



ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ
ΚΑΙ ΕΝΙΑΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
DEPARTMENT OF PUBLIC
AND ONE HEALTH

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ UNIVERSITY OF THESSALY



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΙΑΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Εκτίμηση έκθεσης του γενικού πληθυσμού σε δόση ιοντίζουσας
ακτινοβολίας από ιατρικές εκθέσεις πριν και μετά τον Covid-19»



Επιμέλεια: Ευσταθίου Αλεξάνδρα, ΑΜ(2219023)

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σόφτα Βασιλική

Καρδίτσα, Σεπτέμβριος 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract	6
1. Εισαγωγή.....	7
2. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	9
2.1. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	9
2.2. Ιοντίζουσα ακτινοβολία.....	11
2.2.1 Ακτινοβολία α: Σωματίδια Άλφα	12
2.2.2 Ακτινοβολία β: Σωματίδια βήτα	13
2.2.3 Ακτινοβολία γ: Ακτίνες γάμμα	14
2.2.4 Ακτίνες x.....	14
2.3 Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης.....	17
2.4 Επιπτώσεις ακτινοβολίας στον άνθρωπο.....	21
2.5 Έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές εκθέσεις.....	24
3. COVID-19	29
3.1. Η νόσος	29
3.2 Διαγνωστικοί Μέθοδοι	29
3.3 COVID-19 και μεταβολές στη χρήση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης	35
3.3.1 Αύξηση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης.....	36
3.3.2 Μείωση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης.....	39
4. ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	42
4.1 Βασικές αρχές ακτινοπροστασίας	43
4.2 Μέτρα ακτινοπροστασίας του γενικού πληθυσμού	44
4.3 Μέτρα ακτινοπροστασίας των επαγγελματιών υγείας	46
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Ζώνες ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.....	10
Πίνακας 2. Όρια δόσεων ακτινοβολίας για το ευρύ κοινό και τους επαγγελματίες.....	25
Πίνακας 3 Όρια εξετάσεων.....	27
Πίνακας 4 Δόση σε ασθενείς με Covid-19 ανά ηλικία και φύλο.....	37
Πίνακας 5 Δόση σε ασθενείς χωρίς Covid-19 ανά ηλικία και φύλο.....	38
Πίνακας 6 Σύγκριση δόσεων ασθενών με COVID-19 και χωρίς, ανά ηλικιακή ομάδα, από αξονική τομογραφία	38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	10
Εικόνα 2 Wilhelm Röntgen και η πρώτη ακτινογραφία	15
Εικόνα 3 Παραγωγή ακτινών Χ.....	15
Εικόνα 4 Είδη ακτινοβολίας και Διεισδυτική ισχύς.....	16
Εικόνα 5 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, Σκέδαση Compton, Δημιουργία ζεύγους	17
Εικόνα 6 Σκέδαση Compton	18
Εικόνα 7 Εγκαύματα πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού	22
Εικόνα 8 Η ραδιενέργεια στο ανθρώπινο σώμα	23
Εικόνα 9 Διαδικασία μοριακού ελέγχου RT-PCR.....	30
Εικόνα 10 CT θώρακος.....	31
Εικόνα 11 CT (α) υγιούς πνεύμονας, (β) μόλυνση από COVID-19.....	31
Εικόνα 12 CT θώρακος συμβατή με πνευμονία σε ασθενείς με επιδημιολογική και κλινική εικόνα ύποπτη για λοίμωξη από COVID-19	32
Εικόνα 13 Ακτινογραφικό μηχάνημα	33
Εικόνα 14 Αποτελέσματα ακτινογραφιών θώρακος που ανιχνεύθηκαν με Covid-19.....	33
Εικόνα 15 Ακτινογραφίες θώρακος σε α) φυσιολογικό ασθενή χωρίς πνευμονικές παθήσεις, b) ασθενή με πνευμονία c) ασθενή με COVID-19.....	34
Εικόνα 16 SPECT/CT γυναίκας 42 ετών, 13 ημέρες μετά τη μόλυνση με COVID-19	35
Εικόνα 17 ALARA (As Low As Reasonably Achievable)	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1 Σύγκριση των δόσεων που έλαβαν ασθενείς με COVID-19 και χωρίς, ανά ηλικιακή ομάδα, από αξονική τομογραφία.....	39
--	----

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς όλους όσους με στήριξαν από την αρχή της φοιτητικής μου πορείας μέχρι και σήμερα.

Πρώτα από όλα, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου των οποίων χωρίς την στήριξη όλα αυτά τα χρόνια δεν θα είχα φτάσει μέχρι εδώ σήμερα. Νιώθω μεγάλη ικανοποίηση και χαρά που στιγμές σαν και αυτή τους κάνω περήφανους.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου για την συστηματική προσπάθεια τους να μου μεταλαμπαδεύσουν τις ανεξάντλητες γνώσεις τους ακόμα και μέσα σε πρωτόγνωρες συνθήκες, όπως στην δύσκολη εποχή της πανδημίας.

Κλείνοντας, δεν θα μπορούσα φυσικά να παραλείψω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κύρια Σόφτα Βασιλική για την στήριξη, την καθοδήγησή της για την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά και για το γεγονός ότι αποτέλεσε για μένα πηγή έμπνευσης τόσο για την συγκεκριμένη εργασία, όσο και για την μετέπειτα πορεία μου.

Περίληψη

Η χρήση της Ιοντίζουσας ακτινοβολίας για ιατρικές εκθέσεις, τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί, γεγονός που εγείρει μεγάλη ανησυχία σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους που εγκυμονούν για τον γενικό πληθυσμό. Ειδικότερα με την εμφάνιση της πανδημίας Covid-19, η οποία είχε σημαντικό αντίκτυπο στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης, ενισχύθηκαν οι ανησυχίες σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους που συνδέονται με την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αυξανόμενη ανάγκη για απεικονιστικές διαδικασίες για διάγνωση και παρακολούθηση των ατόμων που έχουν προσβληθεί από την νόσο. Επομένως, κρίνεται αναγκαίο να αξιολογηθεί η δόση που λαμβάνει ο γενικός πληθυσμός από τις ιατρικές εκθέσεις.

Σκοπός της πτυχιακής αυτής είναι, μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας, να προσφέρει μια ολοκληρωμένη εκτίμηση της δόσης από ιατρικές εκθέσεις όπου λαμβάνει ο γενικός πληθυσμός πριν και μετά την εκδήλωση της πανδημίας Covid-19 και να αξιολογήσει τις πιθανές επιπτώσεις της στην ανθρώπινη υγεία. Απώτερος στόχος είναι η πληροφόρηση και η ευαισθητοποίηση του γενικού πληθυσμού σχετικά με τους κινδύνους που συνδέονται με την επανειλημμένη έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία και η προώθηση ασφαλέστερων πρακτικών ιατρικής απεικόνισης προς όφελος της δημόσιας υγείας.

Τα αποτελέσματα της πτυχιακής αυτής, έδειξαν ότι υπήρξαν διακυμάνσεις στη ζήτηση για ιατρικές απεικονιστικές διαδικασίες κατά τη διάρκεια της πανδημίας, με σαφή όμως αύξηση. Ωστόσο οι μη επείγουσες ιατρικές διαδικασίες, (συστηματική παρακολούθηση) συμπεριλαμβανομένης της ιατρικής απεικόνισης, αναβλήθηκαν για να δοθεί προτεραιότητα στους ασθενείς με COVID-19. Επίσης λόγω αυξημένου φόβου οι ασθενείς ανέβαλαν ιατρικές διαδικασίες (ιατρική απεικόνιση πχ μαστογραφία) ακόμη και θεραπευτικές διαδικασίες (ακτινοθεραπεία). Αυτό είχε σημαντικό αντίκτυπο στις υπηρεσίες περίθαλψης, δημιουργώντας προβλήματα στη διατήρηση των καθημερινών υπηρεσιών.

Συμπερασματικά, η ακτινοπροστασία του γενικού πληθυσμού και των επαγγελματιών υγείας από ιατρικές εκθέσεις θα πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα, ώστε να διασφαλιστούν τα οφέλη αυτών των διαδικασιών σε σχέση με τους πιθανούς κινδύνους. Αναδεικνύονται επίσης τομείς, στους οποίους η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί, αναπτύσσοντας νέες τεχνολογίες και τεχνικές για περαιτέρω μείωση της έκθεσης σε ακτινοβολία που σχετίζεται με ιατρικές διαδικασίες.

Λέξεις-κλειδιά: ιοντίζουσα ακτινοβολία, ιατρικές εκθέσεις, απεικονιστικές εξετάσεις προστασία γενικού πληθυσμού, Covid-19.

Abstract

The use of Ionizing Radiation for medical exposures has increased in recent years, raising great concern about the potential risks to the general population. In particular, with the emergence of the Covid-19 pandemic, which has had a significant impact on the healthcare industry, concerns about the potential risks associated with exposure to ionizing radiation have been heightened. This is mainly due to the increased need for imaging procedures to diagnose and monitor individuals affected by the disease. Therefore, it appears necessary to assess the dose received by the general population from medical exposures.

The aim of this thesis is, through the international literature, to provide a comprehensive assessment of the dose from medical exposures received by the general population before and after the Covid-19 pandemic and to evaluate its potential impact on human health. The ultimate goal is to inform and raise awareness of the general population about the risks associated with repeated exposure to ionizing radiation and to promote safer medical imaging practices for the benefit of public health.

The results of this thesis showed that there were fluctuations in the demand for medical imaging procedures during the pandemic, but with a clear increase. However, non-emergency medical procedures, (systematic surveillance) including medical imaging, were postponed to give priority to patients with COVID-19. Also due to increased fear patients postponed medical procedures (medical imaging e.g. mammography) and even therapeutic procedures (radiotherapy) .This had a significant impact on care services, creating problems in maintaining daily services.

In conclusion, radiation protection of the general population and health professionals from medical exposures should be a priority to ensure the benefits of these procedures in relation to the potential risks. It also highlights areas where future research should focus, developing new technologies and techniques to further reduce radiation exposure associated with medical procedures.

Keywords: *ionizing radiation, medical exposures, imaging tests, general population protection, Covid-19.*

1. Εισαγωγή

Η ιατρική απεικόνιση, μέσω χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας, αποτελεί ουσιαστικό διαγνωστικό εργαλείο στη σύγχρονη ιατρική, επιτρέποντας στους επαγγελματίες υγείας να απεικονίσουν και να διαγνώσουν ένα ευρύ φάσμα ιατρικών καταστάσεων με αυξημένη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους που συνδέονται με την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία στο γενικό πληθυσμό, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης (Fazel et al., 2009).

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι ένας τύπος ακτινοβολίας που μπορεί να βλάψει τα κύτταρα και να προκαλέσει γενετικές μεταλλάξεις, οδηγώντας σε αυξημένο κίνδυνο καρκίνου και άλλων προβλημάτων υγείας (Ryan, 2012). Ο γενικός πληθυσμός εκτίθεται σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της φυσικής ακτινοβολίας υποβάθρου (το ίχνος ή υπόλειμμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει το σύμπαν όταν βρίσκεται σε κατάσταση εξαιρετικά μεγάλων θερμοκρασιών και πιέσεων) (Shahbazi-Gahruei, Gholami & Setayandeh, 2013) και των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης. Ενώ οι κίνδυνοι έκθεσης σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από φυσικές πηγές είναι σχετικά χαμηλοί, οι ιατρικές διαδικασίες απεικόνισης μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη δόση ακτινοβολίας ενός ατόμου (Ribeiro et al., 2020).

Οι ανησυχίες σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους από την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία, ενισχύθηκαν περαιτέρω με την πανδημία COVID-19, καθώς η ζήτηση για ιατρική απεικόνιση έχει αυξηθεί για τη διάγνωση και την παρακολούθηση ασθενών (Rubin et al., 2020). Οι ιατρικές εξετάσεις που περιλαμβάνουν τη χρήση ακτινοβολίας, όπως ακτινογραφίες, αξονικές τομογραφίες κ.α., διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διάγνωση και παρακολούθηση της νόσου. Η αυξημένη ζήτηση για απεικονιστικές εξετάσεις κατά τη διάρκεια της πανδημίας, επιβάρυνε τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, οδηγώντας σε πιθανές καθυστερήσεις σε άλλα, μη επείγοντα περιστατικά, με αρνητικές επιπτώσεις για τον γενικό πληθυσμό (π.χ. καθυστέρηση διαγνώσεων σοβαρών ασθενειών, όπως καρκίνος κ.α.). Επιπλέον, η αύξηση του ποσοστού των απεικονιστικών εξετάσεων συνδέεται με αύξηση του κινδύνου έκθεσης των εργαζομένων στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης και των ασθενών σε ιοντίζουσα ακτινοβολία (Yurdaisik et al., 2021). Κατά συνέπεια, η

κατανόηση της δόσης ιοντίζουσας ακτινοβολίας του γενικού πληθυσμού από ιατρικές εκθέσεις είναι ζωτικής σημασίας για τους επαγγελματίες υγείας, και το ευρύ κοινό.

Το ζήτημα αυτό αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα, πρωταρχικός στόχος αυτής της εργασίας είναι, μέσα από τη μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας, να προσφέρει μια εμπεριστατωμένη ανάλυση της δόσης ιοντίζουσας ακτινοβολίας που λαμβάνει ο γενικός πληθυσμός από ιατρικές εκθέσεις πριν και μετά την πανδημία Covid-19 και να αξιολογήσει τις πιθανές επιπτώσεις της στην ανθρώπινη υγεία.

Με την αύξηση της ευαισθητοποίησης σχετικά με τους κινδύνους που συνδέονται με την επανειλημμένη έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία, μπορούν να ληφθούν μέτρα ώστε να ελαχιστοποιηθεί η έκθεση του γενικού πληθυσμού σε ακτινοβολία και να προωθηθούν ασφαλέστερες πρακτικές ιατρικής απεικόνισης προς όφελος της δημόσιας υγείας. Το στοιχείο αυτό υπογραμμίζει τη σπουδαιότητα της εργασίας αυτής.

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της παρούσας μελέτης, ο σκοπός της και σημασία της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται ζητήματα σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, η ιοντίζουσα ακτινοβολία, η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας ύλης, οι συνέπειες της ακτινοβολίας στον άνθρωπο, η έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές εκθέσεις και τα όρια.

Το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις μεταβολές στη χρήση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης, στην αύξηση και μείωση των διαδικασιών αυτών καθώς και στη διαχείριση διαγνωστικών και θεραπευτικών διαδικασιών στην περίοδο του Covid.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται οι βασικές αρχές ακτινοπροστασίας αλλά και τα μετρά ακτινοπροστασίας του γενικού πληθυσμού και των επαγγελματιών υγείας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναπτύσσονται προτάσεις για μέτρα που μπορούν να ληφθούν για τη μείωση της έκθεσης στην ακτινοβολία και για ασφαλείς πρακτικές ιατρικής απεικόνισης.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ως άνω μελέτη.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση των βιβλιογραφικών αναφορών.

2. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.1. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

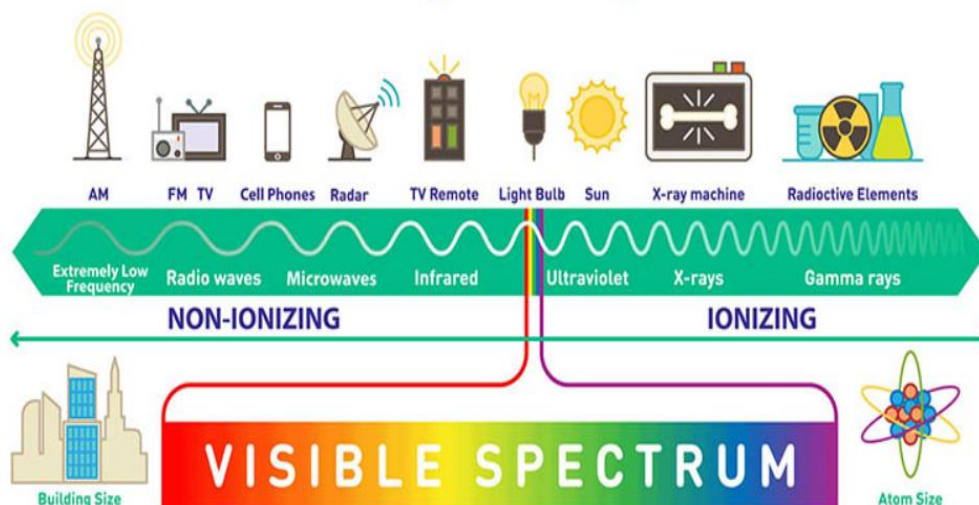
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (EMR) είναι ένα είδος ενέργειας που διαδίδεται στον χώρο με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το EMR μπορεί να παραχθεί τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές, όπως ο ήλιος, τα αστέρια, οι κεραυνοί και οι ηλεκτρονικές συσκευές. Χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματος και τη συχνότητα, που καθορίζουν τις ιδιότητές του και τους τρόπους με τους οποίους αλληλεπιδρά με την ύλη.

Μία από τις πιο γνωστές μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι το ορατό φως, το οποίο είναι το τμήμα του φάσματος που είναι ορατό στο ανθρώπινο μάτι. Το ορατό φως κυμαίνεται από περίπου 400 έως 700 νανόμετρα σε μήκος κύματος και είναι υπεύθυνο για την αντίληψή μας για το χρώμα και τη φωτεινότητα. Εκτός από το ορατό φως, το EMR περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, από εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (ELF) έως εξαιρετικά υψηλές συχνότητες (EHF), συμπεριλαμβανομένων ραδιοκυμάτων, μικροκυμάτων, υπέρυθρης και υπεριώδους ακτινοβολίας κ.α. (Heald & Marion, 2012).

Αναλυτικότερα:

- Τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται για επικοινωνία, όπως για ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές,
- Τα μικροκύματα χρησιμοποιούνται στη μαγειρική και για τεχνολογίες επικοινωνίας όπως Wi-Fi και Bluetooth..
- Η υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπεται από θερμά αντικείμενα και χρησιμοποιείται σε τηλεχειριστήρια και θερμική απεικόνιση.
- Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι υπεύθυνη για τα ηλιακά εγκαύματα και χρησιμοποιείται σε διαδικασίες αποστείρωσης.
- Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται για την ιατρική απεικόνιση των οστών και άλλων δομών στο εσωτερικό του σώματος και οι ακτίνες γάμμα χρησιμοποιούνται στη θεραπεία του καρκίνου (Heald & Marion, 2012).

