



Διπλωματική Εργασία

Μέτρηση απορροφούμενης δόσης στα δάκτυλα
επεμβατικών ακτινολόγων από ακτινοσκοπικά
καθοδηγούμενες πράξεις με χρήση δοσιμέτρων
θερμοφωταύγειας

Παπανικολάου Χριστίνα Άννα
Πανεπιστήμιο Κρήτης, τμήμα Φυσικής

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΕΡΙΣΥΝΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Ηράκλειο, Μάρτιος 2016

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μετρήθηκε η απορροφούμενη δόση στα δάχτυλα επεμβατικού ακτινολόγου από τέσσερα είδη ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενων πράξεων στις οποίες τα χέρια βρίσκονται, με μεγαλύτερη συχνότητα από τις υπόλοιπες επεμβατικές πράξεις, κοντά η ακόμη και μέσα στο πεδίο ακτινοβολήσης. Για την διαδικασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν δοσίμετρα θερμοφωταύγειας TLD 200, δέκα δοσίμετρα τοποθετήθηκαν ένα σε κάθε δάχτυλο του επεμβατικού ακτινολόγου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην μονάδα αγγειογραφίας-Επεμβατικής Ακτινολογίας του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Ηρακλείου (ΠΑΓΝΗ) για χρονικό διάστημα τεσσάρων μηνών.

Οι δόσεις για όλες τις ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενες διαδικασίες ήταν μεγαλύτερες για το αριστερό χέρι του επεμβατικού ακτινολόγου. Για την παροχέτευση χοληφόρων οι μέσες δόσεις στο δεξί χέρι κυμαίνονται από 0,40 mGy μέχρι 0,78 mGy, ενώ η μέγιστη που καταγράφηκε, συνολικά σε όλα τα περιστατικά είναι αυτή δείκτη ίση με 1,36 mGy. Για το αριστερό χέρι το εύρος της μέσης δόσης είναι από 1,32 mGy έως και 3,28 mGy, ωστόσο η μέγιστη δόση που μετρήθηκε είναι ίση με 6,32 mGy. Ο συνολικός χρόνος ακτινοσκόπησης στην συγκεκριμένη επεμβατική πράξη κυμαίνεται από 4 μέχρι και 20 min.

Στην τοποθέτηση νεφροστομίας η μέση δόση των δαχτύλων του δεξιού χεριού ξεκινά από 0,13 mGy και φτάνει έως 0,26 mGy, για τα αριστερά από 0,20 mGy μέχρι 0,35 mGy, καταγράφοντας όμως μέγιστη τιμή δόσης για τον παράμεσο ίση με 1,16 mGy. Η τοποθέτηση διουρητικού PIGTAIL κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα δόσης με την τοποθέτηση νεφροστομίας σημειώνοντας μέγιστη δόση για τον παράμεσο αριστερού χεριού, ίση με 0,90 mGy.

Η ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενη πράξη της Φιστουλοπλαστικής είναι αυτή για την οποία καταγράφηκαν οι πιο μικρές δόσεις και για τα δύο χέρια. Στο δεξί χέρι η μέση δόση για κάθε δάχτυλο είναι ίση με 0,02 mGy, για το αριστερό κυμαίνεται από 0,04 mGy μέχρι και 0,09 mGy, καταγράφοντας ωστόσο τιμή δόσης ίση με 0,15 mGy για τον παράμεσο. Το χρονικό διάστημα ακτινοσκόπησης στη συγκεκριμένη ακτινοσκοπικά

καθοδηγούμενη πράξη κυμαίνεται από περίπου 2 μέχρι 8 min. Η απορροφούμενη δόση είναι άμεσα συνδεδεμένη από τον χρόνο ακτινοσκόπησης, αλλά δεν εξαρτάται απόλυτα μόνο από αυτόν. Ωστόσο, ο κίνδυνος, για κάθε μία από τις ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενες πράξεις, να πλησιάσει ο επεμβατικός ακτινολόγος το ετήσιο όριο δόσης στα άκρα είναι αμελητέος.

Ευχαριστίες

Πρώτα, θα ήθελα να πω ένα θερμό ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Περισυνάκη, αναπληρωτή καθηγητή Ιατρικής Φυσικής της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κρήτης, για την συνεχή του καθοδήγηση, τις γνώσεις που μου προσέφερε και την υποστήριξη του από την έναρξη μέχρι και το τέλος της παρούσας μελέτης.

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με την συνεργασία της μονάδας Αγγειογραφίας- Επεμβατικής Ακτινολογίας, του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Ηρακλείου (ΠΑΓΝΗ).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Τσέτη, Καθηγητή Ακτινολογίας του τμήματος Ιατρικής Απεικόνισης της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κρήτης για τη συνεργασία του ώστε να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία.

Επίσης, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Ηλία Κεχαγιά, Επεμβατικό Ακτινολόγο που συνέβαλε με μεγάλο ενδιαφέρον και ζήλο στην διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της παρούσας εργασίας, καθώς και σε όλο το προσωπικό της μονάδας Αγγειογραφίας- Επεμβατικής Ακτινολογίας για την κατανόηση και την συνεχή προσπάθεια για διευκόλυνση της προσπάθειας μου αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Γεωργία Σολωμού, Διδάκτορα Ιατρικής Φυσικής, για την απεριόριστη βοήθεια της βρίσκοντας πάντα χρόνο ανάμεσα στις ατέλειωτες υποχρεώσεις της.

Αφιερώνω την παρούσα εργασία στην οικογένεια μου, που βρίσκεται πάντα δίπλα μου, με στηρίζει και με ενθαρρύνει να κυνηγήσω τα όνειρα μου.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	2
ΑΚΤΙΝΕΣ Χ	
1.1 Η ανακάλυψη των ακτίνων Χ	3
1.2 Λυχνία παραγωγής ακτίνων Χ	4
1.3 Αλληλεπίδραση φωτονίων ακτίνων Χ με την ύλη	5
1.3.1 Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	6
1.3.2 Φαινόμενο Compton	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	10
ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ	
2.1 Δοσιμετρικά Μεγέθη	11
2.2 Όρια δόσης Ακτινοβολίας	14
2.2.1 Βασικές αρχές Ακτινοπροστασίας	14
2.2.2 Αρχή Ορίων Δόσεων	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	16
ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΘΕΡΜΟΦΩΤΑΥΓΕΙΑΣ	
3.1 Θερμοφωταύγεια	17
3.2 Δοσίμετρα θερμοφωταύγειας	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	21
ΕΠΕΜΒΑΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑ	
4.1 Βασικές αρχές Ακτινοσκόπησης	22

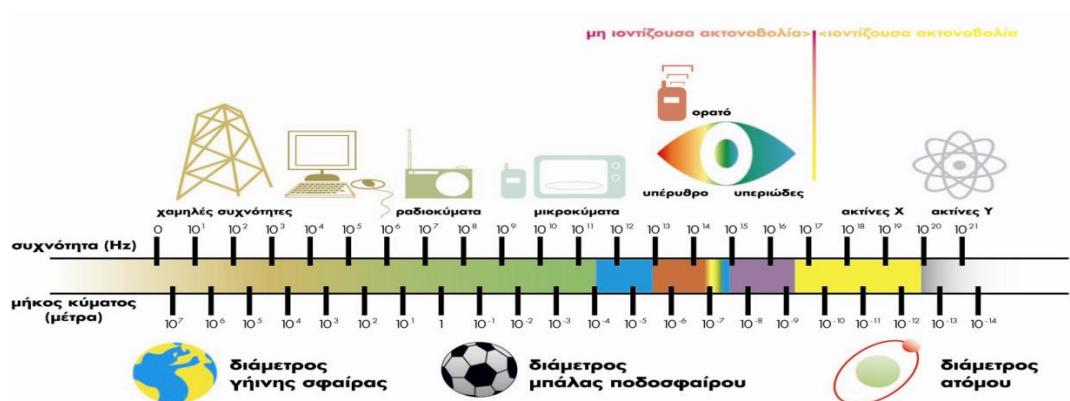
4.2 Επεμβατικές Ακτινολογικές Πράξεις που απαιτούν τοποθέτηση των χεριών των ακτινολόγων εντός πεδίου ακτινοβολήσης	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	28
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	
5.1 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν	28
5.2 Βαθμονόμηση δοσιμέτρων θερμοφωταύγειας	29
5.3 Θερμική επεξεργασία των δοσιμέτρων (Annealing)	30
5.4 Ανάγνωση σήματος δοσιμέτρων	31
5.5 Καμπύλη αίγλης (Glow Curve)	33
5.6 Διαδικασία χρήσης κρυστάλλων	33
5.7 Ανάλυση αποτελεσμάτων	36
5.8 Συμπεράσματα	47

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΚΤΙΝΕΣ Χ

Η ακτινοβολία χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες την ιοντίζουσα και την μη ιοντίζουσα.

Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι γενικός όρος για ακτινοβολίες που δεν έχουν επαρκή ενέργεια για την απόσπαση ηλεκτρονίων από τα άτομα και συνεπώς διάσπαση χημικών δεσμών. Η μη ιοντίζουσα ακτινοβολία δεν συνδέεται με κινδύνους για την υγεία, σε αντίθεση με την ιοντίζουσα ακτινοβολία. Στην κατηγορία αυτή εντάσσεται η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ραδιοτηλεοπτικούς πομπούς, κεραιές κινητής τηλεφωνίας, ραντάρ, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές.



Εικόνα 1.1 Ιοντίζουσα και μη ιοντίζουσα ακτινοβολία.

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι ακτινοβολία υψηλής ενέργειας που μπορεί να εισχωρήσει στην ύλη, προκαλώντας ιονισμό των ατόμων της, διώχνοντας δηλαδή τα ηλεκτρόνια από τα άτομα δημιουργώντας ιόντα. Μπορεί να διασπάσει χημικούς δεσμούς και θεωρείται επικίνδυνη για τους ζωντανούς οργανισμούς καθώς μπορεί να αλλοιώσει τα μόρια DNA. Η πιο διεισδυτική ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι η ηλεκτρομαγνητική και η ακτινοβολία νετρονίων, τα οποία έχουν ουδέτερο φορτίο και δεν αντιδρούν ηλεκτρικά με τα άτομα της ύλης.

Οι πιο γνωστές ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτίνες Χ , ακτίνες α, β, και γ.

1.1 Η ανακάλυψη των ακτίνων Χ

Ο Γερμανός φυσικός Wilhelm Conrad Roentgen (27 Μαρτίου 1845 - 10 Φεβρουαρίου 1923) βραβεύτηκε το 1901 με το βραβείο Νόμπελ για την ανακάλυψη των ακτίνων Χ. Το 1895 και ενώ εργαζόταν στο πανεπιστήμιο του Würzburg διερευνώντας τη διεισδυτικότητα των καθοδικών ακτίκων, τυχαία βλέποντας μια περίεργη λάμψη ανακάλυψε τις ακτίνες Χ. Ο Γερμανός φυσικός δεν έφυγε, για εβδομάδες, από το εργαστήριο του μέχρι να αντιληφθεί τι ακριβώς ήταν αυτή η λάμψη



Εικόνα 1.2 Ο Γερμανός φυσικός Wilhelm Conrad Roentgen (27 Μαρτίου 1845 - 10 Φεβρουαρίου 1923).



Εικόνα 1.3 Η πρώτη ακτινογραφία στις 22 Δεκέμβρη του 1895. Απεικονίζεται το χέρι της συζύγου του Roentgen.

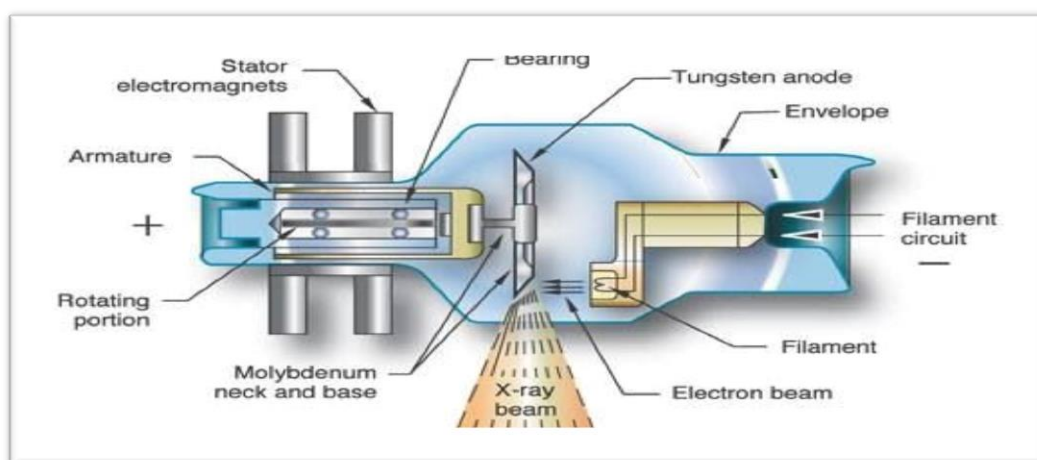
Πάνω στα πειράματα του αυτά αναπτύχθηκαν αρκετά αργότερα μηχανήματα παραγωγής ακτίνων-X που χρησιμοποιήθηκαν στην Ιατρική. Στις 22 Δεκέμβρη του 1895 ο Roentgen κατάφερε να πάρει την πρώτη του ακτινογραφία, χρησιμοποιώντας το γνωστό πια σε όλους χέρι της συζύγου του (εικ.1.3).

Οι ακτίνες X είναι ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 10 nm με 10 pm, το τμήμα αυτό του φάσματος βρίσκεται μεταξύ των τμημάτων της υπεριώδους ακτινοβολίας και των ακτίνων γ. Οι ακτίνες X διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση την ενέργεια τους, τις μαλακές και τις σκληρές ακτίνες X.

Η ακτινοβολία X βρίσκει εφαρμογές στην Ιατρική, λόγω της αλληλεπίδρασης της με την ύλη, στην Ακτινοδιάγνωση χρησιμοποιούνται φωτόνια ακτίνων X ενέργειας από 50 έως 150 keV ενώ στην Ακτινοθεραπεία έως 500 keV [Πηγή: Nobelprize.org, physicsgg.me].

1.2 Λυχνία παραγωγής ακτίνων X

Η παραγωγή ακτίνων X βασίζεται στην απότομη μεταβολή της ταχύτητας των ηλεκτρονίων, όταν αυτά προσκρούσουν στο υλικό – στόχο, λόγω αλληλεπίδρασης με το πεδίο των πυρήνων του υλικού.



Εικόνα 1.4 Τομή λυχνίας παραγωγής ακτίνων X με περιστρεφόμενη άνοδο.

Η λυχνία παραγωγής των ακτίνων Χ αποτελείται από ένα σωλήνα κενού με δύο ηλεκτρόδια, μεταξύ των οποίων δημιουργείται διαφορά δυναμικού. Τα ηλεκτρόνια παράγονται στη κάθοδο, επιταχύνονται λόγω της διαφοράς δυναμικού και στη συνέχεια προσπίπτουν στην άνοδο, όπου η κινητική τους ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνητική. Η κινητική ενέργεια που χάνει κάθε ηλεκτρόνιο, λόγω της μεταβολής αυτής της ταχύτητάς του, μετατρέπεται σε φωτόνιο ακτίνων Χ, ίσης ενέργειας. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται ακτινοβολία πέδησης.

1.3 Αλληλεπίδραση φωτονίων ακτίνων Χ με την ύλη

Τα φωτόνια ακτίνων Χ ή γ αλληλεπιδρούν με κατά την είσοδό τους στην ύλη, με τα σωματίδια καθώς και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία των ιστών, με άμεσο αποτέλεσμα την εξασθένηση της δέσμης των φωτονίων. Η μείωση αυτή της έντασης ακολουθεί τον εκθετικό νόμο,

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

όπου I_0 , η ένταση της αρχικής δέσμης φωτονίων,

I , η ένταση δέσμης μετά από διέλευση x cm μέσα στην ύλη

και μ , ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης .

Οι αλληλεπιδράσεις των φωτονίων με την ύλη κατατάσσονται σε :

- Αλληλεπιδράσεις απορρόφησης : το φωτόνιο που προσκρούει στην ύλη εξαφανίζεται και όλη του η ενέργεια μεταφέρεται στο άτομο ή μόριο με το οποίο αλληλεπιδρά.
- Αλληλεπιδράσεις σκέδασης : το φωτόνιο αποκλίνει της πορείας του, μεταφέροντας μέρος της ενέργειας του στο άτομο ή μόριο με το οποίο προσκρούει.

Οι δύο κύριοι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης των φωτονίων με την ύλη είναι οι εξής:

- Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο
- Σκέδαση Compton

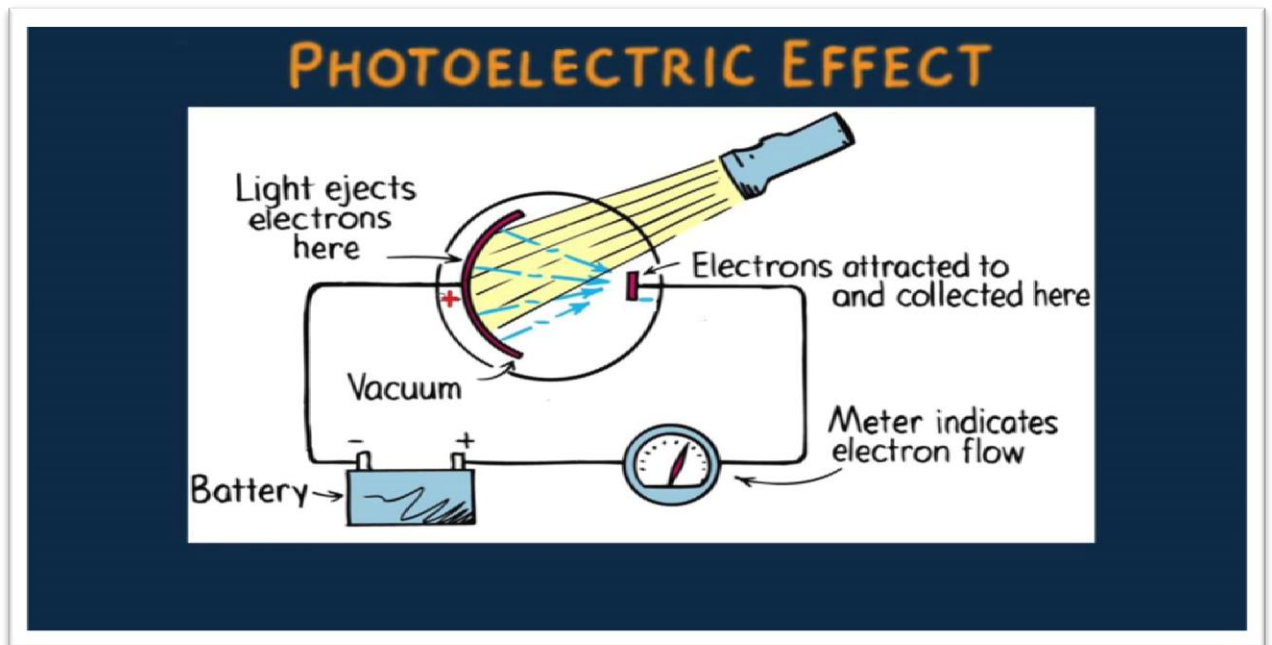
1.3.1 Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι αλληλεπίδραση απορρόφησης, το φωτόνιο κατ' επέκταση μεταφέρει όλη του την ενέργεια στο δέσμιο ηλεκτρόνιο του ατόμου. Το ηλεκτρόνιο με τη σειρά του αποδεσμεύεται από την έλξη του πυρήνα και την εναπομένουσα ενέργεια την χρησιμοποιεί ως κινητική. Στη συνέχεια, η θέση που μένει κενή από το αποσπώμενο ηλεκτρόνιο συμπληρώνεται από ένα άλλο, με μικρότερη δεσμευτική ενέργεια. Οι μεταπτώσεις των ηλεκτρονίων συνοδεύονται από εκπομπή ενέργειας, με μορφή ακτινοβολίας Χ [Πηγή:Τραχανάς Σ., Κβαντομηχανική I]

Το ενεργειακό ισοζύγιο δίνεται από την φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein:

$$E = h \cdot \nu = \frac{m_e \cdot u^2}{2} + E_B \quad ,$$

όπου ο πρώτος όρος στο άθροισμα εκφράζει την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου και ο δεύτερος την ενέργεια ιονισμού.

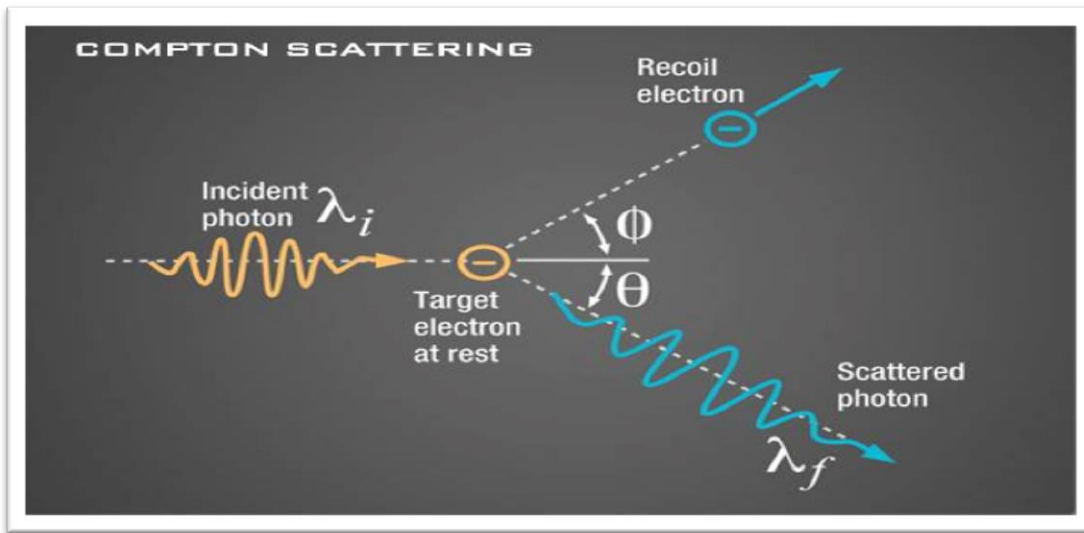


Εικόνα 1.5 Πειραματική διάταξη για τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η φωτεινή δέσμη «πέφτει» σε μία φωτοευαίσθητη κάθοδο, τα αποσπώμενα ηλεκτρόνια συλλέγονται από την άνοδο και παράγεται έτσι το φωτοηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο διαρρέει το κύκλωμα.

Η πιθανότητα της αλληλεπίδρασης αυτής μειώνεται σχετικά γρήγορα με την αύξηση της ενέργειας του φωτονίου, ενώ είναι πολύ μεγάλη σε άτομα με υψηλό ατομικό αριθμό. Γενικά, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο παίζει καθοριστικό ρόλο στις ακτινοδιαγνωστικές εικόνες. Η φωτοηλεκτρική απορρόφηση και η απορρόφηση Compton είναι τα φαινόμενα που καθορίζουν την αντίθεση της ακτινογραφικής και ακτινοσκοπικής εικόνας. Ο σχηματισμός της ακτινοδιαγνωστικής εικόνας οφείλεται στη διαφορά της πυκνότητας και του ατομικού αριθμού ανάμεσα στους ιστούς. Όσο πιο μικρή είναι η ενέργεια των φωτονίων της δέσμης τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ευκρίνεια των ιστών. Τα οστά έχουν μεγαλύτερο ατομικό αριθμό και πυκνότητα από τον μαλακό ιστό και κατ' επέκταση απορροφούν πιο έντονα τα φωτόνια της δέσμης με αποτέλεσμα να απεικονίζονται στο φιλμ ως περιοχές μειωμένης αμαύρωσης σε αντίθεση με τους μαλακούς ιστούς που εμφανίζονται σαν περιοχές αυξημένης αμαύρωσης [Πηγή: Σολωμού Γ., Διδακτορική διατριβή, Κεφ. 1].

1.3.2 Φαινόμενο Compton

Το φαινόμενο Compton είναι η ελαστική κρούση ενός φωτονίου με ένα ηλεκτρόνιο, είναι αλληλεπίδραση σκέδασης, έτσι το ηλεκτρόνιο θα πάρει ένα μέρος της ενέργειας του φωτονίου, το οποίο θα σκεδαστεί με μειωμένη ενέργεια προς άλλη κατεύθυνση, σχηματίζοντας γωνία θ με την αρχική του κατεύθυνση. Η μεταβολή του μήκους κύματος είναι ανάλογη με τη γωνία σκέδασης θ , σύμφωνα με την εξίσωση του φαινομένου Compton,



Εικόνα 1.6 Σκέδαση Compton, η σύγκρουση ενός φωτονίου με ένα ηλεκτρόνιο.

$$\Delta\lambda = \lambda_i - \lambda_f = \frac{h}{m_e \cdot c} (1 - \cos \theta) ,$$

όπου, λ_i το αρχικό μήκος κύματος του φωτονίου

λ_f το μήκος κύματος του σκεδαζόμενου φωτονίου και

θ η γωνία σκέδασης.

Στις ακτινοδιαγνωστικές πράξεις το ποσοστό ενέργειας, που αποδίδεται στο ηλεκτρόνιο, είναι μικρό ακόμα και για μεγάλες γωνίες σκέδασης. Έτσι, τα φωτόνια που σκεδάζονται προς την πλευρά των χειριστών των ακτινολογικών μηχανημάτων φέρουν σημαντική ενέργεια, πράγμα που δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις ακτινοπροστασίας [Πηγή: Ιατρική Φυσική, τόμος *I*, Προυκάκης Χ., 2004, Kuncic, Zdenka, 12 March 2013, Radiation Physics and Dosimetry, The University of Sydney]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ

Η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη, προσπίπτοντας στους ιστούς και προκαλώντας χημικές και βιολογικές αλλαγές. Η επίδραση αυτή, της ακτινοβολίας στον άνθρωπο εξαρτάται από την ποσότητα και την κατανομή της ενέργειας που μεταφέρεται στον ιστό, καθώς και το είδος του ιστού που ακτινοβολείται.

Δοσιμετρία είναι ο τομέας της Φυσικής, που ασχολείται με τη μέτρηση και τα αποτελέσματα των ακτινοβολιών, σε βιολογικό επίπεδο. Τα φυσικά και δοσιμετρικά μεγέθη είναι αυτά που «συνδέουν» το είδος και την ενέργεια της ακτινοβολίας, με την δόση και την πιθανή βλάβη στον εκτιθέμενο ιστό.

2.1 Δοσιμετρικά Μεγέθη

- Ροή σωματιδίων (Φ)

Η ροή σωματιδίων ορίζεται ως $\Phi = dN/dA$,

όπου dN ο αριθμός των σωματιδίων που διέρχονται από την επιφάνεια dA . Μονάδα μέτρησης της ροής Φ είναι το cm^{-2} .

- Απορροφούμενη δόση (D)

Ως απορροφούμενη δόση (Absorbed Dose) ορίζουμε το μέγεθος το οποίο εκφράζει το ποσό της μέσης ενέργειας μιας ιοντίζουσας ακτινοβολίας, που εναποτίθεται σε έναν ιστό ή όργανο, ανά μονάδα μάζας,

$$D = \frac{dE}{dm} .$$

Μονάδα μέτρησης της απορροφούμενης δόσης, στο διεθνές σύστημα μονάδων (*S.I*), είναι το *Gray (Gy)*, το οποίο είναι ίσο με μέση ενέργεια ίση με ένα *Joule*, η οποία εναποτίθεται σε ύλη με μάζα ίση με ένα kg. Συνήθως, γίνεται χρήση υποπολλαπλασίων του *Gy*, όπως το *mGy* και το *μGy*. Παλαιότερα, ως μονάδα μέτρησης της απορροφούμενης δόσης χρησιμοποιούνταν το *rad* για το οποίο ισχύει η αντιστοιχία $1 Gy = 100 rad$.

Ο ρυθμός μεταβολής της απορροφούμενης δόσης δίνεται από την παράγωγο της απορροφούμενης δόσης ως προς τον χρόνο,

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} .$$

Μονάδα μέτρησης του ρυθμού μεταβολής \dot{D} στο (*S.I*) είναι το $Gy \cdot s^{-1}$.

- Kerma (*K*)

Το Kerma (Kinetic energy released in matter) ισούται με το άθροισμα της μέσης αρχικής κινητικής ενέργειας των φορτισμένων σωματιδίων, τα οποία απελευθερώνονται από μη φορτισμένα σωματίδια σε μία μονάδα μάζας dm , προς τη μάζα dm :

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Μονάδα μέτρησης του Kerma είναι το Gray (*Gy*)

- Έκθεση (*X*)

Ως Έκθεση (Exposure) ορίζεται ο λόγος dQ προς dm , που αντιστοιχεί στην απόλυτη τιμή του συνολικού φορτίου όλων των σωματιδίων, όταν όλα τα ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια που παράγονται σε μάζα αέρα dm σταματούν τελείως σε αυτόν.

$$X = dQ/dm$$

Μονάδα μέτρησης έκθεσης στο $S.I$ είναι το $C \cdot Kg^{-1}$. Παλαιότερη μονάδα μέτρησης της Έκθεσης ήταν το $Röntgen (R)$, με το $1R$ να ισούται με $2.58 \cdot 10^{-4} C \cdot Kg^{-1}$.

Η Έκθεση ορίζεται μόνο για τον αέρα και μόνο για ακτινοβολία φωτονίων ενέργειας μέχρι $3 MeV$ [Πηγή: Σολωμού Γ., Διδακτορική διατριβή, 2015, κεφ.2]

- Ισοδύναμη δόση

Το γινόμενο τα απορροφούμενης δόσης ενός ιστού ή οργάνου με τον παράγοντα στάθμισης της ακτινοβολίας, ορίζει την ισοδύναμη δόση (Equivalent Dose).

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot w_R$$

Μονάδα μέτρησης είναι το *Sievert (Sv)*, που αντιστοιχεί όμως σε μεγάλες δόσεις, για το λόγο αυτό γίνεται χρήση των υποπολλαπλασίων του mSv και μSv .

Ο παράγοντας στάθμισης ακτινοβολίας είναι διαφορετικός για κάθε είδος ακτινοβολίας. Η βιολογική επιβάρυνση εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας, για ακτινοβολία φωτονίων και ηλεκτρονίων ο παράγοντας w_R ισούται με τη μονάδα, για πρωτόνια είναι ίσος με δύο, ενώ για σωμάτια άλφα βρίσκεται ίσος με είκοσι. Για ακτινοβολίες νετρονίων, ο συντελεστής στάθμισης μπορεί να πάρει διαφορετικές τιμές, ανάλογα με την ενέργεια των νετρονίων.

- Ενεργός δόση

Ως ενεργός δόση (Effective Dose) ορίζεται το γινόμενο της ισοδύναμης δόσης με τον παράγοντα στάθμισης ιστού.

$$E_{eff} = H_T \cdot w_T$$

Ο συντελεστής w_T χαρακτηρίζει την ευαισθησία του ιστού, για τους πνεύμονες, το παχύ έντερο και το στομάχι ο συντελεστής w_T ισούται με

0,12 σε αντίθεση με το δέρμα και τα οστά που φτάνει την τιμή 0,01. Τα γεννητικά όργανα έχουν παράγοντα στάθμισης ίσο με 0,20. Η E_{eff} και εκφράζει τη συνολική βλάβη προκαλείται στην υγεία του ατόμου από την ακτινοβολήση ενός συγκεκριμένου ιστού με ισοδύναμη δόση H_T .

Στην περίπτωση που κατά την έκθεση του ατόμου ακτινοβολήθηκαν περισσότεροι από ένας ιστοί, τότε η ενεργός δόση E_{eff} προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους ενεργών δόσεων των ιστών που ακτινοβολήθηκαν.

$$E_{eff} = \sum_T H_T \cdot W_T = \sum_T W_T \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

Η ενεργός δόση, E_{eff} , είναι το δοσιμετρικό μέγεθος το οποίο σχετίζεται με τον συνολικό κίνδυνο για την υγεία και είναι ανεξάρτητο από το είδος της ακτινοβολίας.

Μονάδα μέτρησης της ενεργού δόσης στο *S.I* είναι το *Sievert (Sv)*.

- DAP

Το γινόμενο της απορροφούμενης δόσης (D) μίας επιφάνειας με εμβαδόν A, επί το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής, ορίζει το Dose Area Product ή DAP.

$$DAP = D \cdot A$$

Το DAP δεν εξαρτάται από την απόσταση της πηγής ακτινοβολίας και του στόχου, παρά μόνο από την επιφάνεια του, μονάδα μέτρησης στο *S.I* είναι το $Gy \cdot cm^2$.

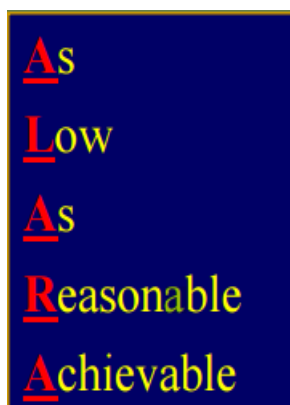
[Πηγές: medicalphysics.med.uoc.gr, Τι είναι ακτινοπροστασία, Σταματελάτος Ι., Δημόκριτος (oldportal.demokritos.gr)]

2.2 Όρια δόσης Ακτινοβολίας

Η Διεθνής Επιτροπή Ραδιολογικής Προστασίας ή Ακτινοπροστασίας (ICPR-International Committee on Radiological Protection), η οποία ιδρύθηκε το 1928 καθορίζει τις αρχές της ακτινοπροστασίας, σε όλες τις περιπτώσεις που υπάρχει έκθεση ανθρώπων σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες, είτε αυτή η έκθεση έχει θεραπευτικό υπόβαθρο, είτε επαγγελματικό.

2.2.1 Βασικές αρχές Ακτινοπροστασίας

- Αρχή Αιτιολόγησης: οποιαδήποτε έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία θα πρέπει να αιτιολογείται και το όφελος που θα προσφέρει να αντισταθμίζει τους κινδύνους που υπάρχουν.
- Αρχή Βελτιστοποίησης (ALARA): κάθε έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία θα πρέπει να διατηρείται σε τόσο χαμηλά επίπεδα, όσο είναι λογικά εφικτό (εικ.2.1).
- Αρχή Ορίων Δόσεων: η έκθεση στο σύνολο των πηγών ιοντίζουσας ακτινοβολίας θα πρέπει να υπόκειται σε όρια δόσεων, των οποίων η υπέρβαση θεωρείται μη αποδεκτή.



Εικόνα 2.1 ALARA, Αρχή Βελτιστοποίησης

2.2.2 Αρχή Ορίων Δόσεων

Τα όρια δόσης, ο περιορισμός δηλαδή της έκθεσης στην ιοντίζουσα ακτινοβολία, δηλώνουν τον ενεχόμενο συνολικό κίνδυνο για την υγεία, δόση 20 mSv , παραδείγματος χάριν, αυξάνει την πιθανότητα για θανατηφόρο καρκίνο κατά 0,1 %. Η μέση τιμή της ετήσιας δόσης δίνει την ελάχιστη πιθανότητα θανάτου ή πρόκλησης γενετικής ανωμαλίας, από την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία . Τα όρια δόσεων διαφέρουν για τον επαγγελματικά εκτιθέμενο και τον γενικό πληθυσμό.

Στον πίνακα ακολουθούν τα όρια δόσης ακτινοβολίας ανά έτος:

Πίνακας 2.1. Διεθνή Όρια Δόσεων ανά έτος

Περιοχή ακτινοβόλησης	Επαγγελματική έκθεση	Γενικός πληθυσμός
Ολόσωμη ακτινοβόληση	20 mSv / έτος	1 mSv / έτος
Φακοί οφθαλμών	50 mSv / έτος	15 mSv / έτος
Δέρμα	500 mSv / έτος	50 mSv / έτος
Χέρια και πόδια	500 mSv / έτος	—

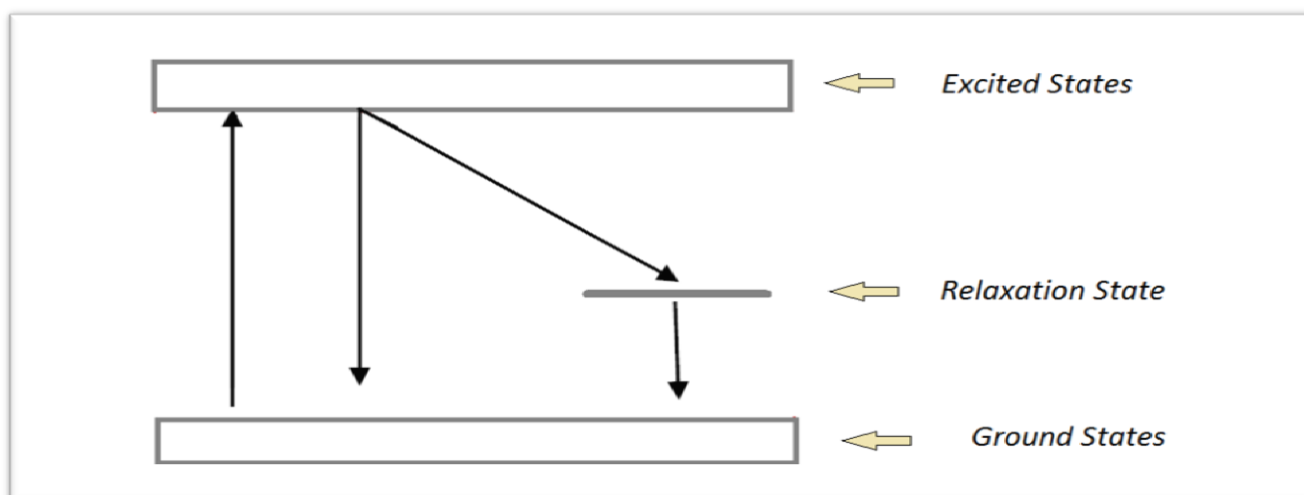
[Πηγή: Τι είναι ακτινοπροστασία, Σταματελάτος Ι., Δημόκριτος (oldportal.demokritos.gr), Σολωμού Γ., Διδακτορική Διατριβή, κεφ. 2, 2015]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΘΕΡΜΟΦΩΤΑΥΓΕΙΑΣ

Κάποια υλικά έχουν την ιδιότητα να απορροφούν ενέργεια, να αποθηκεύουν κάποιο μέρος της για ένα χρονικό διάστημα και στη συνέχεια να το επανεκπέμπουν, υπό μορφή φωτεινής ακτινοβολίας. Τα υλικά αυτά ονομάζονται φωτογενή και το φαινόμενο φωταύγεια. Η φωταύγεια μπορεί να περιγραφεί από δύο επιμέρους φαινόμενα, τον φθορισμό και τον φωσφορισμό, που διαφέρουν μόνο στο χρονικό διάστημα, το οποίο μεσολαβεί μεταξύ απορρόφησης της ενέργειας και επανεκπομπής της στην περιοχή του ορατού φάσματος.

3.1 Θερμοφωταύγεια

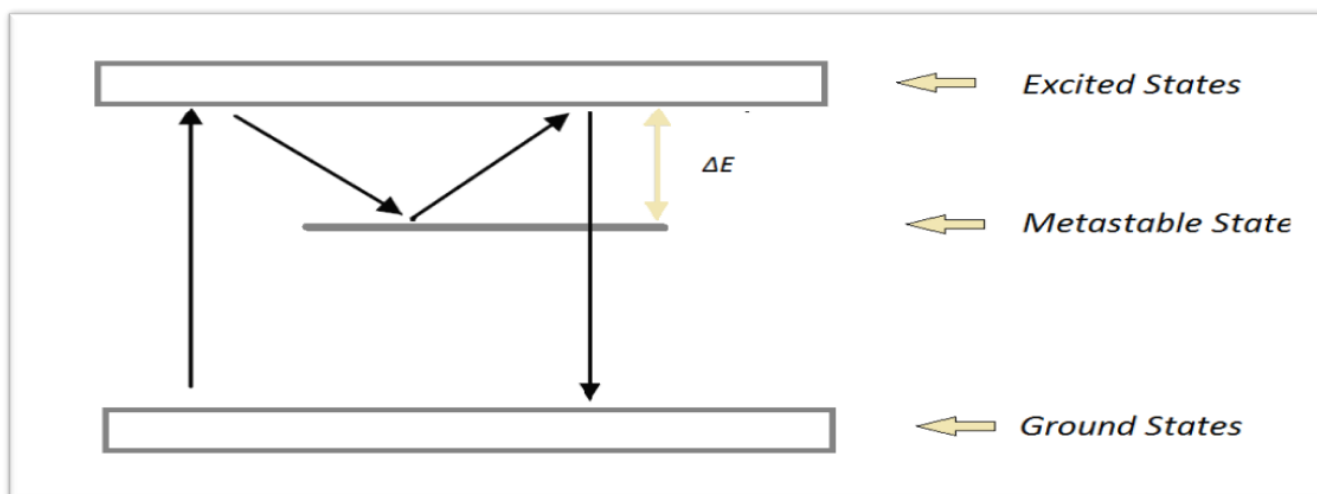
Ένα δέσμιο ηλεκτρόνιο για να διεγερθεί σε στάθμες με μεγαλύτερη ενέργεια από αυτή που ήδη βρίσκεται, πρέπει να απορροφήσει ενέργεια αρκετή για να πραγματοποιηθεί η μετάβαση, δηλαδή ίση με την ενεργειακή διαφορά των δύο σταθμών.



Εικόνα 3.1 Το φαινόμενο του φθορισμού

Στη συνέχεια, επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση είτε άμεσα, είτε μέσω μίας ενδιάμεσης, επιτρεπόμενης ενεργειακής μετάβασης εκπέμποντας το ποσό ενέργειας το οποίο απορρόφησε, υπό μορφή ορατής ακτινοβολίας (εικ. 3.1). Η διαδικασία είναι γνωστή ως φθορισμός και το χρονικό διάστημα αποδιέγερσης του ηλεκτρονίου είναι μικρότερο από 10 nanoseconds.

Εάν στο απαγορευμένο ενεργειακό χάσμα υπάρχει επιτρεπόμενη ενεργειακή στάθμη στην οποία το δέσμιο ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταβεί, αλλά η μετάβαση από τη στάθμη αυτή στη θεμελιώδη είναι απαγορευμένη, τότε παρέχεται ενέργεια στα παγιδευμένα ηλεκτρόνια στην ενδιάμεση στάθμη, ώστε να μεταβούν σε μία υψηλότερη ενεργειακή στάθμη από την οποία θα επιτρέπεται η μετάβαση στη θεμελιώδη κατάσταση. Η μετάβαση αυτή γίνεται με εκπομπή οπτικού φωτονίου, με ενέργεια ίση με την ενέργεια της μετάβασης. Σε τέτοιες περιπτώσεις ύπαρξης μετασταθούς στάθμης η διαδικασία της αποδιέγερσης επιβραδύνεται, έχοντας χρονική διάρκεια μεγαλύτερη από 100 milliseconds και το φαινόμενο ονομάζεται φωσφορισμός (εικ. 3.2).



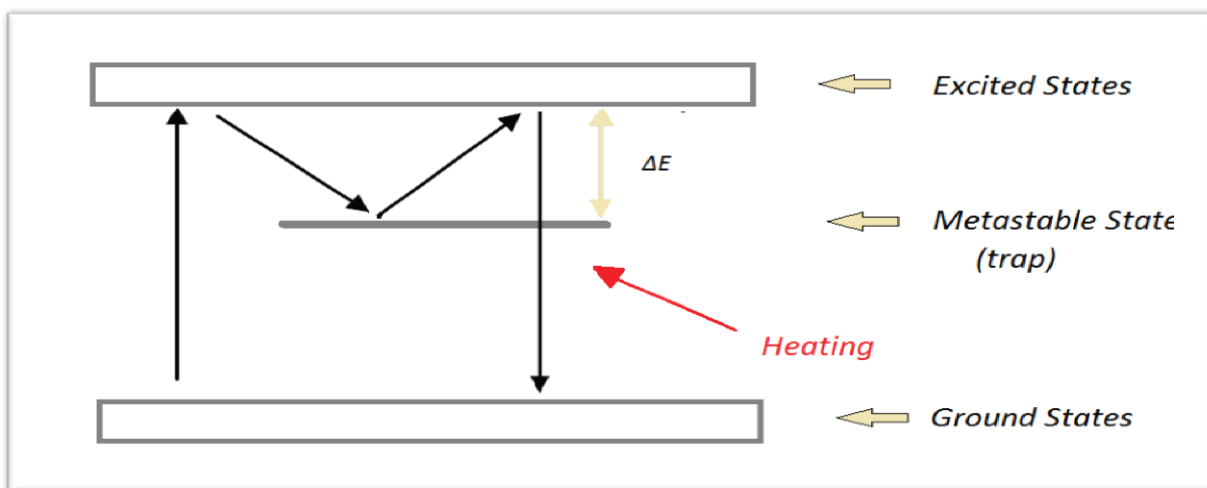
Εικόνα 3.2 Το φαινόμενο του φωσφορισμού.

Η πιθανότητα διαφυγής από τη μετασταθή αυτή κατάσταση με βάση τη εξίσωση του Boltzmann,

$$p = s \cdot \exp(-\Delta E / kT)$$

εξαρτάται εκθετικά από τη θερμοκρασία, αυξάνοντας κατ' επέκταση τη θερμοκρασία μεγαλώνει και η πιθανότητα να «ξεφύγει» το ηλεκτρόνιο από την ενεργειακή «παγίδα» στην οποία βρίσκεται. Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας, στο φωτογενές υλικό, επιταχύνει το φαινόμενο του φωσφορισμού, και τα ηλεκτρόνια καταφέρνουν πιο γρήγορα να «δραπετεύσουν» σε ενεργειακές καταστάσεις, που ευνοούν την επιστροφή τους στις θεμελιώδεις στάθμες. Το επιταχυνόμενο αυτό φαινόμενο του φωσφορισμού λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, ονομάζεται θερμοφωταύγεια (εικ. 3.3).

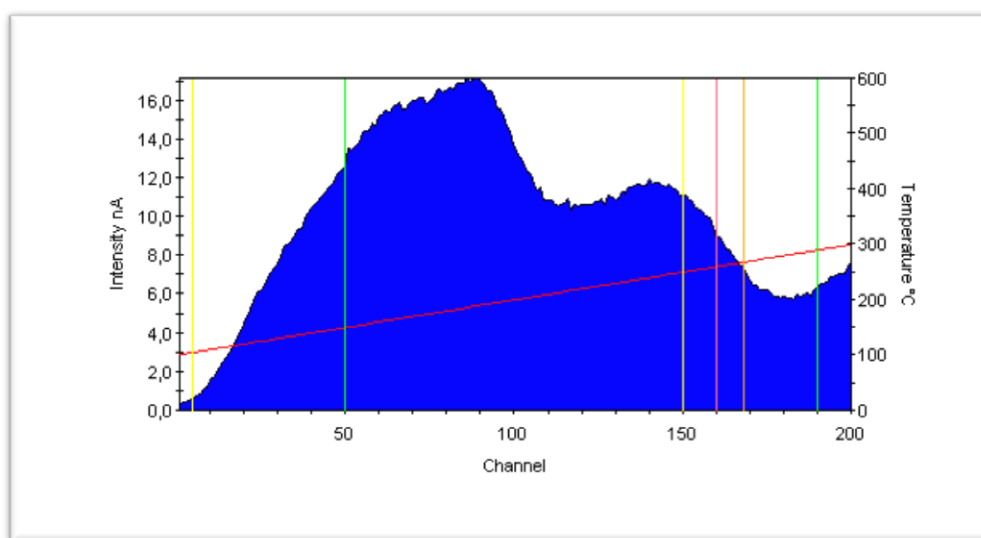
[Πηγή: Thermoluminescence Dosimetry, A.F.McKinlay]



Εικόνα 3.3 Το φαινόμενο της θερμοφωταύγειας.

3.2 Δοσίμετρα θερμοφωταύγειας

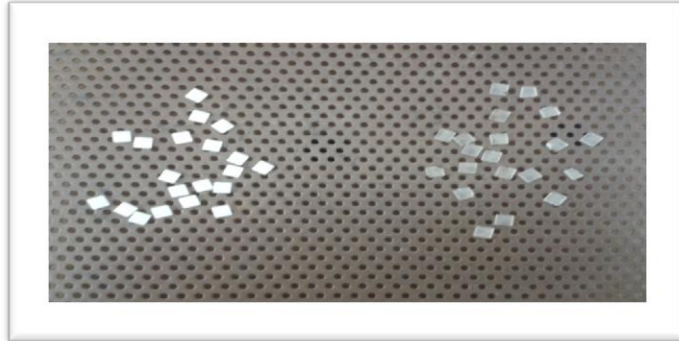
Το φαινόμενο της θερμοφωταύγειας έχει βρει ευρεία χρήση στον τομέα της Δοσιμετρίας, έχοντας πολύ μεγάλο εύρος μέτρησης δόσεων, από τις πιο χαμηλές μέχρι και αυτές που σχετίζονται με ακτινοθεραπεία. Τα δοσίμετρα θερμοφωταύγειας ή TLD (Thermo–Luminescent Dosimeters), με βάση το φαινόμενο της θερμοφωταύγειας, απορροφούν και αποθηκεύουν ενέργεια, την οποία στη συνέχεια εκπέμπουν υπό μορφή ορατού φωτός, μετά από θέρμανση. Η ορατή αυτή ακτινοβολία, μετά από συγκεκριμένη διαδικασία (θα αναπτυχθεί αναλυτικά στη συνέχεια), δίνει τη δόση την οποία απορρόφησε το υλικό.



Εικόνα 3.4 Η ένταση της οπτικής ακτινοβολίας θερμοφωταύγειας συναρτήσει της θερμοκρασίας (glow curve of TLD)

Τα δοσίμετρα μπορούν να βρεθούν σε πολλές μορφές, ανάλογα με τη χρήση τους, όπως σε σκόνη, σε κρυστάλλους, κυλίνδρους και ταινίες. Τα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στα δοσίμετρα θερμοφωταύγειας είναι ανόργανα, ημιαγωγοί ή μονωτές και

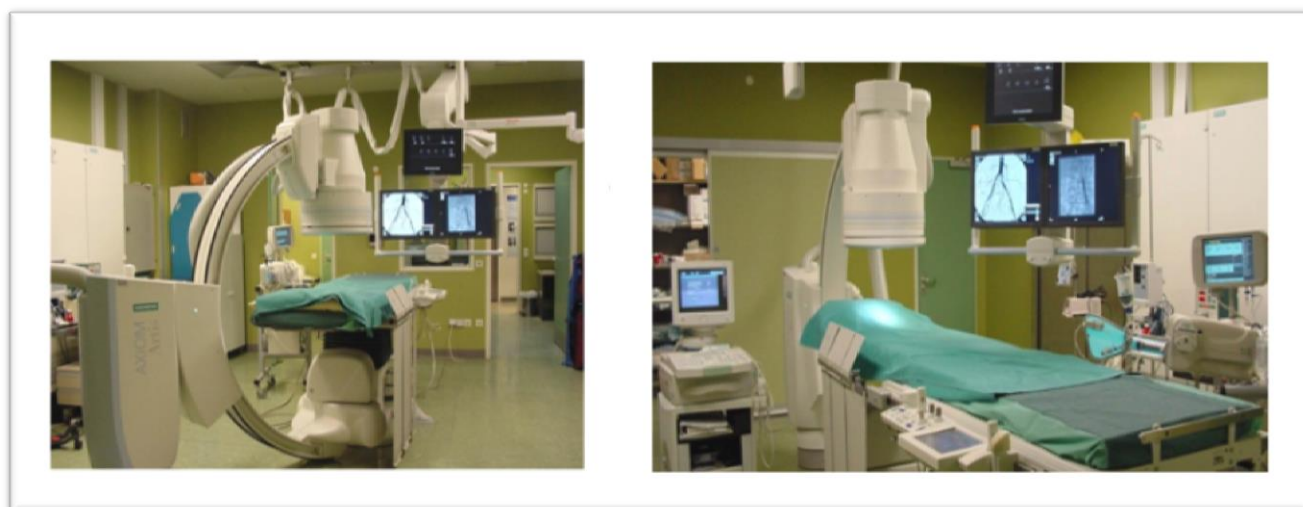
φθορίζουσες ενώσεις με τις κατάλληλες προσμίξεις, όπως φθοριούχο λίθιο (LiF) με προσμίξεις μαγγανίου ή τιτανίου, το φθοριούχο ασβέστιο (CaF_2), θειικό ασβέστιο, οξείδιο του βηρυλλίου, κ.α.



Εικόνα 3.5 Δοσίμετρα θερμοφωταύγειας TLD 100-H, TLD 200

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΕΜΒΑΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑ

Η επεμβατική ακτινολογία είναι κλάδος της ακτινολογίας που εκτός από τη διάγνωση βοηθά και στη θεραπεία πολλών παθήσεων. Οι παθήσεις, καλοήθειες και μη, κατορθώνεται να αντιμετωπιστούν με ελάχιστα επεμβατικές, στοχευμένες θεραπείες. Οι επεμβατικές πράξεις διενεργούνται κάνοντας χρήση τοπικής αναισθησίας και συνήθως με την προώθηση ειδικών καθετήρων ή βελονών στα πάσχοντα όργανα, υπό απεικονιστική παρακολούθηση. Σήμερα, πολλές περιπτώσεις που κάποτε απαιτούσαν χειρουργική παρέμβαση μπορούν να αντιμετωπιστούν μη χειρουργικά. Οι επεμβατικές ακτινολογικές πράξεις προσφέρουν μικρότερο ρίσκο, λιγότερο πόνο και μικρότερο διάστημα ανάρρωσης σε σύγκριση με τις ανοιχτές επεμβάσεις.



Εικόνα 4.1 Μονάδα επεμβατικής ακτινολογίας, ΠΑΓΝΗ

Παρ' όλα αυτά, τόσο ο ασθενής όσο και ο γιατρός εκτίθενται σε ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η Ακτινοπροστασία είναι απαραίτητη για τους γιατρούς και το υπόλοιπο προσωπικό που βοηθά στην διεξαγωγή των επεμβάσεων. Το προσωπικό δοσιμετρείται συνεχώς και προστατεύεται από ειδικά προστατευτικά σώματος, κατασκευασμένα από μόλυβδο (εικ. 4.2).



Εικόνα 4.2 Δοσίμετρα προσωπικού και προστατευτικά εξαρτήματα.

4.1 Βασικές Αρχές Ακτινοσκόπησης

Η απεικόνιση του εσωτερικού του σώματος σε πραγματικό χρόνο, καλείται Ακτινοσκόπηση. Πρόκειται για συνεχή ακτινογράφιση με προβολή και καταγραφή των εικόνων. Οι λαμβανόμενες εικόνες μπορούν να παρουσιάζουν την κίνηση των ανατομικών δομών, ενώ παραγωγή των ακτίνων-Χ γίνεται με ακτινογραφική λυχνία όπως και στην λήψη ακτινογραφιών. Η ανίχνευση της ακτινοβολίας για τον σχηματισμό της εικόνας γίνεται από ενισχυτές εικόνας συνδεδεμένους με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης [Πηγή: Κόττου Σ. Ακτινοσκόπηση, Ιατρική Σχολή Αθηνών, 2014, Occupational Radiation doses to operators performing fluoroscopically guided procedures, Kwan Pyo Kim et al., Healt Physics, July 2012]

Το σύστημα ακτινοσκόπησης αποτελείται από:

- Λυχνία ακτίνων Χ
- Φίλτρα
- Σύστημα κατευθυντήρων
- Εξεταστική Τράπεζα
- Αντι-διαχυτικό πλέγμα
- Ενισχυτής εικόνας
- Οπτικό σύστημα
- Σύστημα παρατήρησης και καταγραφής

[Πηγή: Σολωμού Γ., Διδακτορική Διατριβή, 2015, κεφ. 5].

4.2. Επεμβατικές Ακτινολογικές Πράξεις που απαιτούν τοποθέτηση των χεριών των ακτινολόγων εντός πεδίου ακτινοβολήσης.

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η δόση των δαχτύλων Επεμβατικών Ακτινολόγων σε συγκεκριμένες επεμβατικές πράξεις που τα χέρια βρίσκονται σε κοντινή απόσταση ή ακόμη και μέσα στο πεδίο ακτινοβολήσης. Οι επεμβατικές, αυτές πράξεις είναι οι εξής:

- Παροχέτευση χοληφόρων

Στην παροχέτευση χοληφόρων, τα στενωμένα ή αποφραγμένα χοληφόρα (τα λεπτά σωληνάκια που μεταφέρουν τη χολή από το ήπαρ στο έντερο) διανοίγονται με την τοποθέτηση μεταλλικών

ενδοπροθέσεων (στεντ), αποκαθιστώντας την κυκλοφορία της χολής και την ομαλή λειτουργία του ήπατος.

- Τοποθέτηση νεφροστομίας

Σε διάφορες παθήσεις των νεφρών εφαρμόζεται η διαδερμική τοποθέτηση νεφροστομίας, δηλαδή μέσω του δέρματος τοποθέτηση ενός σωλήνα που εισάγεται στο νεφρό. Τα ούρα από ένα φυσιολογικό νεφρό αποχετεύονται από ένα στενό σωλήνα τον ουρητήρα στην ουροδόχο κύστη, όταν αυτός ο σωλήνας μπλοκάρει, οι νεφροί μπορεί να υποστούν βλάβες. Μέσω της διαδικασίας αυτής είναι δυνατόν να αποχετευτούν τα ούρα στην ουροδόχο κύστη εισάγοντας έναν καθετήρα, διαμέσου του δέρματος στο νεφρό. Τα ούρα αποχετεύονται από το νεφρό σε μια πλαστική σακούλα έξω από το σώμα.

- Φιστουλοπλαστική

Η αιμοκάθαρση στην οποία υποβάλλονται ασθενείς με νεφρική ανεπάρκεια σε τακτά χρονικά διαστήματα απαιτεί την πολύωρη συνεχή ροή του αίματος τους μέσα από τα ειδικά φίλτρα του μηχανήματος αιμοκάθαρσης. Κάθε φορά που ο ασθενής υποβάλλεται σε αιμοκάθαρση, θα πρέπει το μηχάνημα να συνδέεται με κάποιο φλεβοκαθετήρα που να έχει τοποθετηθεί σε μια φλέβα του ασθενή. Για την διευκόλυνση της διαδικασίας δημιουργείται με μία μικρή επέμβαση μία αρτηριοφλεβική παράκαμψη, δηλαδή μία τεχνητή επικοινωνία μεταξύ μίας αρτηρίας και μίας γειτονικής της φλέβας. Αυτή η τεχνητή ένωση αρτηρίας με φλέβα, οδηγεί στη διάταση του αγγείου και σε σκλήρυνση του τοιχώματος του, γεγονός που με τη σειρά τους καθιστούν ευκολότερη την παρακέντηση και την αντοχή του αγγείου στο χρόνο. Συνήθως μετά από κάποιο χρονικό διάστημα μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα είτε στο εμφύτευμα της fistula είτε να δημιουργηθούν στενώσεις και αποφραγμένες φλεβες και αρτηρίες.

Τότε είναι απαραίτητη η Διαδερμική Απεικόνιση και Αποκατάσταση των βλαβών με Φιρτουλοπλαστική.

- Τοποθέτηση Διουρητικού PIG-TAIL

Σε ασθενείς που έχουν ή πιθανόν να έχουν απόφραξη του νεφρού, τοποθετείται ένας εσωτερικός σωλήνας παροχέτευσης, ο οποίος ονομάζεται “stent”, στον ουρητήρα που είναι το σωληνάκι που ενώνει το νεφρό με την ουροδόχο κύστη. Αυτό τοποθετείται προκειμένου να προλάβει ή να αντιμετωπίσει προσωρινά την απόφραξη.

[Πηγή: www.interventional.gr]

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η εργασία περιλαμβάνει 17 περιστατικά επεμβατικής ακτινολογίας και οι μετρήσεις διεξήχθησαν στο πανεπιστημιακό νοσοκομείο Ηρακλείου (ΠΑΓΝΗ), στη μονάδα Αγγειογραφίας-Επεμβατικής Ακτινολογίας, για το χρονικό Διάστημα Νοέμβρη 2015-Φεβρουαρίου 2016.

5.1 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

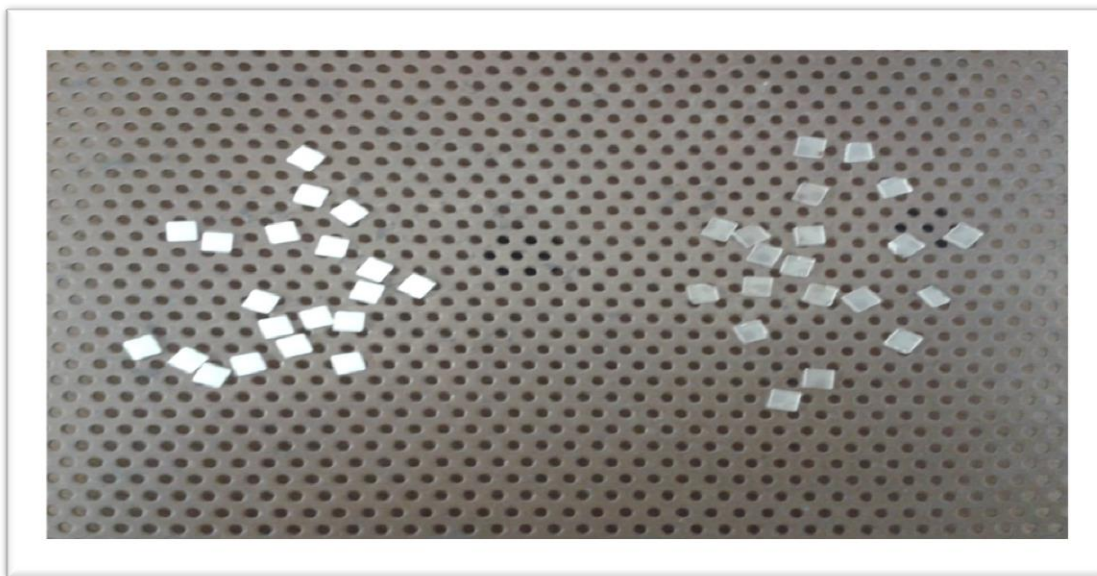
Τα υλικά που απαρτίζουν τα δοσιμέτρα θερμοφωταύγειας (TLD) εμφανίζουν γραμμική ή υπεργραμμική απόκριση στο σήμα εκπομπής τους. Σε σχετικά χαμηλές δόσεις, το σήμα είναι αυστηρά ανάλογο της απορροφούμενης δόσης. Η υπεργραμμική απόκριση εμφανίζεται μετά τη περιοχή γραμμικής απόκρισης, σε αρκετά υψηλές δόσεις. Στην παρούσα εργασία το εύρος δόσεων που κυμαινόμαστε, αντιστοιχεί στην γραμμική απόκριση.

Κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη δοσιμέτρων θερμοφωταύγειας, τα TLD 200 και τα TLD 100H.

Τα TLD 200 είναι κρύσταλλοι Φθοριούχου Ασβεστίου με προσμίξεις Δυσπροσίου, είναι πολύ ευαίσθητα και έχουν ευρεία χρήση στη Δοσιμετρία για μικρές σχετικά δόσεις. Κύριο χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων δοσιμέτρων είναι, η απαραίτητη σε κάθε μέτρηση, μετατροπή της απορροφούμενης δόσης του υλικού σε απορροφούμενη δόση μαλακού ιστού, καθώς ο συντελεστής απορρόφησης μ του υλικού είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν του μαλακού ιστού [Πηγή: The analysis of thermoluminescent glow peaks of $\text{CaF}_2:\text{Dy}$, A Necmeddin, Yazici, et.al, 2002, Institute of physics publishing].

Τα TLD 100-H (ή 700H) είναι πολύ χρήσιμα στη Δοσιμετρία, καθώς χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος δόσεων. Χρησιμοποιούνται ακόμη

και για αρκετά μεγάλες δόσεις, αφού το σήμα τους είναι γραμμικό σε σχέση με τη δόση, για δόσεις που φτάνουν μέχρι και τα 20 Gy. Είναι κρύσταλλοι Φθοριούχου Λιθίου (${}^7\text{Li}$) με προσμίξεις μαγνησίου (Mg), χαλκού (Cu) και φωσφόρου (P). Μειονέκτημα τους, το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάγνωση του σήματος τους [The dose-response of Harshaw TLD 700H, K.J.Velbec, et.al, Oxford Journals].



Εικόνα 5.1 Αριστερά TLD 100H, δεξιά TLD 200,

Κατά την έναρξη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν και τα δύο δοσίμετρα για να παρατηρηθεί ποίο θα ήταν περισσότερο χρήσιμο στη συγκεκριμένη διαδικασία μετρήσεων. Τα TLD 200 λόγω της μεγάλης ευαισθησίας τους και ευκολίας χρήσης τους σε σχετικά μικρές δόσεις, ήταν αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και στη συνέχεια διεκπεραίωσης των μετρήσεων.

5.2 Βαθμονόμηση δοσιμέτρων θερμοφωταύγειας

Η βαθμονόμηση των δοσιμέτρων θερμοφωταύγειας είναι απαραίτητη πριν από οποιαδήποτε χρήση τους, καθώς τα δοσίμετρα δεν μας παρέχουν μια απόλυτη μέτρηση της απορροφούμενης δόσης.

Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να βαθμονομηθούν σε σχέση με ένα βασικό σύστημα μέτρησης.

Συγκεκριμένα, πριν από την έναρξη των μετρήσεων κάθε ένας από τους κρυστάλλους αριθμήθηκε κατάλληλα ώστε να είναι εύκολη η εύρεσή του και η αντιστοίχιση στη συνέχεια με τον συντελεστή του. Πριν την έναρξη της βαθμονόμησης πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της ανόπτησης (annealing) και στη συνέχεια οι κρύσταλλοι ακτινοβολήθηκαν σε ένα ακτινογραφικό σύστημα. Με τη χρήση θαλάμου ιονισμού (Barracuda) μετρήσαμε τη δόση την οποία δίνουμε στα TLD, ίση με 16,01 mGy. Στη συνέχεια, διαβάζοντας το σήμα για κάθε TLD βρίσκουμε ένα μοναδικό συντελεστή βαθμονόμησης που αντιστοιχεί στο κάθε ένα, κάνοντας χρήση του τύπου

$$CF_i = D/TL_{\text{signal},i} ,$$

όπου D η δόση 16,01 mGy και TL_{signal} , το σήμα που λαμβάνουμε κατά την ανάγνωση του κάθε κρυστάλλου.

Ο συντελεστής έχει μονάδες μέτρησης mGy/nC.

Μετά την βαθμονόμηση, πραγματοποιήθηκε, ξανά, η διαδικασία της ανόπτησης (annealing).

[Πηγή: Thermoluminescence Dosimetry, A.F.McKinlay].

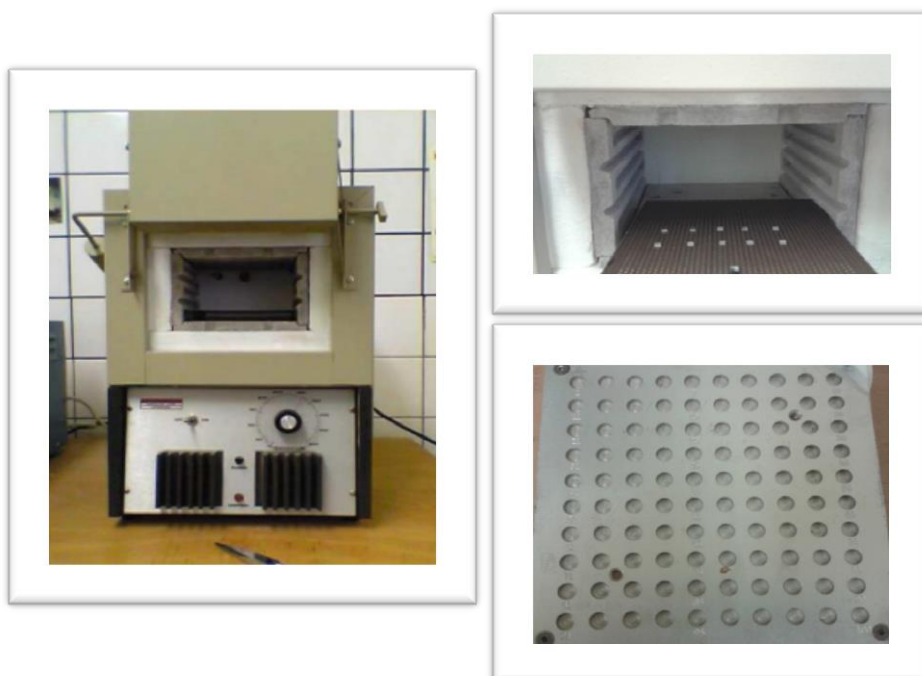
5.3 Θερμική επεξεργασία των δοσιμέτρων (Annealing)

Κάθε θερμοφωταυγές υλικό, που χρησιμοποιείται ως δοσίμετρο είναι απαραίτητο να ακολουθεί μια διαδικασία επαναφοράς των αρχικών ιδιοτήτων του, μετά από κάθε έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία και πριν από την επόμενη. Η διαδικασία αυτή

πραγματοποιείται σε μια ειδική συσκευή-φούρνο (εικ. 5.2) και ονομάζεται annealing.

Ουσιαστικά, είναι διαδικασία «μηδενισμού» σήματος του δοσιμέτρου και επαναφορά του στην αρχική κατάσταση. Είναι απαραίτητη μετά από κάθε έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία και πριν από την επόμενη και πραγματοποιείται σε μια ειδική συσκευή φούρνο για 10 min σε θερμοκρασία 320°C (για τα TLD 200)

Οι κρύσταλλοι τοποθετούνται αμέσως μετά το annealing σε βάση αλουμινίου για να επανέλθουν σε θερμοκρασία δωματίου



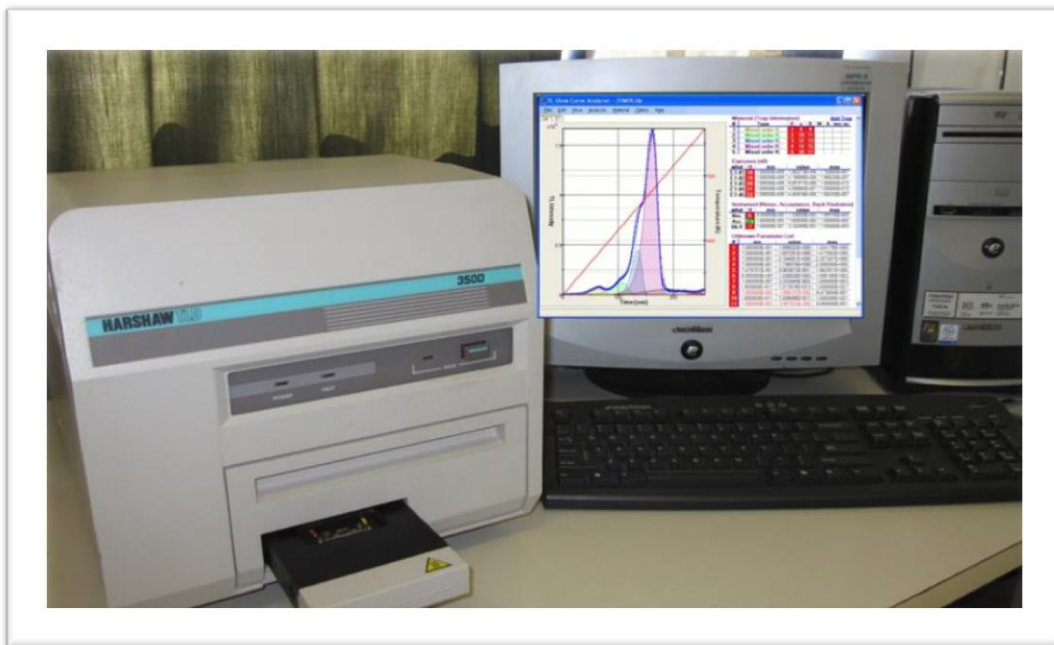
Εικόνα 5.2 Ειδική συσκευή-φούρνος (annealing oven) και βάση αλουμινίου.

5.4 Ανάγνωση σήματος δοσιμέτρων

Η διαδικασία μέτρησης του εκπεμπόμενου σήματος των κρυστάλλων θερμοφωταύγειας μετά από την έκθεσή τους σε

ιοντίζουσα ακτινοβολία γίνεται μέσω του μετρητή σήματος ή TLD Reader (εικ. 5.3). Ο μετρητής αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα:

- Σύστημα θέρμανσης, το οποίο δίνει στο υλικό τη θερμότητα που απαιτείται, ώστε να αποδεσμευτούν τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται παγιδευμένα στις ενδιάμεσες ενεργειακές στάθμες.
- Σύστημα ανίχνευσης και συλλογής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία συλλέγεται, αφού ανιχνευτεί, και μέσω των φωτοπολλαπλασιαστών μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα. Ο φωτοπολλαπλασιαστής, ουσιαστικά αυξάνει τον αριθμό των



Εικόνα 5.3 Συσκευή ανάγνωσης δοσιμέτρων θερμοφωταύγειας και ηλεκτρονικός υπολογιστής για την καταγραφή των σημάτων των δοσιμέτρων [Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, ΠΑΓΝΗ] [Σολωμού Γ., Διδακτορική Διατριβή, κεφ.7, Δεκέμβρης 2015].

ηλεκτρονίων, τα οποία απελευθερώνονται λόγω ακτινοβολίας, από το υλικό. Τα ηλεκτρόνια αυτά επιταχύνονται από την υψηλή

διαφορά δυναμικού και στη συνέχεια κατευθύνονται σε επιφάνειες, όπου και προσκρούουν εκπέμποντας ακόμη περισσότερα ηλεκτρόνια.

- Σύστημα μέτρησης σήματος, το οποίο μετρά με την βοήθεια ηλεκτρομέτρου και στη συνέχεια ενισχύει το ρεύμα το οποίο δημιουργήθηκε με τους φωτοπολλαπλασιαστές.
- Οθόνη και σύστημα καταγραφής. Το σύστημα μέτρησης ολοκληρώνεται με το κατάλληλο πρόγραμμα απεικόνισης των δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

5.5 Καμπύλη αίγλης (Glow Curve)

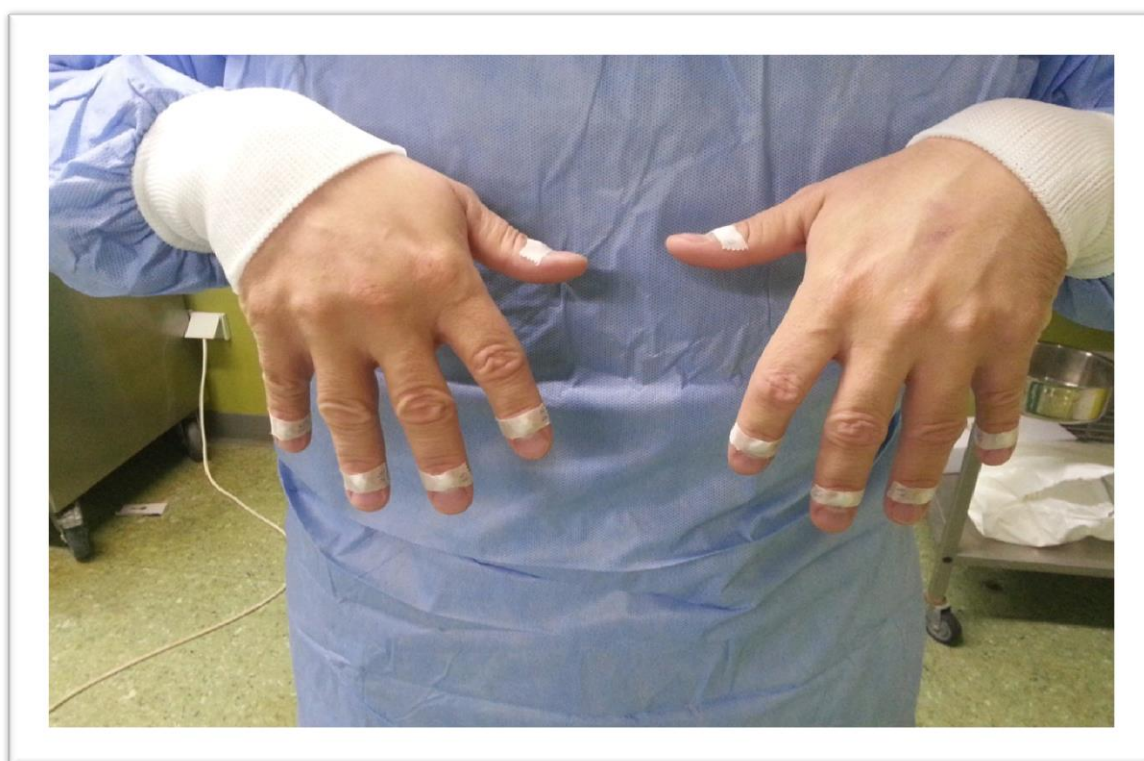
Με το τέλος της διαδικασίας ανάγνωσης του θερμοταυγούς υλικού και με τη χρήση του κατάλληλου προγράμματος (WinREMS), στην οθόνη του υπολογιστή εμφανίζεται η καμπύλη έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, με την κατάλληλη βαθμονόμηση προκύπτει τελικά η ποσότητα της δόσης που απορρόφησε αρχικά το υλικό η ποσότητα.

5.6 Διαδικασία χρήσης κρυστάλλων

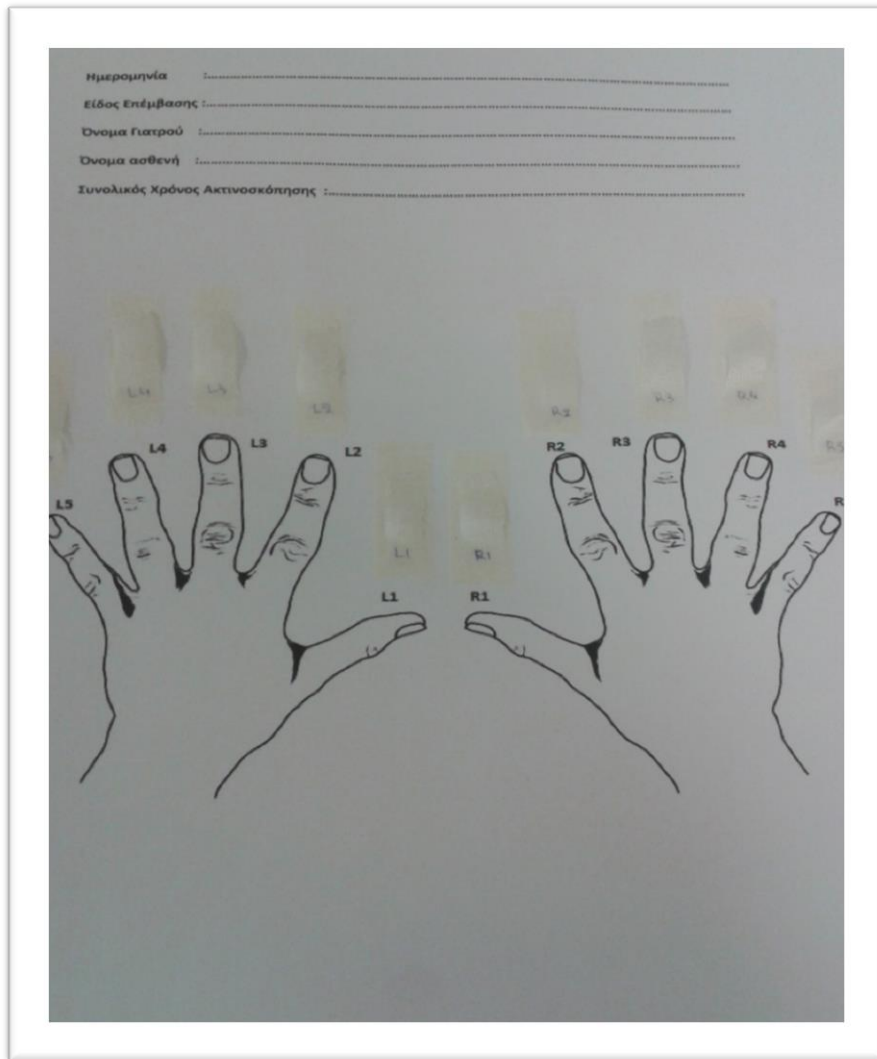
Οι κρύσταλλοι τοποθετούνται σε ειδική μεμβράνη περιτυλίγματος, ώστε να μην έρχονται σε επαφή με το δέρμα, και επικολλούνται σε μικρά κομμάτια αυτοκόλλητης επιδεσμικής ταινίας, φιλικής προς το δέρμα. Τα δοσίμετρα στη συνέχεια τοποθετούνται στα δάχτυλα του επεμβατικού ακτινολόγου όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4, πριν την έναρξη τα επέμβασης, και κάτω από τα αποστειρωμένα

ιατρικά γάντια. Θα μπορούσε να γίνει χρήση δοσιμέτρων δαχτυλιδιών για την παρούσα εργασία, όμως θεωρήθηκε ορθότερο να τοποθετούνται τα δοσίμετρα στην άκρη του δαχτύλου, που θα βρίσκονται με μεγαλύτερη συχνότητα κοντά ή μέσα στο πεδίο ακτινοσκόπησης, λόγω της φύσης των επεμβάσεων.

Εικόνα 5.4 Δάχτυλα επεμβατικού ακτινολόγου με τα δοσίμετρα, πριν από την τοποθέτηση των αποστειρωμένων γαντιών και την έναρξη της επέμβασης.



Τα δοσίμετρα δίνονται στον γιατρό πλήρως αριθμημένα για το δεξί και αριστερό χέρι (εικ. 5.5), ώστε να είναι εύκολο κατά την ανάγνωση τους να βρεθεί η δόση για κάθε χέρι και κάθε δάχτυλο ξεχωριστά. Για κάθε ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενη επέμβαση η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια και τα δοσίμετρα που χρησιμοποιούνται καθορισμένα.



Εικόνα 5.5 Δοσίμετρα κατά την παράδοσή τους στον επεμβατικό ακτινολόγο.

Αφού μετρηθεί το σήμα από όλα τα δοσίμετρα που χρησιμοποιούνται, δέκα στο σύνολο, μέσω της βαθμονόμησης το σήμα μετατρέπεται σε απορροφούμενη δόση υλικού και στη συνέχεια σε απορροφούμενη δόση μαλακού ιστού, για να βρεθεί τελικά η δόση που απορροφούν τα δάχτυλα.

Η απορροφούμενη δόση για κάθε κρύσταλλο είναι ίση με:

$$D_{TLD} = CF_i \cdot TL_{signal,i}$$

όπου CF_i ο συντελεστής βαθμονόμησης του κάθε TLD και TL_{signal} το σήμα που δίνει το κάθε δοσίμετρο μετά την ακτινοβόλησή του.

Το σήμα μετατρέπεται σε δόση μαλακού ιστού κάνοντας χρήση της σχέσης:

$$D_{\text{finger}} = \frac{\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_{\text{s.t}}}{\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_{\text{air}}} \cdot D_{\text{TLD}}$$

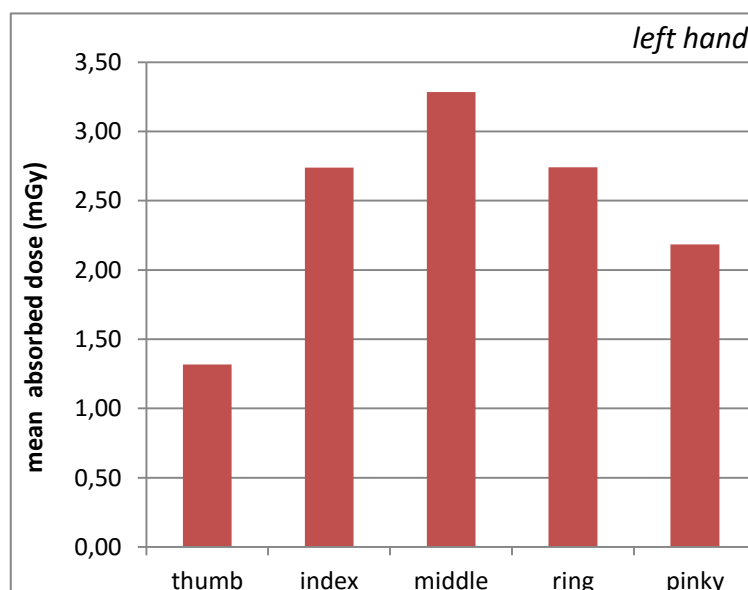
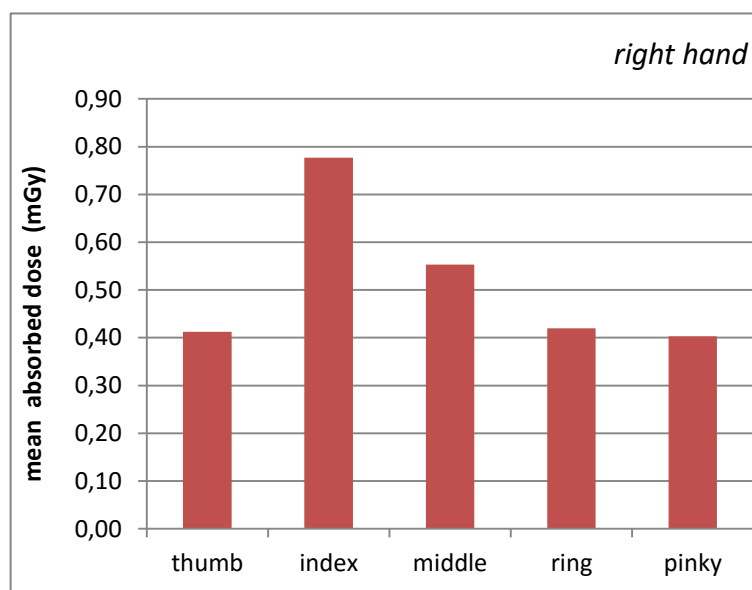
όπου $\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_j$, ο μαζικός συντελεστής απορρόφησης του μαλακού ιστού και του αέρα αντίστοιχα.

5.7 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για κάθε επέμβαση έγινε χρήση 10 δοσιμέτρων TLD 200, ένα για κάθε δάχτυλο του κάθε χεριού του επεμβατικού ακτινολόγου.

Για την πιο αποτελεσματική ανάλυση των αποτελεσμάτων, οι μετρήσεις χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, όσες δηλαδή και οι επεμβάσεις στις οποίες γίνονται οι μετρήσεις της δόσης των δαχτύλων.

- Παροχέτευση Χοληφόρων



Διάγραμμα 5.1 Μέση δόση δαχτύλων για το δεξί και το αριστερό χέρι, σε mGy.

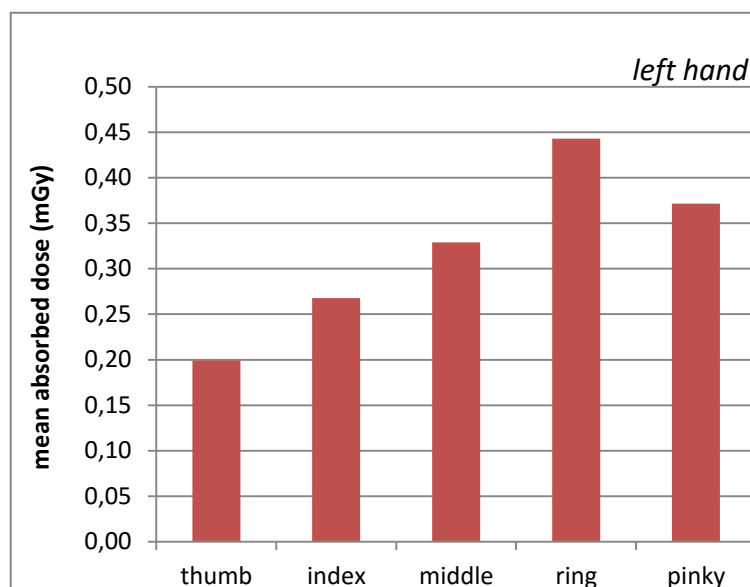
Πίνακας 5.1 Πίνακας δεδομένων απορροφούμενης δόσης και χρόνου ακτινοσκόπησης.

	χρόνος ακτινοσκόπησης (min)	δόση δαχτύλων δεξιού χεριού (mGy)					δόση δαχτύλων αριστερού χεριού (mGy)				
		αντίχειρας	δείκτης	μέσος	παράμεσος	μικρό	αντίχειρας	δείκτης	μέσος	παράμεσος	μικρό
1	7,1	0,66	1,36	0,90	0,68	0,70	2,20	3,99	4,79	6,02	4,18
2	14,1	0,38	0,73	0,49	0,36	0,38	1,13	2,16	2,14	2,64	2,10
3	13,4	0,53	0,92	0,71	0,58	0,51	1,66	4,40	6,32	2,32	2,45
4	4,0	0,18	0,35	0,23	0,20	0,17	0,72	1,28	1,29	1,49	0,79
5	20,4	0,31	0,52	0,44	0,29	0,25	0,88	1,87	1,88	1,24	1,40
μέση τιμή	11,8	0,41	0,78	0,55	0,42	0,40	1,32	2,74	3,28	2,74	2,18
± SD	6,4	0,19	0,39	0,26	0,20	0,21	0,61	1,37	2,16	1,92	1,29

Στην Παροχέτευση Χοληφόρων ο χρόνος ακτινοσκόπησης κυμαίνεται από 4 μέχρι περίπου 20 λεπτά. Η μέγιστη δόση που καταγράφηκε στο δεξί χέρι συνολικά από όλα τα περιστατικά είναι αυτή που αντιστοιχεί στον δείκτη και είναι ίση με 1,36 mGy, ενώ για το αριστερό χέρι είναι ίση με 6,32 mGy και αντιστοιχεί στον μέσο. Συνολικά η μέση δόση για κάθε δάχτυλο του αριστερού χεριού είναι

μεγαλύτερη από αυτές για το δεξί. Το αριστερό χέρι στην παροχέτευση χοληφόρων βρίσκεται πιο κοντά στο πεδίο ακτινοβολήσης.

- Τοποθέτηση Νεφροστομίας



Διάγραμμα 5.2 Μέση δόση δαχτύλων για το δεξί και το αριστερό χέρι, σε mGy.

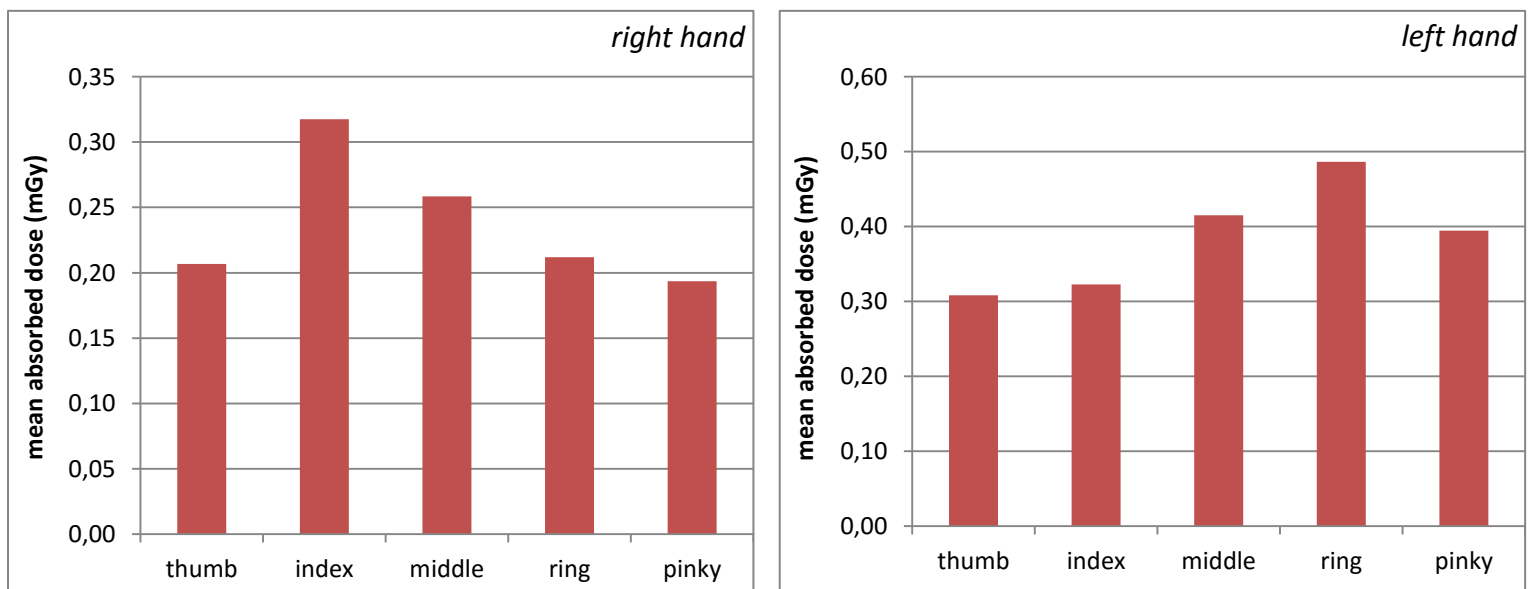
Πίνακας 5.2 Πίνακας δεδομένων απορροφούμενης δόσης και χρόνου ακτινοσκόπησης.

	χρόνος ακτινοσκόπησης (min)	δόση δαχτύλων δεξιού χεριού (mGy)					δόση δαχτύλων αριστερού χεριού (mGy)				
		αντίχειρας	δείκτης	μέσος	παράμεσος	μικρό	αντίχειρας	δείκτης	μέσος	παράμεσος	μικρό
1	4,5	0,08	0,09	0,11	0,08	0,08	0,15	0,26	0,26	0,29	0,31
2	1,0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05
3	2,4	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,10	0,14	0,15
4	18,4	0,46	1,06	0,73	0,55	0,58	0,67	0,89	1,14	1,16	0,89
5	1,3	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,09	0,12	0,09
μέση τιμή	5,52	0,13	0,26	0,19	0,15	0,15	0,20	0,27	0,33	0,35	0,30
± SD	7,33	0,19	0,45	0,30	0,23	0,24	0,27	0,36	0,46	0,46	0,35

Όσον αφορά τις επεμβάσεις τοποθέτησης νεφροστομίας, γνωρίζουμε ότι το εύρος του χρόνου ακτινοσκόπησης κυμαίνεται από 1

μέχρι και 19 λεπτά. Συνολικά από τις δόσεις που καταγράφηκαν για όλα τα περιστατικά, στο δεξί χέρι τη μεγαλύτερη απορροφούμενη δόση έχει ο δείκτης, ίση με 1,06 mGy, ενώ στο αριστερό χέρι η μέγιστη τιμή της δόσης είναι αυτή που απορροφά ο παράμεσος και ισούται με 1,16 mGy. Συγκριτικά, η μέση απορροφούμενη δόση για κάθε δάχτυλο τόσο του αριστερού χεριού όσο και δεξιού κυμαίνεται στα περίπου ίδιες τιμές.

- Τοποθέτηση Διουρητικού PIGTAIL



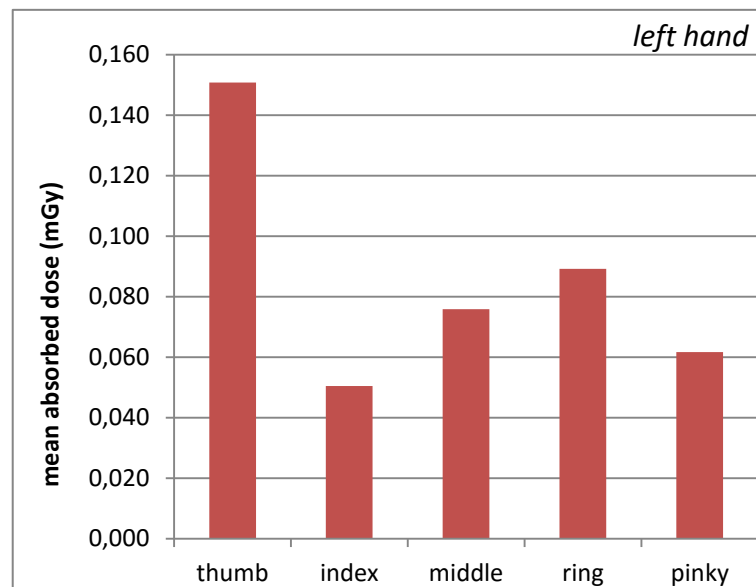
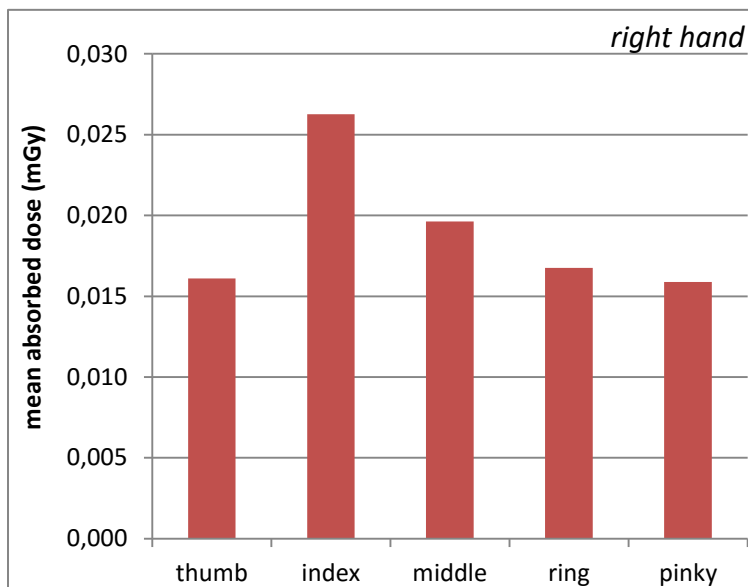
Διάγραμμα 5.3 Μέση δόση δαχτύλων για το δεξί και το αριστερό χέρι, σε mGy.

Πίνακας 5.3 Πίνακας δεδομένων απορροφούμενης δόσης και χρόνου ακτινοσκόπησης.

	χρόνος ακτινοσκόπησης (min)	δόση δαχτύλων δεξιού χεριού (mGy)					δόση δαχτύλων αριστερού χεριού (mGy)				
		αντίχειρας	δείκτης	μέσος	παράμεσος	μικρό	αντίχειρας	δείκτης	μέσος	παράμεσος	μικρό
1	10,7	0,48	0,73	0,60	0,49	0,44	0,57	0,62	0,73	0,90	0,69
2	6,8	0,07	0,14	0,09	0,07	0,07	0,14	0,12	0,17	0,24	0,18
3	10,3	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,21	0,23	0,35	0,32	0,32
μέση τιμή	9,27	0,21	0,32	0,26	0,21	0,19	0,31	0,32	0,42	0,49	0,39
± SD	2,15	0,24	0,36	0,30	0,24	0,21	0,23	0,26	0,29	0,36	0,27

Ο χρόνος ακτινοσκόπησης, για την συγκεκριμένη επέμβαση, κυμαίνεται από 6 μέχρι περίπου 11 λεπτά. Όσον αφορά τη μέγιστη απορροφούμενη δόση που καταγράφηκε για το δεξί χέρι αντιστοιχεί στον δείκτη και είναι ίση με 0,72 mGy, ενώ ο παράμεσος είναι αυτός με την μέγιστη απορροφούμενη δόση στο αριστερό χέρι, η οποία είναι ίση με 0,90 mGy. Η απορροφούμενη δόση, συγκρίνοντας κάθε δάχτυλο του δεξιού με αυτό του αριστερού χεριού, παρατηρείται ότι βρίσκεται στο ίδιο, περίπου, εύρος τιμών.

- Φιστουλοπλαστική



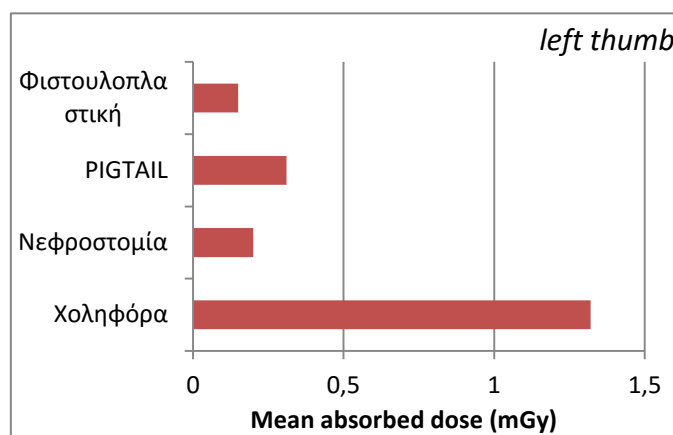
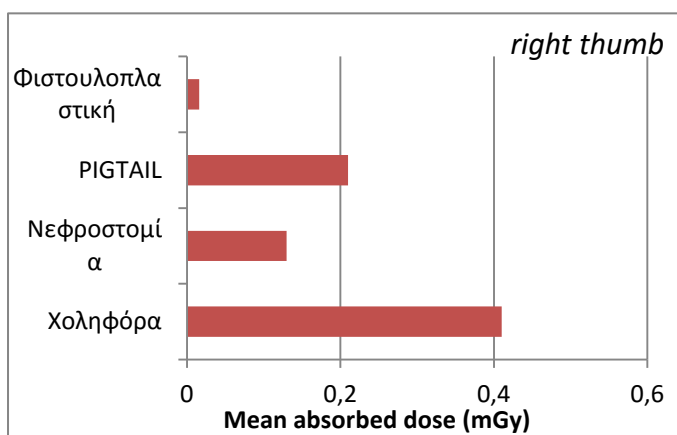
Διάγραμμα 5.4 Μέση δόση δαχτύλων για το δεξί και το αριστερό χέρι, σε mGy.

Πίνακας 5.4 Πίνακας δεδομένων απορροφούμενης δόσης και χρόνου ακτινοσκόπησης.

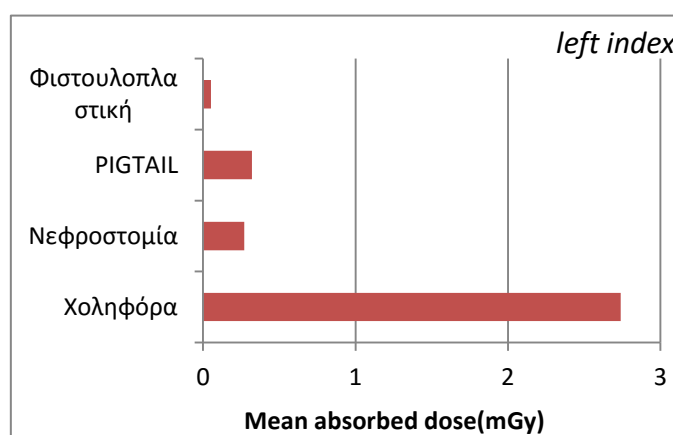
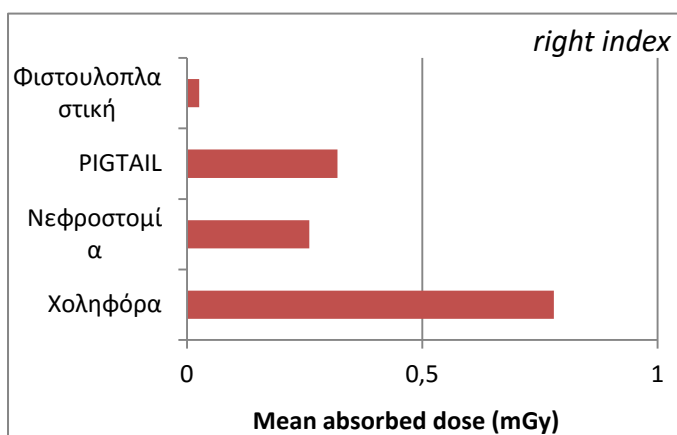
	χρόνος ακτινοσκόπησης (min)	δόση δαχτύλων δεξιού χεριού (mGy)					δόση δαχτύλων αριστερού χεριού (mGy)				
		αντίχειρας	δείκτης	μέσος	παράμεσος	μικρό	αντίχειρας	δείκτης	μέσος	παράμεσος	μικρό
1	1,9	0,003	0,002	0,006	0,005	0,002	0,002	0,006	0,007	0,005	0,004
2	7,9	0,030	0,040	0,040	0,040	0,040	0,060	0,060	0,090	0,120	0,090
3	4,2	0,016	0,032	0,015	0,009	0,011	0,033	0,054	0,074	0,082	0,060
4	3,8	0,015	0,031	0,017	0,013	0,011	0,051	0,083	0,133	0,151	0,093
μέση τιμή	4,45	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,08	0,09	0,06
± SD	2,51	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,06	0,04

Η επεμβατικά καθοδηγούμενη πράξη της Φιστουλοπλαστικής έχει χρόνο ακτινοσκόπησης ο οποίος κυμαίνεται από 2 έως και 8 λεπτά. Η μέγιστη δόση που απορροφήθηκε κατά τη διάρκεια και των τεσσάρων περιστατικών, για το δεξί χέρι αντιστοιχεί στα 0,04 mGy ενώ για το αριστερό χέρι την μέγιστη δόση απορρόφησε ο παράμεσός, ίση με 0,15 mGy.

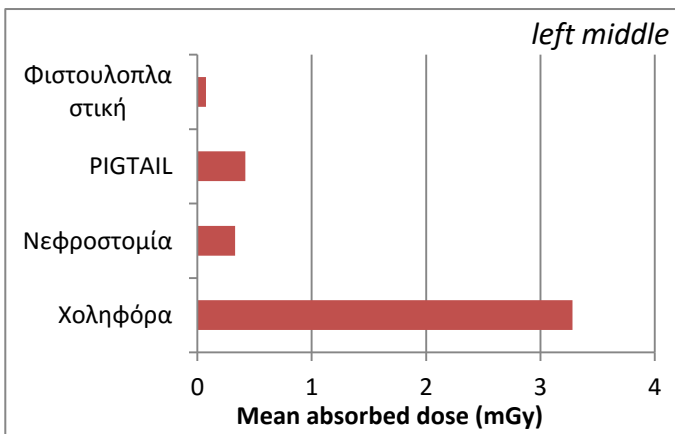
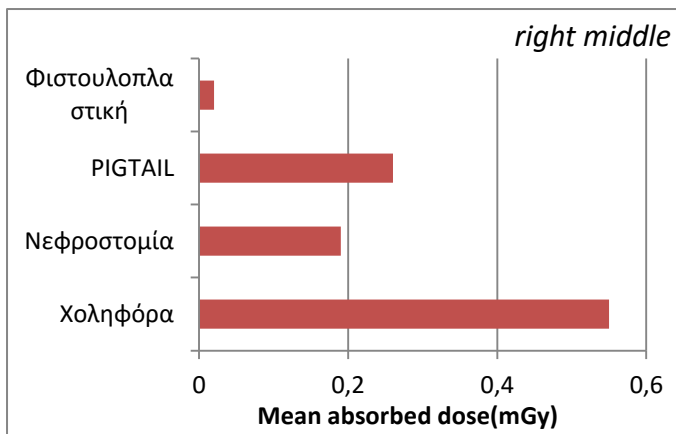
Σε κάθε μία από τις επεμβατικές πράξεις που αναλύθηκαν πιο πάνω, η μέση δόση για κάθε δάχτυλο διαφέρει, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει ο χρόνος ακτινοσκόπησης αλλά και η ίδια η επεμβατική διαδικασία που οδηγεί ή όχι τα χέρια του γιατρού κοντά ή ακόμη και μέσα στο πεδίο ακτινοβολίας.



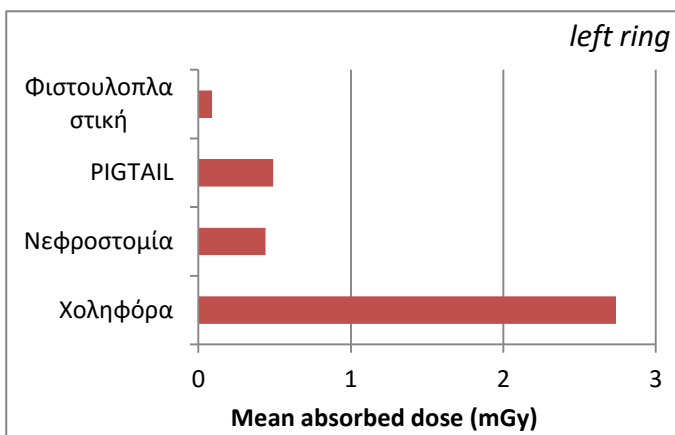
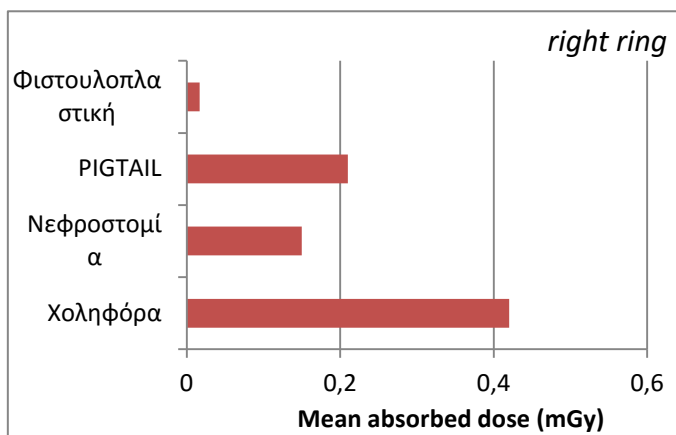
Διάγραμμα 5.5 Μέση απορροφούμενη δόση για τον αντίχειρα ανά επεμβατική διαδικασία.



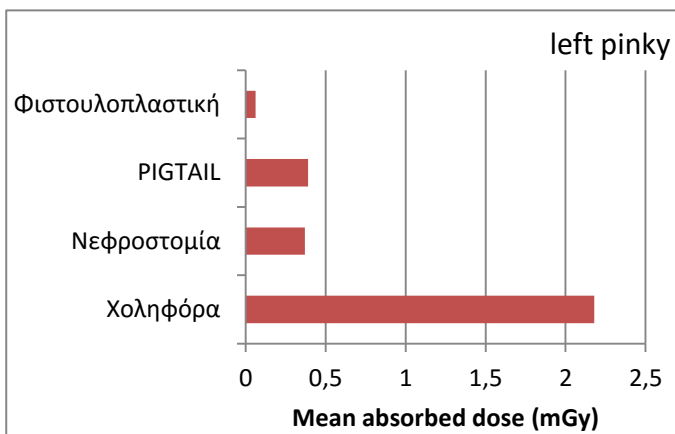
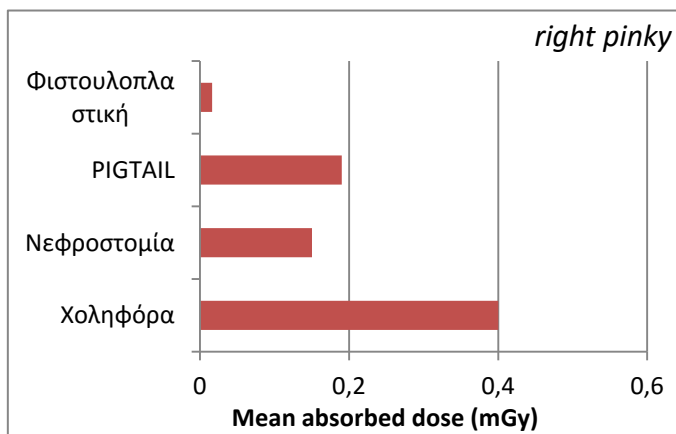
Διάγραμμα 5.6 Μέση απορροφούμενη δόση για τον δείκτη ανά επεμβατική διαδικασία.



Διάγραμμα 5.7 Μέση απορροφούμενη δόση για τον μέσο ανά επεμβατική διαδικασία.

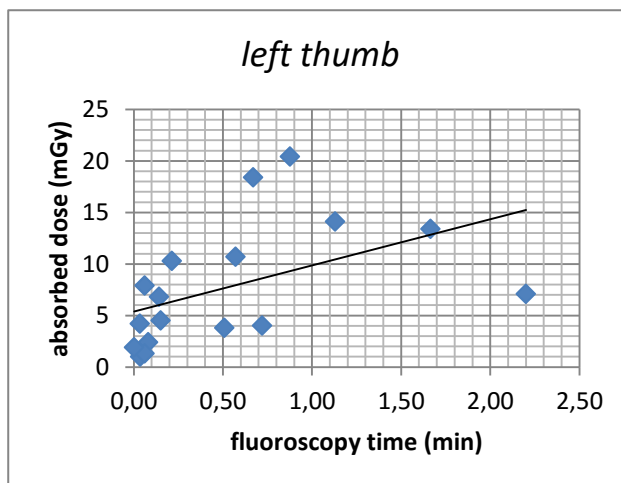
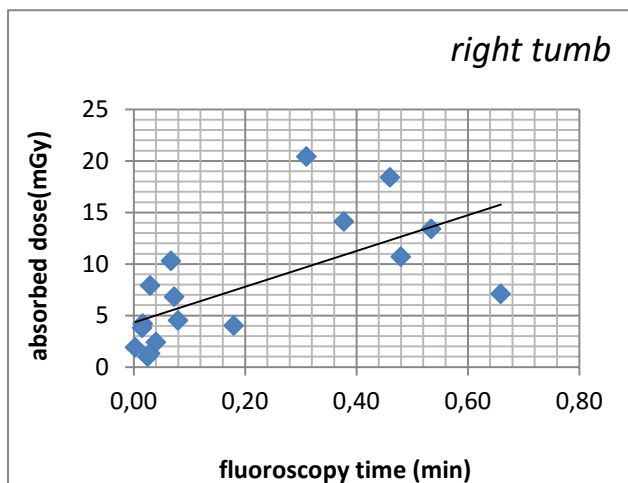


Διάγραμμα 5.8 Μέση απορροφούμενη δόση για τον παράμεσο ανά επεμβατική διαδικασία.

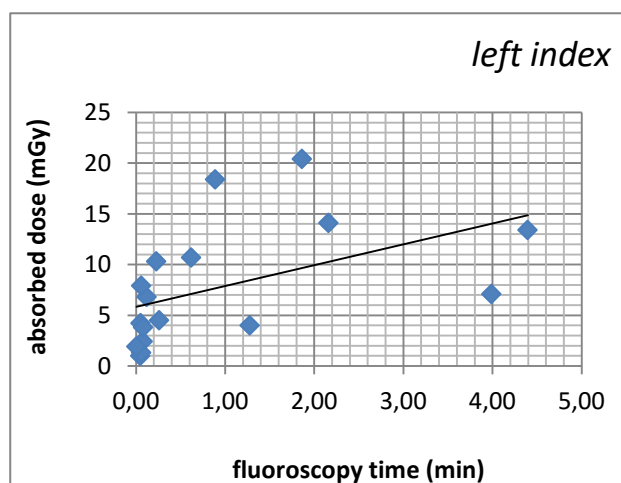
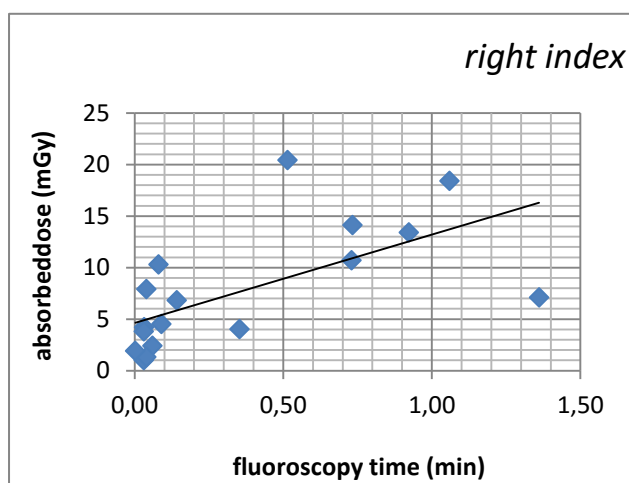


Διάγραμμα 5.9 Μέση απορροφούμενη δόση για το μικρό ανά επεμβατική διαδικασία.

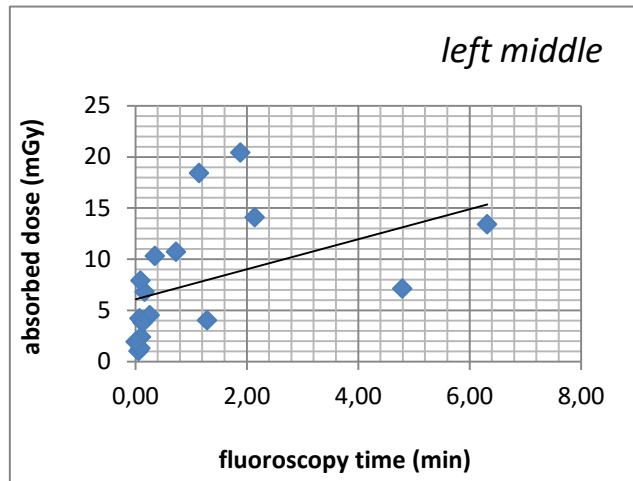
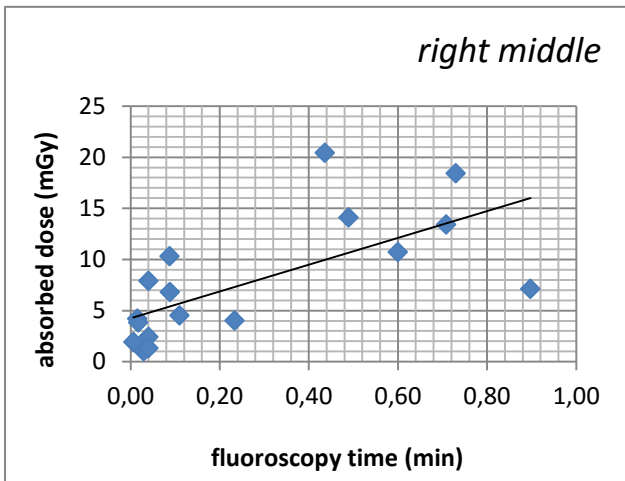
Για κάθε μία από τις τέσσερις ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενες επεμβατικές πράξεις, στο τέλος κάθε περιστατικού καταγραφόταν ο συνολικός χρόνος ακτινοσκόπησης. Η απορροφούμενη δόση έχει άμεση εξάρτηση από τον χρόνο ακτινοσκόπησης. Ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα, που απεικονίζουν την εξάρτηση αυτή για κάθε δάχτυλο και στα δύο χέρια του επεμβατικού ακτινολόγου.



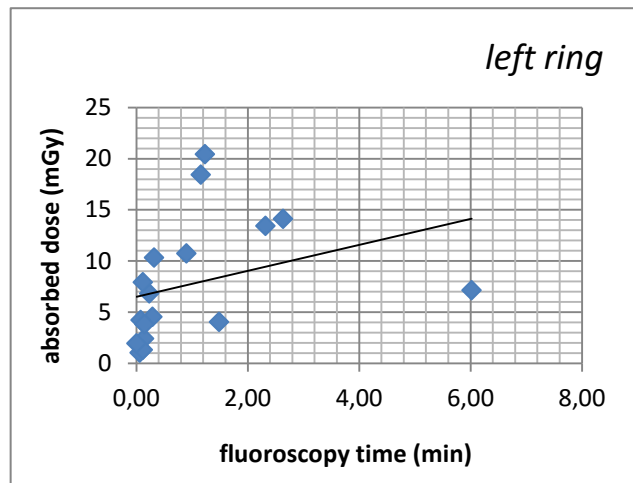
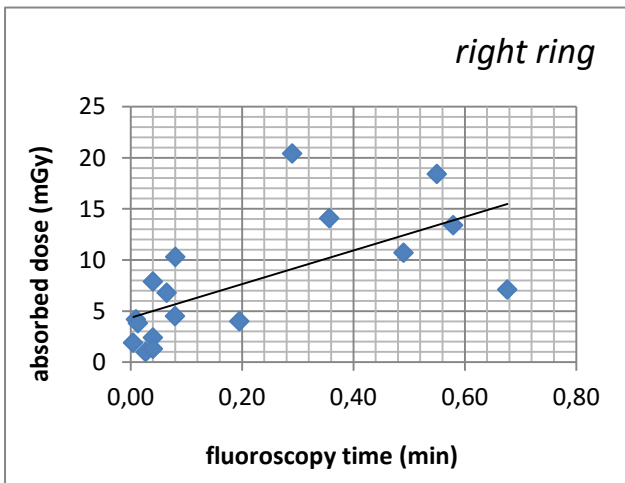
Διάγραμμα 5.10 Η απορροφούμενη δόση του αντίχειρα για όλα τα περιστατικά που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία συναρτήσει του χρόνου ακτινοσκόπησης.



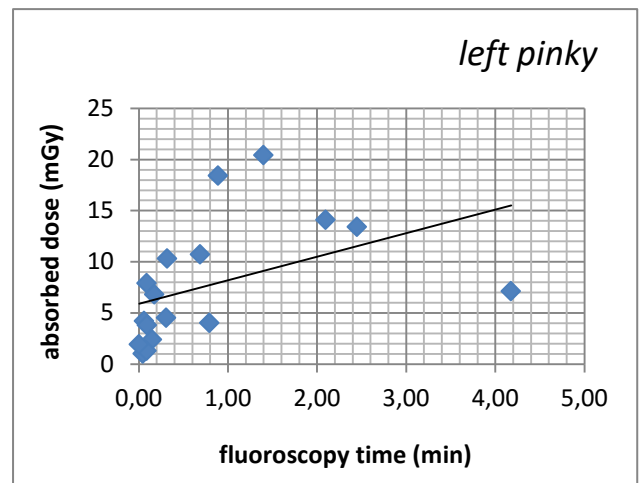
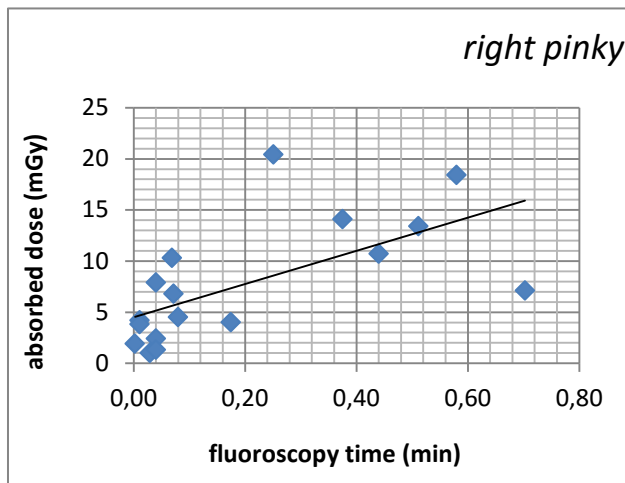
Διάγραμμα 5.11 Η απορροφούμενη δόση του δείκτη για όλα τα περιστατικά που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία συναρτήσει του χρόνου ακτινοσκόπησης.



Διάγραμμα 5.12 Η απορροφούμενη δόση του μεσαίου δακτύλου για όλα τα περιστατικά που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία συναρτήσει του χρόνου ακτινοσκόπησης.



Διάγραμμα 5.13 Η απορροφούμενη δόση του παράμεσου για όλα τα περιστατικά που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία συναρτήσει του χρόνου ακτινοσκόπησης.



Διάγραμμα 5.14 Η απορροφούμενη δόση του μικρού δακτύλου για όλα τα περιστατικά που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία συναρτήσει του χρόνου ακτινοσκόπησης.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συγκρίνονται με τα αποτελέσματα δύο δημοσιεύσεων των Efstathopoulos και Struelens.

Για την πρώτη δημοσίευση, πραγματοποιούνται μετρήσεις απορροφούμενης δόσης στο μεσαίο δάχτυλο του επεμβατικού ακτινολόγου, για τις ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενες πράξεις που φαίνονται στην εικόνα. Όπως είναι εμφανές, μόλις δύο από τις επεμβατικές πράξεις ταυτίζονται με αυτές που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Για την δημοσίευση, η μέση απορροφούμενη δόση για το μεσαίο δάχτυλο ισούται με $0,09 \pm 0,21 \text{ mGy}$ για το δεξί χέρι και $0,32 \pm 0,72 \text{ mGy}$ για το αριστερό, όσον αφορά την παρούσα μελέτη οι αντίστοιχες τιμές είναι ίσες με $0,27 \pm 0,30 \text{ mGy}$ για το δεξί και $1,15 \pm 1,75 \text{ mGy}$ για το αριστερό χέρι του επεμβατικού ακτινολόγου. Οι τιμές των

<i>Cardiac procedures</i>	
Coronary angiography	6
Pacemaker implantation	1
Total	7
<i>Radiology procedures</i>	
Nephrostