγούμενων μελετών (O'Sullivan et al., 2010 και McCusker et al.. 2009), στις οποίες περίπου το 68%–70% αναγνώριζε τη σχέση μεταξύ διαγνωστικής ακτινοβολίας ή CT και αυξημένου κινδύνου κακοήθειας. Ωστόσο, η σύγκριση είναι ενδεικτική καθώς η διατύπωση των ερωτήσεων δεν ήταν ταυτόσημη.

Αντίθετα, μόνο το 48,6% αναγνώρισε ότι τα νεότερα άτομα είναι περισσότερο ευαίσθητα στις επιδράσεις της ακτινοβολίας. Η επίδοση στην αναγνώριση της αυξημένης ακτινοευαισθησίας των νεότερων ατόμων ήταν χαμηλότερη από εκείνη που έχει καταγραφεί σε διεθνείς μελέτες. Οι O'Sullivan et al. (2010), Eid et al. (2026) και Szarmach et al. (2026) ανέφεραν ποσοστά περίπου 70%–80% για την αναγνώριση των παιδιών ως περισσότερο ευαίσθητης ομάδας. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι η μελέτη των Szarmach et al. (2026) είναι μελέτη φοιτητών διαφορετικών επιστημών υγείας και όχι αποκλειστικά φοιτητών Ιατρικής

Επομένως, οι συμμετέχοντες φαίνεται να κατανοούν σε γενικό επίπεδο ότι η ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει βλάβη, αλλά δεν γνωρίζουν πάντοτε τους παράγοντες που τροποποιούν το μέγεθος του κινδύνου. Το εύρημα παρουσιάζει ιδιαίτερη κλινική σημασία, καθώς η ηλικία επηρεάζει τόσο την ακτινοευαισθησία όσο και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να εκδηλωθεί μία στοχαστική επίδραση.

Η μελέτη των Szarmach et al. (2026), σε ευρύτερο δείγμα φοιτητών επιστημών υγείας, κατέγραψε ότι το 70,2% αναγνώριζε τα παιδιά ως την περισσότερο ευαίσθητη ηλικιακή ομάδα, ενώ το 26,2% θεωρούσε λανθασμένα ότι η ηλικία δεν επηρεάζει τον κίνδυνο.

Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα αυτά, η επίδοση της παρούσας μελέτης στην ακτινοευαισθησία των νέων ήταν χαμηλότερη και εντοπίζει σαφή ανάγκη εκπαιδευτικής ενίσχυσης.

6.5 Γνώσεις των αρχών ακτινοπροστασίας

Το μέσο ποσοστό ορθότητας στην ενότητα των αρχών ακτινοπροστασίας ήταν 80,1%. Υψηλές επιδόσεις παρατηρήθηκαν στην αναγνώριση του σκοπού της ακτινοπροστασίας, στην αρχή της διατήρησης της δόσης όσο το δυνατόν χαμηλότερης, στη σημασία της εγκυμοσύνης, στη χρήση χρόνου και απόστασης και στη χρήση μολύβδινου προστατευτικού εξοπλισμού.

Τα ευρήματα αυτά είναι καλύτερα από τη μέση επίδοση 43% στην ακτινοπροστασία που αναφέρθηκε από τους Aljondi et al. (2025). Στη συγκεκριμένη μελέτη, οι συμμετέχοντες εμφάνισαν ιδιαίτερα χαμηλές γνώσεις σχετικά με τις στοχαστικές επιδράσεις, τα όρια δόσης και τη δόση της ακτινογραφίας θώρακος.

Παρομοίως, η πολυκεντρική μελέτη των Szarmach et al. (2026) κατέγραψε συνολική μέση επίδοση 30,1% μεταξύ φοιτητών διαφορετικών επιστημών υγείας, με τις χαμηλότερες επιδόσεις στην εκτίμηση των δόσεων.

Ωστόσο, η σύγκριση πρέπει να θεωρηθεί περιγραφική και όχι άμεσα ποσοτική, λόγω των διαφορετικών εργαλείων και πληθυσμών.

Παρά τη θετική συνολική εικόνα, μόνο το 14,5% απάντησε σωστά στην ερώτηση σχετικά με τον ρόλο των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς. Το αποτέλεσμα δείχνει εκτεταμένη σύγχυση ανάμεσα στην προστασία του ασθενούς και την επαγγελματική ακτινοπροστασία. Τα ΔΕΑ χρησιμοποιούνται ως εργαλείο βελτιστοποίησης της έκθεσης των ασθενών σε διαγνωστικές και επεμβατικές πράξεις και δεν αποτελούν όρια δόσης ούτε μηχανισμό παρακολούθησης της επαγγελματικής έκθεσης. Η ιδιαίτερα χαμηλή επίδοση υποδηλώνει ότι οι φοιτητές γνωρίζουν καλύτερα τα παραδοσιακά μέτρα προστασίας, όπως η απόσταση και η θωράκιση, παρά τα σύγχρονα εργαλεία διαχείρισης της δόσης και διασφάλισης της ποιότητας.

6.6 Κατανόηση της αρχής της αιτιολόγησης

Η ενότητα της αιτιολόγησης παρουσίασε το υψηλότερο μέσο ποσοστό ορθότητας, 83,3%. Η πλειονότητα των συμμετεχόντων αναγνώρισε ότι το αναμενόμενο όφελος πρέπει να υπερτερεί του κινδύνου, ότι μία εξέταση πρέπει να έχει σαφή κλινική ένδειξη, ότι πρέπει να εξετάζονται διαθέσιμες εναλλακτικές χωρίς ιοντίζουσα ακτινοβολία και ότι το ιστορικό του ασθενούς αποτελεί απαραίτητο στοιχείο της διαδικασίας.

Το εύρημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό, επειδή η διεθνής βιβλιογραφία σε φοιτητές Ιατρικής επικεντρώνεται κυρίως στις δόσεις, στους κινδύνους και στην αναγνώριση των απεικονιστικών τεχνικών και λιγότερο στην άμεση αξιολόγηση της αιτιολόγησης. Επομένως, η παρούσα μελέτη προσφέρει στοιχεία σε έναν τομέα που έχει διερευνηθεί περιορισμένα.

Ωστόσο, η καλή επίδοση στις πρακτικές συνιστώσες της αιτιολόγησης συνυπήρξε με εννοιολογικές αδυναμίες. Μόνο το 57,2% διέκρινε σωστά την αρχή της αιτιολόγησης από την αρχή ALARA, ενώ μόλις το 55,8% αναγνώρισε σωστά την κύρια ευθύνη του παραπέμποντος ιατρού.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι φοιτητές κατανοούν σε μεγάλο βαθμό τι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πριν από μία εξέταση, αλλά δυσκολεύονται περισσότερο να εντάξουν αυτές τις επιμέρους ενέργειες στο θεωρητικό και θεσμικό πλαίσιο του συστήματος ακτινοπροστασίας.

Η διάκριση αιτιολόγησης και βελτιστοποίησης είναι κρίσιμη. Η αιτιολόγηση αφορά την απόφαση εάν πρέπει να πραγματοποιηθεί η εξέταση, ενώ η βελτιστοποίηση αφορά τον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί με την αναγκαία ποιότητα και τη μικρότερη εύλογα εφικτή έκθεση. Η σύγχυση μεταξύ των δύο εννοιών μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένη αντίληψη ότι μία τεχνικά βελτιστοποιημένη εξέταση είναι αυτομάτως και κλινικά αιτιολογημένη.

Τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν έμμεσα με τη μελέτη των Moifo et al. (2014), η οποία αφορούσε 151 παραπέμποντες ιατρούς. Στη συγκεκριμένη έρευνα, το 79,5% παρουσίασε μη ικανοποιητική γνώση της αιτιολόγησης και μόνο το 9,3% όρισε σωστά την έννοια της αιτιολογημένης εξέτασης.

Παρότι οι πληθυσμοί και τα εργαλεία αξιολόγησης διαφέρουν και δεν επιτρέπεται άμεση ποσοτική σύγκριση, η παρούσα μελέτη παρουσιάζει σαφώς ευνοϊκότερη εικόνα ως προς τις βασικές προϋποθέσεις της αιτιολόγησης. Η χαμηλή, όμως, επίδοση στην ευθύνη του παραπέμποντος ιατρού συμφωνεί με την ευρύτερη αβεβαιότητα που είχε καταγραφεί στη μελέτη των Moifo et al. σχετικά με την κατανομή των αρμοδιοτήτων.

6.7 Διαφορές μεταξύ προκλινικών και κλινικών ετών

Οι φοιτητές των κλινικών ετών παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερο συνολικό σκορ σε σχέση με τους φοιτητές των προκλινικών ετών (28,94 έναντι 28,07, p = 0,038). Η απόλυτη διαφορά ήταν σχετικά μικρή, 0,87 μονάδες, αλλά η κατεύθυνση της διαφοράς ήταν σταθερή σε όλες τις θεματικές ενότητες.

Οι φοιτητές των κλινικών ετών είχαν καλύτερες επιδόσεις στις βασικές γνώσεις ακτινοβολίας, στην αναγνώριση των τεχνικών, στις αρχές ακτινοπροστασίας και στην αιτιολόγηση, με διαφορές 3,5–4,9 ποσοστιαίων μονάδων.

Η υψηλότερη επίδοση των φοιτητών των κλινικών ετών συμφωνεί με τα ευρήματα των O'Sullivan et al. (2010), McCusker et al. (2009), Aljondi et al. (2025) και Eid et al. (2026), τα οποία δείχνουν γενικά βελτίωση ορισμένων γνώσεων με την πρόοδο των σπουδών ή τη μετάβαση στο κλινικό περιβάλλον. Ωστόσο, η βελτίωση δεν ήταν ομοιόμορφη σε όλες τις θεματικές ενότητες. Στην αιγυπτιακή μελέτη, οι φοιτητές του πέμπτου έτους είχαν σαφώς μεγαλύτερη πιθανότητα να καταταχθούν στην κατηγορία καλών γνώσεων από τους πρωτοετείς.

Η διαφορά μπορεί να συνδέεται με τη μεγαλύτερη επαφή των κλινικών φοιτητών με πραγματικές παραπομπές, εξετάσεις και θεραπευτικές αποφάσεις. Ωστόσο, λόγω του συγχρονικού σχεδιασμού της έρευνας δεν μπορεί να αποδοθεί αιτιωδώς η καλύτερη επίδοση αποκλειστικά στην κλινική εκπαίδευση. Οι δύο ομάδες διαφέρουν ενδεχομένως και ως προς άλλα χαρακτηριστικά, όπως η ηλικία, η προηγούμενη προσωπική μελέτη ή η έκθεση σε διαφορετικά μαθήματα.

Επιπλέον, η κλινική εμπειρία δεν εξάλειψε τα σημαντικότερα κενά. Στους φοιτητές των κλινικών ετών η επίδοση παρέμεινε πολύ χαμηλή στα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς και στην αναγνώριση του υπερηχογραφήματος.

Επομένως, η κλινική έκθεση φαίνεται να βελτιώνει τη συνολική εξοικείωση, αλλά δεν υποκαθιστά τη συστηματική και στοχευμένη διδασκαλία.

6.8 Επίδραση της παρακολούθησης μαθημάτων και εκπαιδευτικές ανάγκες

Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο συνολικό σκορ ανάλογα με τη δηλωθείσα παρακολούθηση Ιατρικής Φυσικής, Εισαγωγής στην Ακτινολογία ή Ακτινολογίας.

Το εύρημα δεν σημαίνει απαραίτητα ότι τα μαθήματα δεν είναι αποτελεσματικά. Η μεταβλητή αποτύπωνε μόνο εάν το μάθημα είχε παρακολουθηθεί και όχι τη διάρκειά του, το περιεχόμενο, τη χρονική απόσταση από τη διδασκαλία, την ενεργό συμμετοχή ή την επίδοση του φοιτητή. Επιπλέον, η σχετική διδασκαλία μπορεί να διαχέεται σε διαφορετικά μαθήματα, χωρίς να αποτελεί διακριτή και επαναλαμβανόμενη ενότητα. Επίσης, η ύλη μπορεί να μην εστιάζει επαρκώς σε πρακτικές εφαρμογές της ακτινοπροστασίας, καθώς κι οι φοιτητές μπορεί να μην αντιλαμβάνονται τη σημασία του θέματος ή να μην το συνδέουν με τη μελλοντική κλινική πράξη.

Η διεθνής βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι οι στοχευμένες παρεμβάσεις μπορούν να βελτιώσουν τις γνώσεις. Οι Hagi και Khafaji (2011) κατέγραψαν αύξηση της μέσης βαθμολογίας από 47% σε 78% μετά από τρίωρη διάλεξη σε φοιτητές Ιατρικής.

Παρομοίως, οι Yamauchi et al. (2025) διαπίστωσαν σημαντική βελτίωση της γνώσης και της διαχείρισης της έκθεσης μετά από εικοσάλεπτη εκπαιδευτική παρέμβαση σε φοιτητές πέμπτου έτους.

Στη μελέτη των Aljondi et al. (2025), όσοι είχαν παρακολουθήσει προηγουμένως σχετική διάλεξη παρουσίασαν επίσης υψηλότερες επιδόσεις.

Τα παραπάνω υποδηλώνουν ότι η απλή καταγραφή της παρακολούθησης ενός γενικού μαθήματος δεν είναι ισοδύναμη με την αξιολόγηση μιας ειδικά σχεδιασμένης εκπαιδευτικής παρέμβασης. Η αποτελεσματικότητα πιθανόν εξαρτάται από την έμφαση σε κλινικά σενάρια, τη σύνδεση κινδύνου και οφέλους, την επανάληψη της ύλης και την άμεση αξιολόγηση πριν και μετά τη διδασκαλία.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι η επιθυμία για περαιτέρω εκπαίδευση παρέμεινε υψηλή τόσο στα προκλινικά όσο και στα κλινικά έτη. Περισσότερο από το 83% των συμμετεχόντων και στις δύο ομάδες επιθυμούσε πρόσθετη εκπαίδευση στην ακτινοπροστασία και στην αιτιολόγηση.

Το εύρημα δείχνει ότι ακόμη και οι φοιτητές με σχετικά καλές αντικειμενικές επιδόσεις αναγνωρίζουν την ανάγκη περαιτέρω κατάρτισης.

6.9 Φύλο και αυτοαξιολόγηση των γνώσεων

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στο συνολικό σκορ μεταξύ ανδρών και γυναικών (p = 0,989).

Το αποτέλεσμα υποδηλώνει ότι το φύλο δεν αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα διαφοροποίησης των γνώσεων στο συγκεκριμένο δείγμα.

Η απουσία στατιστικά σημαντικής διαφοράς ανά φύλο συμφωνεί με τη Yamauchi et al. (2025). Στη μελέτη των Hagi και Khafaji (2011) παρατηρήθηκαν αριθμητικές διαφορές στις αρχικές βαθμολογίες και στο μέγεθος της βελτίωσης, αλλά οι διαφορές μεταξύ ανδρών και γυναικών δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

6.10 Συσχέτιση αυτοαξιολόγησης και πραγματικών γνώσεων

Η σημαντική θετική συσχέτιση (rho ≈ 0,36–0,40) δείχνει ότι οι φοιτητές έχουν μια **μέτρια ακριβή αντίληψη των γνώσεών τους**. Παρόλο που η συσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική, δεν είναι απόλυτη, γεγονός που σημαίνει ότι υπάρχουν φοιτητές που υπερεκτιμούν ή υποεκτιμούν τις ικανότητές τους. Η ισχυρότερη συσχέτιση για την ακτινοπροστασία (rho=0,396) έναντι της αρχής της αιτιολόγησης (rho=0,359) πιθανώς αντανακλά την εξοικείωση των φοιτητών με τον γενικότερο όρο, ο οποίος είναι πιο οικείος.

Η μέτρια θετική συσχέτιση μεταξύ αυτοαξιολόγησης και αντικειμενικού σκορ συμφωνεί με τη μελέτη της Kada (2017), στην οποία καταγράφηκε επίσης μέτρια θετική συσχέτιση μεταξύ αυτοπεποίθησης και γνώσεων για τις δόσεις και τους κινδύνους της ακτινοβολίας (rho = 0,301, p = 0,002).

6.11 Εκπαιδευτικές και κλινικές προεκτάσεις

Τα αποτελέσματα της μελέτης υποστηρίζουν την ανάγκη ενσωμάτωσης ενός περισσότερο δομημένου και κλινικά προσανατολισμένου προγράμματος ακτινοπροστασίας στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών. Η εκπαίδευση δεν θα πρέπει να περιορίζεται στη γενική αναφορά των κινδύνων, αλλά να περιλαμβάνει:

1. **Ενίσχυσης της διδασκαλίας** της ακτινοπροστασίας και της αρχής της αιτιολόγησης, ιδιαίτερα σε κλινικά μαθήματα όπου οι φοιτητές έρχονται σε επαφή με πραγματικές παραπομπές.
2. **Έμφασης σε έννοιες που αποδείχθηκαν αδύναμες** (π.χ. ΔΕΑ, υπερηχογράφημα, ευθύνη ιατρού, διάκριση ALARA από αιτιολόγηση).
3. **Χρήσης κλινικών σεναρίων** για την κατανόηση της εφαρμογής της αιτιολόγησης στην πράξη.
4. **Ενσωμάτωσης της εκπαίδευσης στην ακτινοπροστασία νωρίς στο πρόγραμμα σπουδών**, με διαδραστικές μεθόδους και πρακτική άσκηση.
5. **Περιοδικής αξιολόγησης** των γνώσεων των φοιτητών με ερωτηματολόγια ανάλογα με αυτό της μελέτης, ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα τα κενά.
6. **Ανάπτυξης εκπαιδευτικών παρεμβάσεων**, καθώς έχει αποδειχθεί ότι ακόμη και σύντομες διαλέξεις μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τις γνώσεις.

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην πρακτική εφαρμογή της αιτιολόγησης. Οι φοιτητές φαίνεται να γνωρίζουν ότι το όφελος πρέπει να υπερτερεί του κινδύνου, αλλά λιγότεροι αναγνωρίζουν ποιος φέρει την ευθύνη και πώς διαφοροποιείται η αιτιολόγηση από την εφαρμογή της αρχής ALARA. Η χρήση σύντομων κλινικών περιστατικών, εργαλείων υποστήριξης παραπομπών και ασκήσεων επιλογής μεταξύ CT, MRI και υπερηχογραφήματος θα μπορούσε να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ θεωρητικής γνώσης και κλινικής απόφασης.

6.12 Περιορισμοί της μελέτης

Η μελέτη παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Αρχικά, η παρακολούθηση των σχετικών μαθημάτων βασίστηκε στην αυτοαναφορά των φοιτητών, χωρίς επιβεβαίωση από τα επίσημα αρχεία της σχολής, γεγονός που ενδέχεται να έχει οδηγήσει σε σφάλματα αναφοράς. Επιπλέον, το δείγμα ήταν δείγμα ευκολίας, καθώς η συμμετοχή ήταν εθελοντική, με αποτέλεσμα να είναι πιθανή η μεροληψία επιλογής υπέρ φοιτητών που είχαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον ή ευαισθητοποίηση σχετικά με την

ακτινοπροστασία. Παράλληλα, η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε μία μόνο Ιατρική Σχολή, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των ευρημάτων στο σύνολο των φοιτητών Ιατρικής της Ελλάδας. Τέλος, η μελέτη βασίστηκε αποκλειστικά σε ποσοτικά δεδομένα μέσω δομημένου ερωτηματολογίου, χωρίς τη χρήση ποιοτικών μεθόδων που θα μπορούσαν να διερευνήσουν σε μεγαλύτερο βάθος τους λόγους που οδηγούν στα παρατηρούμενα γνωσιακά κενά και στις στάσεις των φοιτητών απέναντι στην ακτινοπροστασία.

7 Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε μία συνολικά θετική αλλά ανομοιογενή εικόνα των γνώσεων των φοιτητών Ιατρικής σχετικά με την ακτινοπροστασία και, ειδικότερα, την αρχή της αιτιολόγησης. Οι συμμετέχοντες παρουσίασαν υψηλή επίδοση σε βασικές έννοιες που αφορούν τους κινδύνους της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, στα θεμελιώδη μέτρα ακτινοπροστασίας και στις βασικές αρχές της αιτιολόγησης. Σε αρκετούς επιμέρους τομείς, όπως η αναγνώριση της μαγνητικής τομογραφίας ως μη ιοντίζουσας απεικονιστικής μεθόδου, η αναγνώριση ότι η αξονική τομογραφία συνεπάγεται μεγαλύτερη έκθεση σε ακτινοβολία σε σχέση με τη συμβατική ακτινογραφία και η κατανόηση βασικών παραμέτρων της αιτιολόγησης, τα αποτελέσματα ήταν ευνοϊκά σε σχέση με αρκετές αντίστοιχες διεθνείς μελέτες. Ωστόσο, οι συγκρίσεις αυτές θα πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή, καθώς οι διαθέσιμες μελέτες χρησιμοποιούν διαφορετικά ερωτηματολόγια, συστήματα βαθμολόγησης και πληθυσμούς αναφοράς.

Παράλληλα, εντοπίστηκαν σημαντικά γνωσιακά κενά σε κρίσιμα ζητήματα, όπως τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (DRLs), η αναγνώριση του υπερηχογραφήματος ως μη ιοντίζουσας μεθόδου, η αυξημένη ακτινοευαισθησία των νεότερων ηλικιών, η συμβολή της ιατρικής απεικόνισης στη συλλογική έκθεση του πληθυσμού, η διάκριση μεταξύ της αρχής της αιτιολόγησης και της αρχής της βελτιστοποίησης (ALARA), καθώς και η κατανόηση των επαγγελματικών αρμοδιοτήτων που σχετίζονται με τη διαδικασία της αιτιολόγησης.

Η καλύτερη επίδοση των φοιτητών των κλινικών ετών υποδηλώνει ότι η κλινική εκπαίδευση συμβάλλει στη βελτίωση των γνώσεων, χωρίς όμως να εξαλείφει πλήρως τις ελλείψεις. Επιπλέον, η απουσία σημαντικής διαφοράς μεταξύ φοιτητών που είχαν ή δεν είχαν παρακολουθήσει σχετικά μαθήματα υποδηλώνει ότι η υφιστάμενη θεωρητική διδασκαλία ενδέχεται να μην επαρκεί για την

ουσιαστική εμπέδωση των αρχών της ακτινοπροστασίας και της αιτιολόγησης. Η θετική συσχέτιση μεταξύ αυτοαξιολόγησης και πραγματικών γνώσεων δείχνει ότι οι φοιτητές διαθέτουν σχετικά ρεαλιστική αντίληψη του επιπέδου των γνώσεών τους.

Συνολικά, τα ευρήματα της μελέτης υποστηρίζουν την ανάγκη ενίσχυσης της προπτυχιακής εκπαίδευσης στην ακτινοπροστασία μέσω συστηματικής, επαναλαμβανόμενης και περισσότερο κλινικά προσανατολισμένης διδασκαλίας, με ιδιαίτερη έμφαση στην αρχή της αιτιολόγησης και στην ορθολογική χρήση των απεικονιστικών εξετάσεων. Το υψηλό ποσοστό των φοιτητών που εξέφρασαν επιθυμία για πρόσθετη εκπαίδευση αποτελεί ιδιαίτερα ενθαρρυντικό εύρημα και δημιουργεί ευνοϊκές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη και εφαρμογή στοχευμένων εκπαιδευτικών παρεμβάσεων.

8 Μελλοντικά Βήματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης αναδεικνύουν την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης των γνώσεων των φοιτητών Ιατρικής σχετικά με την ακτινοπροστασία και την αρχή της αιτιολόγησης. Μελλοντικές έρευνες θα ήταν χρήσιμο να πραγματοποιηθούν σε μεγαλύτερο και πολυκεντρικό δείγμα, με τη συμμετοχή φοιτητών από περισσότερες Ιατρικές Σχολές της Ελλάδας, ώστε να ενισχυθεί η δυνατότητα γενίκευσης των ευρημάτων και να διερευνηθούν πιθανές διαφοροποιήσεις μεταξύ των εκπαιδευτικών προγραμμάτων.

Παράλληλα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πραγματοποίηση διαχρονικών μελετών, οι οποίες θα παρακολουθούν την εξέλιξη των γνώσεων των ίδιων φοιτητών κατά τη διάρκεια της φοίτησής τους, επιτρέποντας την εκτίμηση της επίδρασης της θεωρητικής και της κλινικής εκπαίδευσης στην ανάπτυξη των σχετικών γνώσεων και δεξιοτήτων.

Επιπλέον, κρίνεται σκόπιμη η αξιολόγηση στοχευμένων εκπαιδευτικών παρεμβάσεων, όπως διαλέξεις, βιωματικά εργαστήρια, προσομοιώσεις κλινικών περιστατικών, ηλεκτρονικές εκπαιδευτικές πλατφόρμες (e-learning) και εκπαίδευση βασισμένη στις κατευθυντήριες οδηγίες παραπομπής απεικονιστικών εξετάσεων, προκειμένου να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητά τους στη βελτίωση των γνώσεων και στην ορθή εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης στην κλινική πράξη.

Παράλληλα, η αξιοποίηση ποιοτικών ερευνητικών μεθόδων, όπως ημιδομημένες συνεντεύξεις ή ομάδες εστίασης (focus groups), θα μπορούσε να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση των παραγόντων που οδηγούν στις παρατηρούμενες γνωσιακές ελλείψεις και να υποστηρίξει τον σχεδιασμό αποτελεσματικότερων εκπαιδευτικών προγραμμάτων.

Τέλος, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η ανάπτυξη και η ψυχομετρική επικύρωση ενός εξειδικευμένου ερωτηματολογίου που να αξιολογεί συστηματικά την κατανόηση και την εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης στην ιατρική πράξη. Παρότι η διεθνής βιβλιογραφία περιλαμβάνει αρκετά εργαλεία αξιολόγησης των γνώσεων σχετικά με τις δόσεις ακτινοβολίας και τους κινδύνους της έκθεσης, τα διαθέσιμα ερωτηματολόγια που εστιάζουν αποκλειστικά στην αρχή της αιτιολόγησης παραμένουν περιορισμένα. Η ανάπτυξη ενός τέτοιου εργαλείου θα μπορούσε να διευκολύνει τη σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και να υποστηρίξει την αξιολόγηση εκπαιδευτικών παρεμβάσεων στο μέλλον.

9. Βιβλιογραφία

Aljondi, R., Alem, R., Aljondi, R., Tajaldeen, A., Alghamdi, S. S., & Toras, M. M. (2025a). Assessments of Medical Student's Knowledge About Radiation Protection and Different Imaging Modalities in Jeddah, Saudi Arabia. *International Journal of Biomedical Imaging*, *2025*(1), 1528291. https://doi.org/10.1155/ijbi/1528291

Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2021). *The essential physics of medical imaging* (4th edition). Wolters Kluwer.

Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012a). *Physics in nuclear medicine* (4th ed). Elsevier/Saunders.

Clement, C. H., & Ogino, H. (n.d.). *Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging*.

Eid, A. M., Gewili, A., Talkhan, A., Kamal, A. M., Kamel, B., M, K., Maarouf, A. H., Orabi, N. W., Hamed, A. M. A., Idris, Y. I. M., Ali, M. H. A. M., & El-Gilany, A.-H. (2026). *Medical Students' Knowledge and Awareness of Ionizing Radiation and Radiation Protection in Egypt: A National Cross-Sectional Study*. In Review. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-9602582/v1

European Society of Radiology, Ebdon-Jackson, S., & Frija, G. (2021). Improving justification of medical exposures using ionising radiation: Considerations and approaches from the European Society of Radiology. *Insights into Imaging*, *12*(1), 2. https://doi.org/10.1186/s13244-020-00940-0

Faggioni, L., Paolicchi, F., Bastiani, L., Guido, D., & Caramella, D. (2017). Awareness of radiation protection and dose levels of imaging procedures among medical students, radiography students, and radiology residents at an academic hospital: Results of a comprehensive survey. *European Journal of Radiology*, *86*, 135–142. https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.10.033

Hagi, S. K., & Khafaji, M. A. (2011). *Medical students' knowledge of ionizing radiation and radiation protection*. *Saudi Medical Journal, 32*(5), 179–183.

Hashemi, R. H., Bradley, W. G., & Lisanti, C. J. (2004). *MRI, the basics* (2. ed). Lippincott Williams & Wilkins.

IAEA (with Bailey, D. L.). (2015). *Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students*. IAEA.

Internationale Atomenergie-Organisation. (2011). *Justification of medical exposure in diagnostic imaging: Proceedings of an international workshop on justification of medical exposure in diagnostic imaging, held in Brussels, 2 - 4 September 2009*. Internat. Atomic Energy Agency. International Workshop on Justification of Medical Exposure in Diagnostic Imaging.

Kada, S. (2017). Awareness and knowledge of radiation dose and associated risks among final year medical students in Norway. *Insights into Imaging*, *8*(6), 599–605. https://doi.org/10.1007/s13244-017-0569-y

Klein, J. S., & Mellnick, V. (Eds.). (2025). *Brant and Helm's fundamentals of diagnostic radiology* (6th edition). Wolters Kluwer.

Kopans, D. B. (2007). *Breast imaging* (3rd ed). Lippincott Williams & Wilkins.

Malone, J., Guleria, R., Craven, C., Horton, P., Järvinen, H., Mayo, J., O'reilly, G., Picano, E., Remedios, D., Le Heron, J., Rehani, M., Holmberg, O., & Czarwinski, R. (2012). Justification of diagnostic medical exposures: Some practical issues. Report of an International Atomic Energy Agency Consultation. *The British Journal of Radiology*, *85*(1013), 523–538. https://doi.org/10.1259/bjr/42893576

McCusker, M. W., De Blacam, C., Keogan, M., McDermott, R., & Beddy, P. (2009). Survey of medical students and junior house doctors on the effects of medical radiation: Is medical education deficient? *Irish Journal of Medical Science*, *178*(4), 479–483. https://doi.org/10.1007/s11845-009-0341-5

Mellis, S., Zhang, Y., & McAteer, D. (2024). Awareness of radiation risks by medical students & referrers requesting radiological examinations in the North of Scotland: An audit. *BMC Medical Education*, *24*(1), 830. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05461-8

Mettler, F. A., Bhargavan, M., Faulkner, K., Gilley, D. B., Gray, J. E., Ibbott, G. S., Lipoti, J. A., Mahesh, M., McCrohan, J. L., Stabin, M. G., Thomadsen, B. R., & Yoshizumi, T. T. (2009). Radiologic and Nuclear Medicine Studies in the United States and Worldwide: Frequency, Radiation Dose, and Comparison with Other Radiation Sources—1950–2007. *Radiology*, *253*(2), 520–531. https://doi.org/10.1148/radiol.2532082010

Moifo, B., Edzimbi, A. L., Tebere, H., Tambe, J., Samba, R. N., & Fotsin, J. G. (2014). Referring Physicians' Knowledge on Justification of Medical Exposure in Diagnostic Imaging in a Sub-Saharan African Country, Cameroon. *Open Journal of Radiology*, *04*(01), 60–68. https://doi.org/10.4236/ojrad.2014.41008

O'Sullivan, J., O'Connor, O. J., O'Regan, K., Clarke, B., Burgoyne, L. N., Ryan, M. F., & Maher, M. M. (2010). An assessment of medical students' awareness of radiation exposures associated with diagnostic imaging investigations. *Insights into Imaging*, *1*(2), 86–92. https://doi.org/10.1007/s13244-010-0009-8

Podgoršak, E. B. & International Atomic Energy Agency (Eds.). (2005). *Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students*. International Atomic Energy Agency.

Referral guidelines for imaging. (n.d.).

Szarmach, A., Waśkow, M., Glowinski, S., Gać, P., Poręba, R., Rypicz, Ł., Piskunowicz, M., Zoch, M., Michalak, K. M., Szurowska, E., Ramanowski, A., & Wszędybył-Winklewska, M. (2026). Who will keep patients safe? The largest multi-centre survey of healthcare students exposes critical gaps in radiation safety education. *BMC Medical Education*. https://doi.org/10.1186/s12909-026-09531-x

Valentin, J. & International Commission on Radiological Protection (Eds.). (2007). *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Elsevier.

Valentin, J. & International Commission on Radiological Protection (Eds.). (2008). *Radiological protection in medicine*. Elsevier.

Yamauchi, S., Kido, K., Taiji, R., Ochi, T., Yoneima, C., Chanoki, Y., Oshima, K., Wakatsuki, K., & Tanaka, T. (2025). Effectiveness of education on radiation exposure for medical students prior to clinical clerkship. *Japanese Journal of Radiology*, *43*(10), 1716–1724. https://doi.org/10.1007/s11604-025-01815-4

Yucel-Finn, A., McKiddie, F., Prescott, S., & Griffiths, R. (2024). *Farr's Physics for Medical Imaging* (Third Edition). Elsevier Limited.

Zhou, G., Wong, D., Nguyen, L., & Mendelson, R. (2010). Student and intern awareness of ionising radiation exposure from common diagnostic imaging procedures. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*, *54*(1), 17–23. https://doi.org/10.1111/j.1754-9485.2010.02132.x

9 Παραρτήματα

9.1 Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Πηγή: Bushberg et al., 2021). 14

Εικόνα 2. Σκέδαση Compton από ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο (Πηγή: Yucel-Finn et al.,2024).... 18

Εικόνα 3. Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Πηγή: Yucel-Finn et al., 2024). 18

Εικόνα 4. Σύστημα Ψηφιακής Ακτινογράφησης (Πηγή: Philips, χ.χ.). 24

Εικόνα 5. Κινητό σύστημα ακτινοσκόπησης (Πηγή: Ziehm, χ.χ.). 25

Εικόνα 6. Σύστημα ψηφιακής μαστογραφίας, με δυνατότητα ψηφιακής τομοσύνθεσης (Πηγή: Hologic, χ.χ.)..... 26

Εικόνα 7. Α. Η κρανιοουραία προβολή (craniocaudal – CC) του δεξιού μαστού παρουσιάζει ετερογενώς πυκνό μαζικό παρέγχυμα, χωρίς να διακρίνεται κάποια σαφής παθολογική αλλοίωση. Β. Η λήψη με ψηφιακή τομοσύνθεση (digital breast tomosynthesis), με περίπου την ίδια δόση ακτινοβολίας, παράγει περίπου 50 ανακατασκευασμένες τομές στην κρανιοουραία προβολή. Σε μία από αυτές τις εικόνες απεικονίζονται με σαφήνεια δύο αστεροειδείς μάζες (συμπαγή βέλη). Η επακόλουθη βιοψία με βελόνα (core biopsy) των ύποπτων βλαβών ανέδειξε πολυεστιακό διηθητικό πορογενές καρκίνωμα χαμηλού βαθμού κακοήθειας (Πηγή: Bushberg et al., 2021).. 27

Εικόνα 8. Υπολογιστικός τομογράφος 64 τομών (Πηγή: Canon, χ.χ.). 29

Εικόνα 9. Οι εικόνες αξονικής τομογραφίας απεικονίζουν την ανατομία σε εγκάρσιες τομές και μπορούν να παρουσιαστούν σε διαφορετικά επίπεδα απεικόνισης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται εικόνες της κοιλιακής και πυελικής χώρας σε (A) οβελιαίο (sagittal), (B) στεφανιαίο (coronal) και (C) εγκάρσιο ή αξονικό (transaxial) επίπεδο. (D) Παρουσιάζεται οβελιαία εικόνα αξονικής τομογραφίας εγκεφάλου μετά από χορήγηση σκιαγραφικού μέσου. (E) Η αξονική τομογραφία αιμάτωσης (perfusion CT) του εγκεφάλου επιτρέπει τον υπολογισμό παραμετρικών εικόνων, όπως φαίνεται στο παράδειγμα. (F) Εξειδικευμένο λογισμικό τρισδιάστατης ανασύνθεσης επιτρέπει την απεικόνιση των δεδομένων CT με ψευδοχρωματισμό, δημιουργώντας ιδιαίτερα ρεαλιστικές τρισδιάστατες αναπαραστάσεις της ανατομίας. (G) Η αξονική τομογραφία υψηλής ανάλυσης μπορεί να απεικονίσει ανατομικές δομές με λεπτομέρεια της τάξης των 0,15–0,25 mm. Στην εικόνα παρουσιάζεται αξονική τομογραφία θώρακος με σκιαγραφικό μέσο, η οποία έχει επεξεργαστεί με τη μέθοδο προβολής μέγιστης έντασης (Maximum Intensity Projection – MIP). (H) Παρουσιάζεται εικόνα αξονικής τομογραφίας υψηλής ανάλυσης του κροταφικού οστού, η

οποία αποδίδει με εξαιρετική ευκρίνεια τις μικρές οστικές ανατομικές δομές της περιοχής (Πηγή: Bushberg et al., 2021). 30
Εικόνα 10. Ενδεικτικές εικόνες επίπεδης σπινθηρογραφικής απεικόνισης στην πυρηνική ιατρική: (A) απεικόνιση αερισμού πνευμόνων με ραδιενεργό ξένο, (B) σπινθηρογράφημα οστών θώρακα και (C) εκτεταμένες οστικές μεταστάσεις σε ασθενή με καρκίνο του προστάτη (Πηγή: Bushberg et al., 2021). 33
Εικόνα 11. Υβριδικό σύστημα SPECT CT (Πηγή: GE Heathcare, χ.χ.). 34
Εικόνα 12. Τομογραφικές εικόνες SPECT του μυοκαρδίου σε διαφορετικές θέσεις τομής και προβολές, οι οποίες επιτρέπουν την αξιολόγηση της αιμάτωσης και της λειτουργικής κατάστασης του καρδιακού μυός (Πηγή: Bushberg et al., 2021). 35
Εικόνα 13. Οι εικόνες Μαγνητικής Τομογραφίας παρέχουν εξαιρετική αντίθεση μεταξύ των ανατομικών δομών και προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με τη σύσταση των ιστών, τη σκληρότητα, τη διάχυση και τη ροή του αίματος. (A) Εικόνες MRI της κοιλιακής χώρας σε στεφανιαίο (coronal) και εγκάρσιο (axial) επίπεδο. (B) Πολυεπίπεδη απεικόνιση MRI του αριστερού γόνατος. Παρουσιάζονται οβελιαίες (sagittal) και στεφανιαίες (coronal) εικόνες με καταστολή του σήματος του λίπους (fat saturation) για την αξιολόγηση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου. (C) Η Μαγνητική Τομογραφία Ελαστογραφίας (MR Elastography) επιτρέπει τη μέτρηση της σκληρότητας των ιστών και αποτελεί αξιόπιστο δείκτη της ηπατικής ίνωσης. Αριστερά παρουσιάζεται εγκάρσια εικόνα της κοιλίας και δεξιά το αντίστοιχο ελαστόγραμμα, όπου η χρωματική κλίμακα απεικονίζει τον βαθμό σκληρότητας των ιστών. (D) MRI του εγκεφάλου. Αριστερά παρουσιάζεται ακολουθία FLAIR (Fluid-Attenuated Inversion Recovery) σε εγκάρσιο επίπεδο. Δεξιά απεικονίζεται ανακατασκευή Απεικόνισης Τανυστή Διάχυσης (Diffusion Tensor Imaging – DTI), η οποία αναδεικνύει τις κατευθύνσεις διάχυσης των νευρικών ινών. Οι χρωματικοί κώδικες αντιστοιχούν στις εξής κατευθύνσεις: κόκκινο = αριστερά–δεξιά, πράσινο = πρόσθια–οπίσθια και μπλε = άνω–κάτω. (E) Εικόνα Μαγνητικής Αγγειογραφίας (MR Angiography – MRA) μετά από χορήγηση σκιαγραφικού γαδολινίου, η οποία απεικονίζει σε στεφανιαίο επίπεδο το αγγειακό δίκτυο του θώρακα και της κοιλιακής χώρας (Πηγή: Bushberg et al., 2021). 38
Εικόνα 14. Παραδείγματα υπερηχογραφικών εξετάσεων. (A) Στιγμιότυπο από βίντεο υπερηχογραφικής εξέτασης σε πραγματικό χρόνο που απεικονίζει φυσιολογικό αορτικό τόξο εμβρύου. Αριστερά παρουσιάζεται εικόνα σε κλίμακα του γκρι (grayscale image), ενώ δεξιά

έγχρωμη απεικόνιση ροής (color-flow imaging) που αναδεικνύει την κατεύθυνση της αιματικής ροής. (Β) Υπερηχογραφική απεικόνιση του ήπατος σε πραγματικό χρόνο. Αριστερά παρουσιάζεται εικόνα χωρίς σκιαγραφικό μέσο, ενώ δεξιά εικόνα μετά από χορήγηση υπερηχογραφικού σκιαγραφικού. Η χρήση του σκιαγραφικού αναδεικνύει μια υποηχογενή βλάβη (hypoechoic lesion) που αντιστοιχεί σε εστιακή μετάσταση και η οποία καθίσταται ορατή μόνο μετά τη χορήγηση του σκιαγραφικού. (C)Έγχρωμη απεικόνιση ροής (Color Doppler) και παλμικό Doppler της περιοχής της πυλαίας πύλης του ήπατος (porta hepatis). Η μεγαλύτερη έγχρωμη αγγειακή δομή αντιστοιχεί στην πυλαία φλέβα. Ο δρομέας Doppler έχει τοποθετηθεί στη μικρότερη δομή που αντιστοιχεί στην κοινή ηπατική αρτηρία, παράγοντας το φασματικό διάγραμμα Doppler στο κάτω μέρος της εικόνας, το οποίο καταδεικνύει παλμική αιματική ροή. (D) Εγκάρσια υπερηχογραφική εικόνα των όρχεων. Στην αριστερή πλευρά απεικονίζεται φυσιολογικός όρχις, ενώ στη δεξιά παρατηρείται αυξημένη αιματική ροή εντός του όρχεως, όπως αναδεικνύεται από την έγχρωμη απεικόνιση Doppler (Πηγή: Bushberg et al., 2021). 40

Εικόνα 15. Γραμμικός επιταχυντής (Πηγή: Siemens Healthineers, χ.χ.). 42

9.2 Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. Κατανομή δείγματος ανά έτος σπουδών και φύλο 70
Πίνακας 2. Περιγραφικά μέτρα συνολικού σκορ γνώσεων (N=138) 71
Πίνακας 3. Ποσοστά ορθότητας ανά ερώτηση (N=138) 72
Πίνακας 4. Μέσα ποσοστά ορθότητας ανά θεματική ενότητα 75
Πίνακας 5. Σύγκριση συνολικού σκορ ανά φύλο 75
Πίνακας 6. Κατανομή ανά ομάδα ετών σπουδών 76
Πίνακας 7. Περιγραφικά μέτρα και σύγκριση συνολικού σκορ ανά ομάδα 76
Πίνακας 8. Ποσοστά ορθότητας ανά θεματική ενότητα ανά ομάδα 77
Πίνακας 9. Ερωτήσεις με τη μεγαλύτερη αύξηση ορθότητας στις κλινικές ομάδες 77
Πίνακας 10. Αυτοαξιολόγηση και επιθυμία για εκπαίδευση ανά ομάδα 78
Πίνακας 11. Σύγκριση συνολικού σκορ ανά παρακολούθηση μαθημάτων 79
Πίνακας 12. Συσχέτιση αυτοαξιολόγησης με συνολικό σκορ (Spearman) 79

9.3 Λίστα Γραφημάτων

Σχήμα 1. Κατανομή συνολικού σκορ γνώσεων 71

9.4 Ερωτηματολόγιο

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

1. Φύλο

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Άνδρας ☐ Γυναίκα

2. Ηλικία

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ 18 ☐ 19 ☐ 20 ☐ 21 ☐ 22 ☐ 23 ☐ 24 ☐ >24

3. Έτος σπουδών

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ 1ο ☐ 2ο ☐ 3ο ☐ 4ο ☐ 5ο ☐ 6ο ☐ > 6ο

4. Έχετε ολοκληρώσει επιτυχώς την εξέταση του μαθήματος Ιατρικής Φυσικής;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Ναι ☐ Όχι

5. Έχετε διδαχθεί το μάθημα «Εισαγωγή στην Ακτινολογία»;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Ναι ☐ Όχι

6. Έχετε διδαχθεί το μάθημα «Ακτινολογία»;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Ναι ☐ Όχι

7. Έχετε λάβει επιπλέον εκπαίδευση στην ακτινοπροστασία;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Ναι ☐ Όχι

8. Έχετε αναζητήσει πληροφορίες για την ακτινοβολία από άλλες πηγές (π.χ., διαδίκτυο);

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Ναι ☐ Όχι

9. Η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει καρκινογένεση.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

10. Όλες οι απεικονιστικές εξετάσεις χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

11. Η ιατρική απεικόνιση με ιοντίζουσα ακτινοβολία αποτελεί σημαντική πηγή έκθεσης ιοντίζουσας ακτινοβολίας για τον πληθυσμό.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

12. Η επαναλαμβανόμενη έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία αυξάνει τον κίνδυνο βιολογικών επιδράσεων.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

13. Ποιές από τις παρακάτω τεχνικές απεικόνισης χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία;

☐ Αξονική τομογραφία (CT) ☐ Μαγνητική τομογραφία (MRI)

☐ Υπερηχογράφημα ☐ Σπινθηρογράφημα

☐ Μαστογραφία ☐ Ψηφιακή Μαστογραφία

☐ Ακτινοσκόπηση

14. Μια αξονική τομογραφία έχει μεγαλύτερη δόση ακτινοβολίας από μια ακτινογραφία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

15. Η ακτινοπροστασία στοχεύει στη μείωση της έκθεσης σε ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

16. Οι νέοι σε ηλικία εξεταζόμενοι είναι πιο ευαίσθητοι στην ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

17. Η απορροφούμενη δόση σε μια εξέταση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

18. Υπάρχουν πάντα εναλλακτικές απεικονιστικές εξετάσεις χωρίς ιοντίζουσα ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

19. Η ακτινοπροστασία αφορά:

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ ασθενείς

☐ προσωπικό.

☐ γενικό πληθυσμό

☐ όλα τα παραπάνω

☐ δεν γνωρίζω

20. Υπάρχουν καθορισμένα όρια δόσης για τον εργαζόμενο με ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

21. Τα διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς (ΔΕΑ) βοηθούν στον έλεγχο της δόσης του προσωπικού.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

22. Η εγκυμοσύνη πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πριν τις εξετάσεις/θεραπείες με ιοντίζουσα ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

23. Ποια μονάδα χρησιμοποιείται για την απορροφούμενη δόση;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ gray (Gy) ☐ roentgen (R) ☐ becquerel (Bq) ☐ Δεν γνωρίζω

24. Η απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας μειώνεται όταν:

☐ Μειώνεται ο χρόνος έκθεσης

☐ Αυξάνεται η απόσταση από την πηγή ακτινοβολίας

☐ Ισχύουν και τα δύο παραπάνω

☐ Δεν ισχύει κανένα από τα παραπάνω

☐ Δεν γνωρίζω

25. Η χρήση ακτινοπροστατευτικού εξοπλισμού (π.χ. μολύβδινων ποδιών) μειώνει την απορροφούμενη δόση

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

26. Η αρχή ALARA (As Low As Reasonably Achievable) και η αρχή της αιτιολόγησης είναι συνώνυμες έννοιες.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

27. Η αρχή της αιτιολόγησης στις ιατρικές εκθέσεις με ιοντίζουσα ακτινοβολία εφαρμόζεται:

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Μόνο σε γενικό επίπεδο για τη χρήση της εξέτασης

☐ Μόνο για κάθε μεμονωμένο ασθενή

☐ Τόσο για τη συγκεκριμένη ιατρική διαδικασία όσο και για τον μεμονωμένο ασθενή

☐ Δεν γνωρίζω

28. Η αρχή της αιτιολόγησης εφαρμόζεται σε κάθε ιατρική έκθεση που χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία, άρα περιλαμβάνει:

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Διαγνωστικές εξετάσεις,

☐ Επεμβατικές πράξεις

☐ Θεραπευτικές εφαρμογές με ραδιοϊσότοπα και ακτινοθεραπεία.

☐ Όλα τα παραπάνω

☐ Δεν γνωρίζω

29. Το υπερηχογράφημα εμπίπτει στην αρχή της αιτιολόγησης της ακτινοπροστασίας.

(Επιλέξτε μία απάντηση)

☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

30. Το όφελος της εξέτασης πρέπει να υπερτερεί του κινδύνου της έκθεσης σε ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

31. Οι εξετάσεις που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία πρέπει να πραγματοποιούνται μόνο όταν υπάρχει σαφής κλινική ένδειξη.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

32. Πρέπει να εξετάζονται εναλλακτικές εξετάσεις χωρίς ιοντίζουσα ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

33. Η λήψη ιστορικού του εξεταζόμενου βοηθά στην αιτιολόγηση της εξέτασης/θεραπείας με ιοντίζουσα ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)

☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

34. Η επιθυμία ή η πίεση του εξεταζόμενου από μόνη της δεν αποτελεί επαρκή λόγο για τη διενέργεια εξέτασης με ιοντίζουσα ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

35. Ο φόβος του ασθενούς για την ακτινοβολία δεν θα πρέπει να αποτρέπει τον ιατρό από την παραπομπή σε μια αιτιολογημένη εξέταση με ιοντίζουσα ακτινοβολία.

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

36. Ο φόβος ιατρικού λάθους μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη χρήση απεικονιστικών εξετάσεων.
(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

37. Η ευθύνη για την εφαρμογή της αρχής της αιτιολόγησης στις ιατρικές εκθέσεις με ιοντίζουσα ακτινοβολία ανήκει κυρίως:
(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Στον παραπέμποντα ιατρό

☐ Στον ακτινοτεχνολόγο

☐ Στον ακτινοφυσικό

☐ Δεν γνωρίζω

38. Η αρχή της αιτιολόγησης αποτελεί νομική υποχρέωση σύμφωνα με τους Κανονισμούς Ακτινοπροστασίας.
(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Σωστό ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω

39. Πώς αξιολογείτε τις γνώσεις σας σχετικά με την ακτινοπροστασία;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Πολύ καλές ☐ Καλές ☐ Μέτριες ☐ Κακές ☐ Πολύ κακές

40. Πώς αξιολογείτε τις γνώσεις σας σχετικά με την αρχή της αιτιολόγησης;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Πολύ καλές ☐ Καλές ☐ Μέτριες ☐ Κακές ☐ Πολύ κακές

41. Θα θέλατε περισσότερη εκπαίδευση σχετικά με θέματα ακτινοπροστασίας;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Ναι ☐ Όχι

42. Θα θέλατε περισσότερη εκπαίδευση σχετικά με θέματα της αρχής της αιτιολόγησης;

(Επιλέξτε μία απάντηση)
☐ Ναι ☐ Όχι

Ευχαριστούμε για τη συμμετοχή σας!

9.5 Πίνακας Συντομογραφιών

Συντομογραφία	Πλήρης όρος
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
B-mode	Brightness Mode
CC	Craniocaudal
CT	Computed Tomography
DAP	Dose Area Product
DLP	Dose Length Product
DNA	Deoxyribonucleic Acid
DRLs	Diagnostic Reference Levels
DTI	Diffusion Tensor Imaging
DWI	Diffusion-Weighted Imaging
EBRT	External Beam Radiation Therapy
FDG	Fluorodeoxyglucose
FLAIR	Fluid-Attenuated Inversion Recovery
HDR	High Dose Rate
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IGRT	Image-Guided Radiation Therapy
IMRT	Intensity Modulated Radiation Therapy
LDR	Low Dose Rate
LET	Linear Energy Transfer
LOR	Line of Response
MIP	Maximum Intensity Projection
MR	Magnetic Resonance
MRA	Magnetic Resonance Angiography
MRI	Magnetic Resonance Imaging
MRS	Magnetic Resonance Spectroscopy
NaI	Sodium Iodide
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
PET	Positron Emission Tomography
PSMA	Prostate-Specific Membrane Antigen
RF	Radiofrequency
SBRT	Stereotactic Body Radiation Therapy
SD	Standard Deviation
SPECT	Single Photon Emission Computed Tomography
SRS	Stereotactic Radiosurgery
TOF	Time-of-Flight

Συντομογραφία	**Πλήρης όρος**
VMAT	Volumetric Modulated Arc Therapy
99mTc	Technetium-99m
^{18}F-FDG	Fluorine-18 Fluorodeoxyglucose