Electromagnetic Spectrum



Εικόνα 1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Πηγή: <https://www.science-sparks.com/what-is-the-electromagnetic-spectrum/>

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται συνήθως σε περιοχές με βάση τη συχνότητα ή το μήκος κύματος, με κάθε περιοχή να αντιστοιχεί σε διαφορετικό τύπο ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στον ακόλουθο πίνακα, παρουσιάζονται οι ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Πίνακας 1 Ζώνες ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος		
Περιοχή του φάσματος	Περιοχή συχνοτήτων	Ενέργεια φωτονίων
Ραδιοκύματα	0-300 MHz	$0-10^{-6}$ eV
Μικροκύματα	300 MHz-300 GHz	$10^{-6}-10^{-3}$ eV
υπέρυθρη ακτινοβολία	300 GHz-400 THz	$10^{-3}-1,6$ eV
ορατή ακτινοβολία	400-800 THz	1,6-3,2 eV
υπεριώδης ακτινοβολία	$800 \text{ THz}-3 \cdot 10^{17} \text{ Hz}$	3 eV-2000 eV
ακτίνες X	$3 \cdot 10^{17} \text{ Hz}-5 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$	1200 eV- $2,4 \cdot 10^5$ eV
ακτίνες γ	$5 \cdot 10^{19} \text{ Hz}-3 \cdot 10^{22} \text{ Hz}$	$10^5 \text{ eV}-10^7 \text{ eV}$
Κοσμικές ακτίνες	$3 \cdot 10^{22} \text{ Hz}-$	$10^7 \text{ eV}-$

Ενώ η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι απαραίτητη για διάφορες μορφές επικοινωνίας, τεχνολογίας και ιατρικές εφαρμογές, οι επιπτώσεις της στους ζωντανούς οργανισμούς αποτελούν αντικείμενο σημαντικής ανησυχίας και έρευνας. Στις ευεργετικές επιδράσεις της συμπεριλαμβάνεται η παροχή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση στα φυτά, η διευκόλυνση της όρασης στα ζώα και η διευκόλυνση της επικοινωνίας μέσω ραδιοκυμάτων (Yousif, 2014). Ωστόσο, η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορεί να είναι επιβλαβής, προκαλώντας βλάβη στους ιστούς και αυξάνοντας τον κίνδυνο καρκίνου.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο έχουν αναπτυχθεί πρότυπα και κανονισμοί ακτινοπροστασίας για τον περιορισμό της έκθεσης σε ακτινοβολία στο χώρο εργασίας και στους κοινόχρηστους χώρους (Preston et al., 2013). Η κατανόηση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι απαραίτητη για πολλούς τομείς, όπως η ιατρική, οι τηλεπικοινωνίες και η αστρονομία.

2.2. Ιοντίζουσα ακτινοβολία

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι ένας τύπος ακτινοβολίας που έχει αρκετή ενέργεια για να ιονίσει άτομα και μόρια, οδηγώντας στο σχηματισμό ιόντων. Αυτός ο τύπος ακτινοβολίας περιλαμβάνει ακτίνες X, ακτίνες γάμμα και σωματίδια υψηλής ενέργειας όπως τα σωματίδια άλφα και βήτα (Ryan, 2012).

Η διαδικασία του ιονισμού περιλαμβάνει την απομάκρυνση ενός ή περισσότερων ηλεκτρονίων από ένα άτομο ή ένα μόριο, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ιόντων. Όταν ένα άτομο ή ένα μόριο εκτίθεται σε ιοντίζουσα ακτινοβολία, όπως ακτίνες γάμμα ή ακτίνες X, η ακτινοβολία μπορεί να μεταφέρει ενέργεια στο άτομο ή στο μόριο. Εάν η ενέργεια που μεταφέρεται είναι αρκετά υψηλή, μπορεί να αφαιρέσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια από το άτομο ή το μόριο, αφήνοντας πίσω ένα θετικά φορτισμένο ιόν (Lu et al., 2014). Για παράδειγμα, όταν ένα φωτόνιο ακτινών γάμμα αλληλεπιδρά με ένα άτομο, μπορεί να μεταφέρει αρκετή ενέργεια για να αφαιρέσει ένα ηλεκτρόνιο από το άτομο, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός θετικού ιόντος και ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου. Το ελεύθερο ηλεκτρόνιο μπορεί στη συνέχεια να προχωρήσει στον ιονισμό άλλων ατόμων ή μορίων, δημιουργώντας μια αλυσιδωτή αντίδραση ιονισμού (Lu et al., 2014).

Η διαδικασία του ιονισμού μπορεί να συμβεί μέσω διαφόρων μηχανισμών, μιας και η ιοντίζουσα ακτινοβολία έχει τόσο φυσικές όσο και ανθρωπογενείς πηγές. Οι φυσικές πηγές ιοντίζουσας ακτινοβολίας περιλαμβάνουν την κοσμική ακτινοβολία από τον ήλιο και τα αστέρια, καθώς και το αέριο ραδόνιο που απελευθερώνεται από το έδαφος. Οι ανθρωπογενείς πηγές ιοντίζουσας ακτινοβολίας περιλαμβάνουν διαδικασίες ιατρικής απεικόνισης, πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και δοκιμές πυρηνικών όπλων (Ryan, 2012).

Η διαδικασία ιονισμού μπορεί να έχει διάφορα αποτελέσματα, ανάλογα με τον τύπο και την ποσότητα της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και τα υλικά με τα οποία αλληλεπιδρά. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ιονισμός μπορεί να είναι ευεργετικός, όπως στη θεραπεία του καρκίνου, όπου η ακτινοβολία υψηλής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιλεκτική θανάτωση των καρκινικών κυττάρων (Heald & Marion, 2012). Ωστόσο, η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί επίσης να είναι επιβλαβής για τους ζωντανούς οργανισμούς, καθώς μπορεί να βλάψει το DNA και άλλα βιολογικά μόρια, οδηγώντας σε μεταλλάξεις, γενετικές ανωμαλίες και καρκίνο.

Στη συνέχεια, εξετάζονται αναλυτικότερα οι κύριοι τύποι ιοντίζουσας ακτινοβολίας, που είναι τα σωματίδια άλφα, τα σωματίδια βήτα, οι ακτίνες γάμμα και οι ακτίνες X

2.2.1 Ακτινοβολία α: Σωματίδια Άλφα

Τα σωματίδια άλφα είναι ένας τύπος ιοντίζουσας ακτινοβολίας που αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους και εκπέμπονται από τον πυρήνα ορισμένων ατόμων (NRC, 2020). Είναι ένας από τους τέσσερις κύριους τύπους ιοντίζουσας ακτινοβολίας, μαζί με τα σωματίδια βήτα, τις ακτίνες γάμμα και τις ακτίνες X.

Τα σωματίδια άλφα είναι σχετικά μεγάλα και βαριά σε σύγκριση με άλλους τύπους ακτινοβολίας, πράγμα που σημαίνει ότι έχουν μικρή εμβέλεια και δεν μπορούν να διεισδύσουν τόσο εύκολα στα υλικά. Στην πραγματικότητα, τα σωματίδια άλφα μπορούν να σταματήσουν από ένα φύλλο χαρτιού ή το εξωτερικό στρώμα του ανθρώπινου δέρματος. Ωστόσο, μπορεί να είναι πολύ επικίνδυνα όταν έρθουν σε επαφή με ζωντανό ιστό. Όταν ένα σωματίδιο άλφα αλληλεπιδρά με ένα ζωντανό κύτταρο, μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη στο DNA και σε άλλες κυτταρικές

δομές (Eriksson & Stigbrand, 2010). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεταλλάξεις και άλλες γενετικές βλάβες, καθώς και σε αυξημένο κίνδυνο καρκίνου (Baskar et al., 2012). Ωστόσο, επειδή τα σωματίδια άλφα έχουν τόσο μικρή εμβέλεια, ο κίνδυνος έκθεσης σε αυτά περιορίζεται συνήθως στους εργαζόμενους σε βιομηχανίες που ασχολούνται με ραδιενεργά υλικά ή σε άτομα που έχουν εκτεθεί σε μεγάλη ποσότητα ακτινοβολίας, όπως σε ένα πυρηνικό ατύχημα.

Παρά τους πιθανούς κινδύνους των σωματιδίων άλφα, έχουν επίσης ορισμένες ευεργετικές χρήσεις. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θεραπεία του καρκίνου για να σκοτώσουν τα καρκινικά κύτταρα. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε ανιχνευτές καπνού για τον ιονισμό των μορίων του αέρα και την ανίχνευση της παρουσίας καπνού (Ryan, 2012).

2.2.2 Ακτινοβολία β: Σωματίδια βήτα

Τα σωματίδια βήτα είναι ένας τύπος ιοντίζουσας ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον πυρήνα ορισμένων ατόμων κατά τη διάρκεια της ραδιενεργής διάσπασης. Αποτελούνται είτε από ένα ηλεκτρόνιο είτε από ένα ποζιτρόνιο, τα οποία εκπέμπονται από τον πυρήνα κατά τη διάρκεια της ραδιενεργής διάσπασης (NRC, 2020). Έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια και μεγαλύτερη διεισδυτική ισχύ από τα σωματίδια άλφα, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να διεισδύσουν περισσότερο μέσα από υλικά και μπορεί να είναι πιο επιβλαβή για τους ζωντανούς ιστούς. Γενικά, μπορούν να σταματήσουν από ένα φύλλο πλαστικού, γυαλιού ή μερικά χιλιοστά ανθρώπινου ιστού.

Όπως συμβαίνει και με τα σωματίδια άλφα, όταν τα σωματίδια βήτα αλληλεπιδρούν με ζωντανό ιστό, μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στο DNA και σε άλλες κυτταρικές δομές, οδηγώντας σε μεταλλάξεις και αυξημένο κίνδυνο καρκίνου (Eriksson & Stigbrand, 2010). Ωστόσο, επειδή έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια, ο κίνδυνος έκθεσης σε σωματίδια βήτα δεν περιορίζεται στους εργαζόμενους σε βιομηχανίες που ασχολούνται με ραδιενεργά υλικά. Στην πραγματικότητα, η έκθεση σε σωματίδια βήτα μπορεί να προέλθει από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων ιατρικών διαδικασιών και μόλυνσης του περιβάλλοντος (NRC, 2020).

Παρά τους πιθανούς κινδύνους των σωματιδίων βήτα, έχουν επίσης ορισμένες ευεργετικές χρήσεις. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές θεραπείες για τη στόχευση καρκινικών κυττάρων και την καταστροφή τους. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η μέτρηση του πάχους των υλικών (Ryan, 2012).

2.2.3 Ακτινοβολία γ: Ακτίνες γάμμα

Οι ακτίνες γάμμα είναι ένας τύπος ιοντίζουσας ακτινοβολίας που παράγεται κατά τη διάρκεια της ραδιενεργής διάσπασης ορισμένων ατόμων, καθώς και από άλλες διεργασίες υψηλής ενέργειας όπως οι πυρηνικές αντιδράσεις και οι κεραυνοί. Οι ακτίνες γάμμα είναι φωτόνια υψηλής ενέργειας και έχουν την υψηλότερη διεισδυτική ισχύ μεταξύ των τύπων ιοντίζουσας ακτινοβολίας (NRC, 2020). Για τη θωράκισή τους απαιτούνται πυκνά υλικά, όπως ο μόλυβδος ή το σκυρόδεμα.

Οι ακτίνες γάμμα είναι παρόμοιες με τις ακτίνες X ως προς το ότι είναι και οι δύο μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αλλά έχουν υψηλότερη ενέργεια και μικρότερα μήκη κύματος (NRC, 2020). Αυτό σημαίνει ότι είναι πιο διεισδυτικές και μπορούν να διαδοθούν περισσότερο μέσα από υλικά, γεγονός που τις καθιστά σημαντικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία σε περίπτωση έκθεσης. Όταν οι ακτίνες γάμμα αλληλεπιδρούν με ζωντανό ιστό, μπορούν να προκαλέσουν σημαντική βλάβη στο DNA και σε άλλες κυτταρικές δομές, οδηγώντας σε μεταλλάξεις και αυξημένο κίνδυνο καρκίνου. Οι ακτίνες γάμμα μπορούν επίσης να προκαλέσουν οξεία ασθένεια ακτινοβολίας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ναυτία, έμετο, διάρροια, δερματικά εγκαύματα και άλλα συμπτώματα (Eriksson & Stigbrand, 2010).

Παρά τους πιθανούς κινδύνους των ακτινών γάμμα, έχουν επίσης ορισμένες ευεργετικές χρήσεις. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές θεραπείες για τη στόχευση και καταστροφή καρκινικών κυττάρων, καθώς και για την αποστείρωση ιατρικού εξοπλισμού και προμηθειών. Χρησιμοποιούνται επίσης σε ποικίλες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η απεικόνιση και ο ποιοτικός έλεγχος (Ryan, 2012).

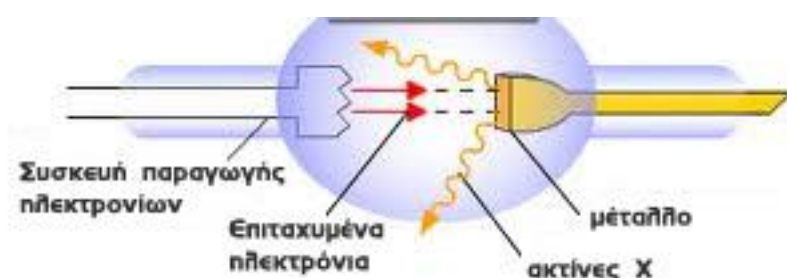
2.2.4 Ακτίνες x

Οι ακτίνες X ανακαλύφθηκαν από τον Wilhelm Conrad Roentgen, έναν Γερμανό φυσικό, στις 8 Νοεμβρίου 1895. Είναι άλλη μια μορφή ιοντίζουσας ακτινοβολίας που παράγεται από την αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας με την ύλη. Πιο συγκεκριμένα, οι ακτίνες X παράγονται όταν τα ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας συγκρούονται με έναν μεταλλικό στόχο, προκαλώντας την εκπομπή φωτονίων με μήκη κύματος που κυμαίνονται από 0,01 έως 10 νανόμετρα. Αυτά τα φωτόνια μπορούν να διεισδύσουν σε ιστούς ποικίλης πυκνότητας και απορροφώνται από τα οστά (NRC, 2020).



Εικόνα 2 Wilhelm Röntgen και η πρώτη ακτινογραφία

Πηγή: <https://mediteam.gr/%CE%BF-wilhelm-roentgen>



Εικόνα 3 Παραγωγή ακτίνων X

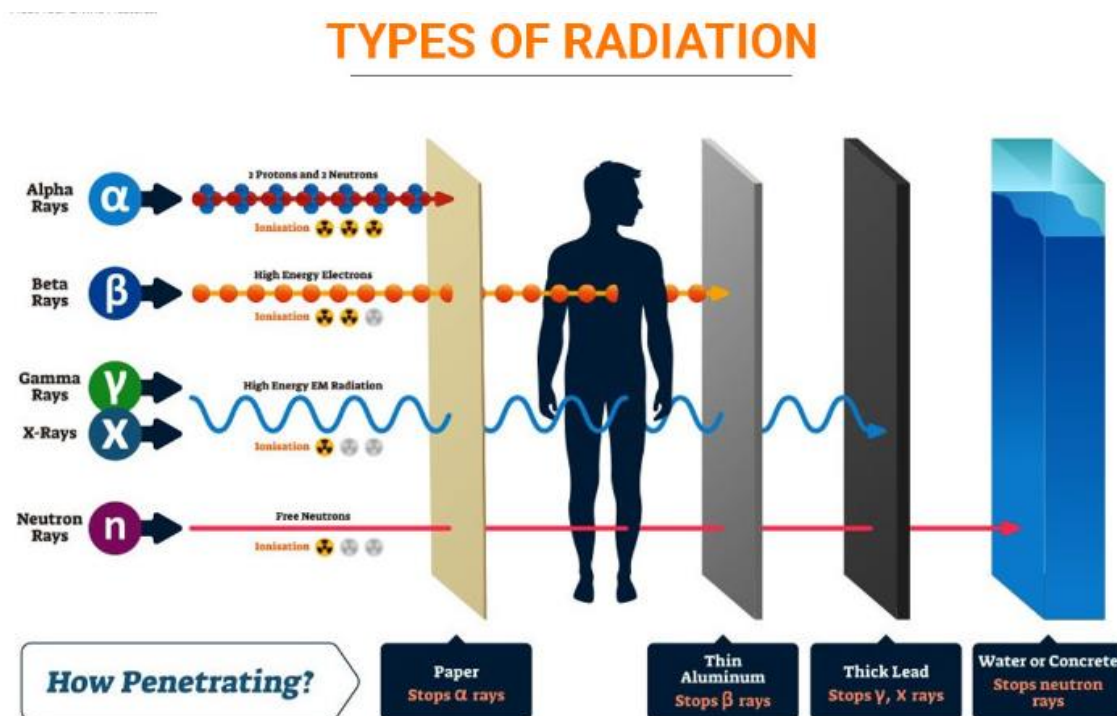
<https://coolweb.gr/aktines-x-rays/>

Χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική απεικόνιση λόγω της ικανότητάς τους να διεισδύουν στους ιστούς και να παράγουν εικόνες εσωτερικών δομών, όπου τα οστά εμφανίζονται λευκά, ενώ οι μαλακοί ιστοί φαίνονται γκριζοί. Οι ακτινογραφίες έχουν ένα ευρύ φάσμα ιατρικών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της διάγνωσης καταγμάτων των οστών, της ανίχνευσης οδοντικής τερηδόνας και του

προσυμπτωματικού ελέγχου ορισμένων τύπων καρκίνου (Luan et al., 2021). Τα μηχανήματα ακτίνων X χρησιμοποιούνται συνήθως σε νοσοκομεία, κλινικές και οδοντιατρεία και είναι γενικά ασφαλή όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα.

Ωστόσο, η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ακτίνων X μπορεί να είναι επιβλαβής, οδηγώντας σε ασθένεια ακτινοβολίας, καρκίνο και γενετικές μεταλλάξεις. Ως εκ τούτου, τα μέτρα ασφάλειας από την ακτινοβολία είναι ζωτικής σημασίας κατά τη χρήση ακτίνων X και οι επαγγελματίες του ιατρικού τομέα εκπαιδεύονται να ακολουθούν καθιερωμένα πρωτόκολλα για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης των ασθενών και των ίδιων τους.

Τα τελευταία χρόνια, οι εξελίξεις στην τεχνολογία οδήγησαν στην ανάπτυξη της ψηφιακής απεικόνισης ακτίνων X, η οποία προσφέρει βελτιωμένη ποιότητα εικόνας, χαμηλότερες δόσεις ακτινοβολίας και ταχύτερους χρόνους επεξεργασίας. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί και άλλες μέθοδοι απεικόνισης, όπως το υπερηχογράφημα και η μαγνητική τομογραφία (MRI), παρέχοντας εναλλακτικές επιλογές για τις ακτίνες X σε ορισμένες περιπτώσεις (Baskar et al., 2012).



Εικόνα 4 Είδη ακτινοβολίας και Διεισδυτική ισχύς.

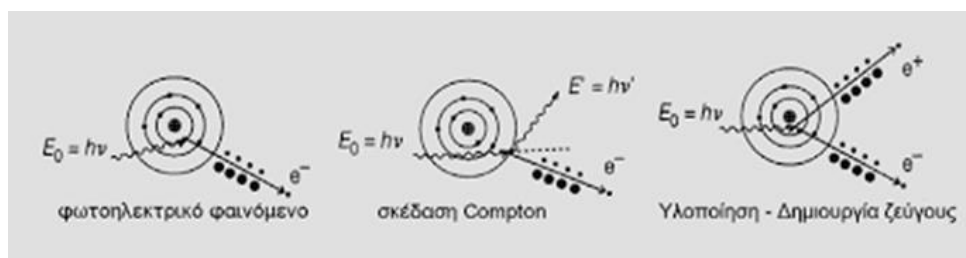
Πηγή: <https://telgurus.co.uk/what-is-the-difference-between-alpha-and-gamma-radiation/>

2.3 Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης

Η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης είναι η διαδικασία με την οποία η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ενέργειας από την ακτινοβολία στην ύλη (Leroy & Rancoita, 2011). Αυτή η αλληλεπίδραση είναι θεμελιώδης σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων, από την ιατρική απεικόνιση και την ακτινοθεραπεία μέχρι την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας και την εξερεύνηση του διαστήματος.

Υπάρχουν τρεις κύριοι μηχανισμοί με τους οποίους η ακτινοβολία μπορεί να αλληλοεπιδράσει με την ύλη:

- α) το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο,
- β) η σκέδαση Compton και
- γ) η παραγωγή ζευγών (Leroy & Rancoita, 2011).



Εικόνα 5 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, Σκέδαση Compton, Δημιουργία ζεύγους

Πηγή: http://nucl-lab.physics.auth.gr/NuclLab2002A_Introduction.

Οι μηχανισμοί αυτοί περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

α) Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι μια διαδικασία που συμβαίνει όταν ένα φωτόνιο φωτός αλληλοεπιδρά με ένα άτομο ή μόριο, προκαλώντας την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από το άτομο. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί θεμελιώδη αρχή της κβαντικής μηχανικής και έχει πολλές εφαρμογές στη σύγχρονη τεχνολογία (Moss, 2012).

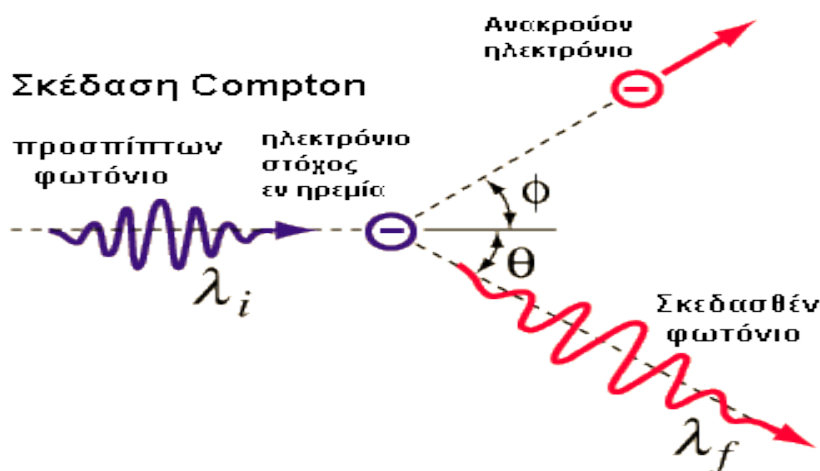
Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από τον Χάινριχ Χερτς στα τέλη του 19ου αιώνα, αλλά ήταν ο Άλμπερτ Αϊνστάιν που έδωσε μια θεωρητική

εξήγηση το 1905, για την οποία έλαβε το Νόμπελ Φυσικής (Smolin, 2019). Σύμφωνα με την εξήγηση του Αϊνστάιν, το φως αποτελείται από διακριτά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια και κάθε φωτόνιο μεταφέρει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας. Όταν ένα φωτόνιο συγκρούεται με ένα άτομο, μπορεί να μεταφέρει την ενέργειά του σε ένα από τα ηλεκτρόνια του ατόμου, προκαλώντας την διαφυγή του από το άτομο (Moss, 2012).

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές στη σύγχρονη τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένων των ηλιακών κυττάρων, των φωτοδιόδων και των σωλήνων φωτοπολλαπλασιαστή. Στα ηλιακά κύτταρα, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ στις φωτοδιόδους και τους σωλήνες φωτοπολλαπλασιαστή, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και την ενίσχυση των φωτεινών σημάτων (Moss, 2012).

β) Σκέδαση Compton

Η σκέδαση Compton είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει όταν ένα φωτόνιο υψηλής ενέργειας, όπως μια ακτίνα X ή ακτίνα γάμμα, αλληλοεπιδρά με ένα ηλεκτρόνιο στην ύλη. Το φωτόνιο μεταφέρει μέρος της ενέργειάς του στο ηλεκτρόνιο, με αποτέλεσμα να διαφύγει από την τροχιά του, και το φωτόνιο αλλάζει κατεύθυνση και χάνει μέρος της ενέργειάς του (Parks, 2015). Αυτό το φαινόμενο περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Άρθουρ Κόμπτον το 1923, για το οποίο τιμήθηκε με το Νόμπελ



Εικόνα 6 Σκέδαση Compton

Η σκέδαση Compton παίζει σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ιατρικής απεικόνισης, της ακτινοθεραπείας και της πυρηνικής φυσικής. Στην ιατρική απεικόνιση, η σκέδαση Compton χρησιμοποιείται σε αξονικές τομογραφίες, όπου οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία λεπτομερών εικόνων των εσωτερικών δομών του σώματος. Όταν οι ακτίνες X περνούν από το σώμα, μερικές απορροφώνται και άλλες υφίστανται σκέδαση Compton, παράγοντας ένα περίπλοκο σχέδιο διάσπαρτης ακτινοβολίας (Mehta et al., 2010). Αυτή η διάσπαρτη ακτινοβολία ανιχνεύεται και χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει μια τρισδιάστατη εικόνα του σώματος.

Η σκέδαση Compton χρησιμοποιείται επίσης στην ακτινοθεραπεία, όπου χρησιμοποιούνται ακτίνες X υψηλής ενέργειας ή ακτίνες γάμμα για την καταστροφή των καρκινικών κυττάρων. Η διάσπαρτη ακτινοβολία που παράγεται από τη σκέδαση Compton μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της δόσης ακτινοβολίας που παρέχεται στον ασθενή, διασφαλίζοντας ότι τα καρκινικά κύτταρα λαμβάνουν την απαραίτητη δόση, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη βλάβη στον περιβάλλοντα υγιή ιστό (Mehta et al., 2010).

Στην πυρηνική φυσική, η σκέδαση Compton χρησιμοποιείται για τη μελέτη της δομής των ατομικών πυρήνων και των υποατομικών σωματιδίων. Μετρώντας την ενέργεια και την κατεύθυνση της διάσπαρτης ακτινοβολίας, οι φυσικοί μπορούν να προσδιορίσουν τις ιδιότητες των σωματιδίων που αλληλεπιδρούν, παρέχοντας πληροφορίες για τη θεμελιώδη φύση της ύλης (Henriksen, 2022).

γ) Παραγωγή ζεύγους

Η παραγωγή ζεύγους είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει όταν ένα φωτόνιο υψηλής ενέργειας, όπως μια ακτίνα γάμμα, αλληλεπιδρά με το ηλεκτρικό πεδίο ενός πυρήνα ή ενός ηλεκτρονίου στην ύλη, παράγοντας ένα ζεύγος σωματιδίου-αντισωματιδίου, όπως ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο (Leroy & Rancoita, 2011).

Η παραγωγή ζευγών παίζει σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της σωματιδιακής φυσικής, της πυρηνικής φυσικής και της αστροφυσικής. Στη σωματιδιακή φυσική, η παραγωγή ζευγών χρησιμοποιείται για τη μελέτη των ιδιοτήτων υποατομικών σωματιδίων, όπως το κορυφαίο κουάρκ, το οποίο

μπορεί να παραχθεί μέσω της αλληλεπίδρασης ενός φωτονίου υψηλής ενέργειας με έναν πυρήνα σε ένα πείραμα επιταχυντή. Στην πυρηνική φυσική, η παραγωγή ζευγών χρησιμοποιείται για τη μελέτη της δομής των ατομικών πυρήνων και της συμπεριφοράς της πυρηνικής ύλης υπό ακραίες συνθήκες (Τραχανάς, 2009).

Η παραγωγή ζευγών παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην αστροφυσική. Οι ακτίνες γάμμα υψηλής ενέργειας που παράγονται από αστροφυσικές πηγές, όπως πάλσαρ, σουπερνόβα και ενεργοί γαλαξιακούς πυρήνες, μπορούν να αλληλεπιδράσουν με την ύλη στο διαστρικό χώρο, παράγοντας ζεύγη ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων. Η εκμηδένιση αυτών των ζευγών παράγει ακτίνες γάμμα με χαμηλότερη ενέργεια, οι οποίες μπορούν να ανιχνευθούν από τηλεσκόπια ακτίνων γάμμα, παρέχοντας πληροφορίες για τις ιδιότητες των αστροφυσικών πηγών (De Angelis & Mallamaci, 2018).

Επιπλέον, η παραγωγή ζευγών έχει πρακτικές εφαρμογές στην ιατρική απεικόνιση, όπου χρησιμοποιείται σε τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET). Στις σαρώσεις αυτές, ένας ραδιενεργός ιχνηθέτης εγχέεται στον ασθενή, ο οποίος εκπέμπει ποζιτρόνια. Όταν τα ποζιτρόνια αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια στο σώμα, παράγουν ακτίνες γάμμα μέσω εκμηδένισης, οι οποίες μπορούν να ανιχνευθούν από έναν σαρωτή PET και να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εικόνων των εσωτερικών δομών του σώματος (Mehta et al., 2010).

Ο τρόπος με τον οποίο η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος και η ενέργεια της ακτινοβολίας, ο ατομικός αριθμός του υλικού και η πυκνότητα του υλικού. Διαφορετικοί τύποι ακτινοβολίας έχουν διαφορετικές αλληλεπιδράσεις με την ύλη, με μερικούς να απορροφώνται πιο εύκολα από άλλους (Leroy & Rancoita, 2011).

Συνολικά, η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης είναι μια θεμελιώδης διαδικασία με την οποία η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ενέργειας από την ακτινοβολία στην ύλη. Αυτή η διαδικασία έχει σημαντικές εφαρμογές σε τομείς όπως η ιατρική απεικόνιση, η ακτινοθεραπεία, η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας και η εξερεύνηση του διαστήματος. Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την προστασία της ανθρώπινης υγείας και ασφάλειας (Leroy & Rancoita, 2011).

2.4 Επιπτώσεις ακτινοβολίας στον άνθρωπο

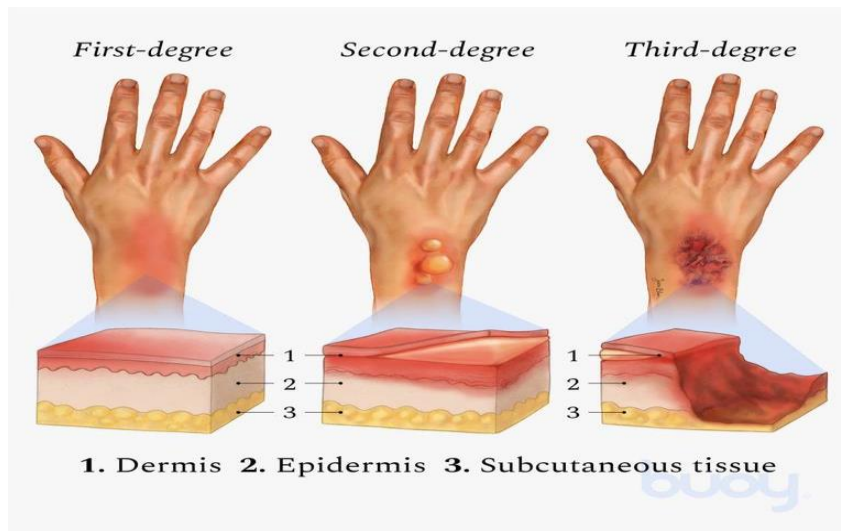
Η ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στους ζωντανούς ιστούς και η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για την υγεία του ανθρώπου. Οι επιπτώσεις της ακτινοβολίας στον άνθρωπο εξαρτώνται από (Αντωνόπουλος-Ντόμης, 2004):

- τον τύπο της ακτινοβολίας,
- τη διάρκεια/δόση της έκθεσης
- την ένταση της έκθεσης,
- την ηλικία και υγεία του ατόμου.

Οι δύο κύριοι τύποι ακτινοβολίας είναι η ιοντίζουσα και η μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η ιοντίζουσα ακτινοβολία έχει αρκετή ενέργεια για να αφαιρέσει τα συνδεδεμένα ηλεκτρόνια από τα άτομα, προκαλώντας ιονισμό και βλάβη στο κυτταρικό DNA. (Lemoigne, Caner & Rahal, 2007).

Οι επιπτώσεις της έκθεσης στην ακτινοβολία στους ανθρώπους μπορεί να ποικίλλουν από οξεία ασθένεια ακτινοβολίας έως μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία, όπως ο καρκίνος και η γενετική βλάβη. Αναλυτικότερα:

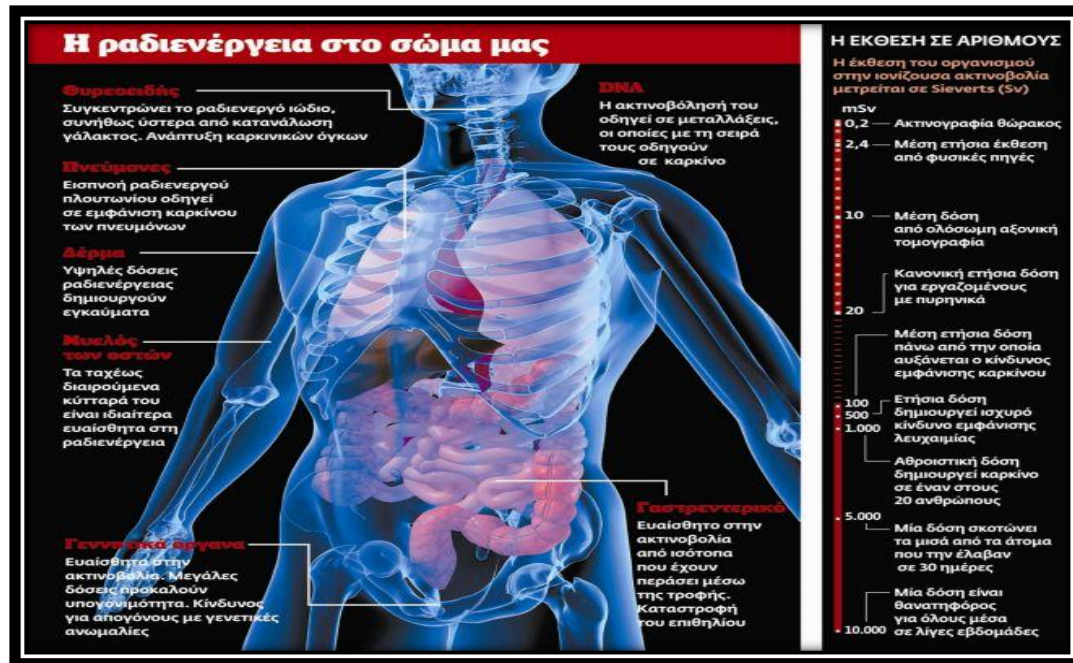
- Οξείες επιδράσεις: Υψηλές δόσεις ακτινοβολίας σε σύντομο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσουν οξείες επιδράσεις, όπως ασθένεια ακτινοβολίας, ναυτία, έμετο, διάρροια, δερματικά εγκαύματα και απώλεια μαλλιών. Αυτά τα αποτελέσματα συμβαίνουν όταν η ακτινοβολία καταστρέφει τα ταχέως διαιρούμενα κύτταρα του σώματος, όπως αυτά του μυελού των οστών, του γαστρεντερικού σωλήνα και του δέρματος (Desouky, Ding & Zhou, 2015).



Εικόνα 7 Εγκαύματα πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού

Πηγή <https://dailyinfographic.com/the-types-of-burns>

- **Μακροπρόθεσμες επιπτώσεις:** Η χρόνια έκθεση σε χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου και άλλων ασθενειών. Η ακτινοβολία μπορεί να βλάψει το DNA στα κύτταρα, οδηγώντας σε μεταλλάξεις που μπορεί να οδηγήσουν σε καρκίνο, λευχαιμία και γενετικές διαταραχές.
- **Επιδράσεις στην αναπαραγωγή:** Η έκθεση στην ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει τα αναπαραγωγικά κύτταρα, οδηγώντας σε στειρότητα, αποβολή και γενετικές μεταλλάξεις που μπορούν να μεταδοθούν στις μελλοντικές γενιές. Αυτό είναι γνωστό ως γενετική βλάβη και μπορεί να οδηγήσει σε γενετικές ανωμαλίες και άλλα προβλήματα υγείας. Οι έγκυες γυναίκες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην έκθεση σε ακτινοβολία, καθώς μπορεί να βλάψει το αναπτυσσόμενο έμβρυο και να αυξήσει τον κίνδυνο παιδικού καρκίνου και άλλων διαταραχών (Sreetharan et al., 2017).
- **Ψυχολογικές επιπτώσεις:** Η έκθεση στην ακτινοβολία μπορεί επίσης να έχει ψυχολογικές επιπτώσεις, όπως άγχος, κατάθλιψη και διαταραχή μετατραυματικού στρες (PTSD). Αυτές οι επιπτώσεις μπορεί να εμφανιστούν σε άτομα που έχουν υποστεί οξεία ή χρόνια έκθεση σε ακτινοβολία (Ryan, 2012).



Εικόνα 8 Η ραδιενέργεια στο ανθρώπινο σώμα

Πηγή: <https://blogs.sch.gr/stayrakant/2011/04/01/%CE%B7-%CE%B6%CF%89%CE%AE-%CE%BC%CE%B5-%CF%84%CE%B7-%CF%81%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1/>

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν είναι κάθε έκθεση σε ακτινοβολία επιβλαβής. Οι άνθρωποι εκτίθενται καθημερινά σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας από φυσικές πηγές όπως ο ήλιος και ο φλοιός της γης, και αυτά τα επίπεδα γενικά θεωρούνται ασφαλή. Ωστόσο, η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας, είτε από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς πηγές, μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για την υγεία (Desouky, Ding & Zhou, 2015).

Για την προστασία από τις βλαβερές συνέπειες της ακτινοβολίας, έχουν αναπτυχθεί κανονισμοί και οδηγίες ασφαλείας για τους εργαζόμενους σε βιομηχανίες που περιλαμβάνουν ακτινοβολία, καθώς και για το ευρύ κοινό. Στους κανονισμούς αυτούς συμπεριλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, ο καθορισμός ορίων στην έκθεση στην ακτινοβολία, η παρακολούθηση των επιπέδων ακτινοβολίας στους χώρους εργασίας και η χρήση προστατευτικού εξοπλισμού, όπως ποδιές από μόλυβδο και γάντια. Αυτοί οι κανονισμοί στοχεύουν να περιορίσουν την ποσότητα ακτινοβολίας στην οποία εκτίθενται τα άτομα και να διασφαλίσουν ότι ο εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις που παράγουν ακτινοβολία είναι ασφαλείς και καλά συντηρημένοι (Martin et al., 2018).

2.5 Έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές εκθέσεις

Οι τεχνολογίες ιατρικής απεικόνισης όπως οι ακτίνες X, η τομογραφία και οι διαδικασίες πυρηνικής ιατρικής έχουν φέρει επανάσταση στη διάγνωση και τη θεραπεία διαφόρων ιατρικών καταστάσεων. Ωστόσο, αυτές οι διαδικασίες εκθέτουν τους ασθενείς σε ιοντίζουσα ακτινοβολία, η οποία μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο καρκίνου και άλλες δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία (Γεωργίου, 2013). Στη συνέχεια, αναφέρονται αναλυτικά οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές διαδικασίες, όπως και τα όρια που έχουν καθοριστεί για τη διασφάλιση της ασφάλειας των ασθενών.

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι κάθε τύπος ακτινοβολίας που έχει αρκετή ενέργεια για να αφαιρέσει ηλεκτρόνια από τα άτομα, οδηγώντας στη δημιουργία ιόντων. Αυτό περιλαμβάνει τις ακτίνες X και τις ακτίνες γάμμα, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε ιατρικές διαδικασίες. Ενώ αυτές οι μορφές ακτινοβολίας είναι γενικά ασφαλείς όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα, μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στα κύτταρα και στο DNA, όταν τα επίπεδα έκθεσης είναι υψηλά ή συχνά (White & Mallya, 2012).

Οι ιατρικές εκθέσεις αναφέρονται στη χρήση ακτινοβολίας για διαγνωστικούς ή θεραπευτικούς σκοπούς σε ιατρικούς χώρους. Ενώ αυτές οι διαδικασίες μπορούν να παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για τη διάγνωση και τη θεραπεία ιατρικών καταστάσεων, εκθέτουν επίσης τους ασθενείς σε ιοντίζουσα ακτινοβολία, η οποία μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου ή άλλων προβλημάτων υγείας που σχετίζονται με την ακτινοβολία (Αντωνόπουλος-Ντόμης, 2004).

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ιατρικών εκθέσεων: η διαγνωστική και η θεραπευτική. Οι διαγνωστικές εκθέσεις περιλαμβάνουν απεικονιστικές εξετάσεις όπως ακτίνες X, αξονική τομογραφία (CT) και μαστογραφία, ενώ οι θεραπευτικές εκθέσεις περιλαμβάνουν ακτινοθεραπεία που χρησιμοποιείται για τη θεραπεία του καρκίνου. Και οι δύο τύποι έκθεσης χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία για να επιτύχουν τους επιδιωκόμενους σκοπούς τους (Γεωργίου, 2013).

Η Διεθνής Επιτροπή Ραδιολογικής Προστασίας (ICRP) είναι ένας ανεξάρτητος οργανισμός που παρέχει καθοδήγηση σχετικά με την ακτινοπροστασία. Ο οργανισμός

αυτός έχει θεσπίσει συγκεκριμένα όρια για την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία για την προστασία τόσο των ασθενών όσο και των εργαζομένων στον τομέα της υγείας (ICRP, 2007). Αυτά τα όρια βασίζονται στην αρχή της διατήρησης των δόσεων ακτινοβολίας τόσο χαμηλές όσο είναι εύλογα εφικτό, ενώ λαμβάνονται υπόψη τα οφέλη των ιατρικών διαδικασιών.

Γενικά, τα συνιστώμενα όρια δόσης για το ευρύ κοινό είναι χαμηλότερα από αυτά για την επαγγελματική έκθεση, αντανακλώντας την ανάγκη ελαχιστοποίησης των περιττών κινδύνων (NCRP, 2022). Για το ευρύ κοινό, το συνιστώμενο όριο είναι 1 mSv ετησίως, με επιπλέον όριο 1 mSv ετησίως για έκθεση από φυσικές πηγές. Επιπλέον για το φακό του οφθαλμού, η ισοδύναμη δόση δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15 mSv και για το δέρμα η ισοδύναμη δόση δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 50mSv. Αντίθετα για τους επαγγελματίες που εκτίθενται στην ακτινοβολία, σύμφωνα με την Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, τα όρια δόσεων προκύπτουν από το σύνολο της επαγγελματικής τους έκθεσης σε ετήσια βάση (<https://eeae.gr>). Η ενεργός δόση δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 20 mSv ετησίως, σύμφωνα με τον Κανονισμό Ακτινοπροστασίας, με μέγιστο τα 50 mSv ετησίως, εφόσον για πέντε έτη δεν έχει ξεπεραστεί το όριο των 20 mSv. Για το φακό του οφθαλμού, η ισοδύναμη δόση δεν θα πρέπει επίσης να ξεπερνά τα 20 mSv ετησίως ή τα 100 mSv για μια πενταετία, με ανώτατο όριο τα 50 mSv για ένα μόνο έτος. Για το δέρμα, το όριο της ισοδύναμης δόσης είναι 500 mSv ετησίως και το ίδιο ισχύει και για τα άκρα.

Πίνακας 2. Όρια δόσεων ακτινοβολίας για το ευρύ κοινό και τους επαγγελματίες

		Όρια για το ευρύ κοινό (mSv/έτος)	Όρια για τους επαγγελματίες (mSv/έτος)
Ενεργός δόση ιοντίζουσας ακτινοβολίας		1 mSv +1 mSv από φυσικές πηγές	20 mSv μέγιστο 50 mSv
Ισοδύναμη δόση	Φακός ματιού	15 mSv	150 mSv
	Δέρμα	50 mSv	500 mSv
	Άκρα		500 mSv

Η ακτινοβολία από ιατρικές εκθέσεις αντιπροσωπεύει περίπου το 20% της συνολικής δόσης ιονίζουσας ακτινοβολίας που λαμβάνει ο γενικός πληθυσμός. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της έκθεσης προέρχεται από διαγνωστικές απεικονιστικές διαδικασίες,

ιδιαίτερα από ακτινογραφίες και CT. Σύμφωνα με το Εθνικό Συμβούλιο για την προστασία από την ακτινοβολία και τις μετρήσεις (NCRP, 2022), η μέση αποτελεσματική δόση ανά άτομο από ιατρικές εκθέσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες αυξήθηκε από 3,0 mSv το 1980 σε 6,2 mSv το 2006. Ωστόσο, υπήρξε μείωση στη χρήση ορισμένων διαδικασιών, όπως οι ακτινογραφίες και η πυρηνική ιατρική, τα τελευταία χρόνια.

Στις ιατρικές διαδικασίες, η δόση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας που λαμβάνει ο ασθενής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- ο τύπος της διαδικασίας,
- η τεχνολογία απεικόνισης που χρησιμοποιείται,
- ο αριθμός των εικόνων που λαμβάνονται
- η ηλικία και η υγεία του ασθενούς (Αντωνόπουλος-Ντόμης, 2004).

Οι CT και οι διαδικασίες πυρηνικής ιατρικής τείνουν να έχουν υψηλότερες δόσεις ακτινοβολίας από τις ακτίνες X και πολλαπλές σαρώσεις ή διαδικασίες μπορούν να αυξήσουν τη συνολική έκθεση (Hine & Brownell, 2013). Για παράδειγμα, μια ακτινογραφία θώρακος συνήθως καταλήγει σε δόση περίπου 0.1 mSv, ενώ μια CT κοιλίας και λεκάνης μπορεί να οδηγήσει σε δόση έως και 18 mSv (<https://eeae.gr>).

Για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που συνδέονται με την ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές εκθέσεις, έχουν θεσπιστεί διάφορα όρια έκθεσης και κατευθυντήριες γραμμές. Έτσι, οι επαγγελματίες του ιατρικού κλάδου απαιτείται να ακολουθούν αυστηρές οδηγίες και πρωτόκολλα για τη διαχείριση της δόσης ακτινοβολίας, διασφαλίζοντας την υγεία των ασθενών. Τα πρωτόκολλα αυτά και οι οδηγίες περιλαμβάνουν τη χρήση της χαμηλότερης δυνατής δόσης ακτινοβολίας για τις απαραίτητες διαγνωστικές εξετάσεις και τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών για τη μείωση της έκθεσης σε ακτινοβολία (Cuttler, 2020).

Πιο συγκεκριμένα για διαγνωστικές ακτινολογικές διαδικασίες, όπως ακτινογραφίες και CT, τα όρια έκθεσης βασίζονται στην αποτελεσματική δόση, η οποία λαμβάνει υπόψη τους συγκεκριμένους τύπους ακτινοβολίας και τις βιολογικές τους επιπτώσεις στο ανθρώπινο σώμα. Η αποτελεσματική δόση εκφράζεται σε μονάδες millisieverts (mSv), η οποία μετρά την ποσότητα ενέργειας ακτινοβολίας που απορροφάται ανά μονάδα μάζας (White & Mallya, 2012). Το όριο αποτελεσματικής δόσης για τις

διαγνωστικές ακτινολογικές εξετάσεις ποικίλλει ανάλογα με τη συγκεκριμένη διαδικασία και την ηλικία και την υγεία του ασθενούς. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η ενεργός δόση των συνηθέστερων εξετάσεων.

Πίνακας 3 Όρια εξετάσεων

Εξέταση	Ενεργός δόση εξέτασης (mSv)
CT θώρακος	9 mSv
CT κοιλίας και λεκάνης	18 mSv
Ακτινογραφία θώρακος	< 0.1 mSv
Ακτινογραφία οσφυϊκής μοίρας Σπονδυλικής στήλης	1 mSv
Ακτινογραφία άνω/κάτω άκρων	0.001 mSv
Μαστογραφία	0.3 mSv
Στεφανιογραφία	14 mSv
Σπινθηρογράφημα οστών με Tc-99m	3.8 mSv
PET/CT με FDG, F-18	6.6 mSv

Πηγή: <https://eeae.gr>

Για τις επεμβατικές ακτινολογικές διαδικασίες, οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση ακτινοβολίας για την καθοδήγηση ελάχιστα επεμβατικών διαδικασιών, τα όρια έκθεσης είναι συνήθως υψηλότερα από εκείνα για τις διαγνωστικές διαδικασίες. Ωστόσο, αυτές οι διαδικασίες απαιτούν επίσης πιο προσεκτική παρακολούθηση και διαχείριση της έκθεσης στην ακτινοβολία. Το όριο αποτελεσματικής δόσης για μια επεμβατική ακτινολογική διαδικασία μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως 20 mSv, ανάλογα με τον τύπο και τη διάρκεια της διαδικασίας (NCRP, 2022).

Η ακτινοθεραπεία, η οποία χρησιμοποιείται για τη θεραπεία του καρκίνου, περιλαμβάνει υψηλότερες δόσεις ιονίζουσας ακτινοβολίας από τις διαδικασίες διαγνωστικής ακτινολογίας. Τα όρια έκθεσης για την ακτινοθεραπεία βασίζονται στην απορροφούμενη δόση, η οποία μετρά την ποσότητα ενέργειας ακτινοβολίας που απορροφάται από έναν συγκεκριμένο ιστό ή όργανο (Hine & Brownell, 2013). Η απορροφούμενη δόση εκφράζεται σε μονάδες γκρέυ (Gy), που μετρά την ποσότητα ενέργειας που απορροφάται ανά μονάδα μάζας. Το όριο απορροφούμενης δόσης για την ακτινοθεραπεία ποικίλλει ανάλογα με τον συγκεκριμένο τύπο καρκίνου που αντιμετωπίζεται και τη θέση του όγκου. Η συνολική απορροφούμενη δόση για ακτινοθεραπεία τυπικά χωρίζεται σε πολλά κλάσματα, ή μικρότερες δόσεις, για να

ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος βλάβης από ακτινοβολία στους υγιείς ιστούς που περιβάλλουν τον όγκο. Το όριο απορροφούμενης δόσης για ακτινοθεραπεία ορίζεται τυπικά σε 50 έως 70 Gy, ανάλογα με τον τύπο του καρκίνου (NCRP, 2022).

Τέλος, επισημαίνεται πως για τη διασφάλιση της υγείας των ασθενών, υπάρχουν συστήματα παρακολούθησης της δόσης ακτινοβολίας (Holmberg, Czarwinski & Mettler, 2010), προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η δόση ακτινοβολίας που λαμβάνει ο ασθενής είναι εντός ασφαλών ορίων.

Γενικά, οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές διαδικασίες είναι γενικά χαμηλοί, αλλά μπορεί να είναι σημαντικοί για ορισμένους ασθενείς, ιδιαίτερα εκείνους που λαμβάνουν συχνή ή υψηλές δόσεις έκθεσης (Αντωνόπουλος-Ντόμης, 2004). Παιδιά, έγκυες γυναίκες και άτομα με ορισμένες ιατρικές παθήσεις μπορεί να διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο για ανεπιθύμητες ενέργειες από την έκθεση στην ακτινοβολία (Do, 2016). Είναι σημαντικό για τους επαγγελματίες του ιατρικού τομέα να λαμβάνουν υπόψη αυτούς τους παράγοντες κατά την παραπομπή και την εκτέλεση ιατρικών διαδικασιών απεικόνισης.

Συμπερασματικά, η έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές διαδικασίες είναι ένας πιθανός κίνδυνος για την υγεία που θα πρέπει να αντιμετωπίζεται προσεκτικά. Για τον λόγο αυτό, έχουν θεσπιστεί πρωτόκολλα και συνιστώμενα όρια για την έκθεση σε ακτινοβολία, τα οποία οι επαγγελματίες του ιατρικού τομέα απαιτείται να ακολουθούν αυστηρά για να διασφαλίζουν την ασφάλεια των ασθενών. Χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες, χρησιμοποιώντας συστήματα παρακολούθησης της δόσης ακτινοβολίας και λαμβάνοντας υπόψη μεμονωμένους παράγοντες του ασθενούς, οι επαγγελματίες υγείας έχουν τη δυνατότητα να ελαχιστοποιήσουν τους κινδύνους που σχετίζονται με την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές διαδικασίες (Holmberg, Czarwinski & Mettler, 2010).

3. COVID-19

3.1. Η νόσος

Ο COVID-19, είναι μια ιογενής αναπνευστική νόσος που πρωτοεμφανίστηκε στο τέλος του 2019 στην Κίνα. Από τότε, εξαπλώθηκε σε παγκόσμιο επίπεδο προκαλώντας έντονο προβληματισμό λόγω της ταχείας εξάπλωσης του ιού και των δυσκολιών που προκαλεί στη διάγνωση, τη θεραπεία και τον έλεγχο της νόσου.

Ο SARS-CoV-2 ανήκει στην ίδια οικογένεια με τους ιούς που προκάλεσαν τις επιδημίες του SARS το 2003 και του MERS το 2012 (Brodin, 2021). Οι ασθενείς παρουσιάζουν εύρος συμπτωμάτων, από ελαφριά έως σοβαρά, συμπεριλαμβανομένου πυρετού, βήχα, κόπωσης. Σε σοβαρότερες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν πνευμονία, αναπνευστική ανεπάρκεια και θάνατο. Ο τρόπος μετάδοσης του ιού γίνεται κυρίως από τον ένα άνθρωπο στον άλλο μέσω των αναπνευστικών σταγονιδίων ή μέσω επαφής με μολυσμένες επιφάνειες ή αντικείμενα (Ali & Alharbi, 2020).

Κατά τη διάρκεια του COVID-19, ο ρόλος των ιατρικών εξετάσεων υπήρξε κρίσιμος για τη διάγνωση, την αξιολόγηση και την παρακολούθηση της νόσου. Καθώς ο αριθμός των ασθενών που εισάγονταν στα νοσοκομεία και τα ιατρικά κέντρα αυξανόταν συνεχώς κατά τη διάρκεια της πανδημίας, αυξήθηκε και η ανάγκη για διαγνωστικές εξετάσεις. Στην περίπτωση των ιατρικών εξετάσεων που βασίζονται στην ιοντίζουσα ακτινοβολία, (ακτινογραφία θώρακα και η CT) παρατηρήθηκε αύξηση, λόγω του μεγαλύτερου αριθμού εξετάσεων που απαιτούνται για την διάγνωση και την παρακολούθηση της COVID-19, καθώς και για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της νόσου σε ασθενείς με σοβαρά συμπτώματα, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η έκθεση του γενικού πληθυσμού. (Niu et al., 2020).

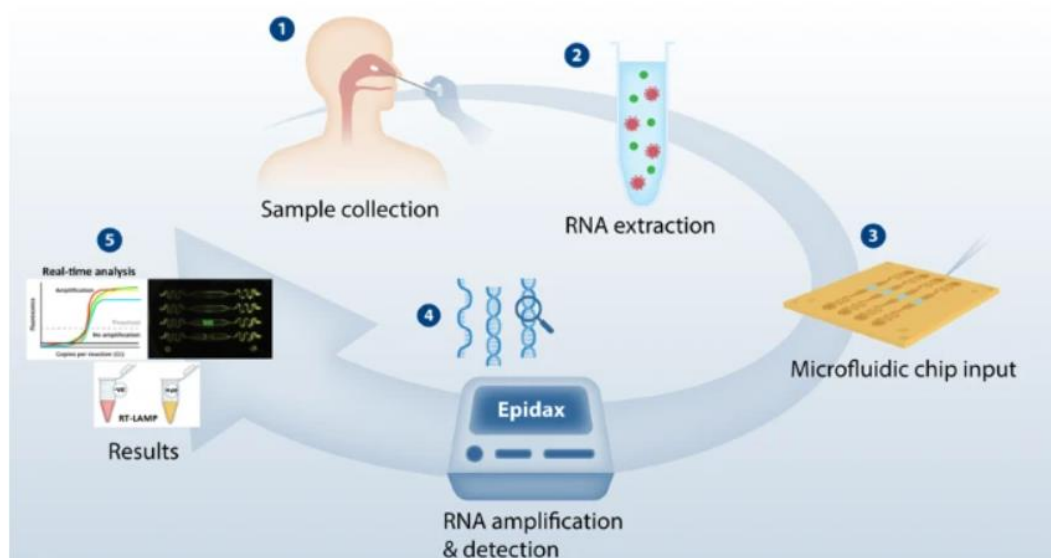
3.2 Διαγνωστικοί Μέθοδοι

Για τη διάγνωση του Covid-19 χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, οι κυριότερες :

- μοριακός έλεγχος RT-PCR (Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction),
- η CT

- η ακτινογραφία (Niu et al., 2020).
- PET και SPECT

Αναλυτικότερα, ο μοριακός έλεγχος RT-PCR αποτελεί την κύρια και πιο αξιόπιστη μέθοδο για τη διάγνωση του Covid-19. Από την έναρξη της πανδημίας, ο RT-PCR έχει αποτελέσει καταλυτικό εργαλείο για την ανίχνευση του ιού SARS-CoV-2, που προκαλεί το Covid-19. (Teymouri et al., 2021).



Εικόνα 9 Διαδικασία μοριακού ελέγχου RT-PCR

Πηγή: Nguyen et al., 2022

Ακόμη, η CT έχει αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για τον εντοπισμό των πνευμονικών βλαβών που προκαλεί ο ιός SARS-CoV-2. Η CT μπορεί να ανιχνεύσει τις πνευμονικές λοιμώξεις που σχετίζονται με τον ιό, ώστε να βοηθήσει τους ιατρούς να διαγνώσουν τον Covid-19, ειδικά σε περιπτώσεις που ο μοριακός έλεγχος RT-PCR δεν είναι διαθέσιμος ή παρουσιάζει αμφισβητήσιμα αποτελέσματα. Επιπλέον, η CT μπορεί να παρακολουθεί την πρόοδο της νόσου και την αποτελεσματικότητα της θεραπείας.



Εικόνα 10 CT θώρακος

Πηγή: <https://www.iprolipsi.gr/ypiresies/axoniki-thorakos/>



(a)



(b)

Εικόνα 11 CT (a) υγιής πνεύμονας, (b) μόλυνση από COVID-19

<https://www.mdpi.com/1099-4300/22/5/517>



Εικόνα 12 CT θώρακος συμβατή με πνευμονία σε ασθενείς με επιδημιολογική και κλινική εικόνα ύποπτη για λοίμωξη από COVID-19

Πηγή: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2020200432>

Τέλος, η ακτινογραφία (X-ray) αποτελεί μία από τις απεικονιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση του Covid-19. Παρόλο που ο πλήρης και αξιόπιστος τρόπος διάγνωσης του Covid-19 παραμένει ο μοριακός έλεγχος RT-PCR, η ακτινογραφία έχει αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό των πνευμονικών βλαβών που σχετίζονται με τον ιό SARS-CoV-2 (Yasin & Gouda, 2020).

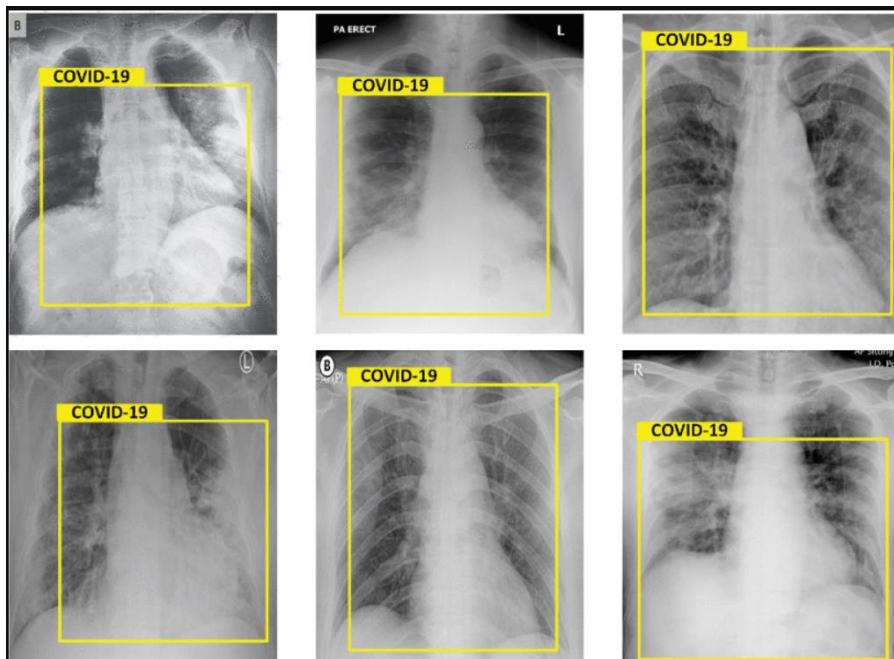
Κατά τη διάρκεια της πανδημίας, η ακτινογραφία του θώρακα χρησιμοποιήθηκε ευρέως για να ανιχνεύσει τυπικά συμπτώματα του Covid-19. Οι πνευμονικές λοιμώξεις που προκαλεί ο ιός μπορούν να παρουσιάζουν χαρακτηριστικές εικόνες στην ακτινογραφία, όπως πεδία με πυκνές σκοτεινές περιοχές. Αυτά τα ευρήματα μπορούν να βοηθήσουν τους ιατρούς να ανιχνεύσουν τον Covid-19 και να οδηγηθούν σε περαιτέρω διαγνωστικές διαδικασίες (Yasin & Gouda, 2020). Οι ακτινογραφίες του θώρακα μπορούν να είναι ειδικά χρήσιμες σε κρίσιμες καταστάσεις, καθώς παρέχουν άμεση εικόνα της πνευμονικής κατάστασης του ασθενούς. Είναι εύκολες στη χρήση, και τα αποτελέσματά τους είναι άμεσα διαθέσιμα. Αυτό καθιστά την ακτινογραφία μια απλή και πρακτική επιλογή για την διάγνωση και παρακολούθηση των ασθενών με υποψία ή επιβεβαιωμένο Covid-19. Οι επανελεγχόμενες ακτινογραφίες μπορούν να δείξουν τη μείωση των βλαβών στους πνεύμονες,

καθιστώντας τη μέθοδο αυτή ένα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της πορείας της νόσου (Mruk et al., 2021).



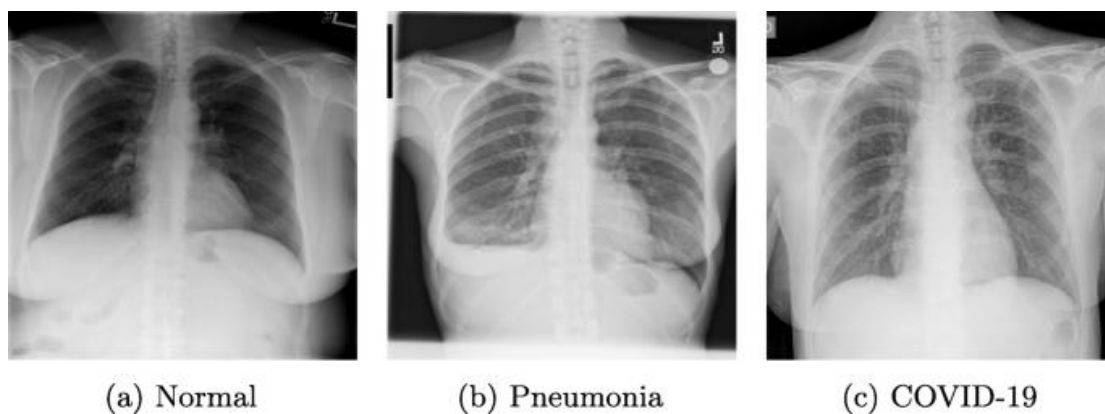
Εικόνα 13 Ακτινογραφικό μηχάνημα

Πηγή: <https://www.goldmall.gr/aktinografia-thoraka-alpha-diagnwsi-19018>



Εικόνα 14 Αποτελέσματα ακτινογραφιών θώρακος που ανιχνεύθηκαν με Covid-19

Πηγή: <https://www.itnonline.com/content/photo-gallery-how-covid-19-appears-medical-imaging>



Εικόνα 15 Ακτινογραφίες θώρακος σε α)φυσιολογικό ασθενή χωρίς πνευμονικές παθήσεις, β)ασθενή με πνευμονία γ)ασθενή με COVID-19

<https://bmcmmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12874-022-01578-w>

Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι η CT όπως και η ακτινογραφία εκθέτουν τους ασθενείς σε δόσεις ιοντίζουσας ακτινοβολίας, οπότε πρέπει να γίνονται με σύνεση και με κριτική προσέγγιση.

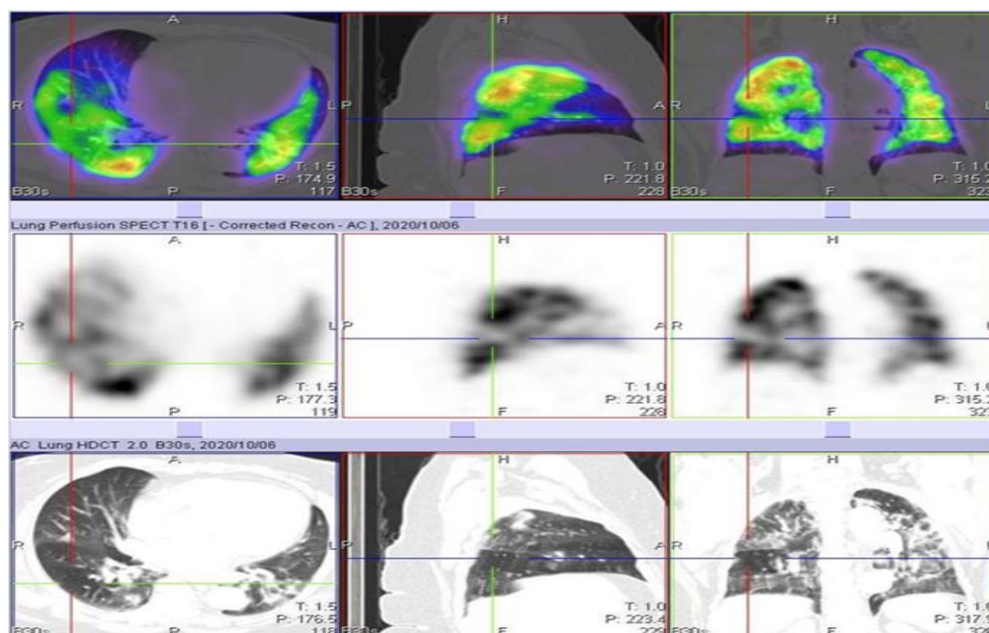
Οι παραπάνω απεικονιστικές μέθοδοι παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την παρουσία του ιού, την κατάσταση του πνευμονικού ιστού και την αντίδραση του οργανισμού στην λοίμωξη. Επίσης, επιτρέπουν την παρακολούθηση της εξέλιξης της νόσου και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της θεραπείας.

Ενώ η κύρια διαγνωστική μέθοδος για τον COVID-19 παραμένει η μοριακή δοκιμή RT-PCR, ενώ ορισμένες τεχνικές πυρηνικής απεικόνισης μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για τις φυσιολογικές αλλαγές και τη μεταβολική δραστηριότητα στους πνεύμονες και άλλους ιστούς που επηρεάζονται από τον ιό.(Evangelista et al., 2020).

Οι τομογραφίες PET έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του φλεγμονώδους ιστού και ανωμαλιών της περιφοράς αέρα σε ασθενείς με COVID-19. Μέσω της ανίχνευσης περιοχών με αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα, η τομογραφία PET μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό περιοχών με ενεργό υικό πολλαπλασιασμό ή περιοχών με φλεγμονή, κάτι που μπορεί να συμβάλει στη διαχείριση της νόσου.

Στον COVID-19, η απεικόνιση SPECT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό περιοχών μειωμένης πνευμονικής αιμάτωσης, υποδεικνύοντας περιοχές με μειωμένη ροή αίματος. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να είναι πολύτιμες για την αξιολόγηση της

σοβαρότητας της προσβολής των πνευμόνων και την παρακολούθηση της εξέλιξης της νόσου με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 16 SPECT/CT γυναίκας 42 ετών, 13 ημέρες μετά τη μόλυνση με COVID-19

Πηγή: <https://ejrnm.springeropen.com/>

Η πυρηνική ιατρική έχει επί του παρόντος περιορισμένο ρόλο στη διάγνωση της πνευμονίας SARS-CoV-2 και οι δύο τεχνικές απεικόνισης PET και SPECT μπορούν να παρέχουν μόνο συμπληρωματικές πληροφορίες στις συμβατικές διαγνωστικές μεθόδους, τις CT ή τις ακτινογραφίες θώρακα. Επιπλέον, αυτές οι μέθοδοι πυρηνικής απεικόνισης μπορούν να βοηθήσουν στη διαφοροποίηση του COVID-19 από άλλες αναπνευστικές παθήσεις που παρουσιάζουν παρόμοια συμπτώματα, βοηθώντας στην ακριβή διάγνωση (Evangelista et al., 2020).

3.3 COVID-19 και μεταβολές στη χρήση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης

Η έκθεση του γενικού πληθυσμού στην ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές διαδικασίες υπήρξε θέμα ανησυχίας και έρευνας τόσο πριν όσο και μετά την πανδημία του Covid-19 (Dann & Sun, 2022). Πριν από την πανδημία, οι διαδικασίες ιατρικής απεικόνισης που χρησιμοποιούν ιονίζουσα ακτινοβολία ήταν σε άνοδο λόγω του ουσιαστικού τους ρόλου στη διάγνωση και παρακολούθηση διαφόρων ιατρικών

καταστάσεων. Ωστόσο, η εμφάνιση της πανδημίας Covid-19 επέφερε σημαντικές αλλαγές στις πρακτικές υγειονομικής περίθαλψης και στη συμπεριφορά των ασθενών, επηρεάζοντας τη χρήση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης (de Almeida et al., 2023; Sreedharan et al., 2022).

Πριν από την πανδημία, ιατρικές απεικονιστικές εξετάσεις που περιελάμβαναν ιονίζουσα ακτινοβολία, όπως ακτίνες X, CT και τεχνικές πυρηνικής ιατρικής, πραγματοποιούνταν τακτικά για να βοηθήσουν στη διάγνωση και τη διαχείριση ασθενειών. Το αποτέλεσμα των επαναλαμβανόμενων απεικονιστικών εξετάσεων με την πάροδο του χρόνου ήταν θέμα ανησυχίας, καθώς θα μπορούσε ενδεχομένως να αυξήσει τον κίνδυνο ανάπτυξης προβλημάτων υγείας που σχετίζονται με την ακτινοβολία. (Tay et al., 2021).

3.3.1 Αύξηση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης

Είναι γεγονός ότι, η πανδημία του COVID-19 οδήγησε σε αύξηση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης, όπως CT και ακτινογραφίες θώρακος, για τη διάγνωση και την παρακολούθηση ασθενών με ύποπτα ή επιβεβαιωμένα περιστατικά της νόσου καθώς, υπήρξε η ανάγκη για ακριβέστερη και έγκαιρη διάγνωση των κρουσμάτων (Rubin et al., 2020). Οι CT έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη διάγνωση του COVID-19 σε ασθενείς, καθώς μπορούν να εντοπίσουν ανωμαλίες των πνευμόνων που σχετίζονται με τον ιό. Οι ακτινογραφίες θώρακα έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί στη διάγνωση, καθώς μπορούν να ανιχνεύσουν αλλαγές στον πνευμονικό ιστό.

Αυτές οι τεχνικές απεικόνισης, που περιλαμβάνουν ιονίζουσα ακτινοβολία, έχουν διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση της πανδημίας, αποτελώντας ένα κρίσιμο εργαλείο για τη διάγνωση και τη θεραπεία ασθενών με COVID-19.

Όπως προαναφέρθηκε, η πανδημία COVID-19 έχει προκαλέσει διακυμάνσεις στη ζήτηση των ιατρικών απεικονιστικών διαδικασιών.

Ένας λόγος για την αύξηση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης, είναι η ανάγκη μείωσης του κινδύνου μετάδοσης του COVID-19. Σε πολλές περιπτώσεις, οι διαδικασίες ιατρικής απεικόνισης έχουν αντικαταστήσει τις φυσικές εξετάσεις, οι οποίες απαιτούν στενή επαφή μεταξύ του ασθενούς και ιατρού. (Bharati et al. 2021)

Επιπλέον, η πανδημία οδήγησε σε σημαντική αύξηση του αριθμού των ασθενών με χρόνιες παθήσεις που απαιτούν ιατρική απεικόνιση. Αυτοί οι ασθενείς μπορεί να έχουν καθυστερήσει ή να έχουν χάσει τακτικές εξετάσεις και ραντεβού κατά τη διάρκεια της πανδημίας, οδηγώντας σε συσσώρευση ιατρικών απεικονιστικών διαδικασιών.

Οι Delgado Bolton et al. (2021), στο πλαίσιο διερεύνησης των προκλήσεων που πρόεκυψαν λόγω της πανδημίας, υπογραμμίζουν μεταξύ άλλων και την αυξημένη ζήτηση για υπηρεσίες απεικόνισης, τα ευρήματα της μελέτης των Akudjedu et al. (2021), κατέληξαν στην αυξημένη ζήτηση των ακτινογραφιών και σύμφωνα με τους Loftus et al. (2022) αυξήθηκε κατά περίπου 40% και η χρήση αξονικών τομογράφων θώρακα σε σύγκριση με την προ-COVID περίοδο.

Επιπλέον, οι Tan et al. (2021); Blažić, Brkljačić και Frijja (2021). εξετάζοντας τον αντίκτυπο της πανδημίας στη ζήτηση για υπηρεσίες ακτινολογίας, διαπίστωσαν αύξηση της ζήτησης, η οποία ήταν ιδιαίτερα αξιοσημείωτη για τις ακτινογραφίες θώρακος και τις CT .

Οι Yurdaisik et al. 2021;Cristofaro et al. (2021) μελέτησαν την έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία των ασθενών με COVID-19, διαπιστώνοντας ότι υπήρξε αδικαιολόγητα υψηλή. Πιο συγκεκριμένα, τα ευρήματα της μελέτης τους έδειξαν ότι όλοι οι ασθενείς με ιστορικό επαφής με COVID-19 ή και συμπτώματα που σχετίζονταν με τον ιό, υποβλήθηκαν σε CT θώρακος, ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα της δοκιμής RT-PCR. Επιπλέον, η αθροιστική δόση για ασθενείς με δύο ή περισσότερες CT θώρακος ήταν 6,02 mSv, ενώ το 43% των ασθενών είχαν κάνει δύο ή περισσότερες CT θώρακα, και το 75,4% εκτέθηκε σε >5 mSv .

Στους Πίνακες 4 και 5 που ακολουθούν, παρουσιάζεται η δόση που έλαβαν ασθενείς με COVID-19 και χωρίς, ανά ηλικία και φύλο.

Πίνακας 4 Δόση σε ασθενείς με Covid-19 ανά ηλικία και φύλο

Ηλικία	Άνδρας (%)	Γυναίκα (%)	% TOT	Μέσος όρος (mSv)	Διάμεση τιμή (mSv)
21-30	59.09	40.91	2.29	11.01	7.86
31-40	74.29	25.71	7.29	11.80	9.71
41-50	82.19	17.81	15.21	11.01	8.95

51-60	75.18	24.82	29.38	11.71	9.97
61-70	71.08	28.92	17.29	11.31	9.19
71-80	62.79	37.21	17.92	11.12	8.64
81-90	52.17	47.83	9.58	10.33	7.64
>90	20.00	80.00	1.04	10.91	9.99

Πίνακας 5 Δόση σε ασθενείς χωρίς Covid-19 ανά ηλικία και φύλο

Ηλικία	Άνδρας (%)	Γυναίκα (%)	% TOT	Μέσος όρος (mSv)	Διάμεση τιμή (mSv)
<20	71.43	28.57	0.73	5.72	3.45
21-30	68.52	31.48	5.63	5.90	5.38
31-40	71.91	28.09	9.27	7.03	5.40
41-50	60.63	39.37	13.23	7.19	6.01
51-60	67.95	32.05	26.98	8.62	7.38
61-70	67.84	32.16	20.73	7.41	6.58
71-80	57.74	42.26	17.50	8.20	8.00
81-90	65.28	34.72	7.50	7.78	7.14
>90	0	100	0.31	8.05	6.68

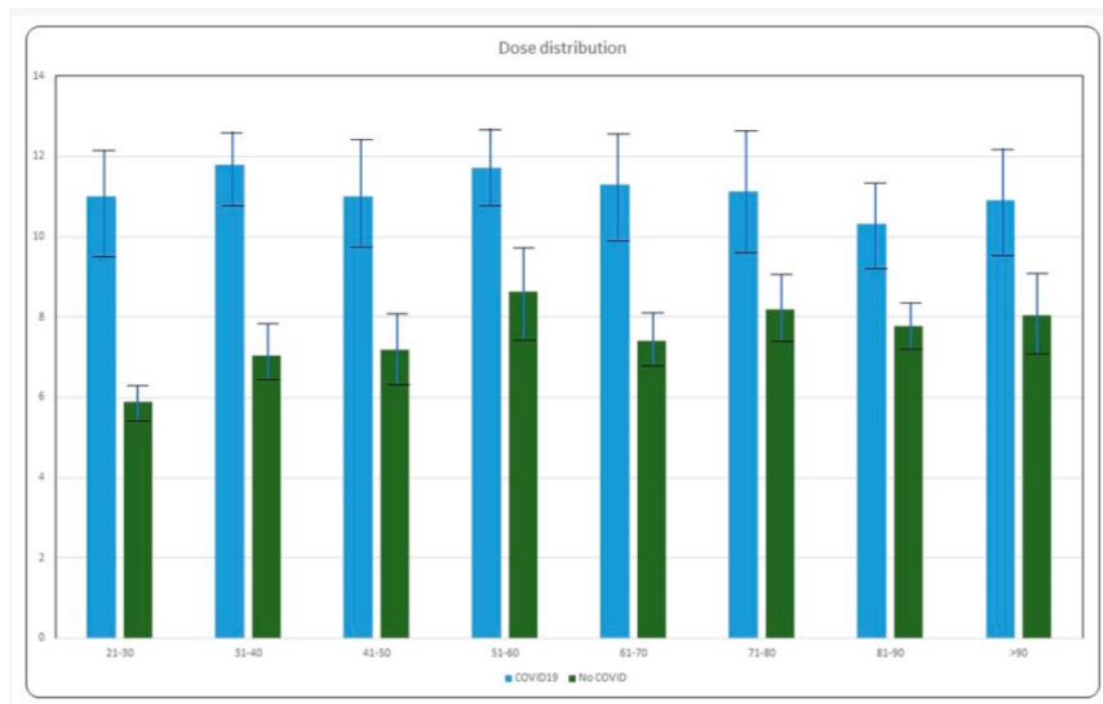
Τα στοιχεία των παραπάνω πινάκων, δείχνουν ότι η μέση συνολική αθροιστική δόση από τομογραφίες πνεύμονα σε όλους τους ασθενείς με COVID-19, ήταν 11,03.

Οι Cristofaro et al. (2021) προχώρησαν σε σύγκριση μεταξύ των δόσεων που έλαβαν ασθενείς με COVID-19 και χωρίς, ανά ηλικιακή ομάδα (Πίνακας 6 και Διάγραμμα 1).

Πίνακας 6 Σύγκριση δόσεων ασθενών με COVID-19 και χωρίς, ανά ηλικιακή ομάδα, από CT

Ηλικία	Μέσος όρος (mSv)	Διάμεση τιμή (mSv)	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος (mSv)	Διάμεση τιμή (mSv)	Τυπική απόκλιση
<i>Ασθενείς με Covid-19</i>				<i>Ασθενείς χωρίς Covid-19</i>		
21-30	11.01	7.86	7.29	5.90	5.38	3.78
31-40	11.80	9.71	9.71	7.03	5.40	4.40
41-50	11.01	8.95	6.41	7.19	6.01	4.57

51-60	11.71	9.97	5.66	8.62	7.38	4.75
61-70	11.31	9.19	6.07	7.43	6.58	3.75
71-80	11.12	8.64	4.40	8.20	8.00	3.84
81-90	10.33	7.64	6.23	7.78	7.14	3.61
>90	10.91	9.99	5.18	8.05	6.68	3.53



Διάγραμμα 1 Σύγκριση των δόσεων που έλαβαν ασθενείς με COVID-19 και χωρίς, ανά ηλικιακή ομάδα, από CT

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, στους ασθενείς με COVID-19 η δόση ιοντίζουσας ακτινοβολίας σημείωσε αύξηση από 32,77% (ηλικιακή ομάδα 81-90) σε 86,61% (ηλικιακή ομάδα 21-30). Ο μέσος όρος των εξετάσεων αξονικής τομογραφίας που έλαβε κάθε ασθενείς με COVID-19, ήταν 2,78, ενώ αντίστοιχα ο μέσος όρος για τα άτομα χωρίς COVID-19 ήταν 1,1. Η σύγκριση των παραπάνω δεδομένων, δείχνει πως οι ηλικιακές ομάδες που δέχθηκαν υψηλότερη αύξηση της δόσης είναι οι νεότερες, 21-30 και 31-40, όπως και η μεγαλύτερη, 81-90.

3.3.2 Μείωση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης

Η μείωση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης κατά τη διάρκεια της πανδημίας οδήγησε σε μείωση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού σε ιονίζουσα ακτινοβολία. Αυτή η μείωση ήταν ιδιαίτερα εμφανής σε ορισμένες περιοχές ή περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης όπου οι περιορισμοί και οι κατευθυντήριες γραμμές ενθάρρυναν τη μείωση των μη ουσιωδών διαδικασιών. Επιπλέον, οι ίδιοι οι ασθενείς έγιναν πιο διστακτικοί στο να αναζητήσουν ιατρική φροντίδα ή να υποβληθούν σε μη επείγουσες απεικονιστικές εξετάσεις για να αποφύγουν πιθανή έκθεση στον Covid-19 (Adelhoefer et al., 2021).

Ως συνέπεια κατά τη διάρκεια της πανδημίας, αναβλήθηκαν ή καθυστέρησαν οι διαγνωστικές εξετάσεις για πολλούς ασθενείς. Σε πολλές περιπτώσεις, οδήγησε σε πιο αργή διάγνωση και αντιμετώπιση άλλων ασθενειών, που δεν σχετίζονταν με την COVID-19, όπως ο καρκίνος ή άλλες σοβαρές νόσοι (de Almeida et al., 2023). Επιπλέον, οδήγησε σε περιορισμένη πρόσβαση σε ιατρικές εξετάσεις για ορισμένες ομάδες ασθενών, ειδικά για εκείνους που βρίσκονταν σε περιοχές με υψηλή διασπορά του ιού. Αυτό μπορεί να είχε άμεσο αντίκτυπο στην παρακολούθηση και την αξιολόγηση της υγείας τους. Παράλληλα, η μείωση των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης οδήγησε σε καθυστέρηση ορισμένων θεραπευτικών παρεμβάσεων, όπως η χειρουργική επέμβαση ή ακτινοθεραπεία.

Η μελέτη των de Almeida et al. (2023) εξετάζει τον αντίκτυπο της πανδημίας COVID-19 στη χρήση των διαγνωστικών εξετάσεων απεικόνισης στο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης της Βραζιλίας. Τα ευρήματα της εργασίας τους δείχνουν ότι ο αριθμός των διαγνωστικών εξετάσεων απεικόνισης μειώθηκε κατά την περίοδο της πανδημίας σε σύγκριση με την περίοδο πριν από την πανδημία. Αποδεικνύεται μάλιστα, ότι η μείωση ήταν πιο έντονη τους πρώτους μήνες της πανδημίας και ότι ο όγκος των εξετάσεων άρχισε να ανακάμπτει μετά τα μέσα του 2020. Επίσης, διαπίστωσαν ότι υπήρξαν αλλαγές στο προφίλ των εξετάσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο της πανδημίας. Συγκεκριμένα, σημειώθηκαν αλλαγές στον τύπο των εξετάσεων που διενεργήθηκαν, με μείωση του όγκου της μαστογραφίας και αύξηση του όγκου των εξετάσεων αξονικής τομογραφίας και ακτινογραφίας θώρακα.

Σε μια άλλη μελέτη Fleckenstein et al., (2021), τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μείωση του αριθμού των ακτινολογικών εξετάσεων κατά τη διάρκεια της πανδημίας

και διαπίστωσαν ότι μειώθηκε κατά 23,5% το 2020 σε σύγκριση με την ίδια περίοδο του 2019. Η μείωση ήταν πιο έντονη τον Απρίλιο και τον Μάιο του 2020, όταν ο αριθμός των εξετάσεων μειώθηκε κατά περισσότερο από 40%.

Μια ακόμα μελέτη Maurea et al., (2020), εστίασε στις επιπτώσεις της πανδημίας στη χρήση απεικόνισης FDG-PET/CT στη νότια Ιταλία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο αριθμός των εξετάσεων FDG-PET/CT μειώθηκε κατά 55% κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19 σε σύγκριση με την ίδια περίοδο το 2019.

Η μελέτη των Sreedharan et al. (2022), επικεντρώθηκε στην εξέταση της διαφοροποίησης του ποσοστού των ιατρικών απεικονιστικών διαδικασιών στην Αυστραλία. Σύμφωνα με τα ευρήματα της μελέτης, υπήρξε σημαντική μείωση στους όγκους απεικόνισης κατά τη διάρκεια της πανδημίας, με μείωση 23% στις CT, επίσης σημείωσαν ότι ο αριθμός των παραπομπών εξωτερικών ασθενών για απεικόνιση μειώθηκε κατά 31% σε σύγκριση με την ίδια περίοδο του προηγούμενου έτους. Η ίδια μελέτη επισημαίνει ότι οι υπηρεσίες πυρηνικής ιατρικής και αξονικής τομογραφίας επηρεάστηκαν σχετικά λιγότερο από τις υπηρεσίες γενικής ακτινογραφίας. (Sreedharan et al., 2022).

Όπως διαπιστώνεται από την εξέταση της διεθνούς βιβλιογραφίας, η ζήτηση για ιατρικές απεικονιστικές διαδικασίες ποικίλει κατά την περίοδο της πανδημίας, καθώς παρατηρείται διακύμανση των ποσοστών των ακτινολογικών εξετάσεων. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές υπήρξε σημαντική αύξηση της ζήτησης για ιατρικές απεικονιστικές διαδικασίες κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19. Αυτή η αύξηση είχε επιπτώσεις τόσο για τους ασθενείς όσο και για τους εργαζόμενους στον τομέα της υγείας, καθώς μεταφράζεται σε υψηλότερη έκθεση σε ακτινοβολία.

3.4 Διαχείριση διαγνωστικών και θεραπευτικών διαδικασιών στην περίοδο του COVID-19

Η πανδημία COVID-19 επηρέασε σημαντικά τη διαχείριση των διαγνωστικών και θεραπευτικών διαδικασιών απεικόνισης σε όλο τον κόσμο. Η πανδημία έχει παρουσιάσει αρκετές προκλήσεις για τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης και τους επαγγελματίες υγείας στη διαχείριση των αναγκών απεικόνισης των ασθενών,

διασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλειά τους και την πρόληψη της εξάπλωσης του ιού.

Η διαγνωστική απεικόνιση είναι απαραίτητη για τη διάγνωση, τη θεραπεία και τη διαχείριση διαφόρων ιατρικών καταστάσεων (Resnik, Kircos & Misch, 2007). Κατά τη διάρκεια του COVID-19, οι απεικονιστικές διαδικασίες έχουν ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες:

α) βασικές

β) μη βασικές (Campagnano et al., 2021).

Οι βασικές απεικονιστικές διαδικασίες περιλαμβάνουν εκείνες που είναι απαραίτητες για τη διάγνωση και τη διαχείριση κρίσιμων ασθενειών όπως ο καρκίνος, το οξύ τραύμα και οι οξείες νευρολογικές διαταραχές. Οι μη βασικές απεικονιστικές διαδικασίες, από την άλλη, είναι εκείνες που μπορούν να αναβληθούν ή να καθυστερήσουν χωρίς καμία σημαντική βλάβη στην υγεία του ασθενούς. Οι μη βασικές απεικονιστικές διαδικασίες μπορεί να περιλαμβάνουν συνήθεις ελέγχους υγείας, παρακολούθηση απεικόνισης και προαιρετικές διαδικασίες (Campagnano et al., 2021).

Η διαχείριση των απεικονιστικών διαδικασιών κατά τη διάρκεια της πανδημίας ήταν δύσκολη για διάφορους λόγους. Πρώτον, οι επαγγελματίες υγείας έπρεπε να διασφαλίσουν την ασφάλεια των ασθενών και των ίδιων κατά τη διεξαγωγή απεικονιστικών διαδικασιών. Δεύτερον, είχε αυξηθεί η ζήτηση για απεικονιστικές διαδικασίες λόγω της πανδημίας COVID-19, με αποτέλεσμα την έλλειψη πόρων και προσωπικού. Τέλος, η πανδημία έχει δημιουργήσει σημαντικό αντίκτυπο στους οικονομικούς πόρους του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης, απαιτώντας από τα νοσοκομεία και τις κλινικές να δώσουν προτεραιότητα στις βασικές απεικονιστικές διαδικασίες (Eastgate et al., 2020).

4. ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Η ακτινοπροστασία ορίζεται από ένα ευρύ φάσμα κανονισμών και πρωτοκόλλων, και όλοι οφείλουν να συμμορφώνονται με αυτές τις κατευθυντήριες γραμμές, προωθώντας μια "κουλτούρα ακτινοπροστασίας". Στην Ελλάδα, η Ελληνική Επιτροπή

Ατομικής Ενέργειας (E.E.A.E.) και η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (I.C.P.R.) είναι υπεύθυνες για την εποπτεία των θεμάτων ακτινοπροστασίας.

Πρωταρχικός στόχος της ακτινοπροστασίας είναι η προστασία τόσο του κοινού όσο και των εργαζομένων από τις βλαβερές συνέπειες της ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

4.1 Βασικές αρχές ακτινοπροστασίας

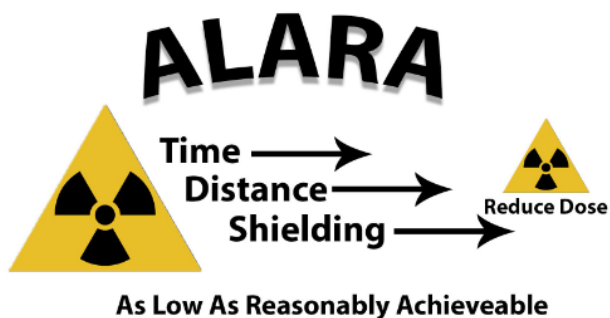
Θεμελιώδεις αρχές της ακτινοπροστασίας είναι:

- Η αρχή της αιτιολόγησης
- Η αρχή της βελτιστοποίησης (ALARA)
- Όρια δόσεων

Αναλυτικότερα, μία από τις θεμελιώδεις αρχές της ακτινοπροστασίας είναι η αιτιολόγηση της ιατρικής εξέτασης. Οι επαγγελματίες υγείας θα πρέπει να αξιολογούν προσεκτικά την αναγκαιότητα κάθε διαδικασίας απεικόνισης (Niu et al., 2020).

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους βελτιστοποίησης των πρωτοκόλλων απεικόνισης είναι η χρήση της αρχής ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Αυτή η αρχή απαιτεί ότι οι δόσεις ακτινοβολίας πρέπει να διατηρούνται όσο το δυνατόν χαμηλότερες, ενώ παράλληλα παράγονται εικόνες διαγνωστικής ποιότητας (Yeung, 2019). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί προσαρμόζοντας διάφορες παραμέτρους όπως:

- α) η ελαχιστοποίηση του χρόνου στην ακτινοβολία
- β) η μεγιστοποίηση της απόστασης όσο είναι δυνατόν από την ακτινοβολία
- γ) η χρήση θωράκισης για την εξασθένηση (απορρόφηση και αποκλεισμό) της ακτινοβολίας.



Εικόνα 17 ALARA (As Low As Reasonably Achievable)

Πηγή: <https://www.lsu.edu/camd/safety/training/radiationsafetytraining.php>

Τέλος, τα όρια δόσης συνιστώνται από τη Διεθνή Επιτροπή για την Ακτινολογική Προστασία (ICRP) . Έχουν τεθεί σε εφαρμογή για να διασφαλίζουν ότι τα άτομα δεν εκτίθενται σε άσκοπα υψηλές δόσεις ιονίζουσας ακτινοβολίας .

4.2 Μέτρα ακτινοπροστασίας του γενικού πληθυσμού

Τα μέτρα ακτινοπροστασίας για το γενικό πληθυσμό είναι επιτακτικά για τον μετριασμό των πιθανών κινδύνων για την υγεία που προκύπτουν από την ιονίζουσα ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των ιατρικών εξετάσεων. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν μια πολύπλευρη προσέγγιση για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ευημερίας των ατόμων που υποβάλλονται σε διαδικασίες ιατρικής απεικόνισης.

Μια βασική στρατηγική περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων απεικόνισης για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε ακτινοβολία. Ο πρωταρχικός στόχος είναι η επίτευξη βέλτιστης ποιότητας εικόνας με ταυτόχρονη μείωση της δόσης ακτινοβολίας (Bhalla et al., 2019). Αυτό συνεπάγεται τη σχολαστική χρήση πρωτοκόλλων χαμηλής δόσης, ειδικά σε διαδικασίες όπως οι αξονικές τομογραφίες. Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως τα συστήματα παρακολούθησης της δόσης και το λογισμικό μείωσης δόσης βοηθά περαιτέρω στη ρύθμιση των πρωτοκόλλων απεικόνισης, επιτυγχάνοντας έτσι μια λεπτή ισορροπία μεταξύ της διαγνωστικής ακρίβειας και της ασφάλειας της ακτινοβολίας (Blažić et al., 2021).

Η διαφοροποίηση των τρόπων απεικόνισης αποτελεί μια άλλη βασική πτυχή της ακτινοπροστασίας. Η ενσωμάτωση εναλλακτικών τεχνικών απεικόνισης, όπως η

απεικόνιση με υπερήχους ή μαγνητική τομογραφία, παρακάμπτει τη χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας και ως εκ τούτου μειώνει την έκθεση στην ακτινοβολία (Lowe, 2020). Ερευνητές όπως οι Akudjedu et al. (2021) υπογραμμίζουν τη σημασία της αξιοποίησης της τεχνολογίας για την ενίσχυση της πρακτικής της ακτινογραφίας, ιδιαίτερα σε δύσκολες συνθήκες όπως η πανδημία COVID-19.

Η προστασία των επαγγελματιών υγείας και των ασθενών είναι πρωταρχικής σημασίας κατά τη διάρκεια των απεικονιστικών διαδικασιών. Εφαρμογή σχολαστικών προστατευτικών μέτρων, όπως υποστηρίζουν οι Delgado Bolton et al. (2021), περιλαμβάνει την παροχή επαρκούς ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού και την ελαχιστοποίηση του προσωπικού εντός του χώρου απεικόνισης. Επιπλέον, η στρατηγική χρήση της θωράκισης κατά τις ιατρικές απεικονιστικές εξετάσεις προσφέρει ουσιαστική προστασία σε ευαίσθητες περιοχές, αποτρέποντας την περιττή έκθεση σε ακτινοβολία (Holmberg et al., 2010).

Για τον περαιτέρω μετριασμό των κινδύνων, η εκπαίδευση των ασθενών αναλαμβάνει κεντρικό ρόλο. Η ευαισθητοποίηση των ασθενών σχετικά με το σκοπό, τα οφέλη και τους πιθανούς κινδύνους των διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης είναι απαραίτητη. Αυτό περιλαμβάνει την τήρηση των οδηγιών ασφαλείας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και τη λήψη μέτρων για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης στην ακτινοβολία (Frane & Bitterman, 2020). Η αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ παραπέμπων ιατρών και ακτινολόγων βοηθά στην επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου απεικόνισης, προσαρμοσμένης στο ατομικό ιατρικό ιστορικό και στις κλινικές ανάγκες (Holmberg et al., 2010).

Η συγχώνευση της σχολαστικής βελτιστοποίησης των πρωτοκόλλων απεικόνισης, η ενσωμάτωση εναλλακτικών τρόπων απεικόνισης, η αυστηρή προστασία των επαγγελματιών υγείας, η εκπαίδευση των ασθενών και η τήρηση των κατευθυντήριων οδηγιών αποτελούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που σχετίζονται με την έκθεση στην ακτινοβολία. Εφαρμόζοντας αυτές τις στρατηγικές, η ιατρική κοινότητα μπορεί να εξασφαλίσει υπηρεσίες ιατρικής απεικόνισης υψηλής ποιότητας, δίνοντας παράλληλα προτεραιότητα στην ασφάλεια και την ευημερία τόσο των ασθενών όσο και των επαγγελματιών υγείας.

4.3 Μέτρα ακτινοπροστασίας των επαγγελματιών υγείας

Τα μέτρα ακτινοπροστασίας για τους επαγγελματίες υγείας αντιπροσωπεύουν μια απαραίτητη πτυχή στη σφαίρα της ιατρικής απεικόνισης. Ως εργαζόμενοι πρώτης γραμμής, οι επαγγελματίες υγείας βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της έκθεσης σε ιονίζουσα ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των διαδικασιών απεικόνισης, απαιτώντας μια σχολαστική προσέγγιση για τη διασφάλιση της ασφάλειας τους.

Ο χειρισμός του εξοπλισμού απεικόνισης από αίθουσες τηλεχειρισμού είναι μια κεντρική στρατηγική που επιτρέπει στους επαγγελματίες υγείας να εκτελούν αποτελεσματικά τα καθήκοντά τους διατηρώντας παράλληλα μια ασφαλή απόσταση από τις πηγές ακτινοβολίας (Delgado Bolton et al., 2021). Η εφαρμογή αυτής της πρακτικής λειτουργεί ως κρίσιμο εμπόδιο ενάντια στην περιττή έκθεση στην ακτινοβολία.

Η χρήση του κατάλληλου προστατευτικού εξοπλισμού είναι υψίστης σημασίας. Οι ποδιές και τα περιλαίμια από μόλυβδο, που χρησιμοποιούνται συνήθως ως συσκευές θωράκισης, χρησιμεύουν ως εμπόδια μεταξύ του επαγγελματία υγείας και της πηγής ακτινοβολίας, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο έκθεσης σε ακτινοβολία (Holmberg et al., 2010b). Η σωστή εκπαίδευση, όπως τονίζεται από τους Sheyn et al. (2008), διασφαλίζει ότι το ιατρικό προσωπικό είναι έμπειρο στα μέτρα ακτινοπροστασίας, που περιλαμβάνουν τη σωστή χρήση της θωράκισης και την ακριβή τοποθέτηση του ασθενούς.

Η συνεχής επαγγελματική εξέλιξη παραμένει ακρογωνιαίος λίθος για την τήρηση των προτύπων ακτινοπροστασίας. Η παρακολούθηση των τελευταίων εξελίξεων στις τεχνικές και τις οδηγίες ακτινοπροστασίας είναι απαραίτητη για τους επαγγελματίες υγείας (McCollough et al., 2009). Επιπλέον, η καλλιέργεια μιας κουλτούρας ακτινοπροστασίας στα ιατρικά ιδρύματα προάγει την ευαισθητοποίηση, την επικοινωνία και την τήρηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας μεταξύ όλων των μελών του προσωπικού.

Σε περιόδους πανδημιών, όπως υπογραμμίζεται από τους Akudjedu et al. (2021), οι καινοτόμες στρατηγικές είναι πρωταρχικής σημασίας. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας και των εναλλακτικών τεχνικών απεικόνισης όχι μόνο ενισχύει την πρακτική της ακτινογραφίας αλλά και ελαχιστοποιεί τους κινδύνους έκθεσης σε δύσκολες συνθήκες.

Η προστασία των επαγγελματιών υγείας εκτείνεται πέρα από τα σωματικά μέτρα. Η εκπαίδευσή τους σχετικά με τους κινδύνους που σχετίζονται με την έκθεση στην ακτινοβολία και τη σημασία της βελτιστοποίησης των πρωτοκόλλων απεικόνισης ενθαρρύνει μια προληπτική προσέγγιση για την ασφάλεια της ακτινοβολίας (Sheyn et al., 2008). Αυτή η ολιστική προσέγγιση διασφαλίζει ότι οι επαγγελματίες υγείας είναι καλά εξοπλισμένοι για να περιηγηθούν στο περίπλοκο τοπίο της έκθεσης στην ακτινοβολία, παρέχοντας παράλληλα εξαιρετική φροντίδα στους ασθενείς.

Συμπερασματικά, τα μέτρα ακτινοπροστασίας που είναι προσαρμοσμένα για τους επαγγελματίες υγείας περιλαμβάνουν μια πολύπλευρη προσέγγιση που συνδυάζει σωματικές διασφαλίσεις, συνεχή εκπαίδευση και καινοτόμες στρατηγικές. Προασπίζοντας αυτά τα μέτρα, η ιατρική κοινότητα μπορεί να διασφαλίσει την ευημερία των επαγγελματιών του τομέα της υγείας, τηρώντας παράλληλα τα υψηλότερα πρότυπα περίθαλψης και ασφάλειας των ασθενών.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ιατρική απεικόνιση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διάγνωση και θεραπεία διαφόρων ιατρικών καταστάσεων. Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία για τις πιθανές επιβλαβείς επιπτώσεις της έκθεσης στην ακτινοβολία από τις ιατρικές διαδικασίες απεικόνισης. Αυτή η ανησυχία ενισχύθηκε περαιτέρω με την πανδημία COVID-19, καθώς η ζήτηση για ιατρική απεικόνιση έχει αυξηθεί για τη διάγνωση και την παρακολούθηση ασθενών (Rubin et al., 2020). Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι τα οφέλη της διαδικασίας απεικόνισης υπερτερούν των κινδύνων που συνδέονται με την έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία. Χρειάζεται ακόμα να εφαρμοστούν μέτρα για τη μείωση της έκθεσης σε ακτινοβολία και τη διασφάλιση ασφαλών πρακτικών ιατρικής απεικόνισης.

Όπως διαπιστώθηκε από την παρούσα μελέτη, η μείωση της έκθεσης σε ακτινοβολία και η διασφάλιση ασφαλών πρακτικών ιατρικής απεικόνισης απαιτούν μια πολύπλευρη προσέγγιση. Με τη βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων απεικόνισης, την εφαρμογή μέτρων ακτινοπροστασίας, την αξιολόγηση πιθανών κινδύνων και οφελών, την εκπαίδευση των ασθενών και τη διερεύνηση εναλλακτικών τεχνικών απεικόνισης,

οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την έκθεση στην ακτινοβολία μπορούν να ελαχιστοποιηθούν και να διασφαλιστεί η ασφαλής χρήση τους.(Cuttler, 2020).

Εκτός από τις παραδοσιακές μεθόδους μείωσης της δόσης ιοντίζουσας ακτινοβολίας που προαναφέρθηκαν, χρειάζεται να διερευνηθούν και νέες προτάσεις για τη μείωση της έκθεσης στην ακτινοβολία και την προώθηση ασφαλών πρακτικών ιατρικής απεικόνισης. Ένας τομέας που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης, είναι η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών στην ιατρική πρακτική.

Ειδικότερα, τα τελευταία χρόνια η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης γίνεται όλο και πιο σημαντική στην ακτινολογική πρακτική (Wagner, 2019). Αυτές οι τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν σημαντικά την ερμηνεία της ιατρικής απεικόνισης μειώνοντας τον κίνδυνο σφαλμάτων και αυξάνοντας τη διαγνωστική ακρίβεια. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό προτύπων και ανωμαλιών που μπορεί να είναι δύσκολο να εντοπιστούν από τους ακτινολόγους (Wagner, 2019). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερες και ακριβέστερες διαγνώσεις, καθώς και σε βελτιωμένα αποτελέσματα των ασθενών.

Μία από τις πιο υποσχόμενες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση είναι η ανάπτυξη συστημάτων διάγνωσης με τη βοήθεια υπολογιστή. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την ανάλυση ιατρικών εικόνων και την παροχή διαγνωστικής βοήθειας σε ακτινολόγους, για την ανίχνευση ανωμαλιών όπως όγκοι, κύστες και άλλες βλάβες (Yanase & Triantaphyllou, 2019).

Ωστόσο, παρά τα πιθανά οφέλη της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση, υπάρχουν επίσης ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι η ανάγκη για δεδομένα υψηλής ποιότητας. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης απαιτούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων υψηλής ποιότητας προκειμένου να μάθουν και να κάνουν ακριβείς προβλέψεις. Αυτό μπορεί να είναι δύσκολο στην ιατρική απεικόνιση, όπου τα δεδομένα μπορεί να είναι περιορισμένα ή μεταβλητής ποιότητας. Μια άλλη πρόκληση είναι η ανάγκη για επικύρωση και ρυθμιστική έγκριση. Πρέπει επίσης να έχουν εγκριθεί από ρυθμιστικούς φορείς για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κλινική πράξη (Pesapane et al., 2018).

Επιπρόσθετα, η φροντίδα με επίκεντρο τον ασθενή μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην προώθηση ασφαλών πρακτικών ιατρικής απεικόνισης. Μια τέτοια προσέγγιση περιλαμβάνει την εκπαίδευση των ασθενών σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους και τα οφέλη των απεικονιστικών εξετάσεων, την ενθάρρυνση της κοινής λήψης αποφάσεων και τη συμμετοχή των ασθενών στη διαδικασία επιλογής της καταλληλότερης μεθόδου απεικόνισης και πρωτοκόλλου για τη συγκεκριμένη κλινική τους κατάσταση (Buatti et al., 2021).

Επίσης, μια άλλη σημαντική πτυχή της φροντίδας με επίκεντρο τον ασθενή είναι η διασφάλιση ότι οι ασθενείς γνωρίζουν τις επιλογές τους όσον αφορά τις διαδικασίες ιατρικής απεικόνισης. Για παράδειγμα, εάν ένας ασθενής ανησυχεί για την έκθεση σε ακτινοβολία, ο γιατρός μπορεί να συζητήσει εναλλακτικές τεχνικές απεικόνισης, όπως υπερηχογράφημα ή μαγνητική τομογραφία, που δεν περιλαμβάνουν ιοντίζουσα ακτινοβολία. Επιπλέον, οι επαγγελματίες υγείας μπορούν να συνεργαστούν με ασθενείς για να αναπτύξουν ένα εξατομικευμένο σχέδιο απεικόνισης που λαμβάνει υπόψη το ιατρικό τους ιστορικό, την ηλικία και άλλους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τον κίνδυνο επιπλοκών που σχετίζονται με την ακτινοβολία (Buatti et al., 2021). Αυτό το εξατομικευμένο σχέδιο απεικόνισης μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση πρωτοκόλλων CT χαμηλής δόσης ή την απόσταση μεταξύ των εξετάσεων απεικόνισης για την ελαχιστοποίηση της αθροιστικής έκθεσης σε ακτινοβολία.

Οι παραλλαγές στα πρωτόκολλα και τις πρακτικές μεταξύ των ιδρυμάτων, μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές διαφορές στην έκθεση στην ακτινοβολία, στην ποιότητα της εικόνας και στη διαγνωστική ακρίβεια. Από την άλλη, η τυποποίηση των πρωτοκόλλων απεικόνισης μπορεί να διασφαλίσει ότι οι ασθενείς λαμβάνουν κατάλληλη απεικόνιση, ανεξάρτητα από το πού λαμβάνουν φροντίδα, και να μειώσει την πιθανότητα επανάληψης της απεικόνισης. Μπορεί επίσης να βοηθήσει στη θέσπιση κατευθυντήριων γραμμών για την κατάλληλη απεικόνιση, μειώνοντας τον αριθμό των περιττών εξετάσεων και μειώνοντας την έκθεση στην ακτινοβολία. (Lakhwani et al., 2019).

Επίσης, η τυποποίηση της αναφοράς δόσης μπορεί να βοηθήσει στην προστασία των ασθενών, παρέχοντας ακριβείς και συνεπείς πληροφορίες σχετικά με την έκθεση στην ακτινοβολία. Μπορεί να διευκολύνει την παρακολούθηση και τη διαχείριση της δόσης, επιτρέποντας στους επαγγελματίες υγείας να εντοπίζουν ασθενείς που

ενδέχεται να κινδυνεύουν να λάβουν υψηλές δόσεις ακτινοβολίας και να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για να ελαχιστοποιήσουν την έκθεσή τους (Hagiwara et al., 2020).

Συνοπτικά, η μείωση της έκθεσης στην ακτινοβολία και η προώθηση ασφαλών πρακτικών ιατρικής απεικόνισης απαιτούν μια πολύπλευρη προσέγγιση που περιλαμβάνει παραδοσιακές μεθόδους, όπως η βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων απεικόνισης και η χρήση κατάλληλων μέτρων ασφάλειας από ακτινοβολία. Επιπλέον, περιλαμβάνει και νέες στρατηγικές, όπως η χρήση τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, η χρήση πρωτοκόλλων χαμηλής δόσης CT, φροντίδα με επίκεντρο τον ασθενή και τυποποίηση των πρωτοκόλλων απεικόνισης και αναφοράς δόσης.

Συμπερασματικά, η πανδημία COVID-19 είχε σημαντικό αντίκτυπο στις διαδικασίες ιατρικής απεικόνισης, οδηγώντας σε αύξηση της ζήτησης για υπηρεσίες απεικόνισης και αυξημένο κίνδυνο έκθεσης σε ακτινοβολία τόσο για τους ασθενείς όσο και για τους εργαζόμενους στον τομέα της υγείας (Akudjedu et al., 2021). Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη για στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση αυτών των κινδύνων και τη διασφάλιση ασφαλών πρακτικών ιατρικής απεικόνισης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ανακεφαλαιώνοντας, η παρούσα εργασία εξέτασε τις πτυχές εκείνες που μπορούν να συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση των κινδύνων και των οφελών που συνδέονται με την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία από ιατρικές διαδικασίες. Μέσα από τη μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας, επιδιώχθηκε μια ολοκληρωμένη ανάλυση της δόσης ιοντίζουσας ακτινοβολίας που λαμβάνει ο γενικός πληθυσμός από ιατρικές εκθέσεις. Εξετάστηκαν οι τύποι διαδικασιών ιατρικής απεικόνισης που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία, οι παράγοντες που συμβάλλουν στη δόση ακτινοβολίας και οι πιθανοί κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία που συνδέονται με την επαναλαμβανόμενη έκθεση.

Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης σχετικά με τη δόση ιοντίζουσας ακτινοβολίας πριν και μετά τον Covid-19, έδειξαν ότι υπήρξαν διακυμάνσεις στη ζήτηση για ιατρικές απεικονιστικές διαδικασίες. Πολλές μελέτες έχουν επισημάνει τη μείωση των ακτινολογικών εξετάσεων κατά την διάρκεια της πανδημίας. Ωστόσο,

αυτό που διαπιστώθηκε είναι ότι η ζήτηση για ιατρικές απεικονιστικές διαδικασίες κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19 αυξήθηκε σημαντικά, με αποτέλεσμα να αυξηθεί και η έκθεση των ασθενών σε υψηλότερη δόση ακτινοβολίας.

Η αύξηση του ποσοστού των απεικονιστικών εξετάσεων συνδέεται με αύξηση του κινδύνου έκθεσης των εργαζομένων στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης και των ασθενών στην ιοντίζουσα ακτινοβολία (Yurdaisik et al., 2021), γεγονός που έχει προκαλέσει τον προβληματισμό και την ανησυχία της ιατρικής και ερευνητικής κοινότητας.

Με βάση τα ευρήματα των διαφόρων μελετών που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, μπορούν να εξαχθούν αρκετά βασικά συμπεράσματα. Διαπιστώθηκε ότι η πανδημία COVID-19 επηρέασε σημαντικά τον όγκο των ιατρικών απεικονιστικών εξετάσεων. Σε γενικές γραμμές, παρατηρήθηκε αύξηση των εξετάσεων αυτών (Bharati et al., 2021; Delgado Bolton et al., 2021; Loftus et al., 2022). Μελέτες τόνισαν την πιθανότητα αυξημένης έκθεσης σε δόση ακτινοβολίας κατά τις εξετάσεις αξονικής τομογραφίας θώρακα σε ασθενείς με COVID-19 (Yurdaisik et al., 2021; Cristofaro et al., 2021).

Ωστόσο, αρκετές μελέτες ανέφεραν μείωση της συνολικής χρήσης των ακτινολογικών εξετάσεων κατά τη διάρκεια της πανδημίας, λόγω παραγόντων όπως ο φόβος της έκθεσης, οι αναβληθείσες μη επείγουσες διαδικασίες και η μετατόπιση των προτεραιοτήτων υγειονομικής περίθαλψης (Maurea et al., 2020; Winder et al., 2021; ; Fleckenstein et al., 2022; Sreedharan et al., 2022; de Almeida et al., 2023).

Παρά τη μείωση του όγκου απεικόνισης, η πανδημία κατέστησε αναγκαία τις στρατηγικές βελτιστοποίησης στην παροχή υπηρεσιών ιατρικής απεικόνισης. Οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης έπρεπε να βρουν μια ισορροπία μεταξύ της διατήρησης βασικών υπηρεσιών απεικόνισης και της διασφάλισης της ασφάλειας των ασθενών και των επαγγελματιών υγείας. Επίσης, η διασφάλιση των κατάλληλων πρωτοκόλλων απεικόνισης και των μέτρων ασφάλειας από την ακτινοβολία κατέστη κρίσιμη κατά τη διάρκεια της πανδημίας (Tay et al., 2021; Akudjedu et al., 2021).

Μελέτες εγείρουν ανησυχίες σχετικά με την αυξημένη έκθεση σε δόση ακτινοβολίας σε εξετάσεις θωρακικής αξονικής τομογραφίας ασθενών με COVID-19, υποδεικνύοντας την ανάγκη για μέτρα ακτινοπροστασίας (Yurdaisik et al., 2021; Cristofaro et al., 2021).

Συμπερασματικά, η πανδημία COVID-19 είχε σημαντικό αντίκτυπο στις πρακτικές ιατρικής απεικόνισης παγκοσμίως. Απώτερος στόχος ήταν η εργασία αυτή να συμβάλλει στην αύξηση της ευαισθητοποίησης σχετικά με τους κινδύνους που συνδέονται με την επανειλημμένη έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία, προκειμένου να ληφθούν μέτρα και να αναπτυχθούν αποτελεσματικές στρατηγικές για τη μείωση της έκθεσης και την προώθηση ασφαλέστερων πρακτικών ιατρικής απεικόνισης προς όφελος της δημόσιας υγείας, διασφαλίζοντας παράλληλα τη συνεχή παροχή υψηλής ποιότητας υγειονομικής περίθαλψης. Προς την κατεύθυνση αυτή, αναδείχθηκαν νέες στρατηγικές όπως η χρήση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, η βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων απεικόνισης, η εφαρμογή μέτρων ακτινοπροστασίας, η εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας και των ασθενών, η χρήση εναλλακτικών τεχνικών απεικόνισης.

Συνολικά, η προστασία των ασθενών και των επαγγελματιών υγείας από την ακτινοβολία από τις διαδικασίες ιατρικής απεικόνισης θα πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα για να διασφαλιστεί ότι τα οφέλη αυτών των διαδικασιών υπερτερούν των πιθανών κινδύνων. Στο πλαίσιο αυτό, η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και τεχνικών για περαιτέρω μείωση της έκθεσης σε ακτινοβολία που σχετίζεται με ιατρικές διαδικασίες.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adelhoefer, S., Henry, T. S., Blankstein, R., Graham, G., Blaha, M. J., & Dzaye, O. 2021. «Declining interest in clinical imaging during the COVID-19 pandemic». *Clinical imaging*, 73, 20-22.
- Akudjedu, T. N., Mishio, N. A., Elshami, W., Culp, M. P., Lawal, O., Botwe, B. O., ... & Franklin, J. M. 2021. «The global impact of the COVID-19 pandemic on clinical radiography practice: a systematic literature review and recommendations for future services planning». *Radiography*, 27(4), 1219-1226.
- Ali, I., & Alharbi, O. M. 2020. «COVID-19: Disease, management, treatment, and social impact». *Science of the total Environment*, 728, 138861.
- Baskar, R., Lee, K. A., Yeo, R., & Yeoh, K. W. 2012. «Cancer and radiation therapy: current advances and future directions». *International journal of medical sciences*, 9(3), 193.
- Bhalla, A. S., Das, A., Naranje, P., Irodi, A., Raj, V., & Goyal, A. 2019. «Imaging protocols for CT chest: a recommendation». *Indian Journal of radiology and imaging*, 29(03), 236-246.
- Bharati, S., Podder, P., Mondal, M., & Prasath, V. B. 2021. «Medical imaging with deep learning for COVID-19 diagnosis: a comprehensive review». *arXiv preprint arXiv:2107.09602*.
- Blažić, I., Brkljačić, B., & Frijia, G. 2021. «The use of imaging in COVID-19—results of a global survey by the International Society of Radiology». *European radiology*, 31, 1185-1193.
- Brodin, P. 2021. «Immune determinants of COVID-19 disease presentation and severity». *Nature medicine*, 27(1), 28-33.
- Buatti, J. M., Pryma, D. A., Kiess, A. P., Mailman, J., Ennis, R. D., Menda, Y., ... & Pandit-Taskar, N. 2021. «A framework for patient-centered pathways of care for radiopharmaceutical therapy: An ASTRO consensus document». *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 109(4), 913-922.
- Campagnano, S., Angelini, F., Fonsi, G. B., Novelli, S., & Drudi, F. M. 2021. «Diagnostic imaging in COVID-19 pneumonia: a literature review». *Journal of Ultrasound*, 24, 383-395.
- Cristofaro, M., Fusco, N., Petrone, A., Albarello, F., Di Stefano, F., Pianura, E., ... & Campioni, P. 2021. «Increased radiation dose exposure in thoracic computed tomography in patients with Covid-19». *Radiation*, 1(2), 153-161.

- Cuttler, J. M. 2020. «Application of low doses of ionizing radiation in medical therapies». *Dose-response*, 18(1), 1559325819895739.
- de Almeida, C. E. B., Harbron, R. W., Bahia, P. R. V., & Dovalles, A. C. M. 2023. «The impact of the COVID-19 pandemic on the use of diagnostic imaging examinations in the Brazilian unified healthcare system (SUS)». *Health Policy and Technology*, 12(1), 100725.
- De Angelis, A., & Mallamaci, M. 2018. «Gamma-ray astrophysics». *The European Physical Journal Plus*, 133, 1-18.
- Delgado Bolton, R. C., Calapaquí Terán, A. K., Erba, P. A., & Giammarile, F. 2021. «Medical imaging in times of pandemic: focus on the cornerstones of successful imaging». *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 48(6), 1724-1725.
- Desouky, O., Ding, N., & Zhou, G. 2015. «Targeted and non-targeted effects of ionizing radiation». *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(2), 247-254.
- Do, K.H. 2016. «General principles of radiation protection in fields of diagnostic medical exposure». *Journal of Korean medical science*, 31(Suppl 1), S6-S9.
- Eastgate, P., Neep, M. J., Steffens, T., & Westerink, A. 2020. «COVID-19 Pandemic—considerations and challenges for the management of medical imaging departments in Queensland». *Journal of medical radiation sciences*, 67(4), 345-351.
- Eriksson, D., & Stigbrand, T. 2010. «Radiation-induced cell death mechanisms». *Tumor Biology*, 31, 363-372.
- Evangelista, L., Alongi, P., & Schillaci, O. 2020. «PET and SPECT Imaging in the SARS-CoV-2 Pandemic». *Current Radiopharmaceuticals*, 13.
- Fazel, R., Krumholz, H. M., Wang, Y., Ross, J. S., Chen, J., Ting, H. H., ... & Nallamothu, B. K. 2009. «Exposure to low-dose ionizing radiation from medical imaging procedures». *New England Journal of Medicine*, 361(9), 849-857.
- Fleckenstein, F. N., Maleitzke, T., Boening, G., Kahn, J., Buettner, L., Gebauer, B., ... & Hamm, B. 2021. «Decreased Medical Care During the COVID-19 Pandemic—A Comprehensive Analysis of Radiological Examinations». In *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* (Vol. 193, No. 08, pp. 937-946). Georg Thieme Verlag KG.
- Dann, C., & Sun, Z. 2022. «The impact of COVID-19 on Western Australian medical imaging clinical practice and workplace». *Journal of Medical Radiation Sciences*, 69(3), 299-308.

- de Almeida, C. E. B., Harbron, R. W., Bahia, P. R. V., & Dovalles, A. C. M. 2023. «The impact of the COVID-19 pandemic on the use of diagnostic imaging examinations in the Brazilian unified healthcare system (SUS)». *Health Policy and Technology*, 12(1), 100725.
- Fleckenstein, F. N., Maleitzke, T., Böning, G., Kahl, V., Petukhova-Greenstein, A., Kucukkaya, A. S., ... & Aigner, A. 2022. «Changes of radiological examination volumes over the course of the COVID-19 pandemic: a comprehensive analysis of the different waves of infection». *Insights into imaging*, 13(1), 1-9.
- Frane, N., & Bitterman, A. 2020. «Radiation safety and protection». StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).
- Hagiwara, A., Fujita, S., Ohno, Y., & Aoki, S. 2020. «Variability and standardization of quantitative imaging: monoparametric to multiparametric quantification, radiomics, and artificial intelligence». *Investigative radiology*, 55(9), 601.
- Heald, M. A., & Marion, J. B. 2012. «Classical electromagnetic radiation»
- Henriksen, E. 2022. «Arthur Compton and the mysteries of light». *Physics Today*, 75(12), 44-50.
- Hine, G. J., & Brownell, G. L. 2013. «Radiation dosimetry». Elsevier.
- Holmberg, O., Czarwinski, R., & Mettler, F. 2010. «The importance and unique aspects of radiation protection in medicine». *European Journal of Radiology*, 76(1), 6-10.
- Holmberg, O., Malone, J., Rehani, M., McLean, D., & Czarwinski, R. 2010. «Current issues and actions in radiation protection of patients». *European journal of radiology*, 76(1), 15-19.
- ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*, 37(2-4). <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
- Lakhwani, O. P., Dalal, V., Jindal, M., & Nagala, A. 2019. «Radiation protection and standardization». *Journal of clinical orthopaedics and trauma*, 10(4), 738-743.
- Lemoigne, Y., Caner, A., & Rahal, G. 2007. «Physics for medical imaging applications». Springer Science & Business Media.
- Leroy, C., & Rancoita, P. G. 2011. «Principles of radiation interaction in matter and detection». World Scientific.
- Loftus, T. M., Wessling, E. G., Cruz, D. S., Schmidt, M. J., Kim, H. S., McCarthy, D. M., & Malik, S. 2022. «Impact of the COVID pandemic on emergency department CT utilization: where do we go from here?». *Emergency Radiology*, 29(5), 879-885.

- Lowe, S. A. 2020. «Ionizing radiation for maternal medical indications». *Prenatal Diagnosis*, 40(9), 1150-1155.
- Lu, X., Naidis, G. V., Laroussi, M. A., & Ostrikov, K. 2014. «Guided ionization waves: Theory and experiments». *Physics Reports*, 540(3), 123-166.
- Luan, F. J., Zhang, J., Mak, K. C., Liu, Z. H., & Wang, H. Q. 2021. «Low radiation X-rays: benefiting people globally by reducing cancer risks». *International Journal of Medical Sciences*, 18(1), 73.
- Martin, A., Harbison, S., Beach, K., & Cole, P. 2018. «An introduction to radiation protection». CRC Press.
- Maurea, S., Mainolfi, C. G., Bombace, C., Annunziata, A., Attanasio, L., Petretta, M., ... & Cuocolo, A. 2020. «FDG-PET/CT imaging during the Covid-19 emergency: a southern Italian perspective». *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 47, 2691-2697.
- McCollough, C. H., Primak, A. N., Braun, N., Kofler, J., Yu, L., & Christner, J. 2009. «Strategies for reducing radiation dose in CT». *Radiologic Clinics*, 47(1), 27-40.
- Mehta, S. R., Suhag, V., Semwal, M., & Sharma, N. 2010. «Radiotherapy: Basic concepts and recent advances». *Medical Journal Armed Forces India*, 66(2), 158-162.
- Moss, R. 2012. «Advanced molecular quantum mechanics: an introduction to relativistic quantum mechanics and the quantum theory of radiation». Springer Science & Business Media.
- Mossa-Basha, M., Meltzer, C. C., Kim, D. C., Tuite, M. J., Kolli, K. P., & Tan, B. S. 2020. «Radiology department preparedness for COVID-19: radiology scientific expert review panel». *Radiology*, 296(2), E106-E112.
- Mruk, B., Plucińska, D., Walecki, J., Półtorak-Szymczak, G., & Sklinda, K. 2021. «Chest computed tomography (CT) severity scales in COVID-19 disease: A validation study». *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 27, e931283-1.
- Niu, Y., Xian, J., Lei, Z., Liu, X., & Sun, Q. 2020. «Management of infection control and radiological protection in diagnostic radiology examination of COVID-19 cases». *Radiation medicine and protection*, 1(02), 75-80.
- NRC. 2020. «What Are The Different Types of Radiation?». United States Nuclear Regulatory Commission. <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/science-101/what-are-different-types-of-radiation.html>
- NCRP. 2022. «Radiation Exposure Information and Reporting System». U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, Radiation

- Protection, Environmental Risk, and Waste Management Branch.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/gils/rad-exp.html>
- Parks, J. E. 2015. «The Compton effect-Compton scattering and gamma ray spectroscopy». Department of Physics and Astronomy, The University of Tennessee Knoxville, Tennessee, 37996-1200.
- Pesapane, F., Codari, M., & Sardanelli, F. 2018. «Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity?» Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *European radiology experimental*, 2, 1-10.
- Preston, R. J., Boice Jr, J. D., Brill, A. B., Chakraborty, R., Conolly, R., Hoffman, F. O., ... & Woloschak, G. E. 2013. «Uncertainties in estimating health risks associated with exposure to ionising radiation». *Journal of radiological protection*, 33(3), 573.
- Resnik, R. R., Kircos, L. T., & Misch, C. E. 2007. «Diagnostic imaging and techniques». *Contemporary Implant Dentistry*. Missouri: Mosby, 38-67.
- Ribeiro, A., Husson, O., Drey, N., Murray, I., May, K., Thurston, J., & Oyen, W. 2020. «Ionising radiation exposure from medical imaging—A review of Patient's (un) awareness». *Radiography*, 26(2), e25-e30.
- Rubin, G. D., Ryerson, C. J., Haramati, L. B., Sverzellati, N., Kanne, J. P., Raoof, S., ... & Leung, A. N. 2020. «The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: a multinational consensus statement from the Fleischner Society». *Radiology*, 296(1), 172-180.
- Ryan, J. L. 2012. «Ionizing radiation: the good, the bad, and the ugly». *Journal of Investigative Dermatology*, 132(3), 985-993.
- Sreedharan, S., Mian, M., McArdle, D. J. T., & Rhodes, A. 2022. «The impact of the COVID-19 pandemic on diagnostic imaging services in Australia». *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*, 66(3), 377-384.
- Shahbazi-Gahrouei, D., Gholami, M., & Setayandeh, S. 2013. «A review on natural background radiation». *Advanced biomedical research*, 2.
- Sheyn, D. D., Racadio, J. M., Ying, J., Patel, M. N., Racadio, J. M., & Johnson, N. D. 2008. «Efficacy of a radiation safety education initiative in reducing radiation exposure in the pediatric IR suite». *Pediatric radiology*, 38, 669-674.
- Smolin, L. 2019. «Einstein's unfinished revolution: The search for what lies beyond the quantum». Penguin.
- Sreetharan, S., Thome, C., Tharmalingam, S., Jones, D. E., Kulesza, A. V., Khaper, N., ... & Tai, T. C. 2017. «Ionizing radiation exposure during pregnancy: effects on postnatal development and life». *Radiation research*, 187(6), 647-658.

- Tan, B. S., Dunnick, N. R., Gangi, A., Goergen, S., Jin, Z. Y., Neri, E., . & Mahmood, U. 2021. «RSNA international trends: a global perspective on the COVID-19 pandemic and radiology in late 2020». *Radiology*, 299(1), E193-E203.
- Tay, Y. X., Kothan, S., Kada, S., Cai, S., & Lai, C. W. K. 2021. «Challenges and optimization strategies in medical imaging service delivery during COVID-19». *World Journal of Radiology*, 13(5), 102.
- Teymouri, M., Mollazadeh, S., Mortazavi, H., Ghale-Noie, Z. N., Keyvani, V., Aghababaei, F., ... & Mirzaei, H. 2021. «Recent advances and challenges of RT-PCR tests for the diagnosis of COVID-19». *Pathology-Research and Practice*, 221, 153443.
- Wagner, J. B. 2019. «Artificial intelligence in medical imaging». *Radiologic technology*, 90(5), 489-501.
- White, S. C., & Mallya, S. M. 2012. «Update on the biological effects of ionizing radiation, relative dose factors and radiation hygiene». *Australian dental journal*, 57, 2-8.
- Winder, M., Owczarek, A. J., Chudek, J., Pilch-Kowalczyk, J., & Baron, J. 2021, November. «Are we overdoing it? Changes in diagnostic imaging workload during the years 2010–2020 including the impact of the SARS-CoV-2 pandemic». In *Healthcare* (Vol. 9, No. 11, p. 1557). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Yanase, J., & Triantaphyllou, E. 2019. «A systematic survey of computer-aided diagnosis in medicine: Past and present developments». *Expert Systems with Applications*, 138, 112821.
- Yasin, R., & Gouda, W. 2020. «Chest X-ray findings monitoring COVID-19 disease course and severity». *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 51(1), 1-18.
- Yeung, A. W. K. 2019. «The 'As Low as Reasonably Achievable' (ALARA) principle: a brief historical overview and a bibliometric analysis of the most cited publications». *Radioprotection*.
- Yousif, M. E. 2014. «The Electromagnetic Radiation Mechanism: Radiation Physics». *International Journal of Fundamental Physical Sciences*, 4(3), 72-79.
- Yurdaisik, I., Nurili, F., Aksoy, S. H., Agirman, A. G., & Aktan, A. 2021. «Ionizing radiation exposure in patients with COVID-19: More than needed». *Radiation Protection Dosimetry*, 194(2-3), 135-143.
- Αντωνόπουλος-Ντόμης, Μ. 2004. «Ραδιενέργεια σε απλά ελληνικά». Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Γεωργίου, Ε. 2013. Ιατρική Φυσική. «Διαγνωστικές και Θεραπευτικές Εφαρμογές των Ακτινοβολιών». Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης.

Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. <https://eeae.gr>.

Τραχανάς, Σ. 2016. «Κβαντομηχανική Ι». Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.