



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ



ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΣΠΙΝΘΕΡΟΓΡΑΦΙΚΕΣ
ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΙΕΝΕΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΤΟΥ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟΥ ΓΕΝΙΚΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

Διπλωματική εργασία



ΣΦΑΚΙΑΝΑΚΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ 2020

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Περισυνάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής
(Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Κρήτης, Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής)

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κ. Περισυνάκη Κωνσταντίνο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Τμήματος Πυρηνικής Ιατρικής του Πανεπιστημιακού Γενικού Νοσοκομείου Ηρακλείου Κρήτης, τεχνολόγους, νοσηλευτές και πυρηνικούς ιατρούς για την πολύτιμη βοήθεια και την υπομονή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα.....	2
Περίληψη.....	4
<u>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	
• Κεφάλαιο 1	
1.1. Εισαγωγή.....	6
1.1.1. Ορισμός Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς.....	7
1.1.2. Η ιστορία των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς.....	8
1.1.3. Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP).....	9
1.1.4. Τοπικά και εθνικά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς.....	10
1.1.5. Αποτελεσματικότητα των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς σε διάφορες χώρες.....	11
1.1.6. Προβλήματα στη χρήση των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς.....	12
1.2. Καθορισμός των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς.....	13
1.2.1. Εισαγωγή.....	13
1.2.2. Ρύθμιση των τιμών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς.....	14
1.2.3. Μέθοδοι συλλογής δεδομένων.....	15
1.2.4. Εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης.....	16
1.2.5. Ασθενείς.....	17
1.2.6. Δοσιμετρικές ποσότητες.....	17
1.3. Ακτινογραφία και διαγνωστική ακτινοσκόπηση.....	19
1.3.1. Εισαγωγή.....	19
1.3.2. Εξετάσεις ακτινογραφίας και διαγνωστικής ακτινοσκόπησης.....	20
1.3.3. Ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για ακτινογραφικές εξετάσεις.....	21
1.3.4. Ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για εξετάσεις διαγνωστικής ακτινοσκόπησης.....	22
1.3.5. Μαστογραφία.....	23
1.4. Επεμβατικές διαδικασίες.....	25
1.4.1. Εισαγωγή.....	25
1.4.2. Χρήση πολλαπλών ποσοτήτων για ρύθμιση Διαγνωστικών επιπέδων Αναφοράς.....	25

1.5. Υπολογιστική Τομογραφία και ψηφιακή ακτινογραφία.....	26
1.5.1. Εισαγωγή.....	26
1.5.2. Ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς στην Υπολογιστική Τομογραφία.....	27
1.5.3. Ψηφιακή ακτινογραφία και ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς.....	29
1.6. Παιδιατρική.....	29
1.6.1. Εισαγωγή.....	29
1.6.2. Ρύθμιση παιδιατρικών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς.....	30
• Κεφάλαιο 2	
2.1. Φυσικές αρχές Πυρηνικής Ιατρικής.....	33
2.1.1. Νόμος ραδιενεργών διασπάσεων.....	33
2.1.2. Στατιστική ραδιενεργών διασπάσεων.....	34
2.1.3. Ραδιοφάρμακα.....	35
2.1.4. Συστήματα απεικόνισης Πυρηνικής Ιατρικής.....	36
2.2. Καθορισμός Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς στην Πυρηνική Ιατρική.....	39
2.2.1. Εισαγωγή.....	39
2.2.2. Αποτελεσματικότητα των ΔΕΑ Πυρηνικής Ιατρικής σε διάφορες χώρες.....	40
2.2.3. Βελτιστοποίηση της ιατρικής έκθεσης Πυρηνικής Ιατρικής.....	41
2.2.4. Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς για απεικόνιση Πυρηνικής Ιατρικής.....	43
2.2.5. Παιδιατρικά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς.....	44
2.2.6. Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς στην Ελλάδα.....	45
<u>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	
1. Διαδικασία διεξαγωγής σπινθηρογραφήματος.....	48
2. Μέθοδος και Υλικά.....	53
3. Μετρήσεις και Αποτελέσματα.....	54
4. Συμπεράσματα.....	75
Βιβλιογραφία.....	76

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς (ΔΕΑ) στο τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής του Πανεπιστημιακού Γενικού Νοσοκομείου Ηρακλείου Κρήτης (ΠΑ.Γ.Ν.Η.) και η εύρεση της ενεργού δόσης που λαμβάνει ο εκάστοτε ιστός ή όργανο. Για την διεξαγωγή διαγνωστικών εξετάσεων Πυρηνικής Ιατρικής απαιτείται η χορήγηση ραδιοφαρμάκου, το οποίο διαφέρει ανά εξέταση, και απεικόνιση του εξεταζόμενου στη γ-κάμερα για την λήψη εικόνων, οι οποίες παρέχουν λειτουργικές πληροφορίες του εξεταζόμενου ιστού ή οργάνου. Η μελέτη των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς είναι αναγκαία, καθώς αποτελούν εργαλείο διασφάλισης ποιότητας, ώστε να ελαχιστοποιείται η δόση που λαμβάνουν οι ασθενείς που υπόκεινται σε διαδικασίες με ιοντίζουσα ακτινοβολία διατηρώντας την διαγνωστική αξία της εξέτασης.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη, το θεωρητικό που αποτελείται από δύο κεφάλαια και το πειραματικό μέρος, στο οποίο παρατίθενται οι μετρήσεις που ελήφθησαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής περιγραφή των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς, τα οποία λειτουργούν ως ένα από τα μέτρα ακτινοπροστασίας. Σε αυτό το κεφάλαιο επίσης, παρουσιάζεται ξεχωριστά η εφαρμογή των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς στην ακτινογραφία, τη διαγνωστική ακτινοσκόπηση, τις επεμβατικές διαδικασίες, την υπολογιστική τομογραφία και την ψηφιακή ακτινογραφία. Το τέλος του κεφαλαίου εστιάζει στις παιδιατρικές εξετάσεις που σχετίζονται με ιοντίζουσα ακτινοβολία και την "δυσκολία" ρύθμισης ΔΕΑ στους παιδιατρικούς ασθενείς.

Όσον αφορά το πειραματικό μέρος, στο πρώτο κομμάτι εξηγείται η διαδικασία διεξαγωγής σπινθηρογραφήματος. Στο δεύτερο κομμάτι παρουσιάζεται η μέθοδος που ακολουθήθηκε, ενώ στο τρίτο κομμάτι παρατίθενται οι μετρήσεις που ελήφθησαν στο τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής του ΠΑ.Γ.Ν.Η. καθώς και τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης. Τέλος, επισημαίνονται τα τελικά συμπεράσματα από την διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1: Εισαγωγή

Τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (ΔΕΑ) εισήχθησαν για πρώτη φορά το 1990 από τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP-International Commission on Radiological Protection), ενώ το 1996 συστήθηκαν λεπτομερέστερα. Στην αναφορά του 1996, η Επιτροπή συνιστά τη χρήση Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για τους ασθενείς. Αυτά τα επίπεδα, τα οποία είναι μια μορφή επιπέδου έρευνας, ισχύουν για μια εύκολα μετρήσιμη ποσότητα, συνήθως την απορροφούμενη δόση στον αέρα ή σε ιστό ισοδύναμο με κάποιο υλικό, στην επιφάνεια ενός απλού πρότυπου ομοιώματος ή αντιπροσωπευτικού ασθενή. Ένα Διαγνωστικό Επίπεδο Αναφοράς προορίζεται ως μία δοκιμή για τον εντοπισμό καταστάσεων, όπου το επίπεδο της δόσης ασθενούς ή της χορηγούμενης ραδιενέργειας είναι ασυνήθιστα υψηλό. Αν διαπιστωθεί υπέρβαση ενός Διαγνωστικού Επιπέδου Αναφοράς, πρέπει να γίνει επανεξέταση της διαδικασίας και του εξοπλισμού προκειμένου να καθοριστεί εάν η προστασία έχει βελτιστοποιηθεί επαρκώς. Εάν όχι, πρέπει να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για τη μείωση της δόσης.

Επιπλέον, τα ΔΕΑ είναι συμπληρώματα της επαγγελματικής κρίσης και δεν παρέχουν διαχωριστική γραμμή μεταξύ καλής και κακής ιατρικής. Είναι ακατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν σε ρυθμιστικούς ή εμπορικούς σκοπούς και ισχύουν μόνο για ιατρικές εκθέσεις και όχι για επαγγελματική ή δημόσια έκθεση. Επομένως, δεν έχουν σχέση με όρια δόσεων ή περιορισμούς. Ιδανικά, πρέπει να είναι αποτέλεσμα μιας γενικής βελτιστοποίησης της προστασίας, αλλά στη πράξη αυτό είναι εξωπραγματικά δύσκολο. Οι τιμές των ΔΕΑ, πρέπει να επιλέγονται από επαγγελματικούς ιατρικούς φορείς και να επανεξετάζονται ανά διαστήματα, οι οποίες αντιπροσωπεύουν ένα συμβιβασμό μεταξύ της αναγκαίας σταθερότητας και των μακροπρόθεσμων αλλαγών στις παρατηρούμενες κατανομές δόσεων.

Τέλος, τα ΔΕΑ δεν αναπαριστούν μία προτεινόμενη ή ιδανική δόση για μία συγκεκριμένη διαδικασία ή ένα απόλυτο ανώτατο όριο για τη δόση. Αντίθετα, αντιπροσωπεύουν το επίπεδο της δόσης στο οποίο πρέπει να ξεκινήσει η διερεύνηση της καταλληλότητας της δόσης. Σε συνδυασμό με την αξιολόγηση της ποιότητας της εικόνας, ένας εξειδικευμένος ακτινοφυσικός συνεργάζεται με τον ακτινολόγο και τον τεχνολόγο, ώστε να διαπιστώσουν εάν το απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας εικόνας μπορεί να επιτευχθεί ή όχι και σε χαμηλότερες δόσεις. Κύριο μέλημα είναι να προσδιοριστούν τα επίπεδα δόσης που είναι άσκοπα υψηλά, δηλαδή να εντοπιστούν οι περιπτώσεις όπου είναι δυνατή η μείωση της δόσης, χωρίς να διακυβεύεται το απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας εικόνας. Άρα, τα επίπεδα αναφοράς δρουν ως "επίπεδα ενεργοποίησης" για να αρχίσει η βελτίωση της ποιότητας.

1.1.1: Ορισμός των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς

Τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς ή DRLs (Diagnostic Reference Levels) είναι μια μορφή έρευνας που βοηθά στην βελτιστοποίηση της προστασίας στην έκθεση των ασθενών σε διαγνωστικές και επεμβατικές διαδικασίες ιατρικής, καθώς και στη διασφάλιση της ποιότητας των εξετάσεων. Κάθε τομέας ενός κέντρου υγειονομικής περίθαλψης που κάνει χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών πρέπει να θεσπίζει ΔΕΑ. Σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP) ορίζονται ως: "επίπεδα δόσης στις ιατρικές ακτινοδιαγνωστικές πράξεις ή, στην περίπτωση ραδιοφαρμακευτικών προϊόντων, επίπεδα ραδιενέργειας, για εξετάσεις ομάδων ασθενών τυπικού μεγέθους ή τυπικών ομοιωμάτων για τύπους εξοπλισμού ευρέως προσδιορισμένων." Τα επίπεδα αυτά, δεν θα πρέπει να σημειώνουν υπέρβαση κατά τις τυπικές διαδικασίες όταν εφαρμόζεται ορθή πρακτική. Τα ΔΕΑ θεσπίζονται σε τοπικό, εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο και είναι υποχρεωτικό να υπόκεινται σε διεθνείς (IAEA-International

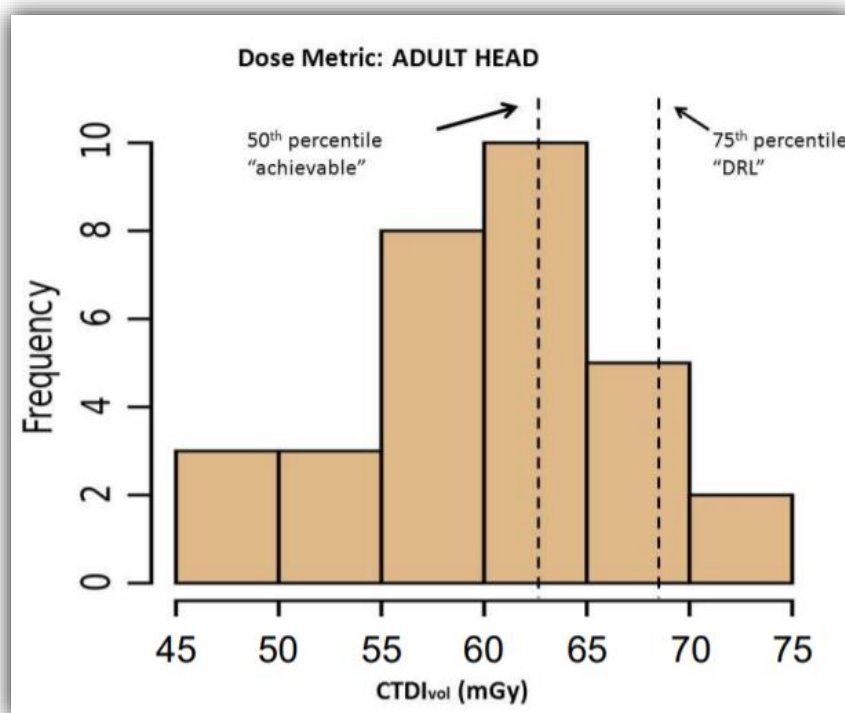
Atomic Energy Agency) και εθνικούς (ΕΕΑΕ-Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας) κανονισμούς. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ορίζονται διαφορετικά ΔΕΑ για περιπτώσεις παιδιών τα οποία είναι περισσότερο ακτινοευαίσθητα σε σχέση με τους ενήλικες και έχουν διαφορετικό μέγεθος (π.χ. βάρος) από αυτούς. Έτσι υπάρχει ένας διαχωρισμός σε αυτό το επίπεδο. Επίσης, για τις εξετάσεις οι οποίες πραγματοποιούνται αρκετά συχνά και οι δόσεις είναι μεγάλες απαιτείται να ορίζονται ΔΕΑ. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα εξετάσεων:

- Μαστογραφία: πρόσθια και πλάγια λήψη
- Ακτινογραφία λεκάνης-ισχύων
- Σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς
- Ακτινογραφία θώρακος
- Ακτινογραφία κρανίου κ.α.

Γενικά, υπάρχουν δύο ευρέως αποδεκτές έννοιες σχετικά με τα επίπεδα αναφοράς:

1. Τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (DRLs) όπως αναφέρθηκαν, τα οποία ρυθμίζονται στο 75% των δόσεων ακτινοβολίας για διαγνωστικές εξετάσεις.
2. Τις εφικτές δόσεις (ADs-Achievable Doses), οι οποίες καθορίζονται στο μέσο (50%) των δόσεων ακτινοβολίας για διαγνωστικές εξετάσεις.

Στο διπλανή εικόνα ορίζονται οι δύο έννοιες σε μία εξέταση Υπολογιστικής Τομογραφίας (CT-Computed Tomography) κεφαλής για έναν ενήλικα.



Εικόνα 1: Ιστόγραμμα δόσης εισόδου για CT κεφαλής (comp-ocpm.ca)

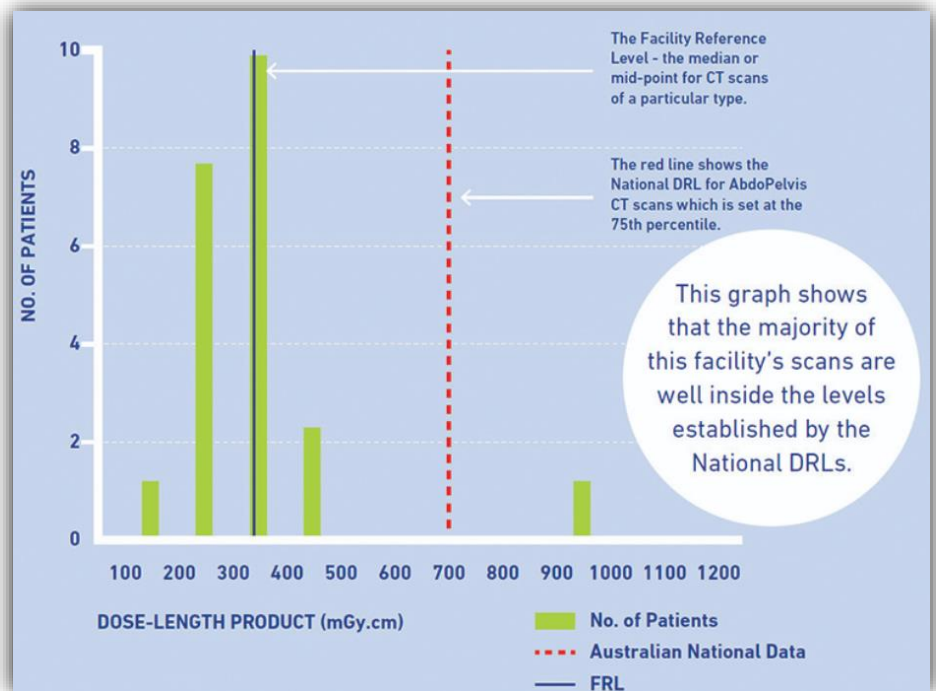
Συγκεκριμένα, μία τιμή Διαγνωστικού Επιπέδου Αναφοράς είναι μία αυθαίρετη θεωρητική τιμή μιας ποσότητας (δείκτη έκθεσης σε ακτινοβολία) που καθορίζεται όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στο 75ο εκατοστημόριο της κατανομής των διάμεσων ποσοτήτων που λαμβάνονται από έρευνες ή άλλα μέσα. Από την άλλη, μία ποσότητα Διαγνωστικού Επιπέδου Αναφοράς ορίζεται ως μια εύκολη μετρήσιμη ή προσδιορισμένη ακτινοβολία, που εκτιμά τη ποσότητα ιοντίζουσας ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μιας ιατρικής απεικόνισης.

Η εφαρμογή της διαδικασίας καθορισμού ΔΕΑ δεν επαρκεί για την βελτιστοποίηση της προστασίας. Η βελτιστοποίηση αφορά και τη διατήρηση της ποιότητας εικόνας των διαγνωστικών πληροφοριών που παρέχονται από την εξέταση, ενώ ταυτόχρονα επιδιώκεται η μείωση της έκθεσης των ασθενών σε ακτινοβολία, σε επίπεδο τόσο χαμηλό όσο είναι λογικά εφικτό. Η ποιότητα εικόνας ή οι διαγνωστικές πληροφορίες, πρέπει να αξιολογούνται και σε ορισμένες περιπτώσεις η βελτιστοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της δόσης στον ασθενή.

Σε περίπτωση που μία δόση βρίσκεται κάτω από μια τιμή ΔΕΑ, αυτό δεν υποδεικνύει ότι η διαδικασία εκτελείται σε ένα βελτιστοποιημένο επίπεδο σε σχέση με την ποσότητα ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται. Γι' αυτό το λόγο, η Επιτροπή συστήνει πρόσθετη βελτίωση με τη χρήση της διάμεσης τιμής

(δηλαδή στο 50%) της εθνικής κατανομής των τιμών κάποιων ποσοτήτων που σχετίζονται με τη δόση, ώστε να παρέχονται επιπλέον οδηγίες για περαιτέρω βελτιώσεις. Αν μια τοπική διάμεση τιμή μιας ποσότητας ΔΕΑ είναι κάτω από την εθνική διάμεση τιμή, θα πρέπει να θεωρείται μεγαλύτερη προτεραιότητα η ποιότητα εικόνας και όχι η ποσότητα ακτινοβολίας, για πρόσθετη βελτίωση.

Στο διπλανό ιστόγραμμα, παρουσιάζονται δεδομένα που αφορούν τα ΔΕΑ της Αυστραλίας. Με πράσινο εμφανίζεται ο αριθμός των ασθενών που υποβλήθηκαν σε Υπολογιστική Τομογραφία κοιλίας-λεκάνης, η συνεχής μπλε κάθετη γραμμή αναπαριστά το ΔΕΑ μιας συγκεκριμένης εγκατάστασης της Αυστραλίας, ενώ η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή δείχνει το εθνικό επίπεδο αναφοράς που ορίζεται στο 75% της κατανομής. Κατά συνέπεια, το γράφημα δείχνει ότι η πλειοψηφία των σαρώσεων της εγκατάστασης είναι εντός των επιπέδων που ορίζονται εθνικώς στην Αυστραλία.



Εικόνα 2: Ιστόγραμμα Αυστραλιανών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για Υπολογιστική Τομογραφία κοιλίας-λεκάνης. (arpana.gov.au)

Όσον αφορά τον τομέα της ακτινοθεραπείας, δηλαδή στην θεραπεία καρκινικών όγκων με ακτίνες Χ δεν λαμβάνονται υπόψη τα ΔΕΑ. Είναι όμως σημαντικά για την απεικόνιση του σχεδιασμού και του ελέγχου της θεραπείας.

1.1.2: Ιστορία των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς

Το 1950 διεξήχθησαν έρευνες σε εθνικό επίπεδο για ποσότητες διαγνωστικών εξετάσεων με ακτίνες Χ στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Τη δεκαετία του '70, ξεκίνησε η εθνική αποτίμηση ερευνών με ακτίνες Χ στις ΗΠΑ, ενώ τη δεκαετία του '80 οι έρευνες του τότε Εθνικού Συμβουλίου Ακτινοπροστασίας (NRPB-National Radiological Protection Board) στο Ηνωμένο Βασίλειο, πραγματοποιήθηκαν αναφορικά με την έκθεση στην επιφάνεια εισόδου του ασθενούς ή ελεύθερα στον αέρα, ακτίνων Χ. Τα αποτελέσματα των δύο παραπάνω ερευνών, αποτέλεσαν κύριο θεμέλιο για συστάσεις όσον αφορά την ακτινογραφική τεχνική αλλά και τις ποσότητες που μελετήθηκαν. Στη πορεία, το 1998, οι Wall και Shrimpton επανεξέτασαν τις ποσότητες που σχετίζονταν με τη δόση του ασθενούς για βελτιστοποίηση της προστασίας. Τα ΔΕΑ εισήχθησαν στην Ευρώπη επίσημα, στην οδηγία του συμβουλίου 97/43/ της Eurotom (EC-European Commission, 1997) και τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έπρεπε να προωθήσουν την καθιέρωση και τη χρήση των ΔΕΑ ως τεχνική βελτιστοποίησης. Από το 1990, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή άρχισε σειρά ερευνητικών προγραμμάτων για συλλογή δεδομένων σχετικά με τις δόσεις των ασθενών αλλά και την ποιότητα της εικόνας από όλες τις εξετάσεις με ιοντίζουσα ακτινοβολία, το οποίο εφαρμόζεται έως και σήμερα.

1.1.3: Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας

Η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP) είναι ένας ανεξάρτητος, μη κυβερνητικός οργανισμός, με σκοπό να παρέχει συστάσεις και καθοδήγηση σχετικά με την ακτινοπροστασία, όσον αφορά την ιοντίζουσα ακτινοβολία. Ιδρύθηκε το 1928 στο δεύτερο Διεθνές Συνέδριο Ακτινολογίας στη Στοκχόλμη, ενώ το 1950 αναδιαρθρώθηκε για να ληφθούν υπόψη νέες χρήσεις της ακτινοβολίας εκτός του ιατρικού χώρου. Είναι μία αδελφική οργάνωση της Διεθνούς Επιτροπής Ακτινολογικών Μονάδων (ICRU-International Commission on Radiation Units), η οποία ορίζει τις μονάδες ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Το έργο της Επιτροπής επικεντρώνεται στη λειτουργία τεσσάρων κύριων Επιτροπών:

- Επιτροπή 1: Επιδράσεις ακτινοβολίας
- Επιτροπή 2: Δόσεις από έκθεση σε ακτινοβολία
- Επιτροπή 3: Ακτινοπροστασία στην ιατρική
- Επιτροπή 4: Εφαρμογή των συστάσεων της Επιτροπής

Βασικό προϊόν της Επιτροπής είναι η παραγωγή τακτικών δημοσιεύσεων που παρέχουν πληροφορίες και συστάσεις για την ακτινοπροστασία. Συγκεκριμένα, οι συστάσεις του 1990 περιγράφουν τα επίπεδα αναφοράς, όταν χρησιμοποιούνται για εφαρμογές εκτός των ιατρικών εκθέσεων, ως τιμές μετρημένων ποσοτήτων πάνω από τις οποίες πρέπει να ληφθούν συγκεκριμένες αποφάσεις. Το 1996, τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς αναφέρθηκαν ως όρος για μια μορφή ερευνητικού επιπέδου που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό καταστάσεων όπου μπορεί να απαιτηθεί βελτιστοποίηση της προστασίας στην ιατρική έκθεση των ασθενών. Τέλος στις συστάσεις του 2007, η Επιτροπή χρησιμοποιεί τους όρους "περιορισμός δόσης" στο πλαίσιο των προγραμματισμένων καταστάσεων έκθεσης και "επίπεδο αναφοράς" για υφιστάμενες και επείγουσες καταστάσεις έκθεσης.

Η προστασία του κοινού αλλά και η ασφάλεια των εργαζομένων από τις επιβλαβείς επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι κύριο μέλημα της ακτινοπροστασίας. Αρμόδια για αυτήν στην Ελλάδα είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) και διεθνώς η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP).

Υπάρχουν τρεις βασικές και πολύ σημαντικές αρχές που διέπουν την ακτινοπροστασία και είναι οι εξής:

- 1) **Αρχή της αιτιολόγησης:** Κάθε πρακτική που σχετίζεται με έκθεση με ιοντίζουσα ακτινοβολία θα πρέπει να αιτιολογείται και να εφαρμόζεται, μόνο εάν προσφέρει ικανοποιητικό όφελος στο εκτιθέμενο άτομο ή στο κοινωνικό σύνολο, το οποίο αντισταθμίζει τις βλάβες που μπορεί να προκαλέσει η ακτινοβολία.
- 2) **Αρχή της βελτιστοποίησης (ALARA-As Low as Reasonably Achievable):** Κάθε έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία πρέπει να διατηρείται σε τόσο χαμηλά επίπεδα όσο είναι λογικά εφικτό.
- 3) **Αρχή των ορίων δόσης:** Οι ατομικές εκθέσεις από το σύνολο των πηγών θα πρέπει να υπόκεινται σε όρια δόσεων ή όρια κινδύνων, των οποίων η υπέρβαση θεωρείται μη αποδεκτή. Τα όρια δόσης δεν αφορούν αιτιολογημένες ιατρικές εκθέσεις.

(International Commission on Radiological Protection, 1990, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford).

1.1.4: Τοπικά και εθνικά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς

Οι διάφοροι οργανισμοί που αναφέρθηκαν, είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις ποσότητες ΔΕΑ που χρησιμοποιούνται για τις εξετάσεις ασθενών και τον καθορισμό των τιμών ΔΕΑ και αυτό θα πρέπει να αναγνωρίζεται σε κάθε χώρα και περιοχή του πλανήτη. Η διαδικασία αυτή είναι ευέλικτη, καθώς υπάρχουν λίγα διαθέσιμα δεδομένα για κάποιες ιατρικές εξετάσεις (όπως επεμβατικές διαδικασίες ή περιπτώσεις παιδιών).

Έτσι, τα δεδομένα για τον προσδιορισμό εθνικών τιμών ΔΕΑ λαμβάνονται από έρευνες ή αρχεία και από ένα μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων υγειονομικής περίθαλψης. Ως "εθνικό Διαγνωστικό Επίπεδο Αναφοράς" χρησιμοποιείται η 75^η εκατοστημοριακή τιμή της κατανομής των διάμεσων τιμών μιας ποσότητας ΔΕΑ σε εγκαταστάσεις σε ολόκληρη τη χώρα. Με τον όρο "τοπικό Διαγνωστικό Επίπεδο Αναφοράς", αναφερόμαστε στην τιμή που ορίζεται στο 75^ο εκατοστημόριο της κατανομής για ένα συγκεκριμένο νοσοκομείο ή άλλη εγκατάσταση. Όταν υπάρχουν εθνικές τιμές για πολλές χώρες μιας περιοχής (όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση), μπορούν να καθοριστούν τα ΔΕΑ αυτής της περιοχής χρησιμοποιώντας τη διάμεση τιμή των διαθέσιμων τιμών. Αυτό, πραγματοποιείται για να παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τη βελτιστοποίηση της προστασίας γειτονικών χωρών, οι οποίες δεν έχουν δικές τους έρευνες ή αρχεία ΔΕΑ. Τα εθνικά αλλά και τα ΔΕΑ μιας περιοχής, πρέπει να επανεξετάζονται κάθε 3 έως 5 χρόνια και ειδικά όταν προστίθενται αλλαγές στην τεχνολογία, στα πρωτόκολλα και στην επεξεργασία της εικόνας. Σε μερικές εγκαταστάσεις ίσως χρησιμοποιούνται και τυπικές τιμές.

Πίνακας 1: Τύποι ΔΕΑ, μέθοδοι προέλευσης και περιοχή εφαρμογής (ICRP, Publication 135)

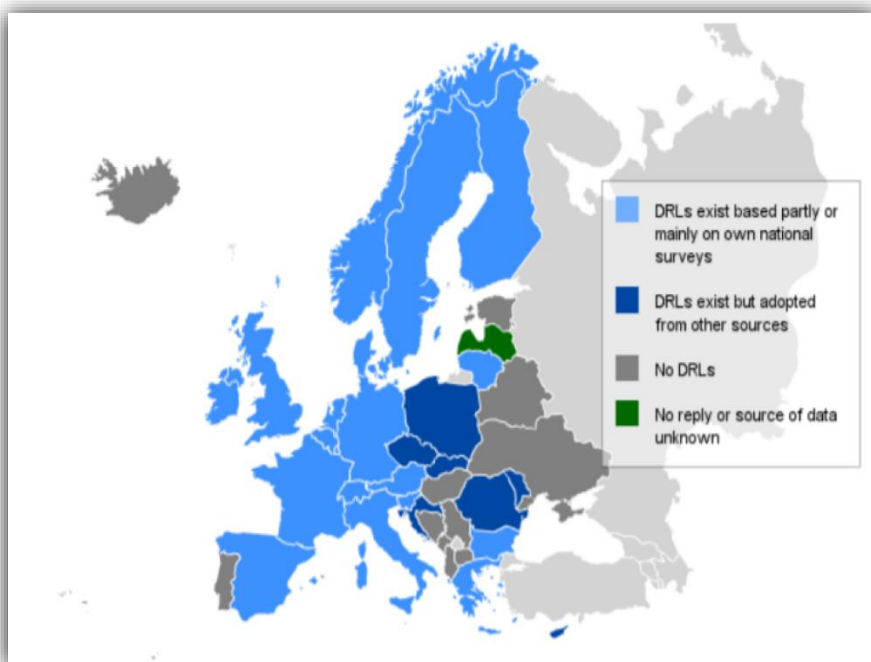
Όρος	Περιοχή και εγκατάσταση	Τιμή στην κατανομή που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του ΔΕΑ	Εφαρμογή
Τυπικές τιμές	Εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης που αποτελούνται από πολλές ακτινογραφικές αίθουσες ή από ένα μικρό αριθμό εγκαταστάσεων που συνδέονται με μια νέα τεχνική	Διάμεση τιμή της κατανομής, καθώς δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για τη χρήση του 75 ^{ου} εκατοστημορίου	Τοπική χρήση για την αναγνώριση μονάδων ακτίνων Χ που απαιτούν περαιτέρω βελτιστοποίηση
Τοπικές τιμές	Ακτινογραφικές αίθουσες σε μερικές εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης (π.χ. με τουλάχιστον 10-20 ακτινογραφικές αίθουσες) σε μια τοπική περιοχή	75 ^η εκατοστημοριακή τιμή της κατανομής για μεμονωμένες ακτινογραφικές αίθουσες	Τοπική χρήση για την αναγνώριση μονάδων ακτίνων Χ που απαιτούν περαιτέρω βελτιστοποίηση
Εθνικές τιμές	Αντιπροσωπευτική επιλογή εγκαταστάσεων που καλύπτουν ολόκληρη τη χώρα	75 ^η εκατοστημοριακή τιμή της κατανομής για ξεχωριστές ακτινογραφικές αίθουσες σε μία χώρα	Σε εθνικό επίπεδο για τον εντοπισμό των ακτινογραφικών εγκαταστάσεων όπου απαιτείται βελτιστοποίηση
Τιμές μιας περιοχής	Πολλές χώρες σε μια ήπειρο	Διάμεσες τιμές κατανομών εθνικών τιμών	Χώρες εντός της περιοχής χωρίς ΔΕΑ ή

		ή στο 75% της κατανομής για αντιπροσωπευτική επιλογή των εγκαταστάσεων υγειονομικής περίθαλψης σε ολόκληρη την περιοχή	για τις οποίες το εθνικό ΔΕΑ είναι υψηλότερο από την τιμή ΔΕΑ της περιοχής
--	--	--	--

1.1.5: Αποτελεσματικότητα των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς σε διάφορες χώρες

Η διαδικασία καθορισμού Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της προστασίας στην ιατρική έκθεση των ασθενών στις περισσότερες χώρες του κόσμου. Στην Αμερική, έγινε μια έρευνα με τυπικά ομοιώματα για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την έκθεση στην επιφάνεια εισόδου του ασθενούς, από εγκαταστάσεις σε 19 πολιτείες. Ύστερα από την παρακολούθηση εκπαιδευμένων επιθεωρητών στις εγκαταστάσεις για τυχόν υψηλές ή πολύ χαμηλές δόσεις, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της έκθεσης και παράλληλα βελτιωμένη ποιότητα εικόνας.

Στην Ευρώπη, και συγκεκριμένα στο Ηνωμένο Βασίλειο (και στις περισσότερες χώρες) συλλέγονται δεδομένα κάθε πενταετία, το λιγότερο, με σκοπό τον έλεγχο και την αναθεώρηση των ΔΕΑ. Αξίζει να σημειωθεί, ότι για εξετάσεις ενηλίκων με ακτίνες X έχουν θεσπιστεί ΔΕΑ στο 72% των 36 Ευρωπαϊκών χωρών (25% δεν έχουν ΔΕΑ, 3% δεν έχουν δώσει στοιχεία) σύμφωνα με τα δεδομένα του 2014. Τα αντίστοιχα στοιχεία για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και της Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελεύθερων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ) είναι 81%, 16%, 3%.



Εικόνα 3: Χάρτης Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για εξετάσεις ενηλίκων με ακτίνες X. (European Commission, Radiation Protection N° 180)

Στο διπλανό χάρτη, φαίνονται οι χώρες στις οποίες έχουν οριστεί ΔΕΑ (μπλε και γαλάζιο χρώμα), οι χώρες που δεν έχουν ΔΕΑ (γκρι) και οι χώρες που δεν έχουν δώσει στοιχεία περί αυτών (πράσινο). Το 77% των ΔΕΑ ενηλίκων βασίζεται σε εθνικές έρευνες δόσεων στην Ευρώπη και το 83% σε χώρες της ΕΕ και της ΕΖΕΣ.

Τελικά, η διαδικασία καθορισμού ΔΕΑ είναι ένα εργαλείο που βοηθά στη βελτιστοποίηση, αλλά μπορεί να το επιτύχει μόνο μέσω της διαδικασίας ελέγχου της δόσης ασθενούς που πραγματοποιείται στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης αλλά και παγκοσμίως.

1.1.6: Προβλήματα στη χρήση των ΔΕΑ

Στη τρέχουσα πρακτική, εμφανίζονται αρκετά ζητήματα σχετικά με την διαδικασία καθορισμού των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς. Μερικά από αυτά είναι, η χρήση των ΔΕΑ για μεμονωμένους ασθενείς ή μεμονωμένες εξετάσεις αντί για ένα σύνολο ασθενών ή μία σειρά εξετάσεων, η κακή χρήση των ΔΕΑ ως όριο δόσης για ασθενείς, η χρήση ομοιωμάτων ή άλλων μέσων για το καθορισμό των ΔΕΑ, η προσπάθεια καθορισμού ΔΕΑ μετά από αλλαγές στην τεχνολογία και στην επεξεργασία της εικόνας, το οποίο επηρεάζει άμεσα την ποιότητα εικόνας, και τέλος υπάρχουν προβλήματα στο τομέα της παιδιατρικής, όπου ο αριθμός των ασθενών είναι περιορισμένος και δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα. Επομένως, είναι κατανοητό ότι τα ΔΕΑ χρήζουν επιπρόσθετης καθοδήγησης για τον καθορισμό τους, την επαναξιολόγηση τους κατά διαστήματα, και την εφαρμογή τους στη κλινική πράξη και στις νεότερες μεθόδους απεικόνισης (τομογραφία μονοφωτονικής εκπομπής SPECT-CT, τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων PET-CT κ.α.).

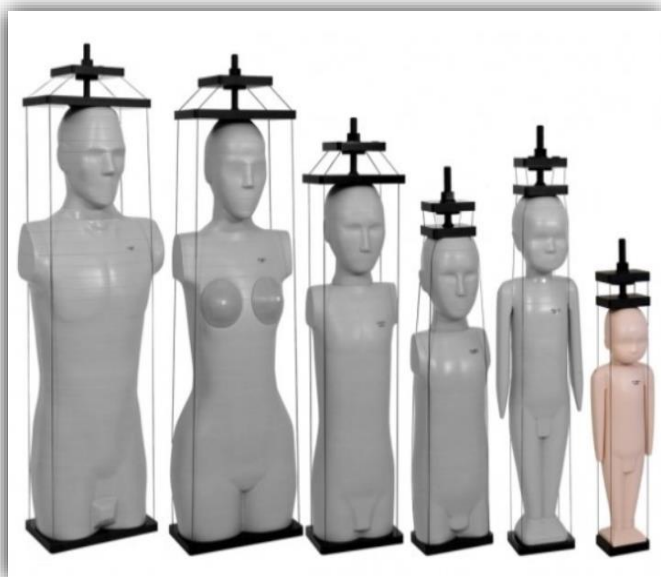
Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται:

- **Οι τιμές ΔΕΑ δεν είναι όρια δόσης**

Μία από τις αρχές της Διεθνούς Επιτροπής σχετικά με την εφαρμογή των ορίων δόσης αναφέρει: “Η συνολική δόση σε κάθε άτομο από ρυθμισμένες πηγές σε προγραμματισμένες καταστάσεις έκθεσης εκτός της ιατρικής έκθεσης, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα κατάλληλα όρια που συστήνει η Επιτροπή (ICRP,2007)”. Δηλαδή, τα όρια δόσης δεν ισχύουν στην περίπτωση των ιατρικών εκθέσεων που σκοπό έχουν, την έκθεση του ασθενούς για διάγνωση ή θεραπεία. Συνεπώς, είναι απόλυτα σαφές ότι οι τιμές ΔΕΑ δεν προορίζονται ως όρια δόσης και απαγορεύεται να χρησιμοποιούνται ως τέτοια.

- **Οι τιμές ΔΕΑ πρέπει να βασίζονται στην κλινική πράξη**

Οι τιμές ΔΕΑ πρέπει να προσδιορίζονται, χρησιμοποιώντας δεδομένα από τιμές ποσοτήτων ΔΕΑ που προέρχονται από εξετάσεις ασθενών για απεικόνιση με ακτίνες X ή γ. Βέβαια, υπάρχουν τυπικά ομοιώματα που προσομοιάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό, τα οποία χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση. Υπάρχουν τρύπες στο εσωτερικό των ομοιωμάτων, στις οποίες τοποθετούνται δοσίμετρα θερμοφωταύγειας για την μέτρηση της δόσης ακτινοβολίας στη περιοχή αυτή. Τα ομοιώματα είναι πιο άμεσα διαθέσιμα για χρήση, αλλά δεν είναι ρεαλιστικά. Γι’ αυτό το λόγο η Επιτροπή συνιστά, ο καθορισμός των τιμών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς να γίνεται με δεδομένα ερευνών, τα οποία δεν μπορούν να ληφθούν με τη χρήση ομοιωμάτων.



Εικόνα 4: Τυπικά ομοιώματα διάφορων μεγεθών (daolphantom.tistory.com)



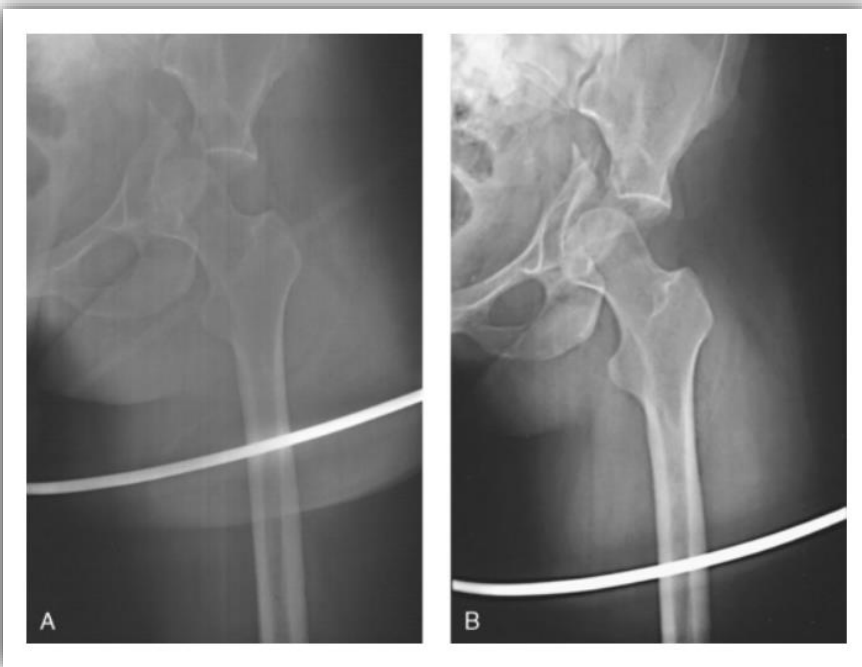
Εικόνα 5: Ομοίωμα απεικόνισης για τον προσδιορισμό απόδοσης Υ-πολογιστικού Τομογράφου (wikipedia.org)

- **Οι τιμές ΔΕΑ επηρεάζονται από την τεχνολογία και την κλινική ένδειξη**

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας χρειάζεται επανεξέταση των ήδη καθορισμένων τιμών ΔΕΑ, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική αλλαγή των δόσεων. Οι τιμές ΔΕΑ εξαρτώνται άμεσα από την διαθέσιμη τεχνολογία, καθώς αυτή μπορεί να παρέχει βελτίωση στη ποιότητας εικόνας. Για παράδειγμα, η χρήση πιο ευαίσθητων ανιχνευτών ψηφιακών ακτινογραφικών συστημάτων μπορεί να επιφέρει αλλαγές στις τιμές ΔΕΑ που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, οι διαφορετικές ενδείξεις για μία εξέταση απαιτούν διαφορετική ποιότητα εικόνας και συνεπώς διαφορετική δόση ακτινοβολίας. Ένα παράδειγμα είναι η Υπολογιστική Τομογραφία κοιλίας, στην περίπτωση αφαίρεσης πέτρας νεφρών απαιτείται χαμηλότερη δόση ακτινοβολίας από' τι στην περίπτωση χαρακτηρισμού ενός όγκου.

- **Η ποιότητα της εικόνας παίζει σημαντικό ρόλο**

Σε μία ιατρική απεικόνιση, η μεγαλύτερη προτεραιότητα είναι η επίτευξη βέλτιστης ποιότητας εικόνας, ώστε οι εικόνες που λαμβάνονται από ολόκληρη τη διαδικασία να παρέχουν τις απαιτούμενες διαγνωστικές πληροφορίες και να μην τίθεται σε κίνδυνο ο κλινικός σκοπός. Μία εικόνα χαμηλής ποιότητας δεν παρέχει τα επιθυμητά αποτελέσματα, από την άλλη πλευρά η αξιολόγηση πολλών τέτοιων εικόνων διαδοχικά μπορεί να είναι επαρκής για το περιεχόμενο της πληροφορίας.



Στη διπλανή εικόνα, φαίνεται μία χαμηλής ποιότητας εικόνα (A) και μία εξαιρετικής ποιότητας εικόνα (B).

Στην περίπτωση που η ποιότητα εικόνας ή οι διαγνωστικές πληροφορίες δεν επαρκούν για τον κλινικό σκοπό, είτε μειώνοντας τη δόση, είτε αυξάνοντας υπερβολικά τη δόση, είτε αποτυχημένης λήψης του κατάλληλου αριθμού εικόνων, η βελτιστοποίηση δεν έχει επιτευχθεί.

Εικόνα 6: Κινητή ακτινογραφία μηριαίου οστού και ισχίου που δείχνει το κάταγμα της αριστερής κοτύλης. (radiologukey.com)

1.2: Καθορισμός Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς

1.2.1: Εισαγωγή

Η καθιέρωση των τιμών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς (ΔΕΑ) είναι πολύ σημαντική για τις διαγνωστικές εξετάσεις, όπως ακτινογραφία, ακτινοσκόπηση, πυρηνική ιατρική και μαστογραφία. Τα ΔΕΑ αναπτύχθηκαν για τυπικές εξετάσεις, όπου η τιμή της ποσότητας ΔΕΑ ποικίλει μόνο ως συνάρτηση του βάρους ή κάποιου άλλου μέτρου σωματικής μάζας. Οι επεμβατικές διαδικασίες αντιμετωπίζονται ξεχωριστά λόγω της πολυπλοκότητάς τους.

Τα ΔΕΑ χρησιμοποιούν “ποσότητες ΔΕΑ”, εύκολα μετρημένες ή προσδιορισμένες, οι οποίες αξιολογούν την ποσότητα ιοντίζουσας ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μιας ιατρικής απεικόνισης. Αυτές, συσχετίζονται με την ποσότητα ακτινοβολίας και όχι με τις πραγματικές απορροφούμενες δόσεις στους ιστούς και τα όργανα του ασθενούς. Παραδείγματα τέτοιων ποσοτήτων είναι το προσπίπτον $air\ kerma$, $air\ kerma$ επιφάνειας εισόδου, DLP, R_{KA} , $CTDI_{vol}$, και άλλα (αναλύονται στην επόμενη ενότητα).

Επίσης, τα ΔΕΑ πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά των διαδικασιών που εκτελούνται στην τοπική κοινότητα, χώρα ή περιοχή όπου εφαρμόζονται. Σε ορισμένες χώρες, τα νοσοκομεία ή οι υγειονομικές αρχές μπορούν να ορίσουν τις δικές τους τοπικές τιμές ΔΕΑ. Αυτές, μπορεί να ισχύουν για διαδικασίες για τις οποίες μια εθνική τιμή ΔΕΑ δεν είναι διαθέσιμη για να εξυπηρετήσει στη βελτιστοποίηση. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό χαμηλότερων τιμών για νέες τεχνολογίες που επιτρέπουν την επίτευξη χαμηλότερων δόσεων στους ασθενείς, όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα εθνικά ΔΕΑ. Βέβαια, οι τοπικές τιμές ΔΕΑ θα καθοριστούν με βάση τις τοπικές έρευνες ασθενών, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν ως μέτρο σύγκρισης για το πρόγραμμα διασφάλισης ποιότητας (QA-Quality Assurance) της εγκατάστασης στο μέλλον.

1.2.2: Ρύθμιση των τιμών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς

Το πρώτο και πιο δύσκολο βήμα είναι η ρύθμιση της τιμής Διαγνωστικού Επιπέδου Αναφοράς, η οποία πρέπει να υπάρχει για κάθε εξέταση. Αυτό, συνδέεται με τις καθορισμένες κλινικές και τεχνικές απαιτήσεις της ιατρικής απεικόνισης. Γενικά, για τη πλειοψηφία των τύπων εξέτασης οι τιμές ΔΕΑ πρέπει να βασίζονται σε μετρήσεις από έρευνες ή σε μητρώα εξετάσεων ασθενών. Η συγκέντρωση δεδομένων από έρευνες ή μητρώα παρέχει πληροφορίες στους ακτινολόγους, με σκοπό τη καθιέρωση της τιμής ΔΕΑ που παράγει επαρκής ποιότητα εικόνας για διάγνωση. Από την άλλη, η χρήση ομοιωμάτων για την αξιολόγηση ακτινολογικών εκθέσεων συγκριτικά με την απόδοση διάφορων ακτινολογικών μονάδων ή για τον έλεγχο της απόδοσης μονάδων μαστογραφίας, είναι πολύ χρήσιμη αλλά δεν είναι κατάλληλη για ρύθμιση των τιμών ΔΕΑ.

Επιπλέον, οι τιμές ΔΕΑ πρέπει να προέρχονται από μια ομάδα εγκαταστάσεων που είναι αρκετά μεγάλες, ώστε να αντιπροσωπεύουν το εύρος των πρακτικών εντός της χώρας ή της περιοχής, για τη συγκεκριμένη εξέταση ή διαδικασία. Επειδή οι πρακτικές και ο εξοπλισμός ποικίλλουν από τη μια χώρα στην άλλη, είναι σημαντικό τα εθνικά ΔΕΑ και τα ΔΕΑ μιας περιοχής (όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση) να είναι αντιπροσωπευτικά των διαδικασιών που εκτελούνται στη χώρα ή στην περιοχή όπου εφαρμόζονται. Εάν υπάρχουν δύο διαδικασίες για μία εξέταση, με διαφορετικές τιμές για την ποσότητα ΔΕΑ σε μια χώρα ή περιοχή, είναι δυνατόν να οριστούν δύο τιμές ΔΕΑ και να προσδιοριστεί η εξέταση και η διαδικασία. Αυτό, ισχύει ιδιαίτερα όταν αναπτύσσονται νέες τεχνικές που ασκούν επιρροή στις δόσεις και δημιουργούν μια μεταβατική περίοδο.

Οι καλύτερες πηγές για τις τιμές ΔΕΑ, είναι στοιχεία που βασίζονται σε ασθενείς για τη χώρα ή την περιοχή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν. Μέθοδοι μέσω των οποίων μπορούν να ληφθούν τέτοιες τιμές ΔΕΑ, περιγράφονται αργότερα σε αυτή την ενότητα. Οι τιμές ΔΕΑ που λαμβάνονται από άλλες πηγές, μπορούν επίσης να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες. Επιπλέον, οι τιμές ΔΕΑ που δημοσιεύονται από εθνικούς ή διεθνείς οργανισμούς μπορούν να αναφερθούν κατά τον καθορισμό των εθνικών τιμών ΔΕΑ. Παραδείγματα διατίθενται από διάφορες πηγές, όπως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (EC, 1996, 1999, 2014) και το Εθνικό Συμβούλιο Ακτινοπροστασίας (NCRP, 2012). Ωστόσο, οι τιμές ΔΕΑ από κάποιους εθνικούς ή διεθνείς οργανισμούς δεν είναι εξ ανάγκης κατάλληλες για πολλές χώρες ή κράτη, καθώς οι διαγνωστικές διαδικασίες καθορίζονται διαφορετικά από χώρα σε χώρα και από περιοχή σε περιοχή. Στον καθορισμό λοιπόν, μιας διαδικασίας σημαντικό ρόλο έχουν, το λογισμικό, τα μηχανήματα, η εμπειρία των χειριστών, οι πληθυσμιακές ομάδες, ο σκοπός της εξέτασης και η κατανομή βάρους των

ασθενών, τα οποία διαφέρουν ανά περιοχή. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται μερικές διαγνωστικές διαδικασίες για τις οποίες συνιστάται η ρύθμιση ΔΕΑ και σε ποιες από αυτές η ρύθμιση, είναι χαμηλής προτεραιότητας.

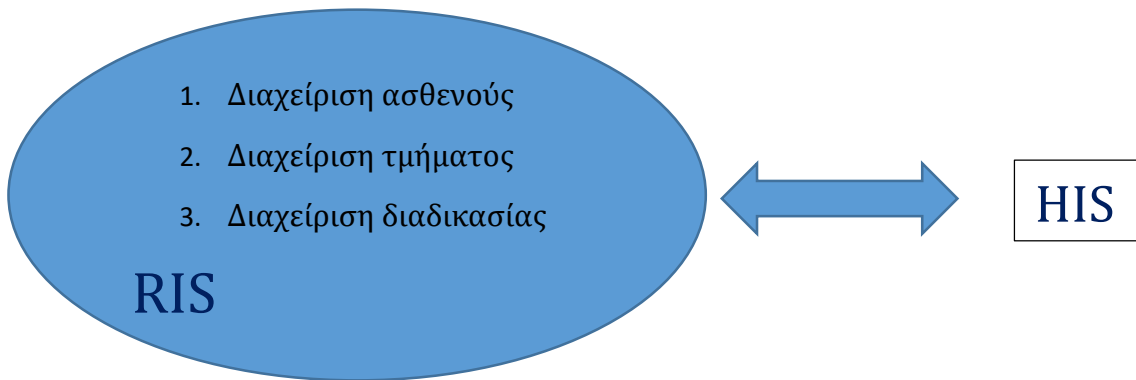
Πίνακας 2: Εξετάσεις και μέθοδοι αξιολόγησης (ICRP, Publication 135)

Εξέταση	Σύσταση ΔΕΑ	Μέθοδος αξιολόγησης
Μαστογραφία	Ναι	Έρευνες σε ασθενείς και χρήση ομοιωμάτων
Πανοραμική οδοντιατρική ακτινογραφία	Ναι	Μέτρηση του air kerma
Υπολογιστική τομογραφία	Ναι	Έρευνες σε ασθενείς
Μέτρηση πυκνότητας οστών	Ναι (χαμηλής προτεραιότητας)	Έρευνες σε ασθενείς
Κινητή ακτινογραφία	Ναι (χαμηλής προτεραιότητας)	Έρευνες σε ασθενείς
Πυρηνική ιατρική	Ναι	Βασίζεται στη χορηγούμενη ραδιενέργεια ανά σωματικό βάρος
Επεμβατική ακτινολογία και καρδιολογία	Ναι	Έρευνες σε ασθενείς

1.2.3: Μέθοδοι συλλογής δεδομένων

Η ρύθμιση των τιμών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς, συνεπάγεται την ύπαρξη κάποιων μεθόδων συλλογής δεδομένων που θα οδηγήσουν στη καθιέρωση τους. Υπάρχουν πολλές επιλογές για συλλογή δεδομένων, και μία εξ αυτών είναι η αυτοματοποιημένη καταγραφή σε εγκαταστάσεις με βάσεις δεδομένων. Όπου αυτό δεν είναι δυνατό, μπορεί να γίνει καταγραφή σε ειδικές φόρμες γραπτώς. Αυτό όμως, είναι αρκετά χρονοβόρο για τον χειριστή και η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την ακρίβεια εισαγωγής των δεδομένων. Η συγκεκριμένη μέθοδος, χρησιμοποιήθηκε για αρκετά χρόνια στο Ηνωμένο Βασίλειο, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής αλλά και σε Ευρωπαϊκές χώρες.

Μία άλλη μέθοδος και πολύ σημαντική, εμφανίστηκε με την δημιουργία των συστημάτων HIS (Hospital Information System-Σύστημα Πληροφοριών Νοσοκομείων) και RIS (Radiology Information System-Σύστημα Πληροφοριών Ακτινολογίας). Το HIS είναι το βασικό πληροφοριακό σύστημα για τη διαχείριση ασθενών σε ολόκληρο το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης και το RIS θεωρείται το βασικό σύστημα για την ηλεκτρονική διαχείριση των τμημάτων απεικόνισης. Επιπλέον, το σύστημα RIS χρησιμοποιείται από τους ακτινολόγους για την επεξεργασία και αναφορά της διάγνωσης. Η αποτελεσματική διαχείριση των πληροφοριών, είναι απαραίτητη για τη παροχή κλινικής περίθαλψης υψηλής ποιότητας. Το σύστημα HIS/RIS, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να συμπεριλάβει μεγάλο αριθμό ασθενών και παράλληλα παρέχει δεδομένα για παλαιότερες εξετάσεις στους κλινικούς ιατρούς. Βέβαια, πρέπει να γίνεται προσεκτικά η εισαγωγή δεδομένων σε αυτό το σύστημα με χρήση ειδικών κωδικών για τους διάφορους τύπους και παραλλαγές των διαγνωστικών εξετάσεων. Το σημείο σύνδεσης του συστήματος HIS με το RIS είναι μια εφαρμογή που λέγεται HL7.



Ένα ακόμα σύστημα, είναι το Σύστημα Αρχαιοθήκης και Επικοινωνίας Εικόνων (PACS-Picture Archiving and Communication System. Είναι μία τεχνολογία ιατρικής απεικόνισης που παρέχει αποθήκευση και εύκολη πρόσβαση σε εικόνες από πολλαπλές διαδικασίες.

Τέλος, το σύστημα της DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) έχει αναθέσει την καταγραφή και αποθήκευση των πληροφοριών δόσης ακτινοβολίας από διάφορες μεθόδους απεικόνισης, στη Συγκροτημένη Αναφορά Δόσης Ακτινοβολίας (RDSR-Radiation Dose Structured Report). Η συλλογή δεδομένων σε RDSRs, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το σύστημα διαχείρισης δόσης ασθενούς για να ενημερώσει το κλινικό προσωπικό και τους ακτινοφυσικούς, όταν οι δοσιμετρικές ποσότητες υπερβαίνουν τα προκαθορισμένα επίπεδα.

1.2.4: Εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης

Για τον καθορισμό των ΔΕΑ, απαιτείται η διεξαγωγή ερευνών σχετικά με τις εξετάσεις ασθενών σε ολόκληρη την περιοχή που θα εφαρμοστούν. Στη συλλογή δεδομένων από τις έρευνες συμβάλουν οι διάφορες εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης. Ένα καλό σημείο εκκίνησης, θα ήταν η συμβολή μερικών από την πληθώρα εγκαταστάσεων μιας χώρας, για τη συγκέντρωση δεδομένων. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα από 20-30 εγκαταστάσεις είναι επαρκή, εάν συμπεριλαμβάνεται μεγάλος αριθμός ασθενών από κάθε εγκατάσταση. Όμως, σε μία χώρα που έχει λιγότερες από 50 εγκαταστάσεις αυτό δεν είναι δυνατό και απαιτείται η συμβολή περίπου του 30% των εγκαταστάσεων. Επίσης, οι εγκαταστάσεις που περιλαμβάνονται θα πρέπει να έχουν επαρκές φόρτο εργασίας, ώστε να εξασφαλίζεται ότι είναι δυνατόν να αποκτηθούν δεδομένα για μια αντιπροσωπευτική ομάδα ασθενών. Θα είναι κατά κανόνα μεγάλα ή μεσαία νοσοκομεία, καθώς η ομάδα ασθενών σε ένα μικρό νοσοκομείο ή σε άλλη μονάδα υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να είναι αδύναμη για να επιτρέψει τη λήψη εύλογου δείγματος σε ένα ρεαλιστικό χρονικό πλαίσιο.

Σε μία χώρα, οι παροχές υγειονομικής περίθαλψης είναι, είτε δημόσιες, είτε ιδιωτικές, οπότε το δείγμα που λαμβάνεται πρέπει να προέρχεται από την πλειοψηφία τους. Η προτεραιότητα για βελτιστοποίηση λοιπόν, μπορεί να διαφέρει από εγκατάσταση σε εγκατάσταση. Εκείνες με περιορισμένο αριθμό ακτινολόγων, ίσως κάνουν χρήση ασυνήθιστων πρακτικών οι οποίες δεν αντικατοπτρίζουν τις πρακτικές της υπόλοιπης χώρας. Είναι σημαντικό, μόλις δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα οι έρευνες να επεκτείνονται σε όλες τις εγκαταστάσεις, ώστε να διαπιστωθούν οι κακές και μη ορθές πρακτικές με σύγκριση των τιμών ΔΕΑ.

Τέλος, η ενθάρρυνση των εγκαταστάσεων σε μια γεωγραφική περιοχή να κάνουν δικές τους έρευνες για τις δόσεις των ασθενών, είναι σημαντικό επίτευγμα για τη συλλογή δεδομένων σε χρονική κλίμακα λίγων ετών.

1.2.5: Ασθενείς

Η πλειοψηφία αυτής της ενότητας αναφέρεται στη συλλογή δεδομένων ασθενών σχετικά με τις ποσότητες ΔΕΑ και τον προσδιορισμό των τιμών τους με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται.

Καθώς η εξασθένηση της δέσμης ακτίνων X εξαρτάται από την ποσότητα ιστού που πρέπει να διεισδύσει η δέσμη, είναι σημαντικό να υπάρχει κάποια τυποποίηση του μεγέθους του ασθενούς. Η τυποποίηση του μεγέθους του ασθενή συνήθως επιτυγχάνεται με τον περιορισμό του βάρους. Για ενήλικες, αυτό επιτυγχάνεται τυπικά με τη χρήση δεδομένων από ασθενείς με βάρος μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος (π.χ., μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια περιοχή 50-90 kg για να επιτευχθεί μέσος όρος 70kg). Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο χρησιμοποιήθηκε ένα μέσο βάρος $70 \pm 5 \text{ kg}$, καθώς αυτό αντιστοιχεί στον μέσο όρο. Αυτό το μέσο βάρος, δεν είναι απαραίτητα κατάλληλο για άλλες χώρες με διαφορετική κατανομή βάρους στον πληθυσμό τους. Ένα μέσο βάρος $70 \pm 10 \text{ kg}$ μπορεί να είναι κατάλληλο για περισσότερες χώρες.

Στην περίπτωση αυτοματοποιημένων μεθόδων καταγραφής δεδομένων, για τιμές κατάλληλων ποσοτήτων ΔΕΑ, μπορεί να είναι εφικτή η συλλογή δεδομένων για ένα μεγάλο αριθμό ασθενών (>100) σε κάθε εγκατάσταση. Με αυτό τον τρόπο, συλλέγονται δεδομένα για εκατομμύρια εξετάσεις και υπάρχει πιθανότητα ελαστικότητας στον περιορισμό τους βάρους των ασθενών. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια εισαγωγής δεδομένων ενώ πρέπει να ληφθεί μέριμνα, ώστε να μην επηρεάζονται από μεγαλύτερα μεγέθη ασθενών σε ορισμένες περιοχές. Από την άλλη πλευρά, η αδυναμία συλλογής δεδομένων για ικανοποιητικό αριθμό ασθενών μπορεί να οδηγήσει σε αβεβαιότητα της μέσης ή διάμεσης τιμής.

Στις ακτινογραφικές εξετάσεις, η μέθοδος συλλογής δεδομένων για την έρευνα που διεξάγεται απαιτεί τουλάχιστον 20 ασθενείς. Βέβαια, η εμφάνιση διακυμάνσεων στα αποτελέσματα ίσως προκαλέσει την αύξηση του αριθμού των ασθενών. Στην ακτινοσκόπηση που υπάρχουν διαφορές στις καταστάσεις των ασθενών, αλλά και στην τεχνική του χειριστή χρειάζονται τουλάχιστον 30 ασθενείς, όπως και στην Υπολογιστική Τομογραφία. Υπάρχει περίπτωση, να χρειαστεί και μεγαλύτερος αριθμός για επεμβατικές διαδικασίες. Στην μαστογραφία, συνιστώνται 50 μετρήσεις ασθενών λόγω διακύμανσης του συμπεσμένου πάχους του μαστού.

1.2.6: Δοσιμετρικές ποσότητες

Για τον καθορισμό των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς, όπως έχει ήδη αναφερθεί, χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες "ποσότητες ΔΕΑ" για κάθε διαγνωστική εξέταση. Αυτές οι ποσότητες είναι μέρος του κλάδου της Δοσιμετρίας και ένα ακόμα πεδίο εφαρμογής της, στην ακτινοδιάγνωση, είναι η εκτίμηση της επίδοσης του διαγνωστικού εξοπλισμού, ως μέρος της διαδικασίας ελέγχου ποιότητας. Παρακάτω περιγράφονται κάποιες δοσιμετρικές ποσότητες που χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο.

➤ **Kerma (Kinetic Energy Released in Matter)**

Το kerma K ορίζεται ως το πηλίκο του αθροίσματος dE_{tr} των αρχικών κινητικών ενεργειών όλων των φορτισμένων σωματιδίων, τα οποία προκύπτουν ύστερα από τον ιονισμό του αέρα ύστερα από έκθεση σε ακτινοβολία, ανά μονάδα μάζας dm του υλικού.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: } 1 \text{ Gray (Gy)} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}]$$

➤ **Ρυθμός kerma (kerma rate)**

Ο ρυθμός \dot{K} ορίζεται ως το πηλίκο της μεταβολής του kerma dK ανά μονάδα χρόνου.

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: } 1 \frac{\text{Gy}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg s}}]$$

➤ **Προσπίπτων air-kerma (incident air-kerma)**

Το προσπίπτων air kerma K_i , είναι το kerma στον αέρα από μία προσπίπτουσα δέσμη ακτίνων X, μετρημένο στον κεντρικό άξονα της δέσμης και στο σημείο της επιφάνειας του δέρματος του ασθενούς ή στην επιφάνεια του ομοιώματος. Λαμβάνεται υπόψιν μόνο η προσπίπτουσα δέσμη στον ασθενή ή στο ομοίωμα και όχι η σκεδαζόμενη ακτινοβολία.

$$[\text{Μονάδα μέτρησης: } 1 \text{ Gray (Gy)} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}]$$

➤ **Air-kerma επιφάνειας εισόδου (entrance surface air-kerma ,ESD)**

Το air-kerma επιφάνειας εισόδου είναι το kerma στον αέρα, μετρημένο στον κεντρικό άξονα της δέσμης στο σημείο της επιφάνειας του δέρματος του ασθενή ή στην επιφάνεια του ομοιώματος. Εδώ συμπεριλαμβάνεται και η σκεδαζόμενη ακτινοβολία εκτός την προσπίπτουσα.

$$K_e = B K_i \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: } 1 \text{ Gray (Gy)} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}]$$

➤ **Μέση αδενική δόση (MGD-Mean Glandular Dose)**

Η μέση αδενική δόση είναι ειδική ποσότητα δόσης που χρησιμοποιείται στην μαστογραφία. Λόγω της διακύμανσης του μεγέθους του μαστού και της διαφορετικής κατανομής του αδενικού ιστού καθίσταται δύσκολος ο καθορισμός αυτής της δόσης. Θεωρείται ότι μόνο ο αδενικός ιστός επιβαρύνεται από την έκθεση στην ακτινοβολία και όχι ο λιπώδης.

➤ **Έκθεση**

Η έκθεση X σε ακτινοβολία ορίζεται ως το συνολικό φορτίο ιόντων του ίδιου σημείου (θετικό ή αρνητικό) που παράγεται στον αέρα, όταν όλα τα ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια που δημιουργούνται από φωτόνια σε αέρα μάζας dm , σταματούν τελείως σε αυτόν, προς τη μάζα dm .

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: } 1 \text{ Roentgen (R)} , 1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}]$$

➤ **Απορροφούμενη δόση**

Η απορροφούμενη δόση D, ορίζεται ως η μέση ενέργεια, η οποία εναποτίθεται κατά την αλληλεπίδραση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας με το υλικό μέσο, ανά μονάδα μάζας του υλικού dm .

$$D = \frac{dE}{dm} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: } 1 \text{ Gray (Gy)} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}]$$

➤ **Ευθύγραμμη μετάδοση ενέργειας (LET-Linear Energy Transfer)**

Η ευθύγραμμη μετάδοση ενέργειας σχετίζεται με την ποιότητα της ακτινοβολίας και αναφέρεται στην εναπόθεση ενέργειας ανά μονάδα μήκους της διαδρομής της ακτινοβολίας εντός της ύλης. Κάθε ακτινοβολία εναποθέτει άλλη ενέργεια στους ιστούς και έχει διαφορετικά αποτελέσματα βλάβης.

$$L = \frac{dE}{dl} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: } 1 \frac{\text{keV}}{\mu\text{m}}]$$

Οι ποσότητες που συνιστώνται για κάθε εξέταση από τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3: Ποσότητες κατάλληλες για ρύθμιση Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς (ICRP Publication 135)

Εξέταση	Συνιστώμενη ποσότητα	Συνιστώμενη μονάδα
Ακτινογραφία	<ul style="list-style-type: none"> Air-kerma επιφάνειας εισόδου Air-kerma-area product (P_{KA}) 	mGy mGy · cm ²
Μαστογραφία	<ul style="list-style-type: none"> Air-kerma επιφάνειας εισόδου Προσπίπτων air-kerma MGD 	mGy
Ενδοστοματική ακτινογραφία	Προσπίπτων air-kerma	mGy
Πανοραμική ακτινογραφία	Air-kerma-area product	mGy · cm ²
Διαγνωστική ακτινοσκόπηση	Air-kerma-area product	mGy · cm ²
Επεμβατική ακτινοσκόπηση	<ul style="list-style-type: none"> Προσπίπτων air-kerma σε σημείο αναφοράς στην επιφάνεια τους ασθενούς. (K_r) Χρόνος ακτινοσκόπησης Αριθμός εικόνων σε βίντεο 	Gy s Αριθμός
Υπολογιστική τομογραφία	<ul style="list-style-type: none"> CDTI_{vol} (Volume CT Dose Index) DLP (Dose Length Product) 	mGy mGy · cm
Υπολογιστική τομογραφία κωνικής δέσμης	<ul style="list-style-type: none"> Προσπίπτων air-kerma σε σημείο αναφοράς στην επιφάνεια τους ασθενούς. (K_r) DLP Air-kerma-area product (P_{KA}) CDTI_{vol} 	mGy mGy · cm mGy · cm ² mGy
Πυρηνική ιατρική	Χορηγούμενη ραδιενέργεια ή ραδιενέργεια ανά σωματικό βάρος	MBq MBq/kg

1.3: Ακτινογραφία και διαγνωστική ακτινοσκόπηση

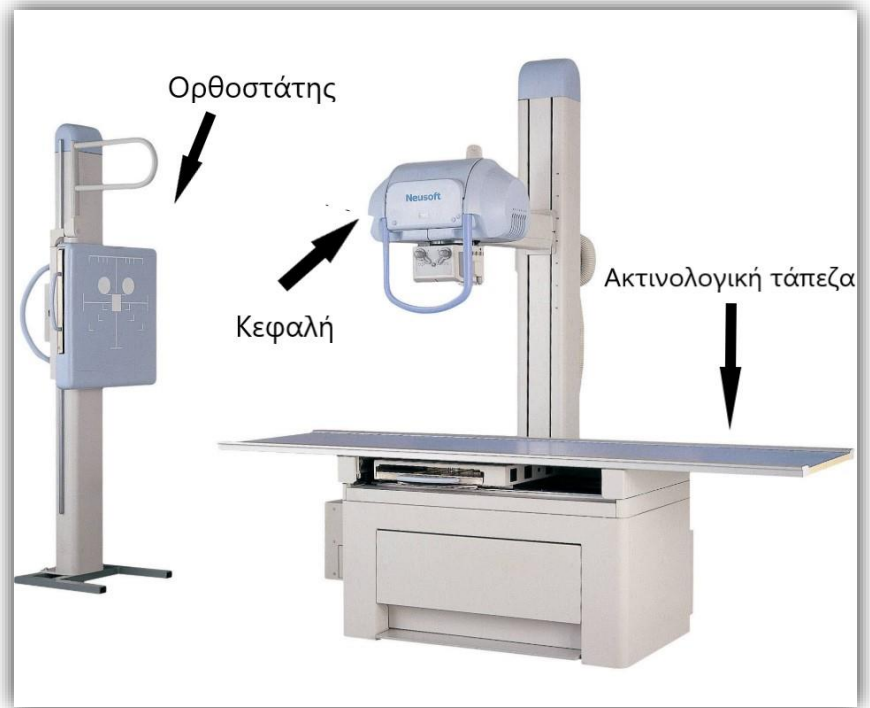
1.3.1: Εισαγωγή

Η ακτινογραφία, είναι μία συχνή μέθοδος εξέτασης που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση οποιουδήποτε μέρους του σώματος και έχει διαγνωστικό σκοπό. Ουσιαστικά, είναι η "φωτογράφιση" μιας περιοχής (εσωτερικής) του ανθρώπινου σώματος που δίνει πληροφορίες λόγω της χρήσης ακτίνων X. Οι πιο συχνές ακτινογραφικές εξετάσεις περιλαμβάνουν αυτές του θώρακα, των άκρων, της αυχενικής,

θωρακικής και οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, της λεκάνης ισχύων, του κρανίου και των ιγμορείων.

Ένα ακτινογραφικό σύστημα αποτελείται από τα εξής:

- 1) Κεφαλή, στην οποία περιέχεται η λυχνία παραγωγής ακτίνων X
- 2) Γεννήτρια υψηλής τάσης
- 3) Ακτινολογική τράπεζα, στην οποία τοποθετούνται οι ασθενείς (κινείται και στους τρεις άξονες)
- 4) Αντιδιαχυτικό διάφραγμα
- 5) Ορθοστάτης, ο οποίος χρησιμοποιείται για εξετάσεις σε όρθια στάση
- 6) Κονσόλα χειρισμού, η οποία βρίσκεται έξω από την αίθουσα εξέτασης σε ειδικό θάλαμο όπου γίνεται ο χειρισμός της ποσότητας και ποιότητας της δέσμης



Εικόνα 7: Ακτινογραφικό σύστημα (intrahealth.gr)

Η αίθουσα που τελείται η εξέταση είναι ειδικά θωρακισμένη με μόλυβδο για την προστασία του προσωπικού και όλων των ατόμων που βρίσκονται έξω από αυτήν.

Επιπρόσθετα, στα σύγχρονα ακτινογραφικά συστήματα υπάρχει το σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης (AEC-Automatic Exposure Control), το οποίο βοηθά στη σωστή αμαύρωση του ακτινογραφικού φιλμ. Δηλαδή, η ποσότητα ακτινοβολίας που προσπίπτει στον ασθενή καθορίζεται από αυτό το σύστημα που λειτουργεί σαν χρονοδιακόπτης. Αποτελείται από παράλληλους επίπεδους θαλάμους ιονισμού, οι οποίοι μετρούν την ποσότητα της ακτινοβολίας παρέχοντας όσο το δυνατόν καλύτερη ποιότητα της ακτινογραφική εικόνας.

1.3.2: Εξετάσεις ακτινογραφίας και διαγνωστικής ακτινοσκόπησης

Η ακτινογραφία και η διαγνωστική ακτινοσκόπηση περιέχουν ένα ευρύ φάσμα εξετάσεων, αλλά η συλλογή επαρκών στοιχείων για τη ρύθμιση των ΔΕΑ είναι κατάλληλη για τις εξετάσεις με μεγάλη συχνότητα εκτέλεσης. Για την διαδικασία αυτή, απαιτείται να ληφθεί υπόψιν η τεχνική και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται.

Στις περισσότερες χώρες, η πιο συχνά εκτελούμενη ακτινολογική εξέταση είναι η ακτινογραφία θώρακα. Για αυτή την εξέταση, η οποία περιλαμβάνει την έκθεση αρκετών ακτινοευαίσθητων οργάνων του σώματος, απαιτείται έρευνα. Επίσης, οι ακτινογραφίες κρανίου συνίσταται να ερευνηθούν καθώς κατά τη διάρκεια της εξέτασης, εκτίθεται σε ακτινοβολία ο φακός του ματιού. Άλλο ένα αρκετά ακτινοευαίσθητο όργανο είναι ο μαστός, οπότε και η μαστογραφία πρέπει να εξεταστεί. Όσον αφορά τις εκθέσεις των άνω και κάτω άκρων, αυτές περιλαμβάνουν μόνο μέρη του μυελού των οστών και του δέρματος. Οπότε, ο καθορισμός ΔΕΑ για εξετάσεις τέτοιου είδους είναι χαμηλής προτεραιότητας, αλλά δεν παύει να είναι απαραίτητη η βελτιστοποίηση για κάθε εξέταση.

Για την ακτινοσκόπηση, οι διαδικασίες διεξαγωγής της μπορεί να ποικίλουν από χώρα σε χώρα και από περιοχή σε περιοχή. Άρα, η διαδικασία καθορισμού ΔΕΑ πρέπει να εφαρμοστεί ξεχωριστά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται διάφορα είδη εξετάσεων, με τη συχνότητα που τελούνται καθώς και την αποτελεσματική δόση σε ποσοστά.

Πίνακας 4: Σχετικές συχνότητες ακτινογραφικών, ακτινοσκοπικών και επεμβατικών διαδικασιών (EC, 2008)

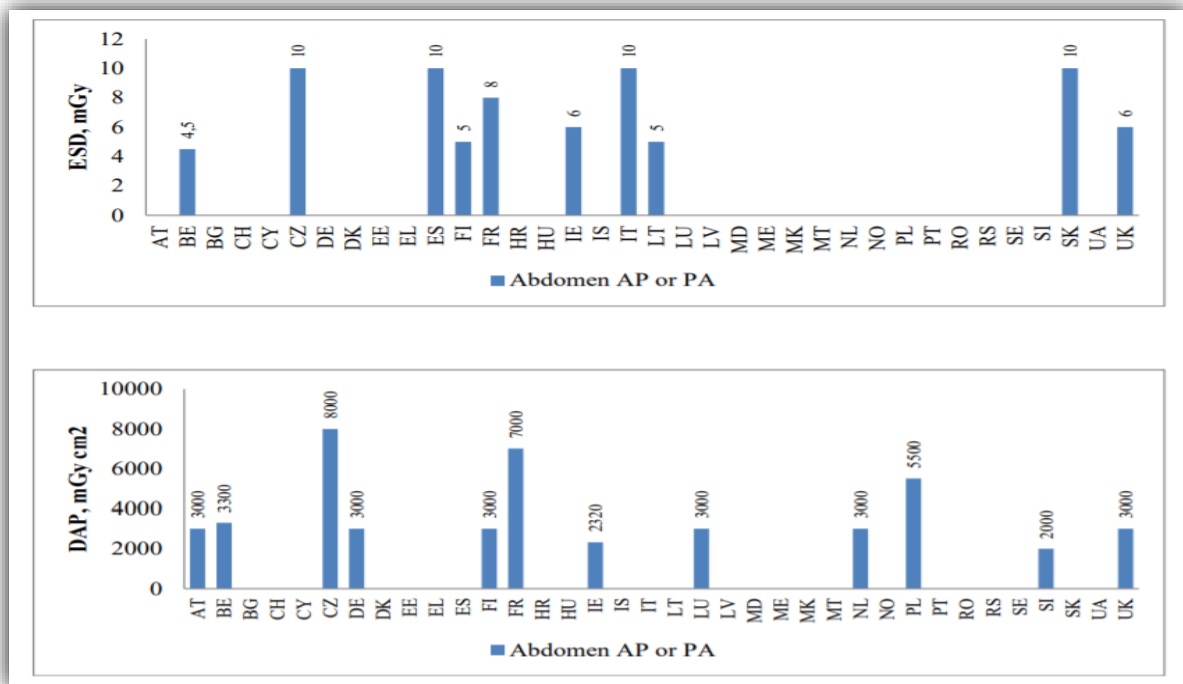
Εξέταση	Ποσοστό συχνότητας της εξέτασης	Ποσοστιαία συνεισφορά στη συλλογική δόση
Ακτινογραφία		
Θώρακα/στήθους	19-29 %	0,7-5,2 %
Μαστογραφία	0,3-15 %	0,6-4,7 %
Κοιλίας-λεκάνης-ισχίων	7,4-14,3 %	2,9-14,1 %
Σπονδυλική στήλη	3,8-12,7 %	30,1 %
Ενδοφλέβια ουρογραφία	0,3- 2 %	1,2-8,7
Ακτινογραφία/ακτινοσκόπηση		
Γεύμα βαρίου	0,3-0,9 %	0,8-5,9 %
Κλύσμα βαρίου	0,1-2 %	0,5-13 %
Καρδιακή αγγειογραφία	0,2-1,3 %	2,8-9,4 %

1.3.3: Ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για ακτινογραφία

Οι ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην ακτινογραφία είναι το air-kerma επιφάνειας εισόδου (ή αλλιώς ESD-Entrance Surface Dose) αλλά και το air kerma area product R_{KA} (ή αλλιώς DAP-Dose Area Product). Η ποσότητα air kerma area product είναι το μέσο air kerma (σε Gy) πολλαπλασιασμένο με την αντίστοιχη επιφάνεια διατομής της δέσμης ακτίνων X (σε cm^2) και εκφράζεται σε μονάδες $Gy\ cm^2$. Αυτός, είναι ένας κατάλληλος τρόπος μέτρησης της συνολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον ασθενή. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα αποτελέσματα με μετρήσεις R_{KA} επηρεάζονται από το αν η δέσμη περνάει ή όχι από την ακτινολογική τράπεζα πριν εισέλθει στον ασθενή. Οι τιμές R_{KA} καταγράφονται σε μετρητές, υπολογιζόμενες από τον εξοπλισμό ή δίνονται από τον κατασκευαστή.

Όταν η ποσότητα R_{KA} δεν είναι διαθέσιμη, χρησιμοποιείται το air kerma επιφάνειας εισόδου K_e , το οποίο μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση δοσίμετρων θερμοφωταύγειας. Ένας εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού είναι με τη χρήση των συντελεστών έντασης (mAs) και διαφοράς δυναμικού (kV), της απόστασης πηγής-δέρματος σε συνδυασμό με μετρήσεις για τον υπολογισμό της απόδοσης των ακτίνων X και συμπεριλαμβανομένης της οπισθοσκέδασης.

Στις περισσότερες χώρες οι τιμές Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για την ακτινογραφία δίνονται και για τις δύο ποσότητες ESD και R_{KA} . Στην παρακάτω εικόνα, εμφανίζονται οι τιμές ΔΕΑ για εξέταση κοιλίας (οπισθοπρόσθια ή προσθοπίσθια) σε διάφορες χώρες.



Εικόνα 8: Τιμές ποσοτήτων ESD και DAP για εξετάσεις κοιλίας σε διάφορες χώρες. (DDM2 survey, ec.europa.eu)

Όσον αφορά τώρα, τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (με χρήση της ποσότητας air kerma επιφάνειας εισόδου) της Ελλάδας για ακτινογραφικές εξετάσεις, αυτά παρουσιάζονται στον διπλανό πίνακα όπως δημοσιεύτηκαν (ΦΕΚ 3176/Β/26.11.2014).

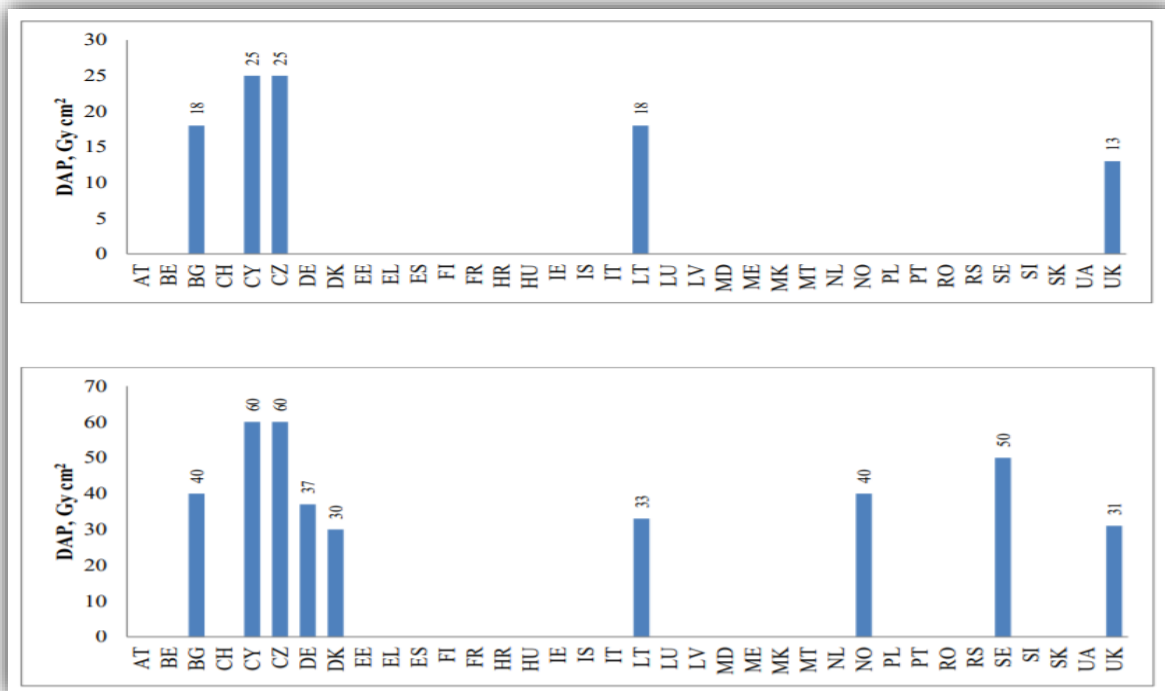
Ακτινογραφικές εξετάσεις	ESAK (mGy)
Κεφαλής ΟΠ/ΠΟ	3,7
Κεφαλής Πλάγια	2,8
Θώρακος ΟΠ	0,35
Θώρακος Πλάγια	1,35
Αυχενικής Μοίρας Σπονδυλικής Στήλης	1,75
Οσφυϊκής Μοίρας Σπονδυλικής Στήλης (ΠΟ)	7,0
Οσφυϊκής Μοίρας Σπονδυλικής Στήλης (Πλάγια)	16,0
Λεκάνης-Ισχύων	6,0
NOK	6,5

Εικόνα 9: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς στην Ελλάδα για ακτινογραφικές εξετάσεις (seae.gr, ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ)

1.3.4: Ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για διαγνωστική ακτινοσκόπηση

Στην διαγνωστική ακτινοσκόπηση ομοίως, χρησιμοποιούνται οι ποσότητες ESD και R_{KA} (αλλιώς DAP), μόνο που σε αυτή την περίπτωση πρέπει να ληφθεί υπόψιν ο χρόνος ακτινοσκόπησης καθώς και ο αριθμός των εικόνων, οι οποίες λαμβάνονται σε μορφή βίντεο. Τα ΔΕΑ που βασίζονται σε αυτές τις ποσότητες, είναι χρήσιμα ως οδηγός για την ορθή πρακτική και ως βοήθεια στη βελτιστοποίηση.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές ΔΕΑ σε διάφορες χώρες για βαριούχο γέυμα.



Εικόνα 10: Τιμές ποσότητας DAP για βαριούχο γέυμα σε διάφορες χώρες (DDM2 survey, ec.europa.eu)

1.3.5: Μαστογραφία

Η μαστογραφία είναι μία ακτινολογική διαγνωστική εξέταση που χρησιμοποιείται με στόχο την ανίχνευση καρκίνου του μαστού. Χρησιμοποιείται σχετικά μικρή δόση ακτίνων X προκειμένου να διερευνηθούν πιθανές παθολογικές αλλοιώσεις του μαστού. Τα φωτόνια που χρησιμοποιούνται είναι σχετικά μικρών ενεργειών (30 με 40 keV) για να απεικονίσουν πιο έντονα τις αλλαγές στους ιστούς και το λίπος. Η αξία της μαστογραφίας στη μάχη ενάντια στον καρκίνο του μαστού έχει αποδειχτεί ανεκτίμητη. Μια μαστογραφία, μπορεί να εντοπίσει αναπτυσσόμενους καρκινικούς όγκους που θα γίνονταν αντιληπτοί και ψηλαφητοί από την ασθενή ή το γιατρό περίπου δύο χρόνια αργότερα. Ο καρκίνος του μαστού αποτελεί τη δεύτερη αιτία θανάτου μετά τον καρκίνο του πνεύμονα. Η πιθανότητα να αναπτύξει μια γυναίκα καρκίνο του μαστού αυξάνει ανάλογα με την ηλικία της.

Το σύστημα που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση της εξέτασης της μαστογραφίας ονομάζεται μαστογράφος και αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Κεφαλή, η οποία περιέχει την λυχνία παραγωγής ακτίνων X
- Σύστημα συμπίεσης μαστού, το οποίο επιλέγεται ανάλογα με το μέγεθος του μαστού
- Βάση στήριξης μαστού



Εικόνα 11: Ψηφιακός μαστογράφος (icondynamics.gr)

Στην μαστογραφία, χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένοι μετρητές για την μέτρηση της ακτινοβολίας λόγω των χαμηλότερων ενεργειών που χρησιμοποιούνται. Η δόση ακτινοβολίας του μαστού στη μαστογραφία ποικίλλει λόγω του εύρους του πάχους του μαστού. Μία καλύτερη προσέγγιση θα ήταν, η ρύθμιση ΔΕΑ να βασιστεί σε όλα τα μεγέθη στήθους και όχι απλά σε μια ομάδα ασθενών, ώστε να ληφθούν υπόψη οι διακυμάνσεις στο μέγεθος του στήθους. Αυτό θα εξασφαλίσει, ότι το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό της συγκεκριμένης περιοχής ή της χώρας στην οποία εκτελείται.

Οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται στις μαστογραφικές έρευνες είναι τρεις: το air kerma επιφάνειας εισόδου K_e , το προσπίπτων air kerma K_i και η μέση αδενική δόση MGD. Η επιλογή της κατάλληλης ποσότητας πρέπει να γίνεται ανάλογα με τις τοπικές πρακτικές και απαιτήσεις. Η Επιτροπή προτείνει τη χρήση της MDG ως ποσότητας ΔΕΑ, παρόλο που αποτελεί μέτρο της δόσης οργάνου και όχι ποσότητας ιοντίζουσας ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση ιατρικής απεικόνισης, λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας των K_e και K_i με τη διαφορά δυναμικού και τους διαφορετικούς συνδυασμούς ανόδων / φίλτρων, ακόμη και για το ίδιο πάχος του μαστού.

Αρχικά, γίνονταν χρήση της ποσότητας K_e η οποία είναι απλή και δεν χρειάζεται διορθώσεις. Η ποσότητα K_i προκύπτει ύστερα από τον πολλαπλασιασμό του $\frac{K_i}{mAs}$ με την ένταση (σε mAs) που χρησιμοποιείται για τη λήψη της εξέτασης. Αυτή η ποσότητα, εξαρτάται από το μέγεθος του στήθους, οπότε είναι λογικό να υπάρχουν διακυμάνσεις. Τέλος, η ποσότητα MGD υπολογίζεται από την ποσότητα K_i που χρησιμοποιήθηκε για την εξέταση, για ένα συγκεκριμένο πάχος συμπιεσμένου μαστού. Και οι δύο αυτές ποσότητες εξαρτώνται από το μέγεθος του μαστού και τη σύνθεση του, η οποία αλλάζει σε όλη τη ζωή μιας γυναίκας. Η τιμή ΔΕΑ θα εξαρτηθεί επίσης, από την προβολή που εξετάζεται, με μια τυπική μαστογραφία δύο προβολών να αποτελείται από κεφαλουριαίες και λοξές εκθέσεις. Τα παρακάτω δεδομένα, προέκυψαν από μετρήσεις κατά τη διάρκεια επιθεωρήσεων της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας με τη χρήση ACR αναγνωρισμένου ομοιώματος μαστογραφίας (κυρίως σε συστήματα με κλασικό φιλμ μαστογραφίας) (ΦΕΚ 2345/B/11.12.2007).

Επιφανειακή Δόση Εισόδου (Entrance Surface Dose) ανά πρόσθια λήψη	7,0 mGy
Μέση Αδενική Δόση (Average Glandular Dose) ανά πρόσθια λήψη	1,54 mGy

Εικόνα 12: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς για μαστογραφία στην Ελλάδα (eae.gr)

1.4: Επεμβατικές διαδικασίες

1.4.1: Εισαγωγή

Σύμφωνα με την Επιτροπή, στις ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενες επεμβατικές διαδικασίες τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς χρησιμοποιούνται για την διαχείριση της δόσης, αλλά είναι δύσκολο να εφαρμοστούν λόγω της ευρείας κατανομής των δόσεων στους ασθενείς (Padovani and Quai, 2005, ICRP, 2007c). Η ποσότητα της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται στις διαδικασίες αυτές, παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω της πολυπλοκότητας της διαδικασίας, της ανατομίας του ασθενούς, των χαρακτηριστικών της βλάβης και της σοβαρότητας της νόσου. Επομένως, τα ΔΕΑ για επεμβατικές διαδικασίες πρέπει να αναπτυχθούν με διαφορετικό τρόπο από' τι σε άλλες διαδικασίες και παράλληλα να έχουν πάντα τον ίδιο σκοπό, την επίτευξη βελτιστοποίησης.

Όσον αφορά την πολυπλοκότητα της διαδικασίας, ποικίλει στις επεμβατικές διαδικασίες λόγω της μεταβλητότητας μεταξύ των ασθενών και μεταξύ των βλαβών που θεραπεύονται. Η μεταβλητότητα μεταξύ των ασθενών αναφέρεται στη μεταβλητότητα της ανατομίας του ασθενούς και των κλινικών παραγόντων (π.χ. διάμετρος των φυσιολογικών αιμοφόρων αγγείων) που καθορίζουν τις τεχνικές παραμέτρους που πρέπει να χρησιμοποιηθούν (π.χ. οι προβολές ακτίνων Χ που απαιτούνται για την απεικόνιση των διαφόρων αγγειακών κλάδων) και συμβάλλουν στην πολυπλοκότητα. Η μεταβλητότητα της βλάβης αναφέρεται σε διαφορές στην παθολογία που αντιμετωπίζεται (π.χ. απόφραξη στενώσεων, εντοπισμός θέσης γαστρεντερικής αιμορραγίας). Για τους λόγους αυτούς, οι επεμβατικές διαδικασίες επιδεικνύουν σημαντική μεταβλητότητα στην ποσότητα ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για μεμονωμένες περιπτώσεις λόγω ασθενούς, χειριστή, τύπου υλικών (καθετήρες, στεντ, κ.λπ.) και παραγόντων που αφορούν τον εξοπλισμό.

Επίσης, η χρήση ομοιωμάτων δεν είναι κατάλληλη για τον καθορισμό τιμών ΔΕΑ για τις επεμβατικές διαδικασίες, αλλά μπορούν και πρέπει να χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης του εξοπλισμού, καθώς παρέχουν πληροφορίες απαραίτητες για τη βελτιστοποίηση.

1.4.2: Χρήση πολλαπλών ποσοτήτων για τη ρύθμιση των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς

Για την επαρκή εκτίμηση της δόσης του ασθενούς και τον κίνδυνο των στοχαστικών αποτελεσμάτων, ίσως χρειάζονται περισσότερες από μία ποσότητες (πολλαπλά ΔΕΑ). Οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται στις επεμβατικές διαδικασίες, είναι το προσπίπτων air kerma σε σημείο της επιφάνειας εισόδου στον ασθενή K_r και το air kerma area product P_{KA} (ή αλλιώς DAP), τα οποία εκτιμούν τον κίνδυνο που επιφέρει η ακτινοβολία στους ιστούς και τα στοχαστικά αποτελέσματα λόγω ακτινοβολίας.

Η ποσότητα P_{KA} είναι ένα μέτρο της ποσότητας ενέργειας που παρέχεται στον ασθενή και επομένως είναι ένας λογικός δείκτης του κινδύνου των στοχαστικών αποτελεσμάτων, ενώ η ποσότητα K_r είναι ένας χρήσιμος δείκτης της μέγιστης δόσης δέρματος $D_{skin,max}$, και συνεπώς του κινδύνου των επιπτώσεων στους ιστούς. Ο συνολικός χρόνος ακτινοσκόπησης είναι άμεσα διαθέσιμος, αλλά έχει αποδειχθεί

ότι συσχετίζεται ελάχιστα με την μέγιστη δόση δέρματος $D_{skin,max}$ (Fletcher , 2002). Στην Ευρώπη, συνήθως χρησιμοποιείται η ποσότητα R_{KA} , ενώ στις ΗΠΑ είναι διαθέσιμη και η ποσότητα K_r .

Στην εικόνα που παρουσιάζεται παρακάτω, φαίνονται τα ΔΕΑ στην Ελλάδα για διαδικασίες επεμβατικής καρδιολογίας όπως προέκυψαν από μετρήσεις και συλλογή δεδομένων κατά τη διάρκεια επιθεωρήσεων της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας και δεδομένα τα οποία απέστειλαν οι ακτινοφυσικοί των εργαστηρίων έπειτα από σχετικό αίτημα (ΦΕΚ 3176/Β/26.11.2014).

Επεμβατική Καρδιολογία	Συνολικός χρόνος ακτινοσκόπησης (min)	Συνολικό γινόμενο Kerma-επιφάνειας - KAP (Gycm ²)
Στεφανιογραφία	6	55
Αγγειοπλαστική στεφανιαίας αρτηρίας ⁽¹⁾	18	130
Τοποθέτηση βηματοδότη	7	35
Κατάλυση με ραδιοσυχνότητες (RF ablation)	40	145
Ακτινοσκοπικός ρυθμός δόσης εισόδου σε ομοίωμα ⁽²⁾	29 mGy/min (για οπτικό πεδίο ενισχυτή εικόνας (FOV), 20-25cm)	
Δόση εισόδου ανά λήψη - frame (CINE) σε ομοίωμα ⁽²⁾	0,23 mGy/fr (20-25cm FoV)	
(1): Συμπεριλαμβάνονται όλες οι θεραπευτικές διαδικασίες, ανεξάρτητα από το αν έχει προηγηθεί ή όχι διαγνωστική στεφανιογραφία.		
(2): Συνθήκες μέτρησης: Ομοίωμα νερού πάχους 20cm, απόσταση εστίας-δοσιμέτρου 60cm, ελάχιστη απόσταση ομοιώματος-ανιχνευτή εικόνας.		

Εικόνα 13: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς για διαδικασίες επεμβατικής καρδιολογίας (seae.gr, ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ)

Εάν οι διάμεσες τιμές των ποσοτήτων ΔΕΑ είναι υψηλότερες από τις αναμενόμενες, είναι σημαντική η αξιολόγηση του ακτινολογικού εξοπλισμού. Στην περίπτωση που ο εξοπλισμός λειτουργεί σωστά, και εντός των προδιαγραφών, τότε πρέπει να εξεταστούν τα πρωτόκολλα της διαδικασίας καθώς και η τεχνική του χειριστή. Τα σφάλματα που οφείλονται στον εξοπλισμό είναι πιο εύκολο να βρεθούν και να διορθωθούν ενώ σφάλματα λόγω της μη ορθής χρήσης του χειριστή είναι δύσκολο να επεξεργαστούν.

1.5: Υπολογιστική τομογραφία και ψηφιακή ακτινογραφία

1.5.1:Εισαγωγή

Η Υπολογιστική τομογραφία (CT-Computed Tomography) ή αξονική τομογραφία (Axial Tomography, έχει εγκαταλειφθεί σήμερα αυτός ο όρος) είναι ακτινολογική μέθοδος εξέτασης του ανθρώπινου σώματος και μπορεί να απεικονίσει σε κάθετες τομές ολόκληρο το σώμα, χρησιμοποιώντας την ακτινοβολία Χ. Η αξονική τομογραφία εισήχθη στην ιατρική διαγνωστική τη δεκαετία του 1970 (για την ακρίβεια το 1968) και έφερε επανάσταση στο χώρο. Ξεκίνησε από τις ΗΠΑ και το πρώτο όργανο που μελετήθηκε με αυτήν ήταν ο εγκέφαλος. Τα κύρια μέρη του υπολογιστικού τομογράφου είναι:

- Γερανογέφυρα, η οποία περιέχει την λυχνία παραγωγής ακτίνων Χ, σύστημα εστιασμού, πολλούς μικροεπεξεργαστές και σύστημα συλλογής δεδομένων

- Εξεταστική τράπεζα
- Ηλεκτρονικό υπολογιστή
- Κονσόλα ελέγχου
- Σύστημα φωτογράφισης



Εικόνα 14: Υπολογιστικός τομογράφος (wikipedia.gr)

Όσον αφορά την ψηφιακή ακτινογραφία, η διαφορά της με την απλή ακτινογραφία είναι ότι όλες οι ψηφιακές ακτινολογικές εικόνες πέραν της υψηλής ανάλυσης που προσφέρουν, αποθηκεύονται και ηλεκτρονικά στο σύστημα PACS και είναι στη διάθεση των ιατρών ανά πάσα στιγμή, για ανάγνωση και συγκριτική αξιολόγηση, περιορίζοντας έτσι στο ελάχιστο την ανάγκη διακίνησης εκτυπωμένων φιλμ. Οι εκθέσεις των ακτινολογικών διαγνώσεων καταχωρούνται επίσης ηλεκτρονικά στο φάκελο του ασθενούς.

Στη διπλανή εικόνα παρουσιάζεται ένα σύγχρονο ψηφιακό ακτινογραφικό μηχάνημα.



Εικόνα 15: Σύγχρονο ψηφιακό ακτινογραφικό μηχάνημα (evresisdiagnostic.com/x-ray)

1.5.2: Ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην Υπολογιστική Τομογραφία

Για τον καθορισμό των ΔΕΑ, σημαντικός παράγοντας είναι η επιλογή των ασθενών. Όπως και στις άλλες μεθόδους απεικόνισης, έτσι και στην Υπολογιστική Τομογραφία το μέγεθος του ασθενούς παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσότητας ακτινοβολίας για την επίτευξη επαρκούς ποιότητας εικόνας. Γι' αυτό το λόγο, είτε καθορίζεται ένα εύρος βάρους, είτε γίνεται χρήση ηλεκτρονικών δεδομένων ασθενών από τα συστήματα RIS ή PACS. Μια άλλη σημαντική πτυχή της ρύθ-

μησης των τιμών ΔΕΑ, είναι η επιλογή της ποσότητας. Η κύρια δοσιμετρική ποσότητα που χρησιμοποιείται στην Υπολογιστική Τομογραφία, είναι ο ογκομετρικός δείκτης δόσης Υπολογιστικής Τομογραφίας (CTDI-Computed Tomography Dose Index), η οποία μπορεί να μετρηθεί με έναν θάλαμο ιονισμού σε σχήμα «μολυβιού» χρησιμοποιώντας, είτε ένα ομοίωμα κεφαλής (διαμέτρου 16 cm), είτε ένα ομοίωμα σώματος (διαμέτρου 32 cm), διαφορετικά μπορεί να μετρηθεί στον αέρα. Επιπλέον, μία άλλη ποσότητα που χρησιμοποιείται είναι το γινόμενο μήκους δόσης (DLP-Dose Length Product) και ορίζεται ως εξής:

$$DLP = CTDI_{vol} \cdot \text{μήκος σάρωσης} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: mGy cm}]$$

Το $CTDI_{vol}$ είναι το $CTDI_w$ με την διόρθωση του pitch (μετακίνηση της εξεταστικής τράπεζας ανά περιστροφή/ πλάτος της δέσμης ακτίνων X):

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{pitch} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: mGy}]$$

Η ποσότητα $CTDI_w$ ορίζεται ως ο γραμμικός συνδυασμός του $CTDI_{central}$ μετρημένο στο κέντρο της περιστροφής και του $CTDI_{peripheral}$ μετρημένο περιφερειακά του ομοιώματος σε απόσταση 10mm κάτω από την επιφάνεια του:

$$CTDI_w = \frac{1}{3}CTDI_{central} + \frac{2}{3}CTDI_{peripheral} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: mGy}]$$

Πρόσθετη πηγή πληροφοριών για βελτιστοποίηση μπορεί να παρέχει, η ποσότητα SSDE-Size Specific Dose Estimate (Εκτίμηση Δόσης Ειδικού Μεγέθους), όμως δεν θεωρείται κατάλληλη να εδραιωθεί ως ποσότητα ΔΕΑ. Στην περίπτωση που υπάρχει σύστημα αυτόματου υπολογισμού της, θα ήταν μία πηγή πολύτιμων πληροφοριών.

Η ποσότητα DLP που χρησιμοποιείται, είναι το ολικό DLP από ολόκληρη την εξέταση, καθώς αυτό δίνει μια καλή αναπαράσταση της συνολικής ποσότητας ιονίζουσας ακτινοβολίας που εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια της εξέτασης. Οι τιμές DLP για μεμονωμένες ακολουθίες σάρωσης μπορούν επίσης να είναι πολύτιμες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός από το ολικό DLP. Ωστόσο, το $CTDI_{vol}$ σε μια μεμονωμένη σάρωση δεν είναι σταθερή, όταν χρησιμοποιείται διαμορφωμένο ρεύμα λυχνίας. Έτσι, το εμφανιζόμενο $CTDI_{vol}$ μετά την εκτέλεση της σάρωσης, είναι συνήθως το μέσο $CTDI_{vol}$ κατά μήκος της σάρωσης. Το εμφανιζόμενο $CTDI_{vol}$ θα πρέπει να καταγράφεται για κάθε ακολουθία σάρωσης, καθώς συχνά διαφέρει για κάθε μία από αυτές.

Δίπλα εμφανίζονται τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς για την Υπολογιστική (αξονική) Τομογραφία στην Ελλάδα, όπως προέκυψαν από μετρήσεις και συλλογή δεδομένων κατά τη διάρκεια επιθεωρήσεων της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας, και δεδομένα τα οποία απέστειλαν οι ακτινοφυσικοί των εργαστήριων έπειτα από σχετικό αίτημα (ΦΕΚ 3176/Β/26.11.2014).

Εξετάσεις Αξονικής Τομογραφίας	CTDI _{vol} (mGy)	DLP
Κεφαλής	67	1055
Σπλαχνικό κρανίο	52	605
Έσω ους	63	355
Θώρακος	14	480
Άνω/κάτω κοιλίας	16	760
Θώρακος και Άνω/κάτω κοιλίας	17	1020
Οσφυϊκής Μοίρας Σπονδυλικής	35	725

Εικόνα 16: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς για Υπολογιστική Τομογραφία στην Ελλάδα (seae.gr, ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ)

1.5.3: Ψηφιακή ακτινογραφία και ποσότητες Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς που χρησιμοποιούνται

Στην ψηφιακή ακτινογραφία, η δόση που λαμβάνει ο ανιχνευτής και κατά συνέπεια η δόση του ασθενούς σχετίζεται με την ποιότητα εικόνας. Υψηλές δόσεις παρέχουν υψηλή ποιότητα εικόνας χωρίς κορεσμό όπως συμβαίνει στις τεχνικές με το απλό φιλμ. Έτσι, απαιτείται διασφάλιση ποιότητας και προγράμματα ελέγχου ώστε να εξασφαλίζεται ότι η δόση που λαμβάνει ο ασθενής είναι βελτιστοποιημένη. Κατά τη συλλογή δεδομένων ασθενών σχετικά με τις ποσότητες ΔΕΑ για ψηφιακή ακτινογραφία, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τον τύπο ανιχνευτή που χρησιμοποιείται, έτσι ώστε τα δεδομένα να μπορούν να αναλυθούν ανάλογα με τον τύπο ανιχνευτή, καθώς οι τιμές των ποσοτήτων ΔΕΑ για συγκεκριμένες εξετάσεις εξαρτώνται από αυτόν, λόγω των διαφορών ευαισθησίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ίσως αξίζει να εξεταστεί η καθιέρωση διαφορετικών τιμών ΔΕΑ για τους ανιχνευτές flat-panel και τους ανιχνευτές φωσφόρου, ακόμη και για την ίδια διαδικασία.

Οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται για την καθιέρωση τιμών ΔΕΑ για την ψηφιακή ακτινογραφία καθορίζονται από τον τύπο του ψηφιακού συστήματος και τις τεχνικές απαιτήσεις και αυτές μπορεί να είναι οι εξής: το air kerma area product P_{KA} , το προσπίπτων air kerma K_i και το air kerma επιφάνειας εισόδου K_e . Η ποσότητα P_{KA} μπορεί να καταγραφεί αυτόματα, εάν το σύστημα ακτινογραφίας έχει τη δυνατότητα μέτρησης ή υπολογισμού της, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να συγκρίνουν αυτά τα δεδομένα απευθείας με τις τιμές ΔΕΑ. Όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα ή δυνατότητα άμεσης μέτρησης για τον υπολογισμό της ποσότητας K_e , χρησιμοποιούνται πρότυπα δεδομένα από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί από ένα αντιπροσωπευτικό αριθμό ακτινολογικών μονάδων.

1.6: Παιδιατρική

1.6.1: Εισαγωγή

Η καθιέρωση τιμών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς για τα παιδιά είναι πιο δύσκολη από ό, τι για τους ενήλικες, λόγω του ευρέως φάσματος του μεγέθους των παιδιατρικών ασθενών. Συγκεκριμένα, το βάρος στα παιδιά μπορεί να ποικίλλει κατά ένα παράγοντα 100 από ένα νεογνό σε έναν έφηβο. Επομένως, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ένας απλός πρότυπος ασθενής για να καθορίσει τιμές ΔΕΑ για παιδιατρικές εξετάσεις. Επίσης, οι ποσότητες ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται για τις εξετάσεις παιδιών διαφέρουν σημαντικά λόγω της μεγάλης διακύμανσης του μεγέθους και του βάρους τους. Το μικρότερο μέγεθος σώματος των περισσότερων παιδιών, σε σύγκριση με τους ενήλικες, σημαίνει, ότι είναι πιθανό να βρίσκονται, εντός ή κοντά στην πρωτογενή δέσμη ακτινοβολίας, τα περισσότερα όργανα τους στις εξετάσεις με ακτίνες-X (ICRP, 2013b).

Στο παρελθόν, η καθιέρωση παιδιατρικών τιμών ΔΕΑ βασιζόταν στην ηλικία των παιδιών. Όμως, τα επόμενα χρόνια έγινε εμφανές ότι η ηλικία μόνο, δεν αποτελεί καλό δείκτη σε σχέση με το βάρος των ασθενών. Οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες συνιστούν τις εξής ομάδες με βάση το βάρος: < 5kg, 5 έως < 15kg, 15 έως < 30kg, 30 έως < 50kg και 50 έως < 80kg. Από την άλλη πλευρά, οι ηλικιακές ζώνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εάν είναι διαθέσιμη μόνο η ηλικία ως μέτρο, είναι: 0, 1, 5, 10 και 15 ετών. Βέβαια, για εξετάσεις που αφορούν το κεφάλι, συνιστώνται ομάδες ηλικιών (αντί για βάρους) για τον καθορισμό των τιμών ΔΕΑ.

1.6.2: Ρύθμιση παιδιατρικών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς

Η βελτιστοποίηση της παιδιατρικής απεικόνισης και η ρύθμιση ΔΕΑ έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι ο κίνδυνος επιβλαβών αποτελεσμάτων ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερος στα παιδιά από ό, τι στους ενήλικες, διότι αυτά έχουν μεγαλύτερο προσδόκιμο επιβίωσης κατά τη διάρκεια του οποίου μπορεί να εκδηλωθούν αυτές οι συνέπειες.

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για τις εξετάσεις των παιδιών ποικίλει σημαντικά, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, εξαιτίας της μεγάλης διακύμανσης του μεγέθους και του βάρους των ασθενών, από νεογνά σε εφήβους, με μέγεθος ενηλίκου. Ωστόσο, αν υπάρξει διακύμανση της δόσης ακτινοβολίας για δύο παιδιατρικούς ασθενείς, οι οποίοι έχουν το ίδιο μέγεθος και ακτινοβολείται ίδια περιοχή του σώματος, τότε δεν είναι καλή ένδειξη. Αυτό, μπορεί να οφείλεται στην κακή τεχνική ή στην αποτυχία προσαρμογής των πρωτοκόλλων απεικόνισης. Η απλή προσαρμογή των πρωτοκόλλων απεικόνισης των ενηλίκων για τις παιδιατρικές ασθένειες και τα μεγέθη των ασθενών δεν είναι αποδεκτή. Επομένως, οι παιδιατρικές τιμές ΔΕΑ προσαρμοσμένες ως προς το βάρος ή το μέγεθος είναι ιδιαίτερα σημαντικές ως αρωγός στη βελτιστοποίηση.

Οι τιμές ΔΕΑ για ενήλικες ορίζονται για έναν ασθενή τυπικού μεγέθους. Αντίθετα, για τα παιδιά δεν μπορεί να υπάρξει ένας πρότυπος ασθενής, λόγω της μεγάλης κλίμακας παιδιατρικών ασθενών. Οι ενήλικες ποικίλλουν σε σωματικό βάρος κατά ένα παράγοντα του 4 (40-160kg), ενώ το βάρος στα παιδιά μπορεί να ποικίλει κατά ένα παράγοντα περισσότερο από 100, από το νεογνό (< 1kg) έως το βάρος ενός παχύσαρκου εφήβου (> 100kg). Συγκεκριμένα, μέσα στους πρώτους 6 μήνες της ζωής το σωματικό βάρος του μωρού διπλασιάζεται και κατά το πρώτο έτος αυξάνεται τρεις φορές. Ο Αμερικανικός Οργανισμός Φυσικών στην Ιατρική (AAPM-American Association of Physicists in Medicine), χρησιμοποιεί αρκετά διαφορετικά πρότυπα παιδιατρικά ομοιώματα για τη βελτιστοποίηση της παιδιατρικής απεικόνισης (AAPM, 2011). Ιδανικά, θα πρέπει να καθοριστούν πέντε ή περισσότερα εύρη μεγέθους μεταξύ των νεογνών (<5kg) και των εφήβων (~60kg), οι οποίοι έχουν μικρότερο μέγεθος από τους ενήλικες κανονικού μεγέθους. Στο παρακάτω πίνακα, εμφανίζονται τα διάφορα εύρη μεγέθους και είναι ενδεικτικά καθώς μπορεί να διαφέρουν στις διάφορες χώρες.

Πίνακας 5: Ομαδοποίηση βάρους για παιδιατρικά ΔΕΑ που συνιστώνται από τις Ευρωπαϊκές κατευθυντήριες γραμμές (EC,2016)

Κατηγορία	Ομάδα βάρους (kg)	Ηλικιακές ομάδες βασισμένες σε ιστόγραμμα βάρους-ηλικίας	Κοινές ηλικιακές ομάδες που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενα εθνικά ΔΕΑ
Νεογνό	< 5	< 1 μήνα	0 ετών
Βρέφος, νήπιο,	5 έως < 15	1 μήνα έως 4 ετών	1 ετών
Μέση παιδική ηλικία	15 έως < 30	4 έως 10 ετών	5 ετών
Πρώιμη εφηβεία	30 έως < 50	10 έως 14 ετών	10 ετών
Ύστερη εφηβεία	50 έως < 80	14 έως 18 ετών	15 ετών

Ωστόσο, μόνο μερικές χώρες έχουν στοιχεία σχετικά με τις τάσεις των δόσεων για παιδιατρικές διαδικασίες βάσει διαδοχικών ερευνών για τις ποσότητες ΔΕΑ. Αυτό, οφείλεται στο μικρό αριθμό νοσοκομείων που εκτελούν παιδιατρικές εξετάσεις και η συλλογή δεδομένων αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα. Λόγω των περιορισμένων αριθμών εξετάσεων, οι έρευνες για τη θέσπιση τιμών ΔΕΑ ίσως χρειαστεί να επικεντρωθούν κυρίως στα νοσοκομεία που παρέχουν παιδιατρική απεικόνιση. Μια εναλλακτική λύση στις έρευνες, είναι η δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής δεδομένων στο οποίο

οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης υποβάλλουν δεδομένα δόσεων από παιδιατρικές εξετάσεις.

Κάποιες έρευνες, οδήγησαν σε μελέτες για την ανάπτυξη δεικτών που συσχετίζονται περισσότερο με την εξασθένηση της ακτινοβολίας σε παιδιατρικούς ασθενείς. Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα ακτινογραφίας, ακτινοσκόπησης και Υπολογιστικής Τομογραφίας έχουν αυτόματο σύστημα ελέγχου έκθεσης (AEC) ή διαμορφωμένο ρεύμα λυχνίας. Η έκθεση καθορίζεται από την εξασθένηση της δέσμης ακτίνων Χ. Για τους σαρωτές Υπολογιστικής Τομογραφίας, η εξασθένηση και το ρεύμα της λυχνίας μπορούν να διαφέρουν σε κάθε περιστροφή σάρωσης. Προκειμένου να αναπτυχθούν χρήσιμες τιμές για τα παιδιατρικά ΔΕΑ, θα πρέπει να εξεταστεί η ομαδοποίηση των δεδομένων της έρευνας σε ζώνες με βάση την εξασθένηση. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα Ευρωπαϊκά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς παιδιατρικής για εξετάσεις Υπολογιστικής Τομογραφίας.

Πίνακας 6: Ευρωπαϊκά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς παιδιατρικής για Υπολογιστική Τομογραφία (EC RP Publication 175)

Εξέταση	Ηλικιακές ομάδες ή ομάδες βάρους	Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς	
		CDTI _{vol} (mGy)	DLP (mGy cm)
Κεφάλι	0 έως < 3 μηνών	24	330
	3 μηνών έως < 1 ετών	28	400
	1 έως < 6 ετών	40	600
	≥ 6 ετών	50	750
Θώρακας	< 5 kg	2,7	45
	5 έως < 15 kg	2,5	75
	15 έως < 30 kg	4,1	100
	30 έως < 50 kg	4,8	155
	50 έως < 80 kg	6,9	200
Κοιλία	< 5 kg	-	95
	5 έως < 15 kg	5,7	155
	15 έως < 30 kg	5,4	210
	30 έως < 50 kg	7,3	360
	50 έως < 80 kg	14	580

Όσον αφορά την ακτινογραφία και την ακτινοσκόπηση, η ταξινόμηση των παιδιατρικών ασθενών σε ομάδες μεγέθους για τον προσδιορισμό των τιμών ΔΕΑ και την αξιολόγηση της τοπικής πρακτικής μπορεί να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια, μετρώντας το πάχος της ανατομίας του ασθενούς που θα ακτινοβοληθεί άμεσα με ένα σύνολο παχύμετρων. Αυτό, ισχύει ιδιαίτερα για την ακτινογραφία που εκτελείται με ψηφιακούς ανιχνευτές, όπου οι πολλές μεταβλητές καθιστούν την διαδικασία ιδιαίτερα απαιτητική, ώστε να επιτευχθεί το σωστό air kerma επιφάνειας εισόδου K_e ως συνάρτηση της μεγάλης διακύμανσης του παιδιατρικού μεγέθους ασθενούς. Οπότε, οποιαδήποτε μεταβλητή μπορεί να εξαλειφθεί με μια απλή μέτρηση, όπως η μέτρηση του πάχους του ασθενούς με παχύμετρα, συμβάλλει στην καθιέρωση της δόσης που χρησιμοποιείται για έναν ασθενή δεδομένου μεγέθους και επιτρέπει πιο ακριβή ανάπτυξη των τιμών ΔΕΑ ως συνάρτηση του μεγέθους του ασθενούς. Στις περισσότερες χώρες, οι παιδιατρικές τιμές ΔΕΑ έχουν καθοριστεί για πολύ συγκεκριμένες εξετάσεις όπως ακτινογραφία στήθους, κοιλίας-λεκάνης και κρανίου. Επίσης, για την ακτινοσκόπηση χρησιμοποιείται το R_{KA} ως ποσότητα ΔΕΑ. Αξίζει να σημειωθεί ότι, δεν υπάρχουν τρέχουσες εθνικές τιμές ΔΕΑ για παιδιατρική επεμβατική

ακτινολογία ή επεμβατική καρδιολογία. Όμως έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την καθιέρωση τοπικών τιμών ΔΕΑ για επεμβατικές διαδικασίες και στην Ευρώπη αλλά στην Αμερική. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται Ευρωπαϊκές τιμές ΔΕΑ για ακτινογραφία και διαγνωστική ακτινοσκόπηση.

Πίνακας 7: Ευρωπαϊκά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς παιδιατρικής για ακτινογραφία και διαγνωστική ακτινοσκόπηση (EC RP Publication 175)

Εξέταση	Ηλικιακές ομάδες ή ομάδες βάρους	Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς	
		K_e (mGy)	P_{KA} (mGy cm ²)
Κεφάλι (AP/PA)	3 μηνών έως < 1 ετών	-	215
	1 έως < 6 ετών	-	295
	≥ 6 ετών	-	350
Κεφάλι (πλευρική)	3 μηνών έως < 1 ετών	-	200
	1 έως < 6 ετών	-	250
Θώρακας (AP/PA)	< 5 kg	-	15
	5 έως < 15 kg	0,06	22
	15 έως < 30 kg	0,08	50
	30 έως < 50 kg	0,11	70
	50 έως < 80 kg	-	87
Κοιλία (AP)	< 5 kg	-	45
	5 έως < 15 kg	-	150
	15 έως < 30 kg	0,40	250
	30 έως < 50 kg	0,75	475
	50 έως < 80 kg	-	700
Λεκάνη (AP)	15 έως < 30 kg	-	180
	30 έως < 50 kg	-	310
Κυστεογραφία (MCU)	< 5 kg	-	300
	5 έως < 15 kg	-	700
	15 έως < 30 kg	-	800
	30 έως < 50 kg	-	750*

*Βασίζεται σε 4 εθνικά ΔΕΑ εύρους 400-2000 mGy cm²

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

2.1: Φυσικές αρχές Πυρηνικής Ιατρικής

Η Πυρηνική Ιατρική αποτελεί ένα “παράδειγμα” συνεργασίας πολλών επιστημών μεταξύ τους συμπεριλαμβανομένου της Ιατρικής, της Φυσικής, της Χημείας, της Φαρμακολογίας και της Ηλεκτρονικής, η οποία χρησιμοποιεί την έννοια της ραδιενέργειας για διάγνωση, θεραπεία και έρευνα. Επίσης, χρησιμοποιεί την υψηλή τεχνολογία στην κατασκευή και λειτουργία σύγχρονων απεικονιστικών συστημάτων, όπως η τομογραφική γ-κάμερα (SPECT-Single Photon Emission Computed Tomography), τα συστήματα εκπομπής ποζιτρονίων (PET-Positron Emission Tomography) και τα συστήματα PET-CT. Τα τελευταία, είναι συνδυασμός ποζιτρονικής με Υπολογιστική Τομογραφία, ο οποίος ενισχύει τις διαγνωστικές δυνατότητες επειδή συνδυάζει τις λειτουργικές πληροφορίες της Πυρηνικής Ιατρικής με τις ανατομικές λεπτομέρειες της Υπολογιστικής Τομογραφίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιούνται συστήματα PET-MRI (συστήματα εκπομπής ποζιτρονίων σε συνδυασμό με Μαγνητική Τομογραφία) και PET-CT-MRI.

Οι διαγνωστικές εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, “in vivo” και “in vitro”. Στις εξετάσεις “in vivo” γίνεται απεικόνιση της λειτουργικότητας των οργάνων-ιστών, η οποία παρέχει μοναδικές πληροφορίες. Δηλαδή μετά τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου (μικρή ποσότητα κατάλληλης ουσίας επισημασμένης με ραδιενεργό ιχνηθέτη που έχει την ιδιότητα να συγκεντρώνεται στο όργανο-ιστό που πρέπει να απεικονιστεί) στον ασθενή, παρακολουθείται ο τρόπος πρόσληψης, απομάκρυνσης και μεταβολισμού της από τον υπό εξέταση όργανο-ιστό, με τη λήψη κατάλληλων εικόνων και σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Στις εξετάσεις “in vitro” γίνεται ποσοτικός προσδιορισμός βιολογικών ενώσεων (π.χ. ορμόνες, ένζυμα, φάρμακα) με μετρήσεις δειγμάτων αίματος ή άλλων βιολογικών υγρών του εξεταζόμενου.

2.1.1: Νόμος ραδιενεργών διασπάσεων

Το ραδιενεργό φάρμακο που χορηγείται στις εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής είναι ποσότητα ενός υλικού, το οποίο περιέχει ραδιενεργούς πυρήνες. Ο αριθμός των αδιάσπαστων ραδιενεργών πυρήνων N μετά από χρόνο t δίνεται από την παρακάτω σχέση, η οποία λέγεται Νόμος ραδιενεργών διασπάσεων:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad , \text{ όπου}$$

- N_0 ο αρχικός αριθμός των πυρήνων την στιγμή $t=0$
- λ η σταθερά διάσπασης του ραδιενεργού πυρήνα

Η σταθερά διάσπασης λ (sec^{-1}) ορίζεται, ως η πιθανότητα ενός ραδιενεργού πυρήνα να διασπαστεί μέσα σε 1 sec και είναι χαρακτηριστική του κάθε πυρήνα.

Είναι σημαντικό, να οριστεί ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται μία ποσότητα ραδιενεργού υλικού να μειωθεί στο μισό και λέγεται φυσικός χρόνος υποδιπλασιασμού:

$$T_p = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad [\text{Μονάδα μέτρησης: sec}]$$

Επίσης, υπάρχει άλλος ένας χαρακτηριστικός χρόνος του υλικού, ο οποίος ονομάζεται μέσος χρόνος ζωής του πυρήνα και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

[Μονάδα μέτρησης: sec]

Στη διπλανή εικόνα, φαίνεται η γραφική αναπαράσταση του εκθετικού Νόμου ραδιενεργών διασπάσεων. Ο ρυθμός με τον οποίο μειώνεται ο αριθμός αδιάσπαστων πυρήνων είναι ίδιος με τον ρυθμό εκπομπής ακτινοβολίας.

Όμως, αυτός ο νόμος εκθετικής μείωσης ισχύει και για την ενεργότητα. Η ενεργότητα ορίζεται ως το πλήθος των ραδιενεργών διασπάσεων που συμβαίνουν στη μονάδα του χρόνου και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Οι μονάδες μέτρησης της είναι:

1. Bequerel (Bq)= 1 διάσπαση ανά second (S.I.)
2. Curie (Ci)= $3.7 \cdot 10^{10}$ διασπάσεις ανά second

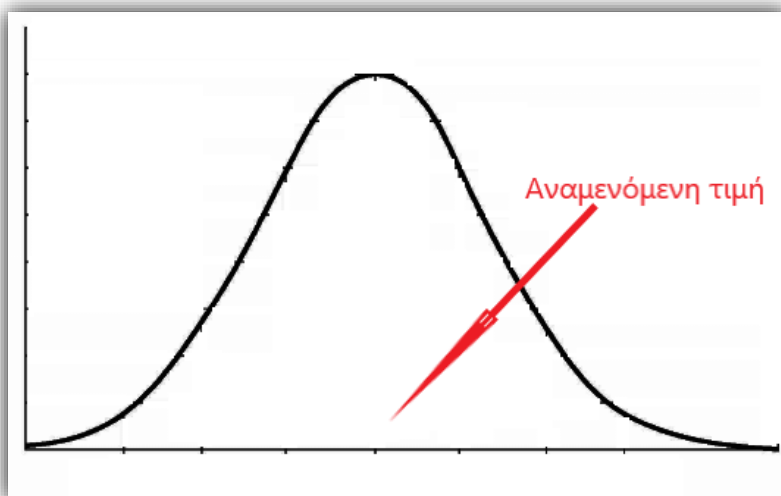
Άρα ισχύει ότι: 1 mCi=37 MBq.

Οπότε ο Νόμος εκθετικής μείωσης για την ενεργότητα είναι: $R(t) = R_0 e^{-\lambda t}$, όπου

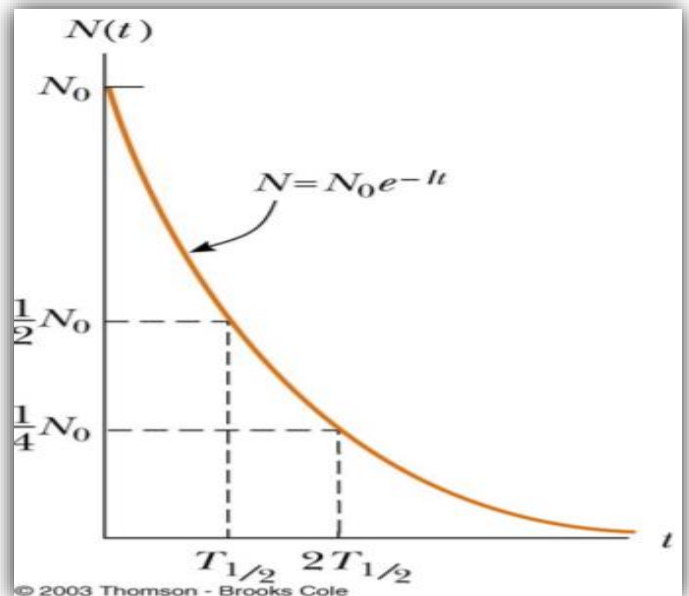
- R_0 η αρχική ενεργότητα μιας ραδιενεργού πηγής
- R η ενεργότητα μετά από χρόνο t

2.1.2: Στατιστική ραδιενεργών διασπάσεων

Η ραδιενεργός διάσπαση είναι ιδιότητα ορισμένων πυρήνων (ασταθών) να μεταπίπτουν σε κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας, εκπέμποντας ενέργεια υπό μορφή σωματιδιακής ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό το φαινόμενο, είναι στατιστικό και ακολουθεί την κατανομή του Poisson $P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 18: Κατανομή Poisson



Εικόνα 17: Γραφική παράσταση εκθετικής μείωσης

Δηλαδή, αν έχω άπειρα ραδιενεργά δείγματα της ίδιας ενεργότητας, τότε το πλήθος των διασπάσεων που συμβαίνουν σε χρονικό διάστημα Δt σε κάθε δείγμα ξεχωριστά, δεν είναι ίδιο. Η πιο πιθανή και αναμενόμενη τιμή για τις διασπάσεις, αντιστοιχεί στο σημείο του άξονα x στο μέγιστο της κατανομής. Στην γενική περίπτωση, που η μέτρηση των διασπάσεων για ένα ραδιενεργό δείγμα σε συγκεκριμένο χρόνο είναι N , το στατιστικό σφάλμα αυτής της μέτρησης θα είναι \sqrt{N} .

2.1.3: Ραδιοφάρμακα

Οι διαγνωστικές δυνατότητες της Πυρηνικής Ιατρικής οφείλονται εν πολλοίς στα χρησιμοποιούμενα ραδιοφάρμακα. Ραδιοφάρμακο είναι η επισημασμένη με ραδιονουκλίδιο (αναφέρεται στους ραδιενεργούς πυρήνες) χημική ένωση, η οποία έχει την ιδιότητα να συγκεντρώνεται επιλεκτικά σε κάποιο όργανο-ιστό του ανθρώπινου σώματος και επιτρέπεται να χορηγείται στους ασθενείς για διαγνωστικούς ή θεραπευτικούς σκοπούς. Οι ποσότητες ραδιοφαρμάκου που χρησιμοποιούνται γενικώς είναι πολύ μικρές. Συνεπώς, τα ραδιοφάρμακα δεν διαταράσσουν την μετρούμενη διεργασία και δεν προκαλούν αντιδράσεις υπερευαισθησίας, όπως τα ακτινολογικά σκιαγραφικά.

Η χημική (μη ραδιενεργός) ουσία διατίθεται συνήθως σε μορφή σκόνης, σε ειδικά φυαλίδια. Σε αυτό το φυαλίδιο εισάγεται συγκεκριμένη ποσότητα (mCi) ραδιονουκλιδίου σε μορφή διαλύματος και έτσι προκύπτει το ραδιοφάρμακο. Μπορούν να χορηγηθούν με διάφορους τρόπους στους ασθενείς, είτε ενδοφλέβια, είτε με κατάποση, είτε με εισπνοή, ανάλογα με την εξέταση. Όμως, τα ραδιοφάρμακα θα πρέπει να έχουν ορισμένες βασικές ιδιότητες ώστε η χρήση τους να είναι ασφαλής και να επιτυγχάνεται το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα από τις διαγνωστικές εφαρμογές. Αυτές οι ιδιότητες είναι οι εξής:

- Επιλεκτική συγκέντρωση στο υπό εξέταση όργανο-ιστό
- Απαλλαγμένα από τοξικούς ή αλλεργιογόνους παράγοντες
- Παρασκευή σε στείρες συνθήκες
- Μεταβολισμός παρόμοιος με τις σταθερές ουσίες
- Ραδιοϊσοτοπική και ραδιοχημική καθαρότητα

Βέβαια, σε μία ομάδα ραδιενεργών πυρήνων δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί πότε θα διασπαστεί ένας συγκεκριμένος πυρήνας. Ο χρόνος που απαιτείται για να διασπαστεί το ήμισυ αυτών, ονομάζεται φυσικός χρόνος υποδιπλασιασμού T_p . Ένα ραδιοφάρμακο λοιπόν, μετά τη χορήγηση του στον εξεταζόμενο, διασπάται ανάλογα με τον φυσικό χρόνο υποδιπλασιασμού του ραδιονουκλιδίου με το οποίο έχει επισημανθεί. Παράλληλα όμως αποβάλλεται από τον οργανισμό μέσω διαφόρων φυσιολογικών μηχανισμών, με ρυθμό ο οποίος καθορίζεται από τον βιολογικό χρόνο υποδιπλασιασμού T_b . Συγκεκριμένα, ο βιολογικός χρόνος υποδιπλασιασμού ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να αποβληθεί με βιολογικούς μηχανισμούς από τον ανθρώπινο οργανισμό το μισό μιας χημικής ουσίας ή στοιχείου. Επομένως, η τελική απομάκρυνση του ραδιοφαρμάκου από τον οργανισμό είναι συνδυασμός του φυσικού και βιολογικού χρόνου υποδιπλασιασμού του, ο οποίος ονομάζεται ενεργός χρόνος υποδιπλασιασμού T_{eff} . Αυτός ο χρόνος, ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να ελαττωθεί στο μισό η ραδιενέργεια που εκπέμπει μια επισημασμένη, με ραδιενεργό, ουσία (ραδιοφάρμακο) η οποία έχει εισαχθεί στον ανθρώπινο οργανισμό:

$$T_{eff} = \frac{T_b \cdot T_p}{T_b + T_p}$$

Όσον αφορά τα ραδιονουκλίδια που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του ραδιοφαρμάκου για τις διαγνωστικές εξετάσεις, πρέπει και αυτά να έχουν της εξής ιδιότητες:

- Μικρός χρόνος ημιζωής, ώστε η συνολική δόση που λαμβάνει ο εξεταζόμενος να είναι ανεκτή και ταυτόχρονα να επιτρέπει την ολοκλήρωση της εξέτασης
- Εκπομπή μόνο γ ακτινοβολίας
- Η ενέργεια της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας να είναι τέτοια ώστε η ακτινοβολία να μην απορροφάται έντονα από τους ιστούς και να ανιχνεύεται με μεγάλη πιθανότητα από το μετρητικό σύστημα.

- Εύκολη παρασκευή και με μικρό κόστος

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται συνήθη ραδιονουκλίδια που χρησιμοποιούνται σε απεικόνιση με γ-κάμερα απλή, SPECT καθώς και σε "in vitro" δοκιμασίες (πίνακας 8) και ραδιονουκλίδια που χρησιμοποιούνται σε εξετάσεις με σύστημα PET (πίνακας 9).

Πίνακας 8: Ραδιονουκλίδια με γ ακτινοβολία

Ραδιονουκλίδιο	Φυσικός χρόνος υποδιπλασιασμού	Ενέργεια εκπεμπόμενης γ ακτινοβολίας (keV)	Παραγωγή	Χρήση
$^{99m}_{43}Tc$	6 h	140	Γεννήτρια	Οστά, νεφρά, ήπαρ, στομάχι, καρδιά, θυρεοειδής
$^{67}_{31}Ga$	78 h	93.3, 184.6, 300	Κύκλοτρο	Όγκοι, φλεγμονές
$^{123}_{53}I$	13 h	159	Κύκλοτρο	Μυοκάρδιο, θυρεοειδής
$^{131}_{53}I$	8.06 days	364	Πυρηνικός αντιδραστήρας	In vitro
$^{115}_{49}In$	1.7 h	392	Κύκλοτρο	Εγκέφαλος, υπόφυση
$^{201}_{81}Tl$	73 h	167.4, 245.4	Κύκλοτρο	Μυοκάρδιο, θυρεοειδής, παραθυρεοειδείς

Πίνακας 9: Ραδιονουκλίδια για PET

Ραδιονουκλίδιο	Φυσικός χρόνος υποδιπλασιασμού
$^{11}_{6}C$	20.1 min
$^{13}_{7}N$	9.96 min
$^{15}_{8}O$	123 s
$^{18}_{9}F$	110 min
$^{64}_{29}Cu$	12.6 h
$^{68}_{31}Ga$	68.3 min
$^{76}_{35}Br$	16.1 h
$^{82}_{37}Rb$	78 s
$^{124}_{53}I$	4.18 days

2.1.4: Συστήματα απεικόνισης Πυρηνικής Ιατρικής

Στη Πυρηνική Ιατρική οι μέθοδοι απεικόνισης περιλαμβάνουν τη χρήση ραδιονουκλιδίων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, και λέγονται σπινθηρογραφήματα. Το σπινθηρογράφημα ως διαγνωστική μέθοδος αξιοποιεί τα ραδιονουκλίδια για την παραγωγή δισδιάστατης εικόνας του ανθρώπινου σώματος. Οι εξετάσεις σπινθηρογραφήματος κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το όργανο-ιστό ή το σύνολο οργάνων προς απεικόνιση (π.χ. σπινθηρογράφημα οστών, σπινθηρογράφημα αιμάτωσης πνευμόνων κλπ). Αυτές οι εξετάσεις λοιπόν, λαμβάνουν χώρα σε διάφορα απεικονιστικά συστήματα Πυρηνικής Ιατρικής, ανάλογα με την περίπτωση και παρατίθενται παρακάτω.

- **Συμβατική γ-κάμερα**

Η συμβατική γ-κάμερα αποτελεί το βασικό διαγνωστικό σύστημα της Πυρηνικής Ιατρικής. Παλαιότερα όργανα όπως οι γραμμικοί σπινθηρογράφοι έχουν εκλείψει πλέον.

Η πρώτη γ-κάμερα κατασκευάστηκε το 1958 από τον Hal O. Anger. Στην ουσία, η γ-κάμερα είναι ένας ανιχνευτής σπινθηρισμών και αποτελείται από τα εξής μέρη:

- 1) Κατευθυντήρας
- 2) Κρύσταλλος NaI (TI)
- 3) Φωτοπολλαπλασιαστές
- 4) Διάφορα ηλεκτρονικά για ανάλυση των δεδομένων

Οι εικόνες οι οποίες λαμβάνονται με αυτή τη συσκευή, εμφανίζουν το υπό εξέταση όργανο σε δύο μόνο διαστάσεις. Συνεπώς, δεν υπάρχει δυνατότητα απόκτησης επαρκών πληροφοριών για ευρήματα που εντοπίζονται σε βάθος. Ωστόσο, η λήψη περισσότερων εικόνων γύρω από το όργανο (πρόσθιες, οπίσθιες, πλάγιες, λοξές λήψεις) συμβάλλει στον καλύτερο εντοπισμό της θέσης και στην εκτίμηση της έκτασης της βλάβης. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε σε σημαντικό βαθμό με την καθιέρωση και εφαρμογή της τεχνικής SPECT (Kuhl και Edwards, 1963).

- **Τομογραφία μονοφωτονικής εκπομπής SPECT (τομογραφική γ-κάμερα)**

Η απεικόνιση SPECT βασίζεται στη λήψη δεδομένων υπό πολλαπλές γωνίες γύρω από το ανθρώπινο σώμα και προκύπτει μια τρισδιάστατη εικόνα της περιοχής. Το σύστημα SPECT αποτελείται από μία κλασική γ-camera με 1 έως 4 ανιχνευτές NaI (TI) προσαρμοσμένους σε βραχίονα, ώστε να είναι δυνατή η περιστροφή τους γύρω από το σώμα του εξεταζόμενου. Λαμβάνονται εικόνες και στους τρεις άξονες (εγκάρσιο, οβελιαίο, στεφανιαίο) και πραγματοποιείται ανασύνθεση της εικόνας μετά την ολοκλήρωση της σπινθηρογράφησης. Η κλασική τεχνική ανασύνθεσης είναι η οπισθοπροβολή (backprojection) (Budinger & Gullberg, 1974).



Εικόνα 19: Μηχάνημα SPECT διπλής κεφαλής (medicalexp.com)

Αυτή η μέθοδος απεικόνισης εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της δισδιάστατης απεικόνισης με τη συμβατική κάμερα, όπως λήψη πληροφοριών σε τρεις διαστάσεις, η οποία επιτρέπει τον ακριβέστερο εντοπισμό των βλαβών και την εκτίμηση του όγκου των οργάνων, μικρότερη επίπτωση της α-

κτινοβολίας στους παρακείμενους ιστούς, δυνατότητα διόρθωσης των εικόνων για την κίνηση του ασθενούς (motion correction) και την εξασθένιση της ακτινοβολίας (attenuation correction) και μεγαλύτερη δυνατότητα ημιποσοτικών υπολογισμών της κατανομής του ραδιοφαρμάκου.

- **Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων PET**

Η τεχνική PET αποτελεί την πλέον σύγχρονη εξέταση της Πυρηνικής Ιατρικής. Βασίζεται στην ανάπτυξη της κάμερας εκπομπής ποζιτρονίων (Mullani, 1984) και τη χρήση ραδιοφαρμάκων, τα οποία έχουν επισημανθεί με ραδιονουκλίδια που εκπέμπουν ποζιτρόνια (^{18}F , ^{11}C , ^{13}N κλπ). Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας της, η απεικόνιση εξαρτάται από την ταυτόχρονη ανίχνευση ζευγών φωτονίων που κινούνται σε αντίθετες διευθύνσεις με ενέργεια 511 keV, τα οποία προέρχονται από την αλληλοεξουδετέρωση των ποζιτρονίων με ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων. Στα σύγχρονα συστήματα PET χρησιμοποιούνται εκατοντάδες έως χιλιάδες ανιχνευτές, οι οποίοι είναι συνήθως κατασκευασμένοι από γερμανώδες βισμούθιο (BGO) (σπανιότερα από NaI (TI), BaF₂, ή CsF₂). Η τεχνική PET χαρακτηρίζεται από μοναδικές δυνατότητες μελέτης και ποσοτικού προσδιορισμού φυσιολογικών διεργασιών στον οργανισμό, όπως:

- 1) Αιματική ροή σε διάφορους ιστούς
- 2) Μεταβολισμός του οξυγόνου
- 3) Μεταβολισμός της γλυκόζης
- 4) Σύνθεση αμινοξέων και πρωτεϊνών
- 5) Μεταβολισμός νουκλεϊκών οξέων
- 6) Κυτταρική απόπτωση
- 7) Προσδιορισμός της έκφρασης διαφόρων υποδοχέων (ειδικά στον νευρικό ιστό).

Η ανασύνθεση της εικόνας, κατά το τέλος της εξέτασης, πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μέθοδο της οπισθοπροβολής (όπως και με την τεχνική SPECT).

- **Τομογραφία PET-CT**

Αυτή η τεχνική συνδυάζει τις ανατομικές πληροφορίες της Υπολογιστικής Τομογραφίας με τις εικόνες της PET και επιτρέπει πιο ακριβή προσδιορισμό των παθολογικών περιοχών πρόσληψης του ραδιοφαρμάκου. Η μεγαλύτερη αυτή ακρίβεια έχει αποδειχθεί σε πολλούς διαφορετικούς τύπους νεοπλασίων, συμπεριλαμβανομένων του μη μικροκυτταρικού καρκίνου του πνεύμονα, του ορθοκολικού καρκίνου, των λεμφωμάτων και του μελανώματος. Στην Καρδιολογία, η σύνθεση της αιματικής ροής και του ιστικού μεταβολισμού με τις εικόνες της Υπολογιστικής Τομογραφίας παρέχει πληροφορίες σχετικά με την αιματική ροή στα στεφανιαία αγγεία και τη μικροαγγειακή ενδοθηλιακή δυσλειτουργία.



Εικόνα 20: Μηχάνημα PET-CT (el.wikipedia.org)

- **Τομογραφία SPECT-CT**

Και αυτή η μέθοδος παρέχει επιπλέον πληροφορίες σε σχέση με τις ανατομικές περιοχές που παρατηρείται πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου. Παράλληλα, προσφέρει πιο ακριβείς μετρήσεις της πρόσληψης από όργανα και νεοπλασίες. Για παράδειγμα, στην Ογκολογία, η τεχνική SPECT-CT έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλει στον αποτελεσματικότερο εντοπισμό της κακοήθους βλάβης. Επομένως, διευκολύνει τον σχεδιασμό της θεραπείας. Επίσης στην Καρδιολογία, η τεχνική SPECT/CT παρέχει βελτιώσεις για τη διόρθωση των εικόνων, όσον αφορά τη κίνηση του ασθενούς και την εξασθένηση της δέσμης ακτινοβολίας. Οι βελτιώσεις αυτές είναι σημαντικές για τη διευκόλυνση του εντοπισμού του βιώσιμου μυοκαρδίου.

2.2: Καθορισμός Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς στην Πυρηνική Ιατρική

2.2.1: Εισαγωγή

Στην πυρηνική ιατρική, τα ΔΕΑ αντιπροσωπεύουν αυτό που θεωρείται ως αποδεκτό επίπεδο ενεργότητας (MBq ή MBq/kg) που πρέπει να χορηγηθεί σε μια εξέταση ενός ασθενούς. Με άλλα λόγια είναι επίπεδα διερεύνησης (investigation levels), καθώς αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο στο να εξισορροπείται επί τα βέλτιστα, τόσο η ποιότητα εικόνας όσο και η απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας στον ασθενή. Οι λόγοι που καθίστανται απαραίτητα στην Πυρηνική Ιατρική είναι διότι εξασφαλίζουν:

- Εξάλειψη των υπερβολικών ποσοτήτων χορηγούμενων δόσεων
- Καθιέρωση συγκεκριμένης πρακτικής για κάθε διαδικασία απεικόνισης (ορθή πρακτική-πρωτόκολλα)
- Χρήση εξοπλισμού υψηλής τεχνολογίας και βελτιστοποίηση των πρακτικών

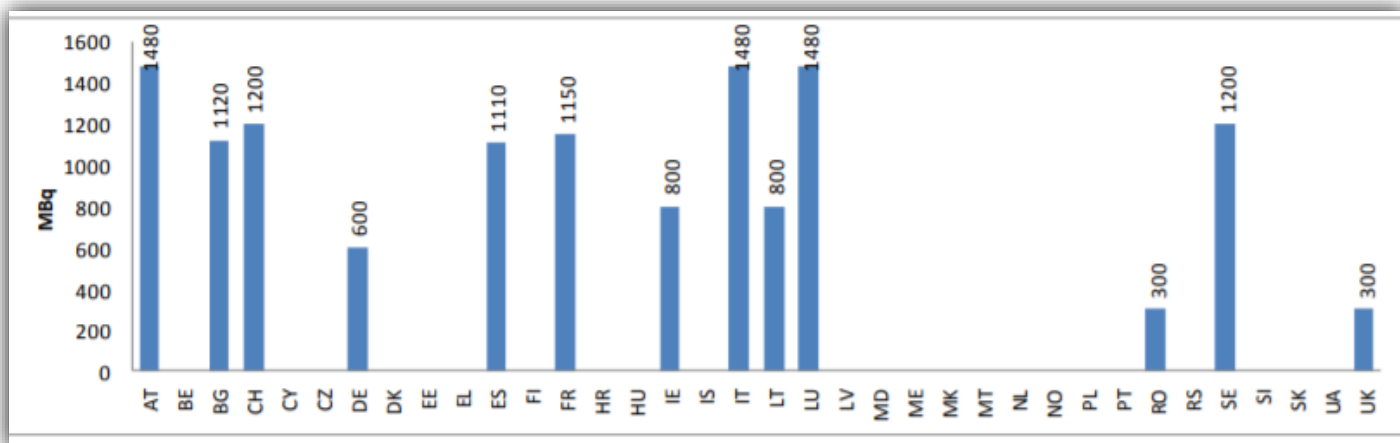
Οι πρακτικές που σχετίζονται με τη χρήση των ΔΕΑ στην Πυρηνική Ιατρική είναι διαφορετικές από εκείνες της διαγνωστικής ακτινολογίας, αν και εξυπηρετούν παρόμοιο σκοπό, να βοηθήσουν στην καθιέρωση συμφωνημένων απαιτήσεων ορθής πρακτικής και βελτιστοποίησης της ακτινοπροστασίας.

Όσον αφορά την επιλογή του ασθενούς είναι μια σημαντική πτυχή της καθιέρωσης και χρήσης των τιμών ΔΕΑ. Στην πυρηνική ιατρική, όπως και σε άλλες τεχνικές απεικόνισης, το μέγεθος του ασθενούς

παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της απαιτούμενης ενεργότητας για την επίτευξη της επαρκούς ποιότητας εικόνας για μια δεδομένη διαδικασία. Γενικά, οι έρευνες καθόρισαν ένα εύρος βάρους ασθενούς. Οι τιμές ΔΕΑ στην Πυρηνική Ιατρική ενηλίκων βασίζονται κανονικά στις χορηγούμενες ενεργότητες που χρησιμοποιούνται για τους ασθενείς με μέσο μέγεθος (π.χ. $70 \pm 10 \text{kg}$) και στη συνέχεια μπορεί να υπολογιστεί μια τιμή ΔΕΑ για τη χορηγούμενη ενεργότητα ανά σωματικό βάρος (MBq/kg).

2.2.2: Αποτελεσματικότητα των Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς Πυρηνικής Ιατρικής σε διάφορες χώρες

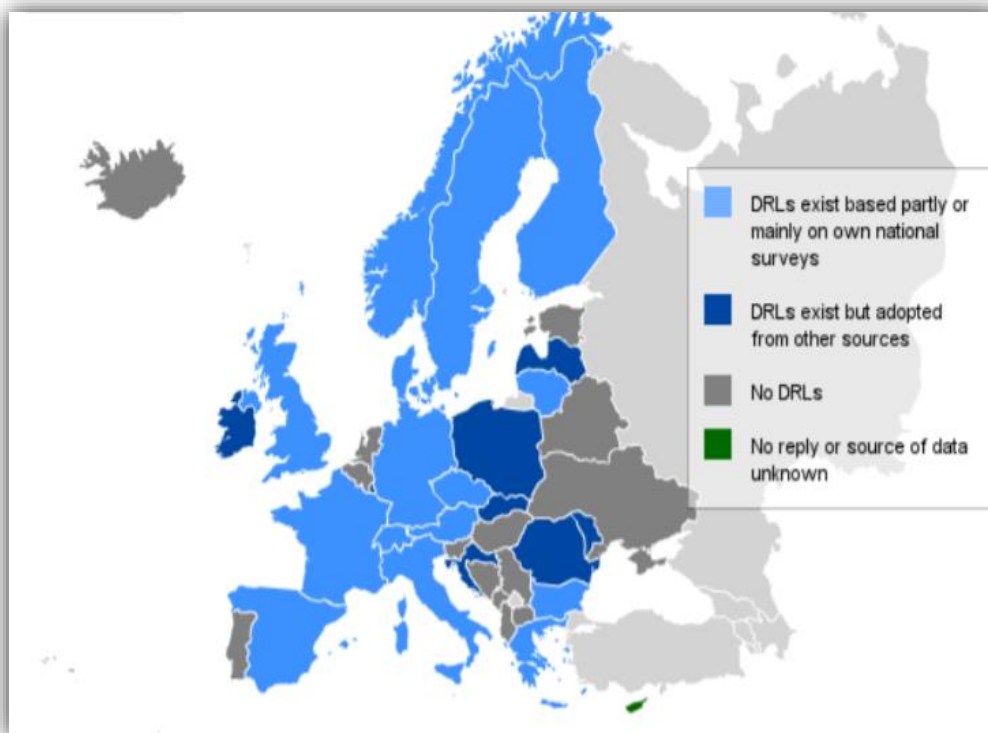
Για τον καθορισμό των ΔΕΑ Πυρηνικής Ιατρικής λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράγοντες. Αρχικά, τα χορηγούμενα επίπεδα ραδιενέργειας (ενεργότητα) εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη διαδικασία που χρησιμοποιείται. Ειδικά, για καρδιακές μελέτες όπου υπάρχουν πρωτόκολλα 1 ημέρας και 2 ημερών για απεικόνιση στρες και ανάπαυσης, καθώς και παραλλαγές μεταξύ αυτών των διαδικασιών. Επομένως, είναι δύσκολο να συγκριθούν τα χορηγούμενα επίπεδα ραδιενέργειας χωρίς να είναι γνωστό το ακριβές πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται. Οι διάφορες χώρες, σε ορισμένες περιπτώσεις, δίνουν μια τιμή ΔΕΑ για ολόκληρο το πρωτόκολλο με δύο ενέσεις και σε άλλες περιπτώσεις, δύο διαφορετικές τιμές ΔΕΑ τόσο για στρες όσο και για ανάπαυση. Βέβαια υπάρχει μεγάλη διακύμανση των τιμών ΔΕΑ Πυρηνικής Ιατρικής σε διάφορες χώρες με εξαίρεση κάποιες εξετάσεις με μικρές διακυμάνσεις όπως το σπινθηρογράφημα οστών με $^{99m}_{43}\text{Tc}$.



Εικόνα 21: Σύγκριση τιμών ΔΕΑ σε χώρες για σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου με Tc-99m MIBI (ec.europa.eu)

Οι έρευνες για τις εκτιμήσεις των χορηγούμενων δόσεων για σχεδόν όλες τις σπινθηρογραφικές μελέτες, αναδεικνύουν σημαντικές διακυμάνσεις της δόσης μεταξύ διαφόρων χωρών ακόμα και μεταξύ των απεικονιστικών εγκαταστάσεων της ίδιας υγειονομικής περιφέρειας για την ίδια εξέταση και για παρόμοιες ομάδες ασθενών (ενήλικες ή παιδιά καθορισμένων μεγεθών). Τέτοιες παρατηρήσεις δείχνουν την ανάγκη για τυποποίηση της δόσης και μείωση της διακύμανσης της δόσης χωρίς να διακυβεύεται ο κλινικός σκοπός κάθε εξέτασης ή διαδικασίας. Συγκεκριμένα, τα Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς Πυρηνικής Ιατρικής για εξετάσεις ενηλίκων καθορίζονται στο 64% των Ευρωπαϊκών χωρών, στο 33% δεν υπάρχουν και το 3% δεν έχει δώσει καθόλου δεδομένα. Τα αντίστοιχα στοιχεία για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελεύθερων Συναλλαγών είναι 71%, 26% και 3% αντίστοιχα. Το 65% των ΔΕΑ Πυρηνικής Ιατρικής βασίζονται σε εθνικές έρευνες δόσεων των χωρών, ενώ το υπόλοιπο 35% βασίζεται σε δημοσιευμένες τιμές.

Στη παρακάτω εικόνα, φαίνεται η κατανομή των ΔΕΑ στις διάφορες χώρες. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζονται οι χώρες στις οποίες τα ΔΕΑ βασίζονται σε εθνικές τους έρευνες. Με μπλε χρώμα οι χώρες που παίρνουν δεδομένα από άλλες πηγές (π.χ. δημοσιευμένες τιμές). Για τις χώρες που απεικονίζονται με γκρι δεν υπάρχουν ΔΕΑ. Τέλος, με πράσινο είναι οι χώρες που δεν έχουν δώσει στοιχεία για ΔΕΑ.



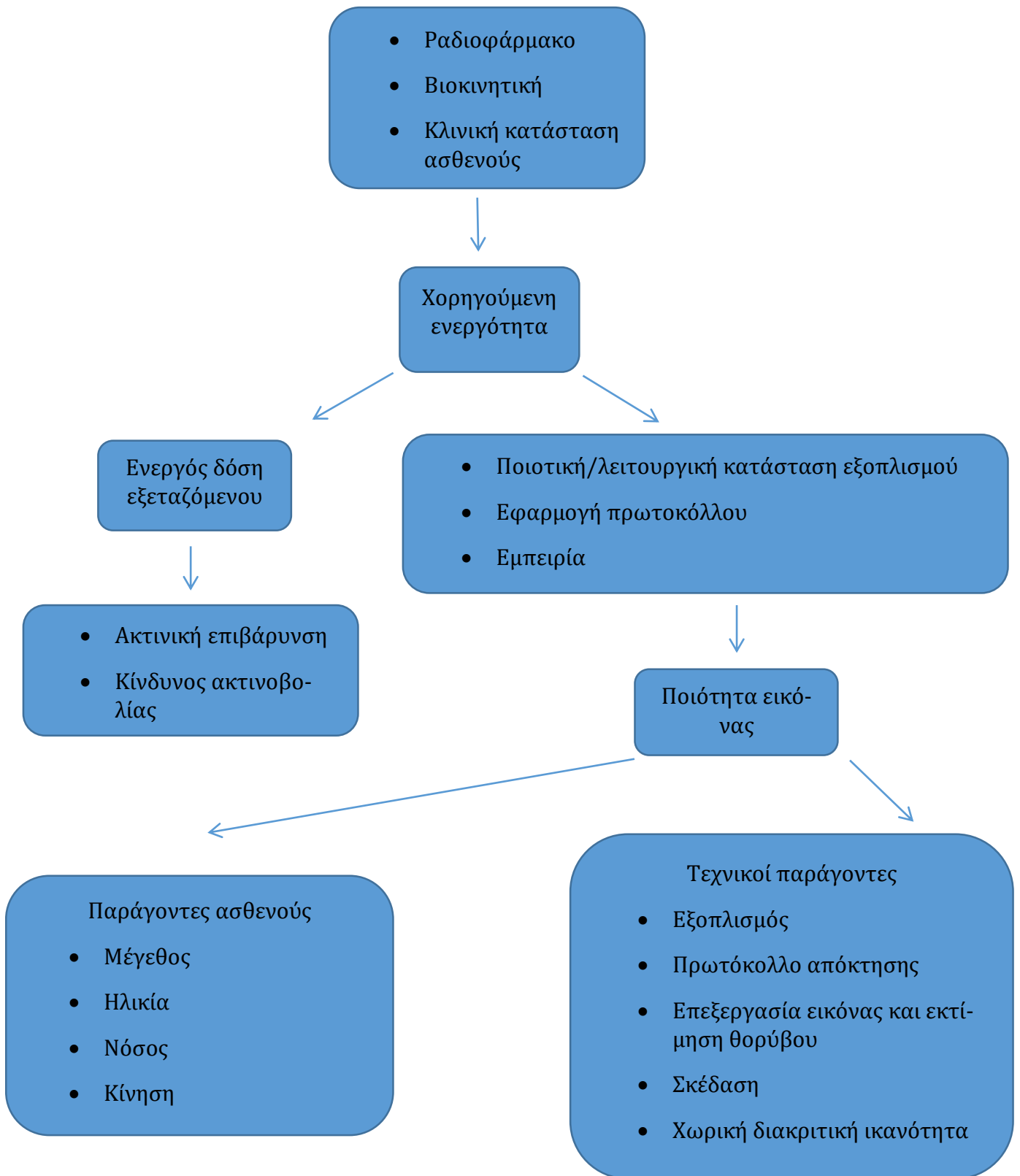
Εικόνα 22: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς για εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής (ec.europa.eu)

2.2.3: Βελτιστοποίηση της ιατρικής έκθεσης Πυρηνικής Ιατρικής

Γενικά, οι σκοποί της βελτιστοποίησης μπορεί να είναι, είτε η καλύτερη εφικτή εικόνα, είτε η ελαχιστοποίηση της δόσης ακτινοβολίας που δέχεται ο ασθενής, είτε η μεγιστοποίηση της ικανοποίησης του Πυρηνικού Ιατρού (ασφαλέστερη διάγνωση), είτε η μεγιστοποίηση της ικανοποίησης του τεχνολόγου (μικρότερος χρόνος λήψης προβολών). Το βασικό συμπέρασμα της βελτιστοποίησης βέβαια είναι η απεικόνιση με τη μέγιστη ποιότητα εικόνας και το ελάχιστο ποσό δόσης.

Η δόση που αποδίδεται κάθε φορά από οποιαδήποτε εξέταση Πυρηνικής Ιατρικής εξαρτάται από:

- Την χορηγούμενη ενεργότητα του ραδιοφαρμάκου
- Στοιχεία που έχουν να κάνουν με τα φυσικά χαρακτηριστικά του ραδιοϊχνηθέτη
- Το μεταβολισμό και την κινητική του ραδιοφαρμάκου στον εξεταζόμενο ακόμα και την κλινική κατάσταση του εξεταζόμενου



Επομένως, σύμφωνα με την παραπάνω αναπαράσταση καταλαβαίνουμε ότι η βελτιστοποίηση στη Πυρηνική Ιατρική είναι μια πολύπλοκη διαδικασία καθώς πρέπει να ελεγχθούν αρκετοί παράγοντες με στόχο πάντα τη καλύτερη δυνατή εικόνα και την λιγότερη εφικτή δόση.

2.2.4: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς για απεικόνιση Πυρηνικής Ιατρικής

Για την απεικόνιση με συμβατική γ-κάμερα Πυρηνικής Ιατρικής, τα ΔΕΑ ερευνώνται και έχουν καθοριστεί, είτε με χορηγούμενη ενεργότητα (MBq), είτε κατά προτίμηση με χορηγούμενη ενεργότητα ανά σωματικό βάρος (MBq/kg). Η τελευταία προσέγγιση είναι πρακτική και απλή στην υιοθέτηση (Roch και Aubert, 2013). Για ορισμένες έρευνες στον τομέα της Πυρηνικής Ιατρικής, για τις οποίες το ραδιοφάρμακο συγκεντρώνεται κυρίως σε ένα μόνο όργανο (π.χ. απεικόνιση θυρεοειδούς, αιμάτωση πνευμόνων), θα μπορούσε να χορηγηθεί πρότυπη ενεργότητα για όλους τους ενήλικες ασθενείς. Όμως για μερικές εξετάσεις, το ιδανικό θα ήταν οι χορηγούμενες ενεργότητες να βασίζονται στο βάρος του ασθενούς (MBq/kg). Η Επιτροπή συνιστά οι ενεργότητες που χορηγούνται με βάση το βάρος να χρησιμοποιούνται σε παιδιά, εφήβους και ασθενείς χαμηλού βάρους. Μπορεί επίσης να εξεταστεί το ενδεχόμενο καθορισμού μιας μέγιστης ενεργότητας για πολύ παχύσαρκους ασθενείς.

Examination	Radionuclide	Chemical form	Guidance level (MBq)	Effective dose (mSv)
Bone scan	Tc-99m	phosphonate	600	4.8
Brain scan	Tc-99m	perchnetate	500	2.7
CBF	Tc-99m	HMPAO	500	5.5
Thyroid imaging	Tc-99m	perchnetate	200	2.6
Thyroid imaging	I-123	iodide	20	3.4
Parathyroid	Tl-201	chloride	80	18
Lung perfusion	Tc-99m	MAA	100	1.2
Lung ventilation	Tc-99m	aerosol	80	0.6
Lung ventilation	Kr-81m	gas	6000	0.2
Lung ventilation	Xe-133	gas	400	0.4
Liver & spleen	Tc-99m	colloid	80	0.6
Myocardium	Tl-201	chloride	100	23
Myocardium	Tc-99m	isonitriles	600	4.2
Kidneys	Tc-99m	DMSA	160	2.5
Kidneys	Tc-99m	DTPA	350	2.2
Kidneys	I-123	hippuran	20	0.3
Tumours	Ga-67	citrate	300	36
Tumour	I-123	MIBG	400	7.2
Tumour	I-131	MIBG	20	4

Εικόνα 23: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς εξετάσεων Πυρηνικής Ιατρικής σύμφωνα με την Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (IAEA)

Για τις διαδικασίες απεικόνισης SPECT, οι τιμές ΔΕΑ θα πρέπει να ορίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως για τις διαδικασίες με συμβατική γ-κάμερα. Και πάλι, η ιδανική προσέγγιση θα ήταν η καθιέρωση χορήγησης ενεργότητας με βάση το βάρος (MBq/kg). Οι τιμές ΔΕΑ για τις μελέτες SPECT είναι συνήθως ελαφρώς υψηλότερες από ότι σε τεχνικές με συμβατική γ-κάμερα, για τα ίδια ραδιοφάρμακα.

Ωστόσο, σε κάθε χώρα πρέπει να τηρούνται τα υπάρχοντα ΔΕΑ που προέρχονται από πρωτόκολλα που υπόκεινται στα νομοθετικά πλαίσια και μην συμβαίνει υπέρβαση τους. Σε τέτοια περίπτωση, η υπέρβαση των ΔΕΑ για μια εξέταση Πυρηνικής Ιατρικής απαιτεί την άμεση σχεδίαση έρευνας για το συγκεκριμένο νοσοκομείο ή άλλη εγκατάσταση, η οποία θα δώσει λύση στο πρόβλημα και θα παρέχει μια βελτιστοποιημένη εκδοχή. Όσον αφορά τους μεμονωμένους επαγγελματίες, ενθαρρύνονται να χρησιμοποιούν χαμηλότερες χορηγούμενες ενεργότητες, εάν το επιτρέπουν ο εξοπλισμός ή το λογισμικό τους και η ποιότητα της εικόνας που προκύπτει είναι επαρκής για τη διάγνωση.

Η χορηγούμενη ενεργότητα για μεμονωμένους ασθενείς μπορεί να προσαρμόζεται προς τα πάνω όταν υπάρχουν υγιείς κλινικοί λόγοι που δικαιολογούν την αλλαγή. Για παράδειγμα, εάν ένας ασθενής που είναι σε ακραίο πόνο και δεν μπορεί να αντέξει τον κανονικό χρόνο διεξαγωγής της εξέτασης, τότε να επιτραπεί η εξέταση να γίνει σε συντομότερο χρονικό διάστημα, ή για έναν ασθενή που είναι παχύσαρκος. Επιπλέον, σε κάθε εξέταση Πυρηνικής Ιατρικής που εφαρμόζονται τα ΔΕΑ, θα πρέπει να ακολουθείται ένα γραπτό πρωτόκολλο και κάθε πιθανή αλλαγή στον σχετικό κίνδυνο ακτινοβολίας (δηλαδή η σχετική αύξηση της χορηγούμενης ενεργότητας) σε έναν ασθενή πρέπει πάντα να ζυγίζεται έναντι της αντίστοιχης αλλαγής στο όφελος (π.χ. δυσφορία ασθενών).

2.2.5: Παιδιατρικά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς

Στα παιδιά, οι χορηγούμενες ενεργότητες θα πρέπει να προσαρμόζονται με βάση συμφωνημένους παράγοντες που συνδέονται με το μέγεθος ή το βάρος (Lassmann et al., 2007; Lassmann and Treves, 2014). Η τυποποίηση των χορηγούμενων ενεργοτήτων και η χρήση διαγραμμάτων χορηγούμενης ενεργότητας-βάρους είναι σημαντική για όλες τις διαδικασίες παιδιατρικής Πυρηνικής Ιατρικής, καθώς παρατηρήθηκαν σημαντικές διακυμάνσεις στη χορηγούμενη ενεργότητα, όταν δεν χρησιμοποιούνται. Οι ενεργότητες με βάση το βάρος για την παιδιατρική Πυρηνική Ιατρική είναι διαθέσιμες σε αρκετές χώρες. Αυτές, έχουν δοκιμαστεί σε παιδικά νοσοκομεία για να διασφαλιστεί ότι διατηρείται επαρκής ποιότητα εικόνας με βελτιστοποιημένη ακτινοπροστασία. Ωστόσο, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε η ποσότητα της χορηγούμενης ενεργότητας να μην είναι τόσο χαμηλή, ώστε να οδηγεί σε μια διαδικασία που δεν επιτρέπει κλινική διάγνωση. Το συγκεκριμένο ενδεχόμενο θα ήταν επιζήμιο για το παιδί, διότι θα πρέπει να επαναλάβει την εξέταση και να δεχτεί επιπλέον δόση ακτινοβολίας η οποία είναι περιττή.

Βέβαια, τα παιδιά είναι περίπου τρεις φορές πιο ευαίσθητα στην ακτινοβολία από τους ενήλικες, οπότε είναι καθοριστικός ο καθορισμός της κατάλληλης ενεργότητας που πρέπει να χορηγηθεί για τις παιδιατρικές απεικονίσεις. Δηλαδή πρέπει να οριστεί ελάχιστη ενεργότητα για να εξασφαλιστεί επαρκής ποιότητα εικόνας. Παρακάτω εμφανίζεται ο ενδεικτικός πίνακας.

Radiopharmaceutical	Class	Baseline Activity (for calculation purposes only)	Minimum Recommended Activity ¹
		MBq	MBq
¹²³ I (Thyroid)	C	0.6	3
¹²³ I Amphetamine (Brain)	B	13.0	18
¹²³ I HIPURAN (Abnormal renal function)	B	5.3	10
¹²³ I HIPURAN (Normal renal function)	A	12.8	10
¹²³ I mIBG	B	28.0	37
¹³¹ I mIBG	B	5.6	35
¹⁸ F FDG-PET torso	B	25.9	26
¹⁸ F FDG-PET brain	B	14.0	14
¹⁸ F Sodium fluoride	B	10.5	14
⁶⁷ Ga Citrate	B	5.6	10
⁶⁸ Ga-labelled peptides	B	12.8	14
^{99m} Tc ALBUMIN (Cardiac)	B	56.0	80
^{99m} Tc COLLOID (Gastric Reflux)	B	2.8	10
^{99m} Tc COLLOID (Liver/Spleen)	B	5.6	15
^{99m} Tc COLLOID (Marrow)	B	21.0	20
^{99m} Tc DMSA	B	6.8	18.5
^{99m} Tc DTPA (Abnormal renal function)	B	14.0	20
^{99m} Tc DTPA (Normal renal function)	A	34.0	20
^{99m} Tc ECD	B	51.8	100
^{99m} Tc HMPAO (Brain)	B	51.8	100
^{99m} Tc HMPAO (WBC)	B	35.0	40
^{99m} Tc IDA (Biliary)	B	10.5	20
^{99m} Tc MAA / Microspheres	B	5.6	10
^{99m} Tc MAG3	A	11.9	15
^{99m} Tc MDP	B	35.0	40
^{99m} Tc Pertechnetate (Cystography)	B	1.4	20
^{99m} Tc Pertechnetate (Ectopic Gastric Mucosa)	B	10.5	20
^{99m} Tc Pertechnetate (Cardiac First Pass)	B	35.0	80
^{99m} Tc Pertechnetate (Thyroid)	B	5.6	10
^{99m} Tc RBC (Blood Pool)	B	56.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin (Cancer seeking agent)	B	63.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac rest scan 2-day protocol min)	B	42.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac rest scan 2-day protocol max)	B	63.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac stress scan 2-day protocol min)	B	42.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac stress scan 2-day protocol max)	B	63.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac rest scan 1-day protocol)	B	28.0	80
^{99m} Tc SestaMIBI/Tetrofosmin ² (Cardiac stress scan 1-day protocol)	B	84.0	80
^{99m} Tc Spleen (Denatured RBC)	B	2.8	20
⁹⁹ Tc TECHNEGAS (Lung ventilation) ³	B	49.0	100

Εικόνα 24: Ελάχιστη συστηνόμενη ενεργότητα (MBq) για παιδιατρικές εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής (eanm.org)

2.2.6: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς στην Ελλάδα

Τα τελευταία χρόνια, στην Ελλάδα, παρατηρείται σημαντική αύξηση στη διενέργεια ιατρικών διαγνωστικών πρακτικών που χρησιμοποιούν ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Μέρος των προαναφερθεισών πρακτικών αποτελούν και οι διαγνωστικές εξετάσεις της Πυρηνικής Ιατρικής και μάλιστα εκείνες που συνεισφέρουν σχετικά τις υψηλότερες δόσεις στους εξεταζόμενους, όπως οι εξετάσεις της πυρηνικής καρδιολογίας και της πυρηνικής ογκολογίας.

Παρόλο που το όφελος από τις προαναφερθείσες πρακτικές είναι αναμφισβήτητο, θεωρείται εξίσου σημαντικό αλλά και ευθύνη του παραπέμποντος ιατρού, να εκτιμήσει τη σχέση οφέλους/κινδύνου κάθε φορά που «συνταγογραφείται» μια τέτοιου είδους διαγνωστική εξέταση. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό

γνωρίζοντας τη δόση της ακτινοβολίας που συνεπάγεται μία πρακτική, σε σχέση με τον ακτινικό κίνδυνο ως συνέπεια της δόσης αυτής.

Δίπλα παρατίθεται ο σχετικός πίνακας με τα ΔΕΑ Πυρηνικής για την Ελλάδα σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση ΔΥΓ2/92027/28.11.2007 «Καθορισμός Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς (ΔΕΑ) για την ακτινολογική εξέταση της μαστογραφίας και Καθοδηγητικών Επιπέδων Δόσεων (ΚΕΔ) για τις διαγνωστικές εξετάσεις πυρηνικής ιατρικής (ΦΕΚ 2345/Β/11.12.2007), όπως προέκυψαν από τις τιμές χορηγούμενης ενεργότητας σε μέσο ενήλικα τις οποίες απέστειλαν τα εργαστήρια έπειτα από σχετικό αίτημα της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας.

Εξέταση	Ισότοπο	ΚΕΔ - ΔΕΑ
		ΜΒq
Σπινθηρογράφημα οστών	^{99m} Tc	735
Σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς	^{99m} Tc	183
Στατικό σπινθ. νεφρών (DMSA)	^{99m} Tc	183
Δυναμικό σπινθ. νεφρών (DTPA)	^{99m} Tc	540
Σπινθηρογράφημα ήπατος	^{99m} Tc	179
Ραδ. κοιλιογραφία (MUGA)	^{99m} Tc	893
Σπινθ. αιμάτωσης πνευμόνων	^{99m} Tc	180
Σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου	²⁰¹ Tl	111
Σπινθηρογράφημα φλεγμονών	⁶⁷ Ga	190
Ολόσωμο σπινθηρογράφημα	¹¹¹ In	125
Σπινθ. πρόσληψης θυρεοειδούς αδένα	¹³¹ I	7
Ολόσωμο σπινθηρογράφημα	¹³¹ I	180

Εικόνα 25: Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς για εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής στην Ελλάδα (eae.gr, ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ)

Στο χώρο της Πυρηνικής Ιατρικής η τυποποίηση των διαδικασιών των διαγνωστικών πράξεων είναι ο θεμέλιος λίθος της καλής πρακτικής. Η τυποποίηση αυτή έρχεται μέσα από διεθνή, ευρωπαϊκά και εθνικά πρωτόκολλα και νομοθετικές πράξεις που καθορίζουν τους βασικούς και καθοριστικούς άξονες για την επίτευξη του αρίστου αποτελέσματος. Στα πρωτόκολλα αυτά, ορίζονται και τα μεγέθη της χορηγούμενης ενεργότητας των ραδιοφαρμάκων. Τα μεγέθη αυτά τίθενται από διακεκριμένους επιστημονικούς φορείς, από διεθνείς οδηγίες και εθνικές νομοθετικές πράξεις αποσκοπώντας στο βέλτιστο διαγνωστικό αποτέλεσμα με τη μικρότερη δυνατή δόση.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1: Διαδικασία διεξαγωγής σπινθηρογραφήματος

Σκοπός αυτής της διπλωματικής, ήταν η συλλογή ενός ικανοποιητικού αριθμού μετρήσεων για εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής (σπινθηρογραφήματα). Σε ορισμένες περιπτώσεις εξετάσεων, η καταγραφή επαρκών δεδομένων ήταν αδύνατη κατά το διάστημα της 1^{ης} Ιουλίου 2019 έως 10^{ης} Φεβρουαρίου 2020. Επομένως, ορισμένα από τα δεδομένα που θα παρουσιαστούν παρακάτω δεν μπορούν να προσεγγίσουν ακριβώς τα τοπικά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ασθενείς κατά τη διάρκεια σπινθηρογραφικών εξετάσεων στο Εργαστήριο Πυρηνικής Ιατρικής του Πανεπιστημιακού Γενικού Νοσοκομείου Ηρακλείου Κρήτης (ΠΑ.Γ.Ν.Η). Το νοσοκομείο διαθέτει τρία μηχανήματα γ-κάμερας, τα οποία είναι τα εξής:

- Phillips Forte
- General Electric Millennium MPS
- General Electric Discovery

Οι σπινθηρογραφικές εξετάσεις που μελετήθηκαν σε αυτή την εργασία είναι οι εξής: καρδιάς, οστών, νεφρών, εγκεφάλου, λεμφαδένων, θυρεοειδούς και παραθυρεοειδών και οι ασθενείς είχαν βάρος περίπου $70 \pm 10 \text{ kg}$. Το σπινθηρογράφημα μπορεί να γίνει, είτε σε εξωτερικούς ασθενείς, είτε στο πλαίσιο κάποιας νοσηλείας στο νοσοκομείο. Βέβαια, σε ορισμένες περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων και για παιδιατρικές εξετάσεις, των οποίων ο αριθμός είναι αρκετά μικρός. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής με τις οποίες ασχολήθηκα στη παρούσα εργασία, διεξάγονται με την χορήγηση μιας χημικής ουσίας επισημασμένης με κάποιο ραδιενεργό ισότοπο στο σώμα τους ασθενούς ενδοφλεβίως, η οποία συγκεντρώνεται επιλεκτικά από τον εκάστοτε ιστό ή όργανο. Στη συνέχεια, το ραδιοφάρμακο εκπέμπει ακτινοβολία γ και ανιχνεύεται από το μετρητικό σύστημα (γ-κάμερα).

Ωστόσο, η διαδικασία που ακολουθείται για τη διεξαγωγή ενός σπινθηρογραφήματος περιλαμβάνει αρκετά στάδια. Αρχικά, ο εκάστοτε ασθενής κλείνει ραντεβού στο Τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής, ο οποίος έχει παραπεμφθεί από κάποιο γιατρό (π.χ. καρδιολόγο, νεφρολόγο, ουρολόγο κ.λπ.). Την ημέρα διεξαγωγής της εξέτασης, κάθε εξεταζόμενος οφείλει να επιδεικνύει το παραπεμπτικό από τον γιατρό του. Στη συνέχεια, οι ασθενείς που θα υποβληθούν στην κάθε εξέταση (ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας γίνονται διαφορετικού είδους εξετάσεις) οδηγούνται σε ένα θάλαμο αναμονής, έως ότου έρθει η σειρά τους για χορήγηση. Υπάρχουν ειδικές σημάνσεις σε κάθε αίθουσα, ώστε να κατευθύνουν τους ασθενείς και να μην εισέρχονται σε μη επιτρεπτές περιοχές του Τμήματος.



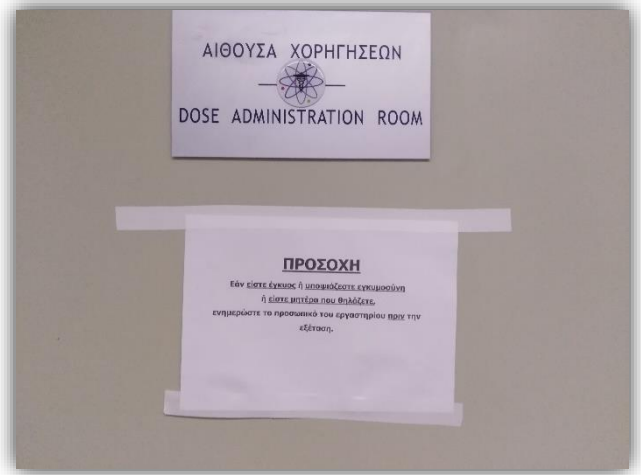
Εικόνα 1: Πινακίδα για αίθουσα αναμονής ασθενών κατά την διάρκεια διεξαγωγής της εξέτασης



Εικόνα 2: Πινακίδα για ΘΕΡΜΟ-ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ στο οποίο πραγματοποιείται η παρασκευή των ραδιοφαρμάκων



Εικόνα 3: Πινακίδα απαγόρευσης εισόδου



Εικόνα 4: Πινακίδα για την αίθουσα χορήγησης και ενημέρωσης για εγκύους

Ο Πυρηνικός Ιατρός, στη συνέχεια καλεί έναν ένα τους εξεταζόμενους στο δωμάτιο χορήγησης, ώστε να λάβουν το ραδιοφάρμακο ενδοφλεβίως με σύριγγα και στην συνέχεια οδηγούνται και πάλι στο δωμάτιο αναμονής μέχρι να διεξαχθεί η εξέταση στη γ-κάμερα. Αυτό, συμβαίνει διότι από την στιγμή που θα χορηγηθούν εκπέμπουν ακτινοβολία γ και ο γύρω κόσμος δεν πρέπει να εκτίθεται σε αυτήν. Βέβαια, κάθε εξέταση έχει κάποιο χρόνο αναμονής έως ότου ο ιστός προσλάβει ομοιόμορφα το ραδιοφάρμακο που του χορηγείται. Τέτοια παραδείγματα είναι το σπινθηρογράφημα οστών με χρόνο αναμονής ~2-3 ώρες, το σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου με χρόνο αναμονής ~15 λεπτά καθώς και άλλα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στο σπινθηρογράφημα νεφρών (δυναμικό) η χορήγηση του ασθενούς δεν τελείται σε δωμάτιο χορήγησης, αλλά κατευθύνει επάνω στη γ-κάμερα.

Το τελικό στάδιο είναι η τοποθέτηση του ασθενή στη γ-κάμερα σε κατάλληλη θέση, ανάλογα με την εξέταση και η έναρξη λήψης εικόνων. Για παράδειγμα, στο σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου η διάρκεια λήψης εικόνων (και συγκεκριμένα 32 προβολών σε τόξο 180 μοιρών) από τη γ-κάμερα είναι περίπου 30 λεπτά.



Εικόνα 5: Αίθουσα εξέτασης με γ-κάμερα



Εικόνα 6: Αίθουσα εξέτασης με γ-κάμερα



Εικόνα 7: Αίθουσα εξέτασης με γ-κάμερα

Όσον αφορά τον χώρο παρασκευής των ραδιοφαρμάκων (θερμο-εργαστήριο), απαιτεί αρκετό εξοπλισμό. Η παρασκευή των ραδιοφαρμάκων γίνεται από τους τεχνολόγους, οι οποίοι φορούν γάντια μιας χρήσεως για την κάλυψη των χεριών τους. Το ραδιονουκλίδιο συλλέγεται από την γεννήτρια Mo-99/Tc-99m (μολυβδαίνιου/τεχνητίου) με την διαδικασία της έκλουσης. Στη συνέχεια, συλλέγεται σε στείρο φυαλίδιο και αναμιγνύεται με την κατάλληλη χημική ουσία (ανάλογα με την εξέταση), ώστε να παρασκευαστεί το ραδιοφάρμακο. Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως σε μορφή σκόνης και διατηρούνται σε ψυγείο. Το ραδιοφάρμακο που παρασκευάζεται, τοποθετείται με την κατάλληλη δοσολογία σε σύριγγες, στις οποίες τοποθετείται καλύπτρα μολύβδου για λόγους ακτινοπροστασίας και φυλάσσονται σε κουτιά θωρακισμένα με μόλυβδο, έως ότου χρησιμοποιηθούν. Ύστερα από την ολοκλήρωση της παρασκευής των ραδιοφαρμάκων, τα ραδιενεργά απόβλητα τοποθετούνται σε ειδικούς θωρακισμένους κάδους και στη συνέχεια διακινούνται ως ραδιενεργά απορρίμματα.



Εικόνα 7: Γάντια μιας χρήσεως για προστασία των χεριών



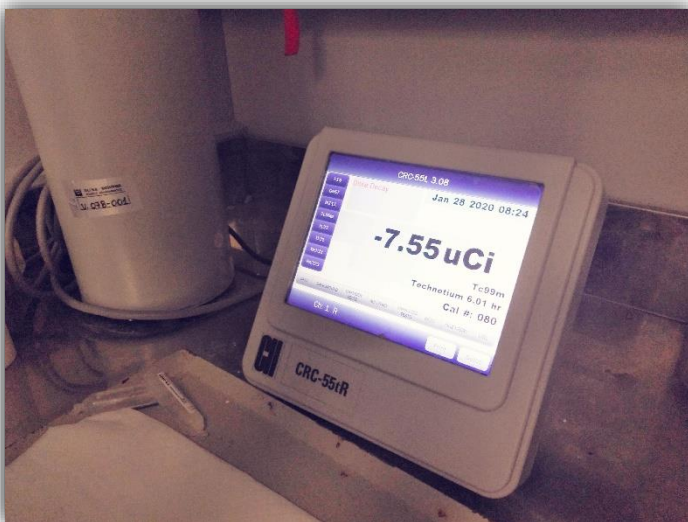
Εικόνα 8: Γεννήτρια Mo-99/Tc-99m



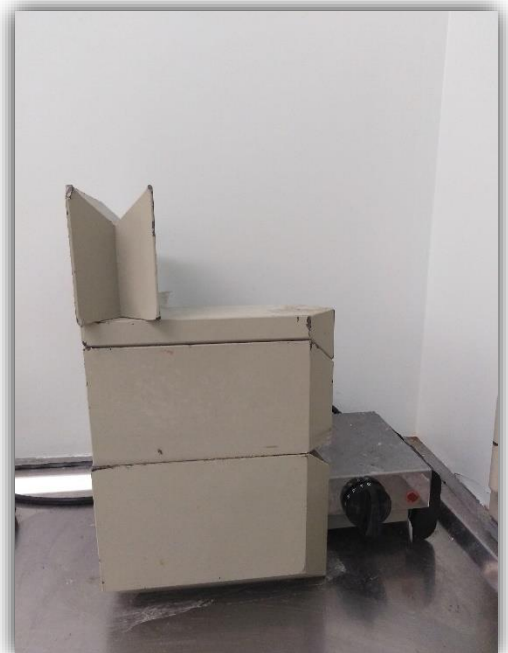
Εικόνα 9: Χώρος παρασκευής ραδιοφαρμάκων



Εικόνα 10: Εξοπλισμός για την τοποθέτηση σύριγγας και μέτρησης της ενεργότητας της



Εικόνα 11: Ψηφιακό μηχάνημα καταγραφής της ενεργότητας δείγματος ραδιοφαρμάκου



Εικόνα 12: Συσκευή για βρασμό που απαιτείται σε κάποια ραδιοφάρμακα για τη βέλτιστη επίσημανση



Εικόνα 13: Ψυγείο για φύλαξη των χημικών ουσιών



Εικόνα 14: Καλύπτρες μολύβδου για σύριγγες



Εικόνα 15: Θωρακισμένος κάδος για ραδιενεργά απόβλητα



Εικόνα 16: Σύριγγες διάφορων μεγεθών



Εικόνα 17: Σύριγγα με καλύπτρα μολύβδου

Τέλος, να αναφερθεί ότι όλοι οι χώροι του Εργαστηρίου Πυρηνικής Ιατρικής είναι θωρακισμένοι με μολύβδο στους τοίχους (μερικά χιλιοστά). Επίσης, στο χώρο που βρίσκονται οι τεχνολόγοι κατά τη διάρκεια της εξέτασης υπάρχουν ειδικά τζάμια προφύλαξης από την ακτινοβολία γ.



Εικόνα 18: Χώρος παραμονής τεχνολόγων με ειδικά τζάμια κατά τη διάρκεια της εξέτασης



Εικόνα 19: Αίθουσα χορήγησης



Εικόνα 20: Αίθουσα κόπωσης και χορήγησης ασθενών



Εικόνα 21: Θωρακισμένο τροχήλατο για την μεταφορά ραδιοφαρμάκων

Κατά την διάρκεια όλης της διαδικασίας που αναφέρθηκε προηγουμένως, οι γιατροί και οι τεχνολόγοι δίνουν τις απαραίτητες οδηγίες στους ασθενείς, ώστε να κατανοήσουν πλήρως την διαδικασία στην οποία θα υποβληθούν και να θέσουν τυχόν ερωτήσεις. Οι οδηγίες που παρέχονται είναι οι εξής:

- Για τη λήψη τροφής και υγρών πριν από την εξέταση. Οι οδηγίες διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του σπινθηρογραφήματος.
- Θα τοποθετηθεί ένας φλεβοκαθετήρας στο χέρι από τον οποίο θα χορηγηθεί το ραδιοφάρμακο.
- Για κάποια ώρα, υπάρχει αναμονή σε μία ειδική αίθουσα, μέχρι να κατανεμηθεί το ραδιοφάρμακο στον οργανισμό.
- Θα ζητηθεί να ξαπλώσουν ύπτια πάνω σε ένα ειδικό τραπέζι, στο οποίο βρίσκεται η ειδική κάμερα.
- Η διαδικασία δεν προκαλεί καθόλου πόνο.
- Θα πρέπει να παραμείνουν ακίνητοι για όση ώρα υποδείξει ο γιατρός.
- Μετά το τέλος της εξέτασης, μπορούν να ντυθούν και να αποχωρήσουν από το εργαστήριο, αφού πληροφορηθούν ότι πρέπει να περάσει κάποιο χρονικό διάστημα για να έρθουν σε επαφή με εγκύους και μικρά παιδιά.

2: Μέθοδος και Υλικά

Για την μελέτη και τον καθορισμό των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η ακολουθήθηκε μια συγκεκριμένη μέθοδος. Αρχικά, καταγράφηκε η ώρα παρασκευής του κάθε ραδιοφαρμάκου και μετρήθηκε η ενεργότητα του, τη δεδομένη στιγμή. Στη πορεία, καταγράφηκε η ώρα χορήγησης του ραδιοφαρμάκου στον ασθενή και σύμφωνα με τον Νόμο ραδιενεργών διασπάσεων υπολογίστηκε η δόση που υπήρχε στην σύριγγα τη στιγμή της χορήγησης, καθώς είναι λογικό ότι έχει περάσει κάποιο

χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο γεγονότων. Αμέσως μετά την χορήγηση του ραδιοφαρμάκου από τους γιατρούς, μετρήθηκε το υπόλειμμα του στη σύριγγα (ενεργότητα) σε ειδική συσκευή και υπολογίστηκε τελικώς η ενεργότητα που έλαβε ο ασθενής κατά την χορήγηση.

Η συσκευή στην οποία μετρήθηκε η ενεργότητα όλων των ραδιοφαρμάκων που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν ψηφιακή. Επομένως υπάρχει το σφάλμα του οργάνου (συσκευής), το οποίο λέγεται σφάλμα ένδειξης και είναι 0,0005 mCi. Για τις μετρήσεις υπάρχει στατιστικό σφάλμα, το οποίο έχει να κάνει με τη στατιστική του φαινομένου των ραδιενεργών διασπάσεων καθώς και με την τοποθέτηση της σύριγγας στη συσκευή. Υπολογίστηκε λοιπόν, ότι το παραπάνω σφάλμα είναι της τάξης του 0,1%. Επίσης, το σφάλμα ακρίβειας δείχνει την ακρίβεια με την οποία μετράει την ενεργότητα του ραδιοφαρμάκου η συσκευή, η οποία διαπιστώνεται χρησιμοποιώντας πρότυπες πηγές.

Όσον αφορά τα ραδιοφάρμακα, οι χημικές ουσίες και τα ραδιονουκλίδια που χρησιμοποιήθηκαν για να κατασκευαστούν, θα αναφερθούν λεπτομερώς στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Ραδιονουκλίδια και χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των ραδιοφαρμάκων

Σπινθηρογράφημα	Ραδιονουκλίδιο	Χημική ουσία	Εθνικά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (MBq)
Μυοκαρδίου	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	Tetrofosmin	620
Νεφρών (στατικό)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	DMSA	183
Νεφρών (δυναμικό)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	MAG ³	305
Οστών	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	MDP	735
Θυρεοειδούς	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	-	183
Παραθυρεοειδών	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	MIBI	900
Λεμφαδένων (μαστός)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	Nanocoll	-
Εγκεφάλου	$^{123}_{53}\text{I}$	DaTscan *	370

*Παρασκευάζεται στην Αθήνα και όχι στο Εργαστήριο Πυρηνικής Ιατρικής του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

Στον πίνακα επίσης, παρουσιάζονται τα εθνικά διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς. Εκείνα που αντιστοιχούν στις τιμές που έχουν θεσπιστεί για την Ελλάδα είναι για το σπινθηρογράφημα οστών, θυρεοειδούς και νεφρών (στατικό). Όσον αφορά το σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου, νεφρών (δυναμικό), εγκεφάλου και παραθυρεοειδών, οι τιμές για τα εθνικά ΔΕΑ ελήφθησαν από άλλη πηγή (Australian Government, Nuclear Medicine Diagnostic Reference Levels και https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/datscan-epar-product-information_el.pdf), καθώς δεν έχουν θεσπιστεί ΔΕΑ στην Ελλάδα που αντιστοιχούν στις παραπάνω χημικές ουσίες. Τέλος, να σημειωθεί ότι, για την λεμφαγγειογραφία μαστού (λεμφαδένες) δεν ήταν δυνατή η εύρεση εθνικού διαγνωστικού επιπέδου αναφοράς.

3: Μετρήσεις και Αποτελέσματα

➤ Σπινθηρογράφημα οστών

Σκοπός της εξέτασης αυτής, είναι η ακριβέστερη διάγνωση της πάθησής του ασθενούς και βοηθά στο καλύτερο προγραμματισμό της θεραπείας. Η συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου στα οστά χρειάζεται περίπου 2 ώρες. Για αυτό, η εξέταση διενεργείται περίπου 2-3 ώρες μετά τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου στη φλέβα. Πραγματοποιείται ολοσωματικός έλεγχος ή λαμβάνονται τοπικές λήψεις συγκεκριμένης περιοχής του σκελετού. Η διάρκεια της εξέτασης κυμαίνεται μεταξύ 30-45 λεπτών. Μετά την

χορήγηση του ραδιοφαρμάκου είναι απαραίτητη η λήψη αρκετής ποσότητας υγρών ,1-2 λίτρα, με άδειασμα της κύστης, όταν είναι απαραίτητο.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι μετρήσεις που ελήφθησαν για την εξέταση σπινθηρογράφημα οστών.

Πίνακας 2: Μετρήσεις για σπινθηρογράφημα οστών

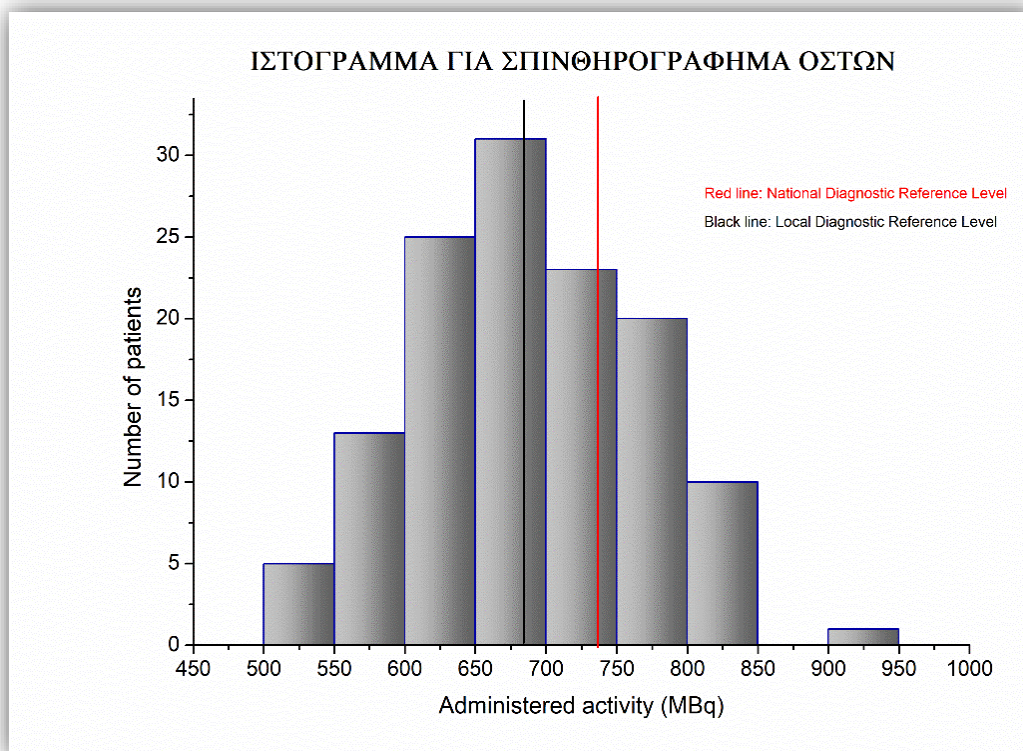
Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Πόσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Οστά 17/7/2019	1	8:17 πμ	22,6	8:31 πμ	840	1,32	21,999	20,679	8:31 πμ
	2	8:17 πμ	23,5	8:37 πμ	1200	0,6	22,613	22,013	8:37 πμ
	3	8:18 πμ	24,4	8:44 πμ	1560	1,23	23,209	21,979	8:44 πμ
	4	8:19 πμ	25,8	8:29 πμ	600	0,54	25,308	24,768	8:29 πμ
	5	8:19 πμ	25,2	8:47 πμ	1680	0,93	23,878	22,948	8:47 πμ
	6	8:20 πμ	23,4	9:01 πμ	2460	0,97	21,624	20,654	9:01 πμ
18/7/2019	7	7:49 πμ	19,0	9:06 πμ	4620	1,45	16,383	14,933	9:06 πμ
	8	7:50 πμ	20,0	9:15 πμ	5100	1,23	16,981	15,751	9:15 πμ
	9	7:50 πμ	21,6	8:46 πμ	3360	0,79	19,393	18,603	8:46 πμ
	10	7:51 πμ	20,5	9:39 πμ	6480	1,00	16,652	15,652	9:39 πμ
	11	7:52 πμ	19,6	9:47 πμ	6900	1,28	15,708	14,428	9:47 πμ
	12	7:53 πμ	18,6	9:12 πμ	4740	1,12	15,976	14,856	9:12 πμ
24/7/2019	13	7:41 πμ	22,0	9:13 πμ	5520	1,48	18,430	16,950	9:19 πμ
	14	7:42 πμ	21,2	9:18 πμ	5760	1,1	17,623	16,523	9:19 πμ
	15	7:43 πμ	20,9	8:47 πμ	3840	0,88	18,478	17,598	9:19 πμ
	16	7:44 πμ	21,5	9:30 πμ	6360	1,27	17,532	16,262	9:31 πμ
	17	7:45 πμ	22,2	9:11 πμ	5160	0,71	18,813	18,103	9:19 πμ
	18	7:47 πμ	20,0	9:07 πμ	4800	0,86	17,146	16,286	9:19 πμ
25/7/2019	19	8:05 πμ	21,8	8:46 πμ	2460	2,1	20,146	18,046	8:51 πμ
	20	8:06 πμ	22,0	9:13 πμ	4020	1,08	19,338	18,258	9:15 πμ
	21	8:04 πμ	24,7	9:16 πμ	4320	1,4	21,504	20,104	9:22 πμ
	22	8:04 πμ	24,4	9:08 πμ	3840	1,19	21,572	20,382	9:15 πμ
	23	8:03 πμ	20,1	8:48 πμ	2700	2,06	18,432	16,372	8:51 πμ
	24	8:11 πμ	22,2	8:42 πμ	1860	1,4	20,914	19,514	8:48 πμ
31/7/2019	25	8:12 πμ	22,4	8:46 πμ	2040	1,6	20,981	19,381	8:49 πμ
	26	8:10 πμ	20,6	9:17 πμ	4020	0,93	18,108	17,178	9:19 πμ
	27	8:09 πμ	20,7	8:54 πμ	2700	1,13	18,983	17,853	8:57 πμ
	28	8:13 πμ	20,0	8:43 πμ	1800	1,58	18,878	17,298	8:48 πμ
	29	8:11 πμ	19,2	9:43 πμ	5520	1,65	16,084	14,434	9:45 πμ
	30	8:03 πμ	23,5	9:12 πμ	4140	1,145	20,577	19,432	9:24 πμ
6/8/2019	31	8:00 πμ	23,1	8:47 πμ	2820	1,921	21,102	19,181	9:00 πμ
	32	7:59 πμ	24,9	9:20 πμ	4860	0,859	21,305	20,446	9:24 πμ
	33	8:02 πμ	20,8	9:09 πμ	4020	1,5	18,283	16,783	9:23 πμ
	34	7:59 πμ	20,7	8:50 πμ	3060	0,834	18,765	17,931	9:01 πμ
	35	7:58 πμ	24,5	9:15 πμ	4620	4,25	21,125	16,875	9:24 πμ
	36	7:58 πμ	21,2	8:39 πμ	2460	1,217	19,591	18,374	9:00 πμ
7/8/2019	37	8:01 πμ	23,6	9:16 πμ	4500	0,717	20,428	19,711	9:25 πμ
	38	8:03 πμ	18,8	9:01 πμ	3480	1,23	16,814	15,584	9:23 πμ
	39	7:55 πμ	20,1	8:38 πμ	2580	1,807	18,503	16,696	8:56 πμ
	40	7:57 πμ	20,1	8:34 πμ	2220	1,159	18,718	17,559	8:56 πμ
	41	7:57 πμ	20,3	8:43 πμ	2760	0,638	18,580	17,942	8:57 πμ
	42	7:56 πμ	20,4	8:52 πμ	3360	1,204	18,315	17,111	8:57 πμ
18/9/2019	43	7:56 πμ	20,1	9:40 πμ	6240	1,6	16,454	14,854	9:41 πμ
	44	7:55 πμ	21,1	8:54 πμ	3540	2,09	18,835	16,745	8:58 πμ
	45	7:52 πμ	23,9	8:46 πμ	3240	2,07	21,541	19,471	8:55 πμ
	46	7:54 πμ	22,9	8:44 πμ	3000	2,41	20,799	18,389	8:54 πμ
	47	7:53 πμ	23,1	8:49 πμ	3360	2,96	20,740	17,780	8:55 πμ
	48	7:54 πμ	24,0	8:53 πμ	3540	2,46	21,424	18,964	8:55 πμ

25/9/2019	49	8:15 πμ	18,5	8:40 πμ	1500	0,936	17,631	16,695	8:47 πμ
	50	8:13 πμ	17,6	8:30 πμ	1020	1,243	17,033	15,790	8:39 πμ
	51	8:14 πμ	17,6	8:46 πμ	1920	0,839	16,549	15,710	8:47 πμ
26/9/2019	52	7:57 πμ	20,7	8:31 πμ	2040	0,924	19,389	18,465	8:32 πμ
	53	7:59 πμ	24,1	8:38 πμ	2340	1,32	22,357	21,037	8:45 πμ
	54	7:59 πμ	21,0	9:05 πμ	3960	0,693	18,495	17,802	9:06 πμ
	55	7:56 πμ	23,3	9:18 πμ	4920	1,032	19,898	18,866	9:20 πμ
	56	7:56 πμ	22,5	8:42 πμ	2760	1,84	20,593	18,753	8:45 πμ
2/10/2019	57	7:59 πμ	20,3	8:30 πμ	1860	0,843	19,124	18,281	8:32 πμ
	58	7:59 πμ	20,7	8:28 πμ	1740	0,733	19,576	18,843	8:32 πμ
	59	7:58 πμ	16,6	8:22 πμ	1440	0,957	15,851	14,894	8:24 πμ
3/10/2019	60	7:52 πμ	22,0	8:48 πμ	3360	1,629	19,752	18,123	8:49 πμ
	61	7:54 πμ	22,8	8:33 πμ	2340	1,536	21,151	19,615	8:36 πμ
9/10/2019	62	8:16 πμ	20,9	8:45 πμ	1740	1,19	19,765	18,575	8:46 πμ
	63	8:19 πμ	19,6	8:37 πμ	1080	1,1	18,933	17,833	8:43 πμ
	64	8:17 πμ	21,5	8:40 πμ	1380	1,286	20,569	19,283	8:43 πμ
10/10/2019	65	8:04 πμ	23,5	9:12 πμ	4080	1,155	20,617	19,462	9:13 πμ
	66	8:02 πμ	19,4	8:58 πμ	3360	1,212	17,418	16,206	8:59 πμ
	67	8:04 πμ	19,8	9:17 πμ	4380	1,1	17,205	16,105	9:18 πμ
	68	8:02 πμ	20,6	9:19 πμ	4620	0,763	17,762	16,999	9:20 πμ
	69	8:02 πμ	21,2	9:03 πμ	3660	1,048	18,851	17,803	9:04 πμ
	70	8:02 πμ	21,2	8:47 πμ	2700	0,7	19,441	18,741	8:59 πμ
16/10/2019	71	7:43 πμ	24,7	8:51 πμ	4080	0,591	21,670	21,079	8:53 πμ
	72	7:43 πμ	22,7	8:46 πμ	3780	0,733	20,108	19,375	8:52 πμ
17/10/2019	73	7:44 πμ	23,8	9:45 πμ	7260	0,84	18,855	18,015	9:46 πμ
	74	7:43 πμ	21,3	11:05 πμ	12120	0,73	14,438	13,708	11:06 πμ
	75	7:41 πμ	21,3	9:10 πμ	5340	0,87	17,947	17,077	9:11 πμ
	76	7:45 πμ	24,2	8:25 πμ	2400	0,632	22,407	21,775	8:33 πμ
	77	7:42 πμ	23,4	8:28 πμ	2760	1,114	21,417	20,303	8:35 πμ
	78	7:42 πμ	20,6	8:31 πμ	2940	0,732	18,746	18,014	8:34 πμ
23/10/2019	79	7:44 πμ	25,3	9:21 πμ	5820	1,07	20,991	19,921	9:23 πμ
	80	7:45 πμ	25,9	8:33 πμ	2880	1,555	23,614	22,059	8:46 πμ
	81	7:44 πμ	24,7	8:44 πμ	3600	1,208	22,006	20,798	8:46 πμ
	82	7:45 πμ	25,4	8:38 πμ	3180	1,52	22,937	21,417	8:47 πμ
	83	9:31 πμ	21,0	9:33 πμ	120	0,542	20,919	20,377	9:34 πμ
24/10/2019	84	8:29 πμ	24,0	9:05 πμ	2160	0,65	22,393	21,743	9:06 πμ
	85	8:31 πμ	22,4	9:20 πμ	2940	1,66	20,384	18,724	9:21 πμ
	86	8:32 πμ	21,4	9:55 πμ	4980	0,85	18,240	17,390	9:56 πμ
	87	8:30 πμ	24,0	9:15 πμ	2700	0,85	22,009	21,159	9:16 πμ
	88	8:31 πμ	22,7	9:30 πμ	3540	1,15	20,263	19,113	9:31 πμ
30/10/2019	89	8:19 πμ	26,6	8:45 πμ	1560	2,42	25,302	22,882	8:46 πμ
	90	8:21 πμ	23,4	8:51 πμ	1800	3,2	22,087	18,887	8:52 πμ
	91	8:22 πμ	25,4	9:05 πμ	2580	2,38	23,382	21,002	9:06 πμ
	92	8:20 πμ	23,5	8:37 πμ	1020	2,19	22,743	20,553	8:40 πμ
	93	8:20 πμ	23,7	8:55 πμ	2100	1,79	22,156	20,366	8:56 πμ
	94	8:21 πμ	23,2	8:59 πμ	2280	1,97	21,564	19,594	9:01 πμ
31/10/2019	95	7:52 πμ	19,8	8:35 πμ	2580	0,82	18,227	17,407	8:36 πμ
	96	7:54 πμ	20,1	8:59 πμ	3900	1,43	17,736	16,306	9:01 πμ
	97	7:52 πμ	20,0	8:52 πμ	3600	1,07	17,819	16,749	8:53 πμ
	98	7:53 πμ	19,0	8:56 πμ	3780	0,525	16,830	16,305	8:57 πμ
	99	7:53 πμ	19,7	9:02 πμ	4140	1,173	17,250	16,077	9:04 πμ
6/11/2019	100	7:55 πμ	23,5	9:01 πμ	3960	0,37	20,696	20,326	9:02 πμ
	101	7:54 πμ	25,4	9:26 πμ	5520	2,01	21,278	19,268	9:27 πμ
	102	7:54 πμ	22,8	8:55 πμ	3660	2,25	20,274	18,024	8:56 πμ
	103	7:54 πμ	23,9	8:58 πμ	3840	1,096	21,130	20,034	8:58 πμ
	104	7:56 πμ	25,1	9:06 πμ	4200	2,43	21,936	19,506	9:07 πμ

13/11/2019	105	7:45 πμ	22,8	8:37 πμ	3120	2,06	20,628	18,568	8:45 πμ
	106	7:46 πμ	23,1	8:52 πμ	3960	1,96	20,344	18,384	8:54 πμ
	107	7:49 πμ	22,4	9:20 πμ	5460	2,19	18,801	16,611	9:21 πμ
	108	7:47 πμ	18,7	9:12 πμ	5100	0,924	15,878	14,954	9:14 πμ
	109	7:45 πμ	20,4	8:44 πμ	3540	2,23	18,210	15,980	8:45 πμ
	110	7:46 πμ	22,6	8:50 πμ	3840	0,842	19,981	19,139	8:54 πμ
20/11/2019	111	7:54 πμ	22,6	8:47 πμ	3180	2,08	20,408	18,328	8:49 πμ
	112	7:54 πμ	23,5	8:38 πμ	2640	1,62	21,592	19,972	8:39 πμ
	113	7:56 πμ	24,6	8:52 πμ	3360	1,13	22,086	20,956	8:53 πμ
	114	7:57 πμ	20,8	9:07 πμ	4200	1,22	18,178	16,958	9:09 πμ
	115	7:54 πμ	22,4	8:42 πμ	2880	0,995	20,423	19,428	8:44 πμ
	116	7:57 πμ	23,5	8:58 πμ	3660	1,26	20,897	19,637	8:59 πμ
27/11/2019	117	7:48 πμ	23,2	8:41 πμ	3180	0,794	20,950	20,156	8:43 πμ
	118	7:49 πμ	20,3	8:53 πμ	3840	1,79	17,947	16,157	8:54 πμ
	119	7:47 πμ	25,6	8:48 πμ	3660	1,04	22,764	21,724	8:49 πμ
4/12/2019	120	7:53 πμ	26,7	9:08 πμ	4500	1,889	23,111	21,222	9:09 πμ
	121	7:54 πμ	25,6	8:24 πμ	1800	2,62	24,164	21,544	8:25 πμ
	122	7:54 πμ	22,9	8:58 πμ	3840	1,67	20,246	18,576	9:00 πμ
	123	7:53 πμ	20,2	8:39 πμ	2760	1,07	18,488	17,418	8:40 πμ
	124	8:32 πμ	24,3	8:49 πμ	1020	1,67	23,518	21,848	8:51 πμ
11/12/2019	125	7:42 πμ	26,2	8:28 πμ	2760	3,15	23,980	20,830	8:29 πμ
	126	7:43 πμ	26,2	8:50 πμ	4020	6,75	23,030	16,280	8:51 πμ
	127	7:42 πμ	27,1	8:32 πμ	3000	2,82	24,613	21,793	8:33 πμ
	128	7:43 πμ	27,5	9:10 πμ	5220	2,12	23,260	21,140	9:10 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 18,517 mCi και με την μετατροπή $1\text{mCi}=37\text{ MBq}$ αντιστοιχεί σε 685 MBq. Η εθνική τιμή Διαγνωστικού Επιπέδου Αναφοράς σύμφωνα με την εφημερίδα της κυβερνήσεως είναι 735 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεί τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 22: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για σπινθηρογραφικές εξετάσεις οστών του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

Σύμφωνα με το παραπάνω ιστόγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το τοπικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. που αντιστοιχεί στη διάμεση τιμή της κατανομής, είναι κάτω από το εθνικό της Ελλάδας, το οποίο έχει δημοσιευτεί στην εφημερίδα της κυβέρνησης και συγκεκριμένα το 72% των εξετάσεων είναι εντός της τιμής των 735 MBq. Επομένως, δεν σημειώνεται υπέρβαση οπότε δεν απαιτείται βελτιστοποίηση.

➤ Σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς

Σκοπός της εξέτασης, είναι η απεικόνιση του θυρεοειδή αδένος και ο έλεγχος του όζου θυρεοειδικού αδένος, του υπερθυρεοειδισμού, του αδενώματος, του ιογενούς θυρεοειδίτιδος και του νεογνικού υποθυρεοειδισμού. Το ραδιοφάρμακο χορηγείται ενδοφλέβια στον ασθενή και μετά την πάροδο 10-20 λεπτών συγκεντρώνεται στο θυρεοειδή αδένος, οπότε ο ασθενής τοποθετείται στην γ-camera και ακολουθεί η απεικόνιση του αδένος. Η εξέταση διαρκεί περίπου 30-45 λεπτά. Σε περίπτωση που ο ασθενής παίρνει θυροξίνη, πρέπει να διακόπτεται 3 εβδομάδες πριν την εξέταση.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σχετικές μετρήσεις.

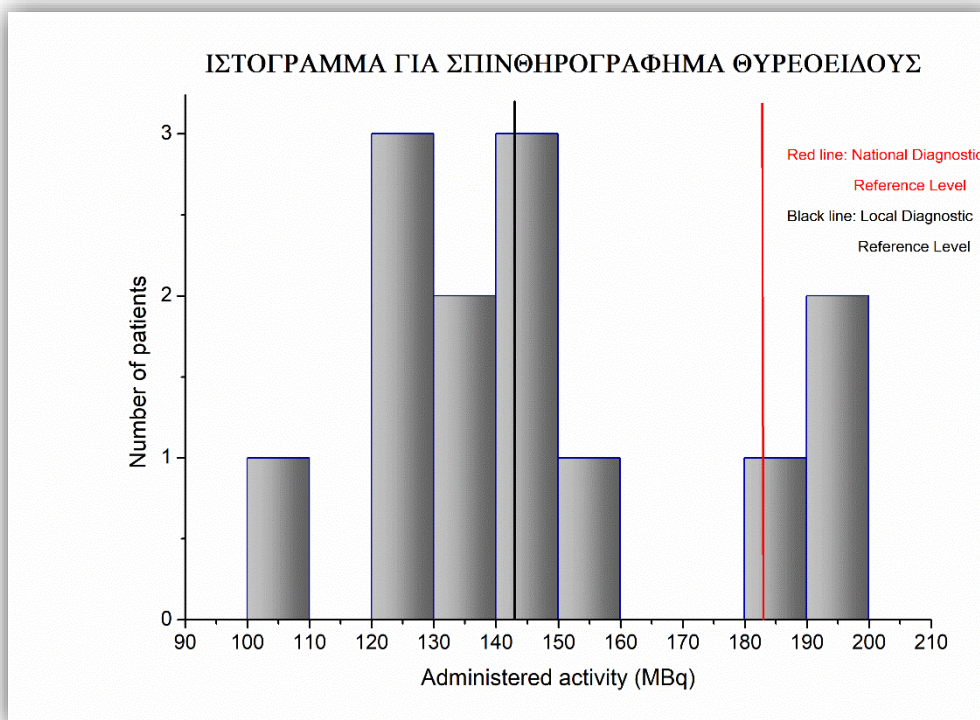
Πίνακας 3: Μετρήσεις για σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς

Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Ποσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Θυρεοειδής	1	8:02 πμ	4,5	9:45 πμ	6180	0,015	3,691	3,676	9:45 πμ
2/8/2019	2	8:03 πμ	4,6	9:49 πμ	6360	0,25	3,751	3,501	9:50 πμ
	3	8:07 πμ	4,45	10:04 πμ	7020	0,22	3,553	3,333	10:05 πμ
	4	8:04 πμ	4,9	9:53 πμ	6540	0,215	3,973	3,758	9:54 πμ
	5	8:05 πμ	4,46	9:56 πμ	6660	0,184	3,602	3,418	9:57 πμ
5/8/2019	6	8:25 πμ	5,25	10:31 πμ	7560	0,26	4,119	3,859	10:35 πμ
	7	8:26 πμ	5,44	10:33 πμ	7620	0,32	4,260	3,940	10:35 πμ
23/9/2019	8	7:35 πμ	4,0	9:27 πμ	6720	0,317	3,224	2,907	9:28 πμ

17/10/2019	9	7:47 πμ	5,05	9:00 πμ	4380	0,27	4,388	4,118	9:01 πμ
	10	7:46 πμ	5,02	9:35 πμ	6540	0,18	4,070	3,890	9:36 πμ
31/10/2019	11	9:03 πμ	5,66	9:20 πμ	1020	0,6	5,478	4,878	9:21 πμ
6/12/2019	12	8:49 πμ	6,07	9:18 πμ	1740	0,424	5,740	5,316	9:19 πμ
4/2/2020	13	7:39 πμ	6,68	8:48 πμ	4140	0,47	5,849	5,379	8:49 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 3,859 mCi και με την μετατροπή 1mCi=37 MBq αντιστοιχεί σε 143 MBq. Η εθνική τιμή Διαγνωστικού Επιπέδου Αναφοράς σύμφωνα με την εφημερίδα της κυβέρνησης είναι 183 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 23: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για σπινθηρογραφικές εξετάσεις θυρεοειδούς του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

Σύμφωνα με το παραπάνω ιστόγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το τοπικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. που αντιστοιχεί στη διάμεση τιμή της κατανομής, είναι κάτω από το εθνικό της Ελλάδας, το οποίο έχει δημοσιευτεί στην εφημερίδα της κυβερνήσεως και συγκεκριμένα το 85% των εξετάσεων είναι εντός της τιμής των 183 MBq. Επομένως, δεν σημειώνεται υπέρβαση οπότε δεν απαιτείται βελτιστοποίηση.

➤ Σπινθηρογράφημα νεφρών

Το σπινθηρογράφημα των νεφρών διακρίνεται σε στατικό (DMSA) και δυναμικό σπινθηρογράφημα (DTPA, EC, MAG³) ανάλογα με την υπό εξέταση νεφρική λειτουργία. Το στατικό σπινθηρογράφημα νεφρών πραγματοποιείται για τη διάγνωση οξείας ή και χρόνιας πυελονεφρίτιδας, τον εντοπισμό παρεγχυματικών βλαβών (ουλές), τον υπολογισμό της επί τοις εκατό συμμετοχής του κάθε νεφρού στην ολική νεφρική λειτουργία κ.λ.π.. Μετά τη χορήγηση του, το ραδιοφάρμακο διέρχεται από τα νεφρά, μέσω του κυκλοφοριακού συστήματος. Στο στατικό σπινθηρογράφημα των νεφρών, η εξέταση πραγματοποιείται 3 ώρες μετά τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου. Στο δυναμικό σπινθηρογράφημα νεφρών η χορήγηση του ραδιοφαρμάκου γίνεται με τον ασθενή σε ύπτια θέση στο κρεβάτι της γ-camera. Η λήψη εικόνων ξεκινά αμέσως κατά τη χορήγηση. Κατά το διάστημα των 3 ωρών αναμονής, οι ασθενείς μπορούν να φάνε ότι θέλουν.

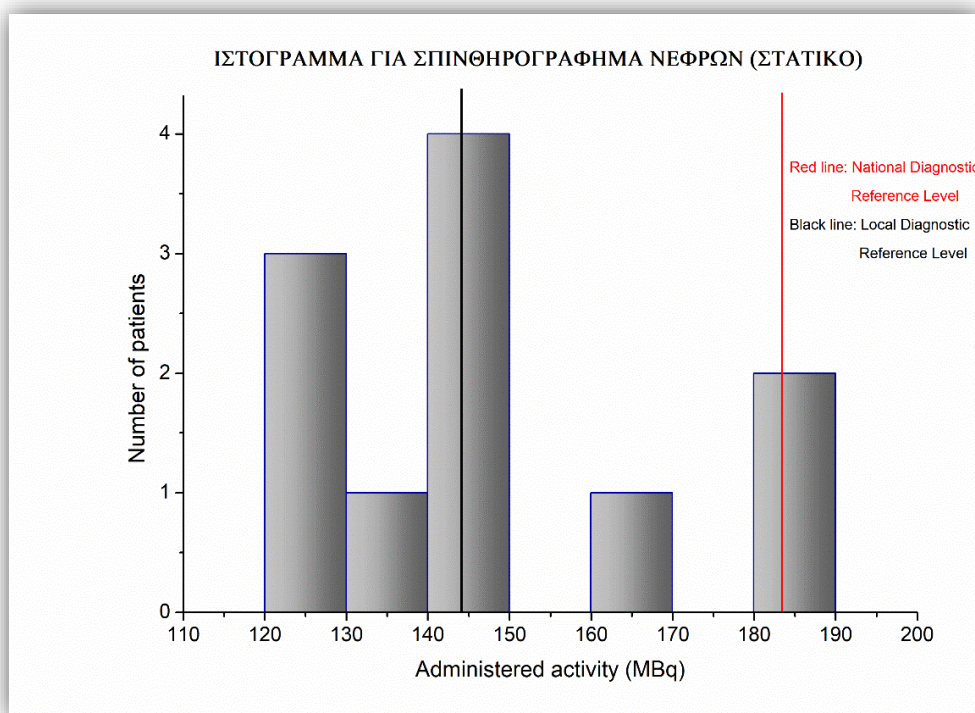
Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι μετρήσεις, τόσο για το στατικό όσο και για το δυναμικό σπινθηρογράφημα οστών. Επιπλέον, ελήφθησαν κάποιες μετρήσεις για παιδιατρικούς ασθενείς. Λόγω του περιορισμένου αριθμού αυτών, οι μετρήσεις δεν ήταν αρκετά ικανοποιητικές (όσον αφορά τον αριθμό τους). Βέβαια, και για τις εξετάσεις ενηλίκων υπάρχει μη επαρκής αριθμός λόγω της συχνότητας που πραγματοποιείται η εξέταση.

Πίνακας 4: Μετρήσεις για στατικό σπινθηρογράφημα νεφρών ενηλίκων

Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Ποσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Νεφρά (DMSA,στατικό)	1	8:08 πμ	5,72	9:13 πμ	3900	0,67	5,047	4,377	9:13 πμ
16/7/2019	2	8:09 πμ	6,73	9:17 πμ	4080	0,86	5,904	5,044	9:17 πμ
	3	8:09 πμ	5,7	9:20 πμ	4260	0,93	4,972	4,042	9:20 πμ
25/7/2019	4	8:07 πμ	5,16	9:20 πμ	4380	1,07	4,484	3,414	9:22 πμ
24/9/2019	5	8:48 πμ	5,14	9:29 πμ	2460	0,81	4,750	3,940	9:30 πμ
1/10/2019	6	8:27 πμ	4,2	8:52 πμ	1500	0,565	4,003	3,438	8:54 πμ
8/10/2019	7	7:43 πμ	5,0	9:27 πμ	6240	0,756	4,093	3,337	9:28 πμ
15/10/2019	8	7:44 πμ	4,62	8:33 πμ	2940	0,654	4,204	3,550	8:35 πμ
22/10/2019	9	8:03 πμ	5,66	8:54 πμ	3060	1,239	5,131	3,892	8:56 πμ
	10	8:03 πμ	5,34	9:10 πμ	4020	0,871	4,694	3,823	9:11 πμ
26/11/2019	11	9:12 πμ	5,41	9:19 πμ	420	0,39	5,338	4,948	9:20 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 3,892 mCi και με την μετατροπή $1\text{mCi}=37\text{ MBq}$ αντιστοιχεί σε 144 MBq. Η εθνική τιμή Διαγνωστικού Επίπεδου Αναφοράς σύμφωνα με την εφημερίδα της κυβερνήσεως είναι 183 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 24: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για σπινθηρογραφικές εξετάσεις νεφρών (στατικό) του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

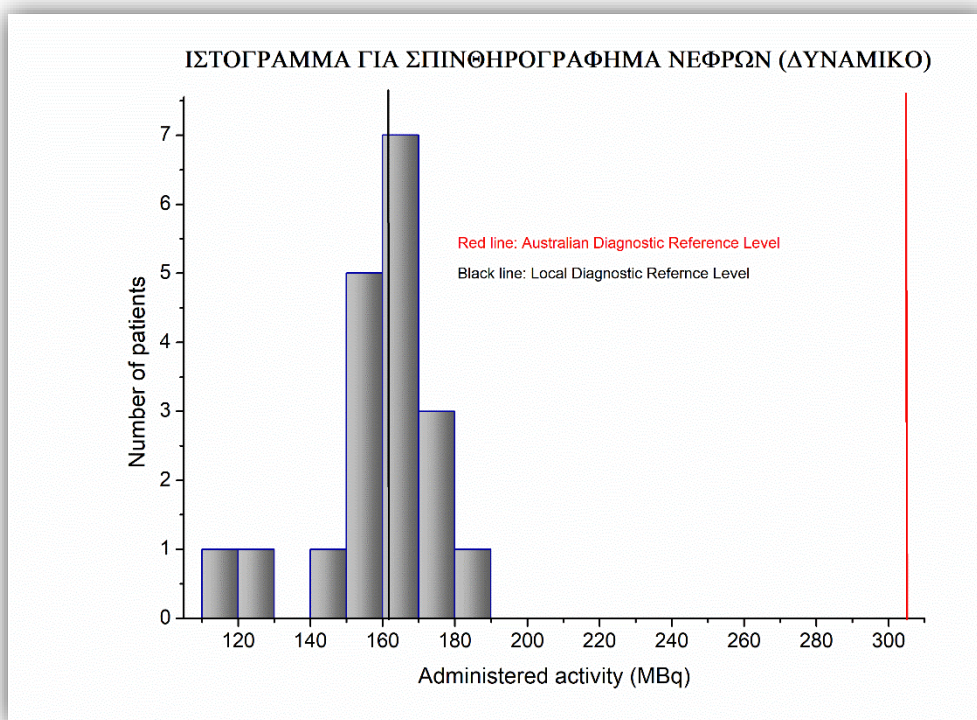
Σύμφωνα με το παραπάνω ιστόγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το τοπικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. που αντιστοιχεί στη διάμεση τιμή της κατανομής, είναι κάτω από το εθνικό, το οποίο έχει δημοσιευτεί στην εφημερίδα της κυβερνήσεως και συγκεκριμένα το 90% των εξετάσεων βρίσκονται εντός της τιμής των 183 MBq. Επομένως, δεν σημειώνεται υπέρβαση οπότε δεν απαιτείται βελτιστοποίηση. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι, ο αριθμός των περιστατικών που καταγράφηκαν για την συγκεκριμένη εξέταση δεν είναι ικανοποιητικός και γι' αυτό το λόγο το αποτέλεσμα που βρέθηκε να μην είναι ακριβές.

Πίνακας 5: Μετρήσεις για δυναμικό σπινθηρογράφημα νεφρών ενηλίκων

Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Ποσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Νεφρά (MAG-3, Δυναμικό)	1	8:22 πμ	4,28	8:44 πμ	1320	0,255	4,103	3,848	8:47 πμ
23/7/2019	2	8:31 πμ	5,69	9:46 πμ	4500	0,59	4,925	4,335	9:47 πμ
30/7/2019	3	8:33 πμ	5,91	10:24 πμ	6660	0,57	4,773	4,203	10:25 πμ
	4	8:31 πμ	5,25	9:08 πμ	2220	0,44	4,889	4,449	9:16 πμ
	5	9:09 πμ	5,57	9:51 πμ	2520	0,491	5,137	4,646	9:53 πμ
24/9/2019	6	8:32 πμ	5,5	8:42 πμ	600	0,382	5,395	5,013	8:43 πμ
1/10/2019	7	8:16 πμ	5,42	8:59 πμ	2580	0,195	4,989	4,794	9:00 πμ
23/10/2019	8	8:17 πμ	5,3	9:59 πμ	6120	0,167	4,355	4,188	10:00 πμ
	9	8:26 πμ	4,97	8:50 πμ	1440	0,237	4,746	4,509	8:51 πμ
6/11/2019	10	8:27 πμ	5,48	9:36 πμ	4140	0,245	4,798	4,553	9:37 πμ
	11	8:14 πμ	5,55	9:16 πμ	3720	0,739	4,926	4,187	9:17 πμ
20/11/2019	12	8:16 πμ	5,44	8:35 πμ	1140	0,76	5,245	4,485	8:40 πμ
	13	8:03 πμ	4,01	9:38 πμ	5700	0,25	3,340	3,090	9:38 πμ
27/11/2019	14	8:04 πμ	4,13	9:00 πμ	3360	0,376	3,708	3,332	9:01 πμ
4/12/2019	15	7:57 πμ	5,37	9:08 πμ	4260	0,106	4,684	4,578	9:10 πμ
	16	7:58 πμ	5,07	9:04 πμ	3960	0,076	4,465	4,389	9:10 πμ
11/12/2019	17	7:59 πμ	5,15	9:07 πμ	4080	0,33	4,518	4,188	9:07 πμ
4/2/2020	18	8:10 πμ	4,84	9:02 πμ	3120	0,246	4,379	4,133	9:03 πμ
	19	8:11 πμ	5,03	8:33 πμ	1320	0,211	4,821	4,610	8:34 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 4.389 mCi και με την μετατροπή 1mCi=37 MBq αντιστοιχεί σε 162 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 25: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για σπινθηρογραφικές εξετάσεις νεφρών (δυναμικό) του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

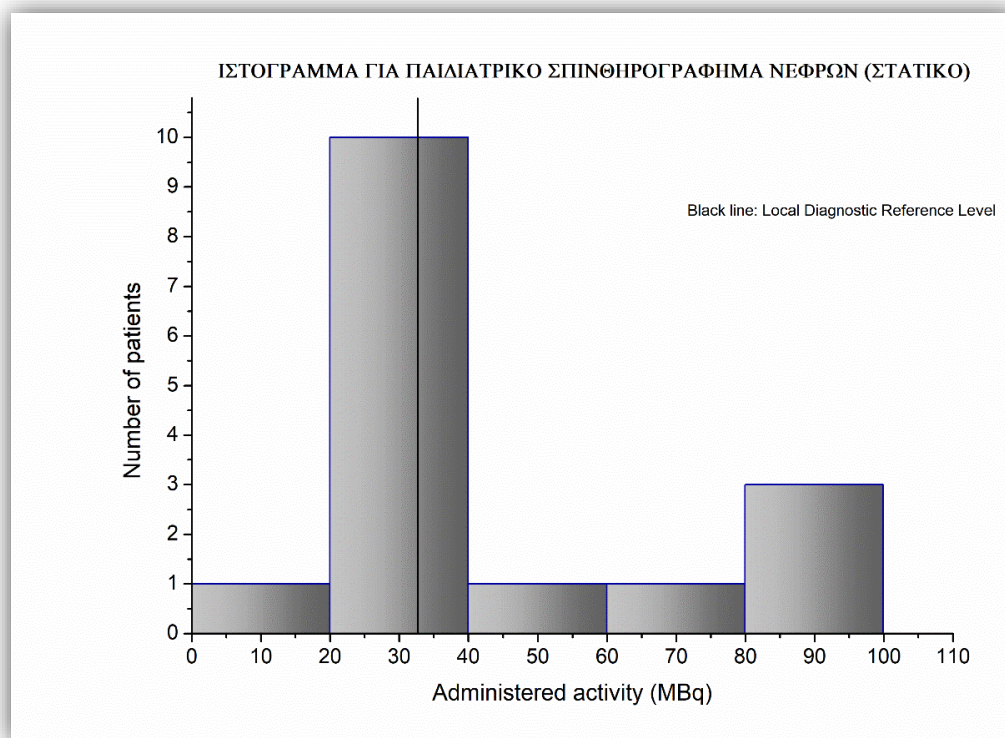
Σύμφωνα με το παραπάνω ιστόγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το τοπικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. που αντιστοιχεί στη διάμεση τιμή της κατανομής, είναι κάτω από το εθνικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς της Αυστραλίας, το οποίο βρέθηκε από την πηγή (Australian Government, Nuclear Medicine Diagnostic Reference Levels) καθώς δεν έχει θεσπιστεί εθνικό Διαγνωστικό Επίπεδο Αναφοράς για την συγκεκριμένη εξέταση με τη χημική ουσία MAG-3. Το 100% των εξετάσεων βρίσκονται εντός της τιμής των 305 MBq. Βέβαια, να σημειωθεί ότι και πάλι ο αριθμός των περιστατικών είναι αρκετά περιορισμένος και το αποτέλεσμα δεν μπορεί να είναι ακριβές.

Πίνακας 6: Μετρήσεις για στατικό παιδιατρικό σπινθηρογράφημα νεφρών

Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Ποσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Νεφρά (DMSA,στατικό) 16/7/2019	1	8:54 πμ	1,9	9:10 πμ	960	0,59	1,842	1,252	9:10 πμ
30/7/2019	2	8:28 πμ	1,3	8:49 πμ	1260	0,346	1,249	0,903	8:53 πμ
	3	8:30 πμ	1,32	8:45 πμ	900	0,277	1,282	1,005	8:53 πμ
5/8/2019	4	8:43 πμ	2,72	8:44 πμ	60	0,484	2,715	2,231	8:46 πμ
17/9/2019	5	7:53 πμ	1,15	10:27 πμ	9240	0,276	0,855	0,579	10:27 πμ
	6	7:53 πμ	1,078	9:06 πμ	4380	0,209	0,937	0,728	9:07 πμ
	7	7:52 πμ	1,232	8:41 πμ	2940	0,29	1,121	0,831	8:42 πμ
	8	7:51 πμ	1,048	8:34 πμ	2580	0,299	0,965	0,666	8:37 πμ
8/10/2019	9	7:45 πμ	1,0	8:40 πμ	3300	0,825	0,900	0,075	8:43 πμ
	10	7:44 πμ	2,5	8:49 πμ	3900	0,33	2,206	1,876	8:52 πμ
15/10/2019	11	7:43 πμ	1,67	9:06 πμ	4980	0,588	1,423	0,835	9:07 πμ
	12	8:49 πμ	2,94	8:53 πμ	240	0,396	2,917	2,521	8:54 πμ
22/10/2019	13	9:13 πμ	1,2	9:16 πμ	180	0,541	1,193	0,652	9:17 πμ
5/11/2019	14	9:09 πμ	1,25	9:14 πμ	300	0,269	1,238	0,969	9:15 πμ
12/11/2019	15	8:11 πμ	2,92	9:14 πμ	3780	0,35	2,587	2,237	9:16 πμ
	16	8:13 πμ	1,42	9:38 πμ	5100	0,347	1,206	0,859	9:39 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 0,881 mCi και με την μετατροπή $1\text{mCi}=37\text{ MBq}$ αντιστοιχεί σε 33 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 26: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για παιδιατρικές σπινθηρογραφικές εξετάσεις νεφρών (στατικό) του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

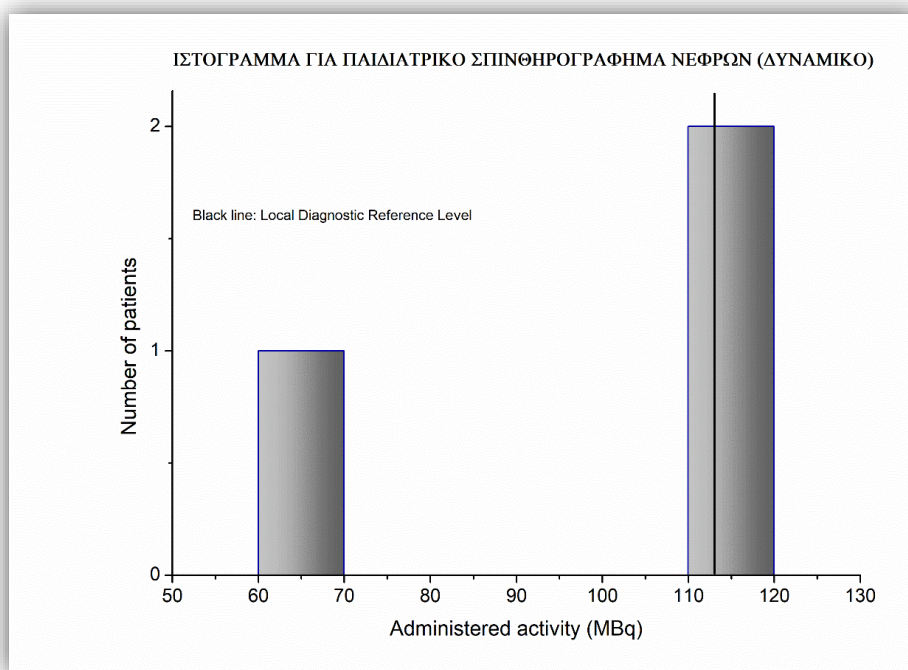
Για το παιδιατρικό σπινθηρογράφημα νεφρών (στατικό) δεν καταγράφηκαν αρκετές περιπτώσεις, λόγω της περιορισμένης συχνότητας διεξαγωγής της εξέτασης. Επιπλέον, δεν ήταν δυνατή η εύρεση εθνικού διαγνωστικού επιπέδου αναφοράς και γι' αυτό το λόγο στο προηγούμενο διάγραμμα παρατηρείτε μόνο η διάμεση τιμή που αντιστοιχεί στη μαύρη κάθετη γραμμή στην τιμή των 33 MBq.

Πίνακας 7: Μετρήσεις για δυναμικό παιδιατρικό σπινθηρογράφημα νεφρών

Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Ποσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Νεφρά (MAG, Δυναμικό)	1	8:22 πμ	3,61	8:52 πμ	1800	0,366	3,407	3,041	8:53 πμ
23/7/2019	2	8:23 πμ	3,8	9:21 πμ	3480	0,185	3,399	3,214	9:23 πμ
23/10/2019	3	8:18 πμ	2,03	9:48 πμ	5400	0,078	1,707	1,629	9:49 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 3.041 mCi και με την μετατροπή $1\text{mCi}=37\text{ MBq}$ αντιστοιχεί σε 113 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 27: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για παιδιατρικές σπινθηρογραφικές εξετάσεις νεφρών (δυναμικό) του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

Όπως φαίνεται, ο αριθμός των περιπτώσεων που καταγράφηκαν για τη συγκεκριμένη εξέταση είναι τρεις. Επίσης, δεν ήταν δυνατή η εύρεση εθνικού διαγνωστικού επιπέδου αναφοράς. Επομένως, το αποτέλεσμα μας δεν είναι καθόλου αντιπροσωπευτικό και ο λόγος είναι η αρκετά περιορισμένη συχνότητα της εξέτασης.

➤ Σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου

Σκοπός της εξέτασης αυτής, είναι η διάγνωση ή η παρακολούθηση της στεφανιαίας νόσου. Ο ασθενής υποβάλλεται σε μια διαδικασία κόπωσης στο τέλος της οποίας του χορηγείται ενδοφλεβίως το ραδιοφάρμακο. Ακολουθώντας, σε 15 περίπου λεπτά τοποθετείται στο κρεβάτι της γ-camera και λαμβάνονται τομογραφικές εικόνες της καρδιάς για 20-30 λεπτά. Βέβαια, σε μία τέτοια εξέταση υπάρχει και δεύτερη φάση, η φάση ηρεμίας, η οποία δεν απαιτείται σε όλους τους εξεταζόμενους. Στην περίπτωση που είναι αναγκαία, ο ασθενής λαμβάνει και πάλι ενδοφλεβίως το ραδιοφάρμακο, αλλά αυτή τη φορά σε φάση ηρεμίας. Πρέπει να αναφερθεί ότι, το πρωί της εξέτασης απαγορεύεται ο ασθενής να φάει κάτι και επιτρέπεται μόνο το νερό.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι μετρήσεις που ελήφθησαν για την εξέταση σπινθηρογραφη-ματος καρδιάς στην φάση κόπωσης.

Πίνακας 8: Μετρήσεις για σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου

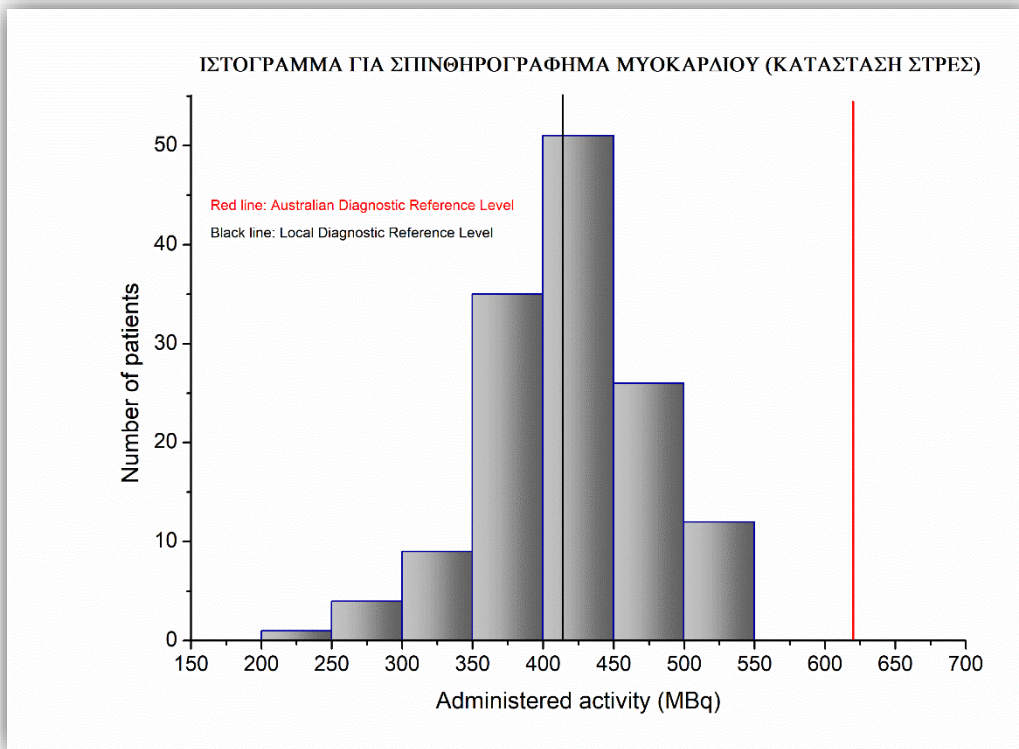
Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Ποσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Καρδιά	1	8:17 πμ	15,8	9:21 πμ	3840	1,24	13,969	12,730	9:21 πμ
15/7/2019	2	8:17 πμ	15	10:06 πμ	6540	0,83	12,161	11,332	10:06 πμ
	3	8:21 πμ	15,8	9:42 πμ	4860	0,91	13,519	12,609	9:42 πμ
	4	8:20 πμ	14,8	10:16 πμ	6960	0,59	11,838	11,251	10:16 πμ
	5	8:20 πμ	12,57	9:56 πμ	5760	0,62	10,449	9,830	9:56 πμ
	6	8:19 πμ	15,6	9:31 πμ	4320	0,77	13,581	12,811	9:31 πμ
16/7/2019	7	8:00 πμ	13,73	8:24 πμ	1440	1,62	13,110	11,490	8:24 πμ
	8	8:00 πμ	13,28	8:32 πμ	1920	0,99	12,487	11,497	8:32 πμ
	9	8:01 πμ	14,4	8:43 πμ	2520	1,10	13,282	12,182	8:43 πμ
	10	8:02 πμ	13,4	8:17 πμ	900	0,84	13,019	12,179	8:17 πμ
	11	8:03 πμ	13,9	9:04 πμ	3660	1,36	12,360	11,000	9:04 πμ
	12	8:04 πμ	13,58	9:28 πμ	5040	0,75	11,553	10,803	9:28 πμ
	13	8:07 πμ	15,6	8:53 πμ	2760	1,20	14,278	13,078	8:53 πμ
18/7/2019	14	8:06 πμ	13,36	9:39 πμ	5580	0,92	11,170	10,250	9:39 πμ
	15	8:04 πμ	12,1	10:03 πμ	7140	0,84	9,623	8,783	10:03 πμ
	16	8:04 πμ	13,05	11:06 πμ	10920	0,60	9,193	8,593	11:06 πμ
	17	8:02 πμ	17,7	10:15 πμ	7980	2,83	13,702	10,872	10:15 πμ
	18	10:28 πμ	15	10:57 πμ	1740	1,32	14,186	12,866	10:57 πμ
	19	10:19 πμ	14,3	10:22 πμ	180	1,28	14,218	12,938	10:22 πμ
	20	8:05 πμ	16,5	10:09 πμ	7440	1,09	12,997	11,907	10:09 πμ
	21	8:03 πμ	12,17	10:36 πμ	9180	1,16	9,066	7,906	10:36 πμ
	22	8:06 πμ	17,7	9:56 πμ	6600	1,3	14,323	13,023	9:56 πμ
	23	10:37 πμ	12,1	10:45 πμ	480	1,08	11,915	10,835	10:45 πμ
22/7/2019	24	8:07 πμ	15,0	8:58 πμ	3060	1,33	13,597	12,267	8:58 πμ
	25	8:12 πμ	13,43	8:50 πμ	2280	1,5	12,483	10,983	8:50 πμ
	26	8:02 πμ	13,0	9:49 πμ	6420	1,39	10,580	9,190	9:49 πμ
	27	8:09 πμ	13,28	9:29 πμ	4800	1,4	11,385	9,985	9:29 πμ
	28	8:05 πμ	12,1	10:15 πμ	7800	0,803	9,421	8,618	10:15 πμ
	29	10:18 πμ	10,5	10:22 πμ	240	1,17	10,419	9,249	10:22 πμ
	30	8:11 πμ	13,4	9:10 πμ	3540	2,02	11,961	9,941	9:10 πμ
	31	8:06 πμ	13,5	10:06 πμ	7200	1,11	10,716	9,606	10:06 πμ
	32	8:06 πμ	13,7	9:59 πμ	6780	1,23	11,022	9,792	9:59 πμ
	33	8:04 πμ	13,0	9:14 πμ	4200	1,05	11,361	10,311	9:14 πμ
	34	8:04 πμ	13,71	9:43 πμ	5940	0,992	11,331	10,339	9:43 πμ

29/7/2019	35	7:50 πμ	18,6	10:16 πμ	8760	2,07	14,043	11,973	10:18 πμ
	36	7:50 πμ	16,7	10:12 πμ	8520	1,6	12,706	11,106	10:12 πμ
	37	7:51 πμ	13,36	10:08 πμ	8220	3,03	10,263	7,233	10:08 πμ
	38	7:52 πμ	18,9	8:55 πμ	3780	2,03	16,742	14,712	8:56 πμ
	39	10:17 πμ	13,7	10:19 πμ	120	1,96	13,647	11,687	10:19 πμ
	40	7:53 πμ	14,1	8:59 πμ	3960	1,3	12,418	11,118	9:00 πμ
	41	7:55 πμ	16,8	8:40 πμ	2700	2,97	15,406	12,436	8:40 πμ
	42	7:56 πμ	15,6	9:04 πμ	4080	1,85	13,686	11,836	9:05 πμ
1/8/2019	43	8:00 πμ	17,7	9:01 πμ	3660	1,386	15,739	14,353	9:02 πμ
	44	8:01 πμ	16,5	9:09 πμ	4080	2,32	14,476	12,156	9:10 πμ
	45	8:02 πμ	18,1	8:47 πμ	2700	2,63	16,598	13,968	8:47 πμ
	46	8:02 πμ	17,4	8:52 πμ	3000	2,25	15,803	13,553	8:53 πμ
	47	8:03 πμ	16,4	8:40 πμ	2220	1,99	15,273	13,283	8:41 πμ
	48	8:04 πμ	14,7	8:33 πμ	1740	1,15	13,902	12,752	8:34 πμ
8/8/2019	49	7:58 πμ	14,1	10:30 πμ	9120	0,833	10,523	9,690	10:31 πμ
	50	7:58 πμ	21,0	10:37 πμ	9540	1,62	15,463	13,843	10:38 πμ
	51	7:59 πμ	16,2	10:25 πμ	8760	1,388	12,231	10,843	10:26 πμ
	52	7:59 πμ	16,0	10:11 πμ	7920	1,2	12,410	11,210	10:12 πμ
	53	8:00 πμ	11,24	9:55 πμ	6900	1,24	9,008	7,768	9:56 πμ
	54	8:01 πμ	15,1	9:41 πμ	6000	1,314	12,456	11,142	9:41 πμ
	55	8:01 πμ	16,8	10:43 πμ	9720	1,323	12,300	10,977	10:43 πμ
	56	8:02 πμ	15,2	9:32 πμ	5400	1,39	12,782	11,392	9:33 πμ
	57	8:03 πμ	15,8	9:02 πμ	3540	1,81	14,104	12,294	9:03 πμ
	58	8:03 πμ	14,8	9:17 πμ	4440	1,384	12,835	11,451	9:18 πμ
17/9/2019	59	8:15 πμ	13,5	10:00 πμ	6300	0,725	11,030	10,305	10:00 πμ
	60	8:12 πμ	13,43	9:50 πμ	5880	1,61	11,121	9,511	9:51 πμ
	61	8:11 πμ	14,8	10:22 πμ	7860	0,782	11,502	10,720	10:22 πμ
	62	8:10 πμ	13,6	9:23 πμ	4380	0,632	11,817	11,185	9:23 πμ
	63	8:14 πμ	13,4	8:52 πμ	2280	1,952	12,455	10,503	8:52 πμ
	64	8:09 πμ	13,3	9:35 πμ	5160	4,97	11,271	6,301	9:36 πμ
	65	8:11 πμ	13,96	10:12 πμ	7260	0,873	11,060	10,187	10:13 πμ
	66	8:15 πμ	13,0	9:08 πμ	3180	1,83	11,739	9,909	9:09 πμ
	67	8:13 πμ	13,3	9:15 πμ	3720	0,738	11,804	11,066	9:15 πμ
	68	8:10 πμ	13,8	10:33 πμ	8580	0,864	10,480	9,616	10:34 πμ
19/9/2019	69	7:52 πμ	15,3	8:56 πμ	3840	0,958	13,527	12,569	8:56 πμ
	70	7:56 πμ	16,5	9:15 πμ	4740	1,963	14,172	12,209	9:16 πμ
	71	7:57 πμ	16,5	9:28 πμ	5460	1,292	13,849	12,557	9:29 πμ
	72	7:54 πμ	14,8	9:35 πμ	6060	1,344	12,185	10,841	9:35 πμ
	73	7:57 πμ	16,0	8:41 πμ	2640	0,966	14,701	13,735	8:43 πμ
23/9/2019	74	8:02 πμ	12,22	9:00 πμ	3480	3,47	10,929	7,459	9:01 πμ
	75	8:03 πμ	12,21	9:14 πμ	4260	2,12	10,650	8,530	9:15 πμ
	76	8:04 πμ	16,6	8:50 πμ	2760	5,34	15,193	9,853	8:50 πμ
24/9/2019	77	8:44 πμ	14,3	9:55 πμ	4260	0,845	12,473	11,628	9:55 πμ
	78	8:43 πμ	14,7	10:05 πμ	4920	0,816	12,554	11,738	10:05 πμ
	79	8:46 πμ	14,9	10:31 πμ	6300	1,287	12,173	10,886	10:32 πμ
	80	8:45 πμ	13,7	9:21 πμ	2160	1,886	12,783	10,897	9:22 πμ
	81	8:46 πμ	13,18	9:40 πμ	3240	0,775	11,879	11,104	9:42 πμ
	82	10:02 πμ	12,8	10:13 πμ	660	1,298	12,532	11,234	10:13 πμ
1/10/2019	83	8:18 πμ	12,3	9:53 πμ	5700	0,608	10,245	9,637	9:53 πμ
	84	8:19 πμ	14,5	9:02 πμ	2580	1,235	13,348	12,113	9:03 πμ
	85	8:21 πμ	13,53	9:35 πμ	4440	1,237	11,734	10,497	9:36 πμ
	86	9:06 πμ	11,89	9:17 πμ	660	1,317	11,641	10,324	9:18 πμ
8/10/2019	87	8:07 πμ	15,1	9:41 πμ	5640	0,765	12,601	11,836	9:42 πμ
	88	8:08 πμ	15,4	9:02 πμ	3240	0,94	13,880	12,940	9:03 πμ
	89	8:08 πμ	12,7	9:28 πμ	4800	0,84	10,888	10,048	9:29 πμ
	90	8:07 πμ	14,2	9:15 πμ	4080	0,865	12,458	11,593	9:16 πμ
	91	8:09 πμ	16,3	8:50 πμ	2460	1,222	15,063	13,841	8:52 πμ

15/10/2019	92	8:01 πμ	19,2	9:50 πμ	6540	1,344	15,566	14,222	9:51 πμ
	93	8:01 πμ	17,4	8:57 πμ	3360	1,642	15,622	13,980	9:00 πμ
	94	7:59 πμ	14,8	9:59 πμ	7200	0,97	11,748	10,778	10:00 πμ
	95	8:00 πμ	19,4	9:30 πμ	5400	1,58	16,314	14,734	9:31 πμ
	96	8:03 πμ	13,5	9:16 πμ	4380	1,45	11,730	10,280	9:16 πμ
	97	8:00 πμ	13,48	10:09 πμ	7740	1,085	10,516	9,431	10:12 πμ
	98	8:02 πμ	17,1	8:49 πμ	2820	1,38	15,621	14,241	8:50 πμ
22/10/2019	99	8:29 πμ	12,37	10:17 πμ	6480	1,148	10,048	8,900	10:17 πμ
	100	8:28 πμ	14,2	9:35 πμ	4020	1,478	12,482	11,004	9:35 πμ
	101	8:30 πμ	12,6	9:00 πμ	1800	1,054	11,893	10,839	9:01 πμ
	102	8:26 πμ	12,35	10:03 πμ	5820	1,629	10,247	8,618	10:04 πμ
	103	8:29 πμ	13,6	8:52 πμ	1380	1,41	13,011	11,601	8:53 πμ
	104	8:30 πμ	12,73	9:23 πμ	3180	1,66	11,495	9,835	9:24 πμ
	105	8:32 πμ	14,0	9:51 πμ	4740	2,3	12,025	9,725	9:51 πμ
	106	8:28 πμ	12,05	9:18 πμ	3000	1,25	10,944	9,694	9:18 πμ
5/11/2019	107	8:25 πμ	15,3	8:44 πμ	1140	1,723	14,751	13,028	8:45 πμ
	108	8:26 πμ	15,1	9:45 πμ	4740	0,789	12,970	12,181	9:45 πμ
	109	8:28 πμ	16,0	9:29 πμ	3660	1,148	14,227	13,079	9:30 πμ
	110	8:31 πμ	15,2	10:07 πμ	5760	0,588	12,636	12,048	10:08 πμ
	111	8:25 πμ	13,88	8:58 πμ	1980	0,983	13,026	12,043	8:58 πμ
	112	8:27 πμ	13,15	9:05 πμ	2280	0,756	12,223	11,467	9:10 πμ
	113	8:29 πμ	14,1	10:16 πμ	6420	0,816	11,476	10,660	10:17 πμ
	114	8:28 πμ	15,4	9:18 πμ	3000	0,808	13,987	13,179	9:19 πμ
12/11/2019	115	8:32 πμ	14,0	8:44 πμ	720	2,18	13,680	11,500	8:45 πμ
	116	8:34 πμ	12,8	9:16 πμ	2520	0,88	11,806	10,926	9:17 πμ
	117	8:35 πμ	13,1	9:43 πμ	4080	1,11	11,493	10,383	9:43 πμ
	118	8:33 πμ	12,6	8:55 πμ	1320	1,68	12,078	10,398	8:56 πμ
	119	8:34 πμ	13,26	9:22 πμ	2880	0,933	12,090	11,157	9:22 πμ
	120	8:33 πμ	13,15	9:08 πμ	2100	1,01	12,293	11,283	9:09 πμ
	121	8:34 πμ	14,4	9:30 πμ	3360	1,79	12,929	11,139	9:30 πμ
26/11/2019	122	8:27 πμ	13,03	9:22 πμ	3300	0,55	11,721	11,171	9:23 πμ
	123	8:30 πμ	13,13	9:08 πμ	2280	1,39	12,204	10,814	9:09 πμ
	124	8:34 πμ	15,2	10:12 πμ	5880	0,964	12,587	11,623	10:12 πμ
	125	8:31 πμ	13,26	9:55 πμ	5040	0,56	11,280	10,720	9:57 πμ
	126	8:33 πμ	14,9	9:40 πμ	4020	1,38	13,097	11,717	9:41 πμ
	127	8:31 πμ	13,6	9:33 πμ	3720	1,65	12,070	10,420	9:34 πμ
	128	8:34 πμ	13,05	9:48 πμ	4440	0,946	11,318	10,372	9:48 πμ
3/12/2019	129	9:03 πμ	15,2	10:14 πμ	4260	0,75	13,258	12,508	10:15 πμ
	130	8:49 πμ	16,3	9:59 πμ	4200	1,11	14,245	13,135	10:00 πμ
10/12/2019	131	8:19 πμ	13,28	9:27 πμ	4080	1,58	11,651	10,071	9:35 πμ
	132	8:21 πμ	15,5	8:54 πμ	1980	0,618	14,546	13,928	8:55 πμ
	133	8:23 πμ	15,7	9:35 πμ	4320	1,58	13,668	12,088	9:36 πμ
	134	8:20 πμ	16,5	9:01 πμ	2460	2,76	15,248	12,488	9:01 πμ
	135	8:22 πμ	15,2	9:46 πμ	5040	1,04	12,931	11,891	9:47 πμ
	136	8:23 πμ	12,78	9:10 πμ	2820	0,96	11,675	10,715	9:10 πμ
	137	8:20 πμ	17,0	9:40 πμ	4800	1,17	14,574	13,404	9:41 πμ
	138	8:22 πμ	14,5	10:03 πμ	6060	0,461	11,938	11,477	10:04 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 11,164 mCi και με την μετατροπή 1mCi=37 MBq αντιστοιχεί σε 413 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 28: Ιστογράμμο με τις τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για σπινθηρογραφικές εξετάσεις μυοκαρδίου του ΠΑ.Γ.Ν.Η σε κατάσταση στρες.

Σύμφωνα με το παραπάνω ιστόγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το τοπικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. που αντιστοιχεί στη διάμεση τιμή της κατανομής, είναι κάτω από το εθνικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς της Αυστραλίας, το οποίο βρέθηκε από την πηγή (Australian Government, Nuclear Medicine Diagnostic Reference Levels) καθώς δεν έχει θεσπιστεί εθνικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς για την Ελλάδα που να αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη εξέταση με ραδιονουκλίδιο το $^{99m}_{43}\text{Tc}$. Το 100% των εξετάσεων είναι εντός της τιμής των 620 MBq. Επομένως, με βάση αυτή τη σύγκριση το τοπικό ΔΕΑ δεν σημειώνει υπέρβαση.

➤ Σπινθηρογράφημα εγκεφάλου

Σκοπός αυτής της εξέτασης είναι η διάγνωση διάφορων παθήσεων του εγκεφάλου. Ενδείκνυται για να ανιχνεύει την απώλεια των λειτουργικών δοπαμινεργικών νευρικών απολήξεων στο ραβδωτό σώμα ασθενών. Για παράδειγμα, σε ενήλικες ασθενείς με κλινικά αμφίβολα Παρκινσονικά Σύνδρομα, δηλαδή όσοι εμφανίζουν τα πρώτα συμπτώματα, για να βοηθήσει στη διαφοροδιάγνωση του Ιδιοπαθούς Τρόμου από τα Παρκινσονικά Σύνδρομα που σχετίζονται με την ιδιοπαθή Νόσο του Parkinson, την Πολυσυστηματική Ατροφία και την Προϊούσα Υπερπυρηνική Παράλυση. Το DaTSCAN δεν μπορεί να προκαλέσει διάκριση μεταξύ Νόσου του Parkinson, Πολυσυστηματικής Ατροφίας και Προϊούσας Υπερπυρηνικής Παράλυσης. Επίσης χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στη διαφοροδιάγνωση πιθανής άνοιας με σώματα Lewy από τη νόσο του Alzheimer. Το DaTSCAN δεν μπορεί να διακρίνει ανάμεσα σε άνοια με σώματα Lewy και άνοια λόγω νόσου του Parkinson. Η χορήγηση του ραδιοφαρμάκου γίνεται ενδοφλεβίως και ο ασθενής τοποθετείται στη γ-κάμερα ύστερα από το πέρας 3 ωρών για τη λήψη εικόνων.

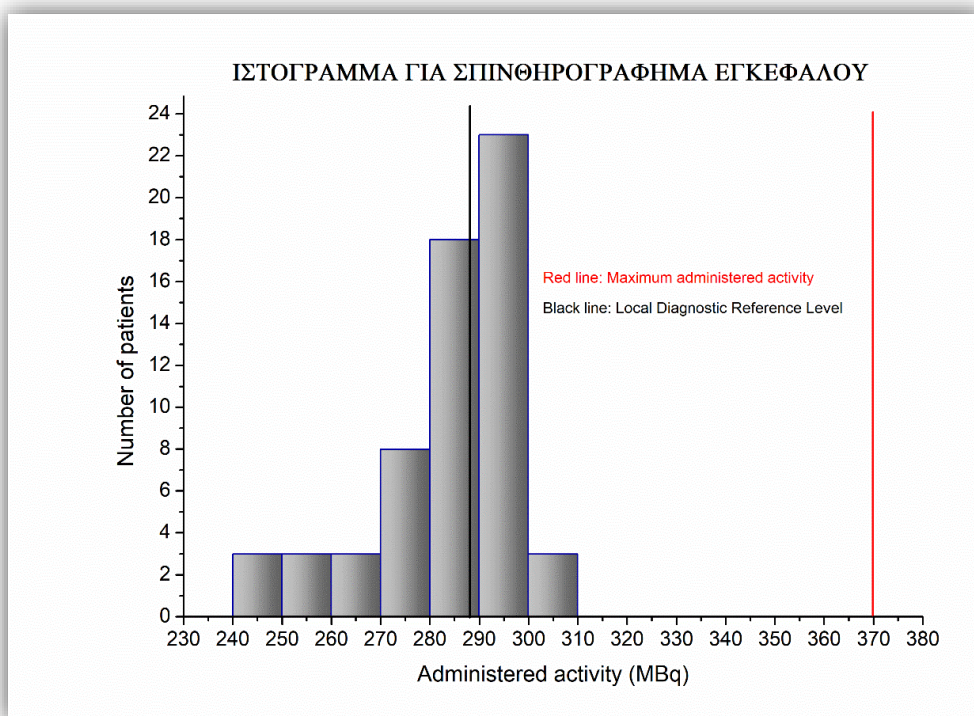
Παρακάτω, παρατίθεται ο σχετικός πίνακας μετρήσεων που ελήφθησαν.

Πίνακας 9: Μετρήσεις για σπινθηρογράφημα εγκεφάλου

Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Πόσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Εγκέφαλος (DaTscan)	1	9:11 πμ	8,06	9:31 πμ	1200	0,08	7,922	7,842	9:31 πμ
19/7/2019	2	9:13 πμ	7,93	9:29 πμ	960	0,106	7,821	7,715	9:29 πμ
	3	9:14 πμ	8,08	9:25 πμ	660	0,193	8,004	7,811	9:25 πμ
	4	9:17 πμ	8,05	9:21 πμ	240	0,022	8,022	8,000	9:21 πμ
	5	9:17 πμ	7,95	9:33 πμ	960	0,146	7,841	7,695	9:33 πμ
	6	9:18 πμ	7,89	9:39 πμ	1260	0,082	7,748	7,666	9:39 πμ
24/7/2019	7	9:19 πμ	8,13	9:44 πμ	1500	0,165	7,956	7,791	9:45 πμ
26/7/2019	8	9:17 πμ	7,01	9:40 πμ	1380	0,136	6,872	6,736	9:47 πμ
	9	9:14 πμ	7,63	9:32 πμ	1080	0,209	7,512	7,303	9:47 πμ
	10	9:15 πμ	7,71	9:25 πμ	600	0,263	7,644	7,381	9:46 πμ
	11	9:13 πμ	7,16	9:44 πμ	1860	0,243	6,971	6,728	9:47 πμ
	12	9:16 πμ	7,1	9:36 πμ	1200	0,116	6,978	6,862	9:48 πμ
	13	9:15 πμ	7,69	9:28 πμ	780	0,201	7,604	7,403	9:46 πμ
2/8/2019	14	9:28 πμ	8,14	9:36 πμ	480	0,049	8,084	8,035	9:41 πμ
	15	9:27 πμ	7,5	9:31 πμ	240	0,058	7,474	7,416	9:42 πμ
	16	9:26 πμ	8,2	9:33 πμ	420	0,098	8,151	8,053	9:41 πμ
	17	9:26 πμ	8,21	9:39 πμ	780	0,093	8,118	8,025	9:43 πμ
	18	9:25 πμ	8,17	9:29 πμ	240	0,056	8,142	8,086	9:41 πμ
	19	9:24 πμ	8,06	9:28 πμ	240	0,087	8,032	7,945	9:42 πμ
20/9/2019	20	8:59 πμ	8,1	9:11 πμ	720	0,086	8,016	7,930	9:14 πμ
	21	9:01 πμ	8,12	9:16 πμ	900	0,104	8,015	7,911	9:28 πμ
	22	9:15 πμ	8,09	9:24 πμ	540	0,124	8,027	7,903	9:28 πμ
	23	8:59 πμ	8,27	9:06 πμ	420	0,056	8,220	8,164	9:14 πμ
	24	8:58 πμ	7,92	9:19 πμ	1260	0,075	7,778	7,703	9:29 πμ
27/9/2019	25	9:02 πμ	8,23	9:04 πμ	120	0,117	8,216	8,099	9:10 πμ
	26	9:04 πμ	7,73	9:16 πμ	720	0,177	7,650	7,473	9:28 πμ
	27	9:05 πμ	8,21	9:25 πμ	1200	0,883	8,069	7,186	9:29 πμ
	28	9:03 πμ	8,18	9:06 πμ	180	0,057	8,159	8,102	9:10 πμ
	29	9:05 πμ	8,13	9:21 πμ	960	0,987	8,018	7,031	9:29 πμ
4/10/2019	30	9:07 πμ	8,29	9:34 πμ	1620	0,077	8,099	8,022	9:37 πμ
	31	9:09 πμ	8,25	9:23 πμ	840	0,22	8,151	7,931	9:37 πμ
	32	9:08 πμ	8,34	9:27 πμ	1140	0,152	8,204	8,052	9:37 πμ
11/10/2019	33	8:45 πμ	8,56	8:50 πμ	300	0,164	8,523	8,359	8:56 πμ
	34	8:45 πμ	8,63	8:55 πμ	600	0,228	8,556	8,328	8:57 πμ
18/10/2019	35	9:01 πμ	8,02	9:11 πμ	600	0,1	7,951	7,851	9:14 πμ
	36	9:02 πμ	8,21	9:05 πμ	180	0,102	8,189	8,087	9:14 πμ
25/10/2019	37	8:40 πμ	7,65	9:14 πμ	2040	0,479	7,429	6,950	9:17 πμ
	38	8:39 πμ	7,39	9:20 πμ	2460	0,356	7,133	6,777	9:22 πμ
	39	8:40 πμ	8,03	9:28 πμ	2880	0,228	7,704	7,476	9:30 πμ
1/11/2019	40	8:43 πμ	8,09	8:51 πμ	480	0,253	8,034	7,781	8:52 πμ
	41	8:44 πμ	7,61	8:56 πμ	720	0,095	7,532	7,437	8:58 πμ
8/11/2019	42	9:01 πμ	7,93	9:13 πμ	720	0,227	7,848	7,621	9:17 πμ
	43	9:02 πμ	8,11	9:20 πμ	1080	0,152	7,985	7,833	9:21 πμ
	44	9:01 πμ	7,55	9:10 πμ	540	0,342	7,492	7,150	9:11 πμ
15/11/2019	45	8:59 πμ	8,17	9:19 πμ	1200	0,363	8,030	7,667	9:20 πμ
	46	9:02 πμ	8,06	9:07 πμ	300	0,187	8,025	7,838	9:08 πμ
	47	9:00 πμ	8,26	9:15 πμ	900	0,09	8,154	8,064	9:16 πμ
	48	9:01 πμ	7,96	9:12 πμ	660	0,177	7,885	7,708	9:14 πμ
22/11/2019	49	9:08 πμ	6,84	9:17 πμ	540	0,265	6,787	6,522	9:19 πμ
	50	9:10 πμ	8,09	9:21 πμ	660	0,064	8,013	7,949	9:22 πμ
	51	9:11 πμ	7,75	9:36 πμ	1500	0,18	7,584	7,404	9:40 πμ
29/11/2019	52	9:02 πμ	8,0	9:14 πμ	720	0,098	7,917	7,819	9:16 πμ
	53	9:04 πμ	8,12	9:08 πμ	240	0,387	8,092	7,705	9:10 πμ
	54	9:02 πμ	8,11	9:24 πμ	1320	0,189	7,957	7,768	9:25 πμ
	55	9:04 πμ	8,13	9:26 πμ	1320	0,27	7,977	7,707	9:27 πμ
6/12/2019	56	8:48 πμ	8,26	8:57 πμ	540	0,199	8,196	7,997	8:59 πμ
	57	8:47 πμ	8,08	9:01 πμ	840	0,277	7,983	7,706	9:02 πμ
	58	8:48 πμ	8,35	9:06 πμ	1080	0,471	8,221	7,750	9:07 πμ
13/12/2019	59	8:56 πμ	8,1	9:27 πμ	1860	0,233	7,886	7,653	9:28 πμ
	60	8:57 πμ	8,3	9:23 πμ	1560	0,194	8,116	7,922	9:24 πμ
	61	8:55 πμ	8,23	9:16 πμ	1260	0,068	8,082	8,014	9:17 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 7,781 mCi και με την μετατροπή 1mCi=37 MBq αντιστοιχεί σε 288 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 29: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για σπινθηρογραφικές εξετάσεις εγκεφάλου του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

Σύμφωνα με το παραπάνω ιστόγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το τοπικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. που αντιστοιχεί στη διάμεση τιμή της κατανομής, είναι κάτω από τη μέγιστη χορηγούμενη ενεργότητα, η οποία βρέθηκε από την πηγή https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/datscan-epar-product-information_el.pdf, καθώς δεν έχει θεσπιστεί εθνικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς για την Ελλάδα που να αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη εξέταση με ραδιονουκλίδιο το $^{123}_{53}I$. Το 100% των εξετάσεων βρίσκονται εντός της τιμής των 370 MBq. Επομένως, με βάση αυτή τη σύγκριση το τοπικό ΔΕΑ δεν σημειώνει υπέρβαση και δεν απαιτείται βελτιστοποίηση.

➤ Σπινθηρογράφημα παραθυρεοειδών

Σκοπός αυτής της εξέτασης είναι η διάγνωση του υπερπαραθυρεοειδισμού, όπου είναι μια πάθηση κατά την οποία παράγεται στο σώμα του ασθενούς παραθορμόνη σε ποσότητα περισσότερη από το φυσιολογικό. Κατά τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου ενδοφλεβίως, ο ασθενής λαμβάνει μια ποσότητα ραδιενεργούς ουσίας, η οποία απορροφάται μόνο από τον υπερλειτουργούντα παραθυρεοειδή αδένα και μας βοηθά στον εντοπισμό του. Το σπινθηρογράφημα πρέπει πάντα να συμπεριλαμβάνει και τον θώρακα, λόγω του συχνού εντοπισμού έκτοπου παραθυρεοειδούς ή και 5ου παραθυρεοειδούς αδένος στον θύμο αδένα ή στο μεσοθωράκιο. Η τοποθέτηση του ασθενούς στη γ-κάμερα γίνεται μετά από μερικά λεπτά της χορήγησης, όπου λαμβάνονται εικόνες για 15 λεπτά και στην συνέχεια λαμβάνονται εικόνες μετά από 2 ώρες.

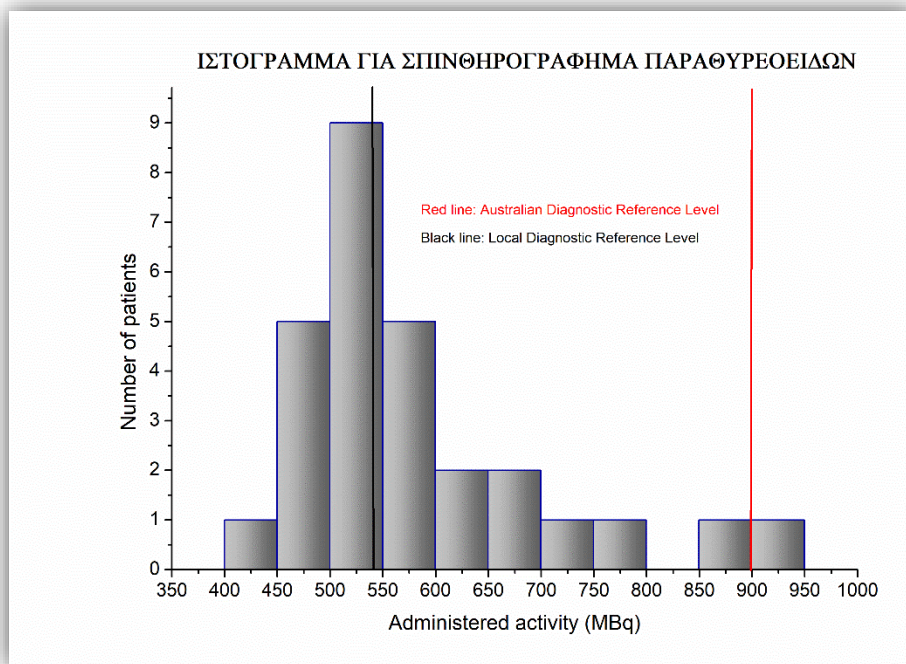
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις που ελήφθησαν.

Πίνακας 10: Μετρήσεις για σπινθηρογράφημα παραθυρεοειδούς

Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Πόσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Παραθυρεοειδής	1	7:57 πμ	16,8	8:28 πμ	1860	0,899	15,827	14,928	8:28 πμ
22/7/2019	2	7:58 πμ	15,9	8:31 πμ	1980	1,01	14,921	13,911	8:31 πμ
	3	8:00 πμ	15,1	8:24 πμ	1440	1,42	14,418	12,998	8:24 πμ
	4	8:00 πμ	15,5	8:49 πμ	2940	0,96	14,105	13,145	8:49 πμ
	5	7:59 πμ	17,7	8:54 πμ	3300	1,54	15,922	14,382	8:54 πμ
	6	7:59 πμ	16,7	9:27 πμ	5280	1,36	14,098	12,738	9:27 πμ
30/7/2019	7	8:36 πμ	16,4	9:12 πμ	2160	0,702	15,302	14,600	9:17 πμ
	8	8:37 πμ	16,0	9:10 πμ	1980	0,961	15,015	14,054	9:17 πμ
	9	8:35 πμ	16,4	9:15 πμ	2400	0,567	15,185	14,618	9:16 πμ
5/8/2019	10	8:22 πμ	20,3	9:19 πμ	3420	1,21	18,191	16,981	9:30 πμ
	11	8:22 πμ	19,0	9:13 πμ	3060	1,32	17,223	15,903	9:29 πμ
	12	8:23 πμ	18,7	9:26 πμ	3780	2,43	16,564	14,134	9:29 πμ
23/9/2019	13	8:00 πμ	19,1	8:33 πμ	1980	4,54	17,925	13,385	8:38 πμ
	14	7:59 πμ	20,2	8:59 πμ	3600	1,974	17,997	16,023	9:00 πμ
	15	8:01 πμ	19,7	8:36 πμ	2100	2,66	18,417	15,757	8:38 πμ
7/10/2019	16	7:59 πμ	22,1	8:20 πμ	1260	2,49	21,225	18,735	8:24 πμ
	17	8:00 πμ	22,8	8:23 πμ	1380	2,31	21,813	19,503	8:24 πμ
21/10/2019	18	7:46 πμ	21,5	8:16 πμ	1800	2,35	20,294	17,944	8:18 πμ
	19	7:47 πμ	19,1	8:51 πμ	3840	1,287	16,886	15,599	8:52 πμ
18/11/2019	20	8:13 πμ	27,0	8:35 πμ	1320	1,44	25,881	24,441	8:36 πμ
	21	8:15 πμ	25,7	8:40 πμ	1500	1,23	24,493	23,263	8:41 πμ
	22	8:15 πμ	25,7	8:45 πμ	1800	2,85	24,258	21,408	8:47 πμ
10/2/2020	23	8:00 πμ	15,2	8:25 πμ	1500	0,618	14,486	13,868	8:26 πμ
	24	7:59 πμ	18,7	8:35 πμ	2160	0,502	17,448	16,946	8:39 πμ
	25	8:01 πμ	15,9	8:23 πμ	1320	1,08	15,241	14,161	8:27 πμ
	26	8:00 πμ	13,76	8:20 πμ	1200	0,557	13,240	12,683	8:27 πμ
	27	7:58 πμ	13,96	8:47 πμ	2940	1,11	12,704	11,594	8:48 πμ
	28	8:32 πμ	15,7	8:38 πμ	360	1,0	15,520	14,520	8:39 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 14,609 mCi και με την μετατροπή 1mCi=37 MBq αντιστοιχεί σε 541 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 30: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για σπινθηρογραφικές εξετάσεις παραθυρεοειδών του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

Σύμφωνα με το παραπάνω ιστόγραμμα, συμπεραίνουμε ότι το τοπικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. που αντιστοιχεί στη διάμεση τιμή της κατανομής, είναι κάτω από το διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς της Αυστραλίας, το οποίο βρέθηκε από την πηγή (Australian Government, Nuclear Medicine Diagnostic Reference Levels) καθώς δεν έχει θεσπιστεί εθνικό διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς για την Ελλάδα που να αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη εξέταση με ραδιονουκλίδιο το $^{99m}_{43}\text{Tc}$. Το 96% των εξετάσεων βρίσκονται εντός της τιμής των 900 MBq. Να σημειωθεί ότι, ο αριθμός των περιπτώσεων που καταγράφηκαν είναι περιορισμένος. Επομένως, με βάση αυτή τη σύγκριση το τοπικό ΔΕΑ δεν σημειώνει υπέρβαση και δεν απαιτείται βελτιστοποίηση.

➤ **Λεμφαγγειογραφία μαστού**

Αυτή η εξέταση πραγματοποιείται πριν την διεξαγωγή ενός χειρουργείου κατά την οποία γίνεται έγχυση ποσότητας ραδιοφαρμάκου γύρω από τη θήλη με τη χρήση βελόνας ινσουλίνης. Μέσα σε ένα πολύ μικρό διάστημα (λίγων λεπτών) το ραδιοϊσότοπο αυτό προχωράει και προσλαμβάνεται από τον ή τους λεμφαδένες φρουρούς μέσω των λεμφαγγείων του δέρματος του μαστού. Αυτή η διαδικασία απεικονίζεται με γ-κάμερα και βοηθάει στον εντοπισμό των ή του λεμφαδένα φρουρού. Επίσης, μετά την αναισθησία και πριν αρχίσει η χειρουργική επέμβαση, στην ίδια περιοχή γύρω από τη θηλή, γίνεται έγχυση μιας μπλε χρωστικής έτσι ώστε να υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι εντοπισμού του λεμφαδένα φρουρού.

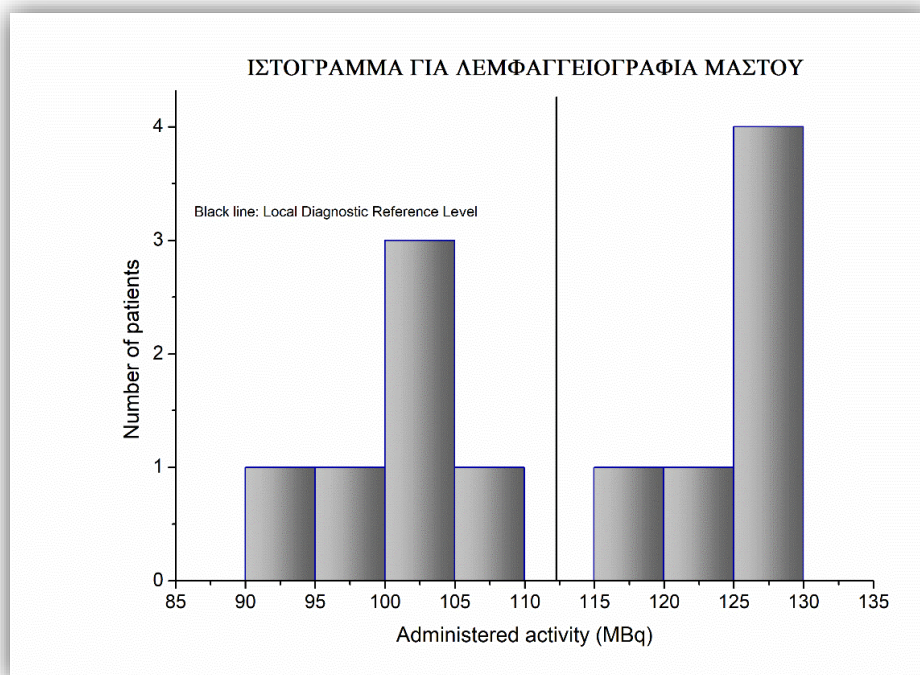
Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σχετικές μετρήσεις.

Πίνακας 11: Μετρήσεις για λεμφαγγειογραφία μαστού

Εξέταση	Σύριγγα	Χρόνος μέτρησης	Μέτρηση (mCi)	Χρόνος χορήγησης	Διαφορά χρόνου (sec)	Υπόλειμμα (mCi)	Ποσότητα κατά την χορήγηση (mCi)	Ποσότητα που έλαβε ο ασθενής (mCi)	Χρόνος μέτρησης υπολείματος
Λεμφαγγειογραφία-Μαστός (19/9/19)	1	8:26 πμ	3,44	8:34 πμ	480	0,062	3,387	3,325	8:35 πμ
26/9/2019	2	8:33 πμ	2,85	8:36 πμ	180	0,023	2,834	2,811	8:39 πμ
15/10/2019	3	8:23 πμ	3,0	8:40 πμ	1020	0,15	2,903	2,753	8:44 πμ
5/11/2019	4	8:44 πμ	3,52	8:52 πμ	480	0,062	3,466	3,404	8:54 πμ
26/11/2019	5	8:13 πμ	3,37	8:21 πμ	480	0,157	3,319	3,162	8:25 πμ
	6	9:45 πμ	3,54	9:58 πμ	780	0,039	3,453	3,414	9:59 πμ
	7	9:53 πμ	3,63	10:15 πμ	1320	0,05	3,479	3,429	10:17 πμ
3/12/2019	8	8:51 πμ	3,72	9:17 πμ	1560	0,076	3,538	3,462	9:19 πμ
	9	8:53 πμ	3,04	9:33 πμ	2400	0,09	2,815	2,725	9:36 πμ
13/12/2019	10	8:47 πμ	2,84	9:10 πμ	1380	0,164	2,717	2,553	9:11 πμ
	11	8:48 πμ	3,05	9:03 πμ	900	0,273	2,963	2,690	9:04 πμ
4/2/2020	12	8:45 πμ	3,04	8:55 πμ	600	0,073	2,982	2,909	8:57 πμ

Η διάμεση τιμή των ανωτέρω δεδομένων είναι 3,035 mCi και με την μετατροπή 1mCi=37 MBq αντιστοιχεί σε 112 MBq.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα που αντιπροσωπεί τον αριθμό των ασθενών στον άξονα y και την χορηγούμενη ενεργότητα δείγματος ραδιοφαρμάκου που λαμβάνει ο ασθενής, στον άξονα x.



Εικόνα 31: Ιστόγραμμα με τοπικές τιμές χορηγούμενης ενεργότητας για λεμφαγγειογραφία μαστού του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

Όπως φαίνεται, ο αριθμός των περιπτώσεων που καταγράφηκαν για τη συγκεκριμένη εξέταση δεν είναι ικανοποιητικός. Επίσης, δεν ήταν δυνατή η εύρεση εθνικού διαγνωστικού επιπέδου αναφοράς. Επομένως, το αποτέλεσμα μας δεν είναι ακριβές και ο λόγος είναι η περιορισμένη συχνότητα της εξέτασης.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν στους προηγούμενους πίνακες παρατηρείται ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων για τα σπινθηρογραφήματα μυοκαρδίου, οστών και εγκεφάλου, ενώ στα υπόλοιπα έγινε λήψη μη επαρκών δεδομένων λόγω της περιορισμένης συχνότητας της κάθε εξέτασης. Επομένως, είναι προφανές ότι δεν μπορούν να οριστούν τοπικά διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς για όλες τις εξετάσεις που αναφέρθηκαν και αντ' αυτού ορίζονται κάποιες τυπικές τιμές που αντιστοιχούν στη διάμεση τιμή των κατανομών. Παρακάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα.

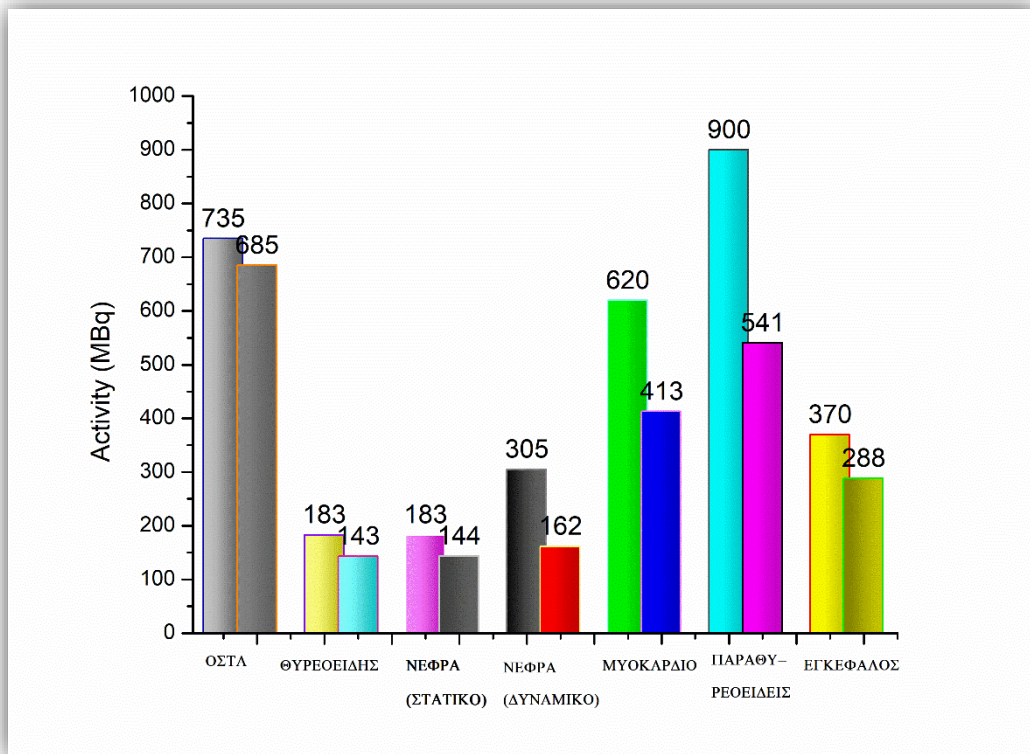
Πίνακας 12: Τοπικά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η.

Σπινθηρογράφημα	Ραδιοφάρμακο	Τοπικό Διαγνωστικό Επίπεδο Αναφοράς (mCi)	Τοπικό Διαγνωστικό Επίπεδο Αναφοράς (MBq)	Εθνικά Διαγνωστικά Επίπεδα Αναφοράς (MBq)
Μυοκάρδιο	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, tetrofosmin	11,164	413	620
Οστά	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, MDP	18,517	685	735
Νεφρά (στατικό)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, DMSA	3,892	144	183
Νεφρά (στατικό) Παιδιά	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, DMSA	0,881	33	-
Νεφρά (δυναμικό)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, MAG ³	4,389	162	305
Νεφρά (δυναμικό) Παιδιά	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, MAG ³	3,041	113	-
Εγκέφαλος	$^{123}_{53}\text{I}$, DaTSCAN	7,781	288	370
Παραθυρεοειδείς	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, MIBI	14,609	541	900
Θυρεοειδής	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	3,859	143	183
Λεμφαδένες (μαστός)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, Nanocoll	3,035	112	-

*Η μετατροπή από mCi σε MBq έγινε μέσω της σχέσης 1mCi = 37 MBq.

Οι τιμές των ΔΕΑ που προέκυψαν, αποτελούν μια εκτίμηση της δόσης που παίρνει ένας μέσος άνθρωπος από συγκεκριμένες διαγνωστικές εξετάσεις που πραγματοποιούνται στο Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Ηρακλείου Κρήτης. Το αν εφαρμόζεται ορθή πρακτική ή όχι, θα προκύψει μέσω της σύγκρισης των τιμών αυτών με τις αντίστοιχες τιμές ΔΕΑ, τις οποίες ανακοίνωσε η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας και αποτελούν τα εθνικά επίπεδα αναφοράς. Οι εθνικές τιμές για το σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς, οστών και νεφρών (στατικό) είναι εκείνες που έχουν θεσπιστεί για την Ελλάδα σύμφωνα με την εφημερίδα της κυβέρνησης, ενώ οι υπόλοιπες έχουν ληφθεί από σχετική βιβλιογραφία που ήδη έχει αναφερθεί. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει τιμή για εθνική τιμή στον παραπάνω πίνακα, δεν ήταν δυνατή η εύρεση της.

Στην εικόνα που ακολουθεί, παριστάνεται η σύγκριση των τοπικών διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. για τις σπινθηρογραφικές εξετάσεις, οι οποίες αντιστοιχούν στην δεύτερη κορυφή, ενώ στην πρώτη αντιστοιχεί η εθνική τιμή που καθορίστηκε από την Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, εκτός των τιμών που αφορούν τα νεφρά (δυναμικό), το μυοκάρδιο, τον εγκέφαλο και τους παραθυρεοειδείς, τα οποία βρέθηκαν από άλλη πηγή.



Εικόνα 32: Ιστόγραμμα σύγκρισης τοπικών Διαγνωστικών Επιπέδων Αναφοράς του ΠΑ.Γ.Ν.Η. με τις εθνικές τιμές

➤ Υπολογισμός ενεργού δόσης

Για την μελέτη της συνολικής επιβάρυνσης της υγείας από την ακτινοβόληση ενός οργάνου ή ιστού χρησιμοποιείται η έννοια της ενεργού δόσης. Για συγκεκριμένη ισοδύναμη δόση, H_T , ακτινοβολίας, οι ανθρώπινοι ιστοί συμβάλλουν με διαφορετική βαρύτητα στον συνολικό κίνδυνο που διατρέχει από την ακτινοβόληση τους, η υγεία του ανθρώπου.

Η ενεργός δόση λοιπόν, ορίζεται ως το γινόμενο της ισοδύναμης δόσης H_T που έλαβε ένας συγκεκριμένος ιστός T με ένα συντελεστή στάθμισης W_T , ο οποίος εξαρτάται από το είδος του ιστού:

$$E = W_T \cdot H_T \quad [\text{Μονάδα Μέτρησης: Sv ή mSv}]$$

Παρακάτω παρατίθενται ο πίνακας με τον υπολογισμό της ενεργού δόσης για κάθε εξέταση ξεχωριστά.

Πίνακας 13: Ενεργός δόση ανά εξέταση (mSv)

Σπινθηρογράφημα	Ραδιοφάρμακο	Ενεργός δόση (mSv/MBq)	Ενεργός δόση (mSv)
Μυοκάρδιο	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, tetrofosmin	0,0069	2,85
Οστά	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, MDP	0,008	5,48
Νεφρά (στατικό)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, DMSA	0,0088	1,27
Νεφρά (δυναμικό)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, MAG ³	0,0073	1,18
Εγκέφαλος	$^{123}_{53}\text{I}$, DaTSCAN	0,0213	6,13
Παραθυρεοειδείς	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, MIBI	0,014	7,57
Θυρεοειδής	$^{99m}_{43}\text{Tc}$	0,013	1,86
Λεμφαγγειογραφία (μαστός)	$^{99m}_{43}\text{Tc}$, Nanocoll	0,005	0,56

4: Συμπεράσματα

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από τα αποτελέσματα της μελέτης που διεξάχθηκε.

Τα τοπικά διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς που προσδιορίστηκαν στο ΠΑ.Γ.Ν.Η., σε όλες τις περιπτώσεις των σπινθηρογραφικών εξετάσεων ήταν εντός των εθνικών τιμών, επομένως είναι συμβατά με τις οδηγίες περί ακτινοπροστασίας. Επομένως, δεν χρειάζεται να διορθωθούν. Να σημειωθεί ότι, η σύγκριση με τα εθνικά διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς για τα σπινθηρογραφήματα νεφρών (δυναμικό), μυοκαρδίου και παραθυρεοειδών αναφέρονται σε εκείνα της Αυστραλίας, καθώς δεν έχουν θεσπιστεί αντίστοιχα για την Ελλάδα και έχουν ληφθεί από την πηγή Australian Government, Nuclear Medicine Diagnostic Reference Levels και όχι από την Ε.Ε.Α.Ε. . Για την λεμφαγγειογραφία μαστού δεν ήταν εφικτό να βρεθούν δεδομένα για την εθνική τιμή διαγνωστικού επιπέδου αναφοράς που να αντιστοιχούν στα αντίστοιχα ραδιοφάρμακα.

Σε περίπτωση υπέρβασης κάποιων εθνικών διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς, σημαίνει ότι πρέπει να ελεγχθούν τα πρωτόκολλα και οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση του ΠΑ.Γ.Ν.Η. . Στην περίπτωση που αποδειχθεί η απαίτηση βελτιστοποίησης στις σαρώσεις της γ-κάμερα, θα πρέπει να υπάρχει συνεργασία των πυρηνικών ιατρών με τους ακτινοφυσικούς.

Όσον αφορά τις παιδιατρικές σπινθηρογραφικές εξετάσεις νεφρών (δυναμικό και στατικό) που μελετήθηκαν, δεν είναι δυνατή η ακριβής προσέγγιση των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς, καθώς το σύνολο των εξεταζόμενων ήταν μη επαρκές σε αριθμό. Επομένως, χρησιμοποιείται η διάμεση τιμή των κατανομών ως μία τυπική τιμή, η οποία βεβαίως δεν είναι ακριβής, καθώς πρέπει να ληφθεί υπόψη ένας σημαντικός παράγοντας, το βάρος των παιδιατρικών ασθενών.

Τέλος, ο καθορισμός των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς είναι μία διαδικασία, η οποία θα πρέπει να επαναλαμβάνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (3 έως 5 έτη) και ακόμα συχνότερα, όταν εισέρχονται νέες τεχνολογίες (εξοπλισμός, λογισμικό) ή νέα πρωτόκολλα. Η καθιέρωση της διαδικασίας αυτής στην κλινική ρουτίνα θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στον έλεγχο και τη μείωση της έκθεσης, προσφέροντας έτσι στο κοινό υψηλής τεχνολογίας εξετάσεων με ελεγχόμενους κινδύνους. Κατά την επιλογή των ενεργοτήτων που θα χορηγηθούν, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι κλινικές και κοινωνικές ανάγκες κάθε ασθενούς ξεχωριστά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 1

1.1. <https://www.imagewisely.org/Imaging-Modalities/Computed-Tomography/Diagnostic-Reference-Levels>

1.1.1. <http://www.comp-ocpm.ca/download.php?id=1137>

<http://ikee.lib.auth.gr/record/134005/files/%CE%A0%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf>

Role of Reference Levels in Nuclear Medicine: A Report of the SNMMI Dose Optimization Task Force, Adam M. Alessio¹, Mary Beth Farrell², and Frederic H. Fahey³, 1Department of Radiology, University of Washington, Seattle, Washington; 2Intersocietal Accreditation Commission, Ellicott City, Maryland; and 3Department of Radiology, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, *J Nucl Med.* 2015;56:1960-1964, Published online: September 24, 2015.

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΗΜΕΡΙΔΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΔΕΑ): Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ, Ειρήνη Μαυρίκου, ΓΝΑ «Γ.Γεννηματάς», 19.01.2019.

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

1.1.2. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

1.1.3. https://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Radiological_Protection

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

<http://medicalphysics.med.uoc.gr/modules.php?name=News&file=article&sid=112>

<http://ikee.lib.auth.gr/rec-ord/134005/files/%CE%A0%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf>

https://www.arpansa.gov.au/research-and-expertise/surveys/national-diagnostic-reference-level-service/in-more-detail?fbclid=IwAR0qkVN3Ck277XuKcWwElwHuOi3xa14Xxaj2xXa8I4W5_f24Hfm7OxN0t8g

- 1.1.4. Role of Reference Levels in Nuclear Medicine: A Report of the SNMMI Dose Optimization Task Force, Adam M. Alessio¹, Mary Beth Farrell², and Frederic H. Fahey³, ¹Department of Radiology, University of Washington, Seattle, Washington; ²Intersocietal Accreditation Commission, Ellicott City, Maryland; and ³Department of Radiology, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, J Nucl Med. 2015;56:1960-1964, Published online: September 24, 2015

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

- 1.1.5. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf?fbclid=IwAR2PTUkKyWAKCfkyboQR2OBN6qzqxqtXg-Ise4giCED-5oSBYnRgKSYPN_4

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

- 1.1.6. ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΗΜΕΡΙΔΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΔΕΑ): Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ, Ειρήνη Μαυρίκου, ΓΝΑ «Γ.Γεννηματάς», 19.01.2019.

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

<https://radiologykey.com/mobile-radiography/>

<https://daolphantom.tistory.com/entry/RANDO-phantom-%EC%84%A0%EB%9F%89%EC%B8%A1%EC%A0%95-%ED%8C%AC%ED%85%80-CIRS-model->

- 1.2.
 - 1.2.1. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf
 - 1.2.2. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf
 - 1.2.3. https://en.wikipedia.org/wiki/Picture_archiving_and_communication_system

<https://internalmedicine.imedpub.com/role-of-his-and-ris-in-improving-quality-of-patient-care.pdf>

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf
 - 1.2.4. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf
 - 1.2.5. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf
 - 1.2.6. <http://medicalphysics.med.uoc.gr/modules.php?name=News&file=article&sid=112>

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

<http://ikee.lib.auth.gr/record/135241/files/Diploma%20Thesis.pdf>

1.3.

1.3.1. <http://ikee.lib.auth.gr/record/135241/files/Diploma%20Thesis.pdf>

<http://ikee.lib.auth.gr/record/134005/files/%CE%A0%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf>

1.3.2. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

1.3.3. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf?fbclid=IwAR2PTUkKyWAKCfkyboQR2OBN6qzqxqtXg-Jse4giCED-5oSBYnRgKSYPN_4

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

<https://www.ajronline.org/doi/10.2214/AJR.14.12513>

http://seae.gr/wp-content/uploads/2014/11/%CE%A6%CE%95%CE%9A-3176_14.pdf

1.3.4. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf?fbclid=IwAR2PTUkKyWAKCfkyboQR2OBN6qzqxqtXg-Jse4giCED-5oSBYnRgKSYPN_4

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

1.3.5. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

<http://ikee.lib.auth.gr/record/134005/files/%CE%A0%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1>

1.4.

1.4.1. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

1.4.2. http://seae.gr/wp-content/uploads/2014/11/%CE%A6%CE%95%CE%9A-3176_14.pdf

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

1.5.

1.5.1. <https://www.slideshare.net/ssuser901e22/x-69394989>

<http://www.seamedical.gr/service/diagnostikos-tomeas/apeikonistiko-tmima/psifiaki-aktinografia/>

1.5.2. https://en.wikipedia.org/wiki/Computed_tomography_dose_index

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

<http://ikee.lib.auth.gr/record/135241/files/Diploma%20Thesis.pdf>

- 1.5.3. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

<http://www.seamedical.gr/service/diagnostikos-tomeas/apeikonistiko-tmima/psifiaki-aktinografia/>

- 1.6.
- 1.6.1. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf
- 1.6.2. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

Παρουσίαση της νέας οδηγίας για τα ΔΕΑ στον παιδιατρικό πληθυσμό, EC RP Publication 175: MEDRAPET guidelines, Γιάννης Δαμηλάκης

Κεφάλαιο 2

- 2.1. ΕΠΙΤΟΜΗ ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ, ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΨΑΡΡΑΚΟΣ, Ε. ΜΟΛΥΒΔΑ-ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ, ANNA ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ-ΨΑΡΡΑΚΟΥ, ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΙΟΥΝΤΑΣ, UNIVERSITY STUDIO PRESS

Ε. Γεωργίου "Ιατρική Φυσική. Διαγνωστικές και Θεραπευτικές εφαρμογές των ακτινοβολιών"

- 2.1.1. ΕΠΙΤΟΜΗ ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ, ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΨΑΡΡΑΚΟΣ, Ε. ΜΟΛΥΒΔΑ-ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ, ANNA ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ-ΨΑΡΡΑΚΟΥ, ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΙΟΥΝΤΑΣ, UNIVERSITY STUDIO PRESS

Ε. Γεωργίου "Ιατρική Φυσική. Διαγνωστικές και Θεραπευτικές εφαρμογές των ακτινοβολιών"

<http://medicalphysics.med.uoc.gr/modules.php?name=News&file=article&sid=112>

2.1.2. <http://medicalphysics.med.uoc.gr/modules.php?name=News&file=article&sid=112>

2.1.3. ΕΠΙΤΟΜΗ ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ, ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΨΑΡΡΑΚΟΣ, Ε. ΜΟΛΥΒΔΑ-ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ, ANNA ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ-ΨΑΡΡΑΚΟΥ, ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΙΟΥΝΤΑΣ, UNIVERSITY STUDIO PRESS

<http://medicalphysics.med.uoc.gr/modules.php?name=News&file=article&sid=112>

2.1.4. <http://ikee.lib.auth.gr/record/135241/files/Diploma%20Thesis.pdf>

ΕΠΙΤΟΜΗ ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ, ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΨΑΡΡΑΚΟΣ, Ε. ΜΟΛΥΒΔΑ-ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ, ANNA ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ-ΨΑΡΡΑΚΟΥ, ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΙΟΥΝΤΑΣ, UNIVERSITY STUDIO PRESS

<http://aktinologiaradiologia.blogspot.com/2011/04/spect-spectct-pet-petct.html>

<http://medicalphysics.med.uoc.gr/modules.php?name=News&file=article&sid=112>

2.2.

2.2.1. https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

2.2.2. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf?fbclid=IwAR2PTUkKyWAKCfkyboQR2OBN6qzqxqtXg-Ise4giCED-5oSBYnRgKSYPN_4

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

2.2.3. Καθοδηγητικά Επίπεδα Δόσης (ΚΕΔ) στις πρακτικές Πυρηνικής Ιατρικής-Θεόδωρος Δ. Σκούρας

2.2.4. Καθοδηγητικά Επίπεδα Δόσης (ΚΕΔ) στις πρακτικές Πυρηνικής Ιατρικής-Θεόδωρος Δ. Σκούρας

https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf

- 2.2.5. [https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2017/01/EANM Dosage Card 040214.pdf](https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2017/01/EANM_Dosage_Card_040214.pdf)
[https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744 ICRP Publication 135 Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Madan_Rehani/publication/320633744_ICRP_Publication_135_Diagnostic_Reference_Levels_in_Medical_Imaging/links/5a0984cda6fdcc65eab57766/ICRP-Publication-135-Diagnostic-Reference-Levels-in-Medical-Imaging.pdf)
- 2.2.6. <https://www.nuclmed.gr/wp/wp-content/uploads/2017/03/39-3.pdf>

https://eeae.gr/files/nomothesia/26_114B_YA_2_92027_FEK_2345_B_2007.pdf?fbclid=IwAR3-4guZcX_47rGuAgEtmzY2XeK-SNrhh_mmJjpPvAEJ1UuL5Z8t-vemDRQM

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- 1 <http://ikee.lib.auth.gr/record/288217/files/THESIS%20GIOTA.pdf>

<http://www.imop.gr/diagnwstikes-eksetaseis/spinthhrographma>
- 2 Δεν χρησιμοποιήθηκαν πηγές
- 3 [https://www.moh.gov.cy/MOH/llgh/llgh.nsf/All/C5278545BE518D4FC2257F6400379295/\\$file/%CE%9F%CE%94%CE%97%CE%93%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A3%20%CE%91%CE%A3%CE%98%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%93%CE%99%CE%91%20%CE%A4%CE%97%CE%9D%20%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%97%20%CE%A0%CE%A5%CE%A1%CE%97%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3%20%CE%99%CE%91%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3.pdf](https://www.moh.gov.cy/MOH/llgh/llgh.nsf/All/C5278545BE518D4FC2257F6400379295/$file/%CE%9F%CE%94%CE%97%CE%93%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A3%20%CE%91%CE%A3%CE%98%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%93%CE%99%CE%91%20%CE%A4%CE%97%CE%9D%20%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%97%20%CE%A0%CE%A5%CE%A1%CE%97%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3%20%CE%99%CE%91%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3.pdf)

<https://www.sambalis.gr/pathiseis/endocrine/parathyroids/>

https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2017/20170109136830/anx_136830_el.pdf

https://eclass.teiath.gr/modules/document/file.php/RADAKT169/seminar_notes.pdf

<https://www.rxlist.com/myoview-drug.htm>

<https://www.drugs.com/mmx/technetium-tc-99m-mercaptoacetyltriglycine.html>

<https://www.drugs.com/pro/rotop-dmsa.html>

<https://www.drugs.com/uk/nanocoll-500-micrograms-kit-for-radiopharmaceutical-preparation-leaflet.html>

<https://www.drugs.com/mmx/technetium-tc-99m-mibi.html>

<https://www.drugs.com/dosage/datscan.html>

<https://www.drugs.com/mmx/technetium-tc-99m-medronate.html>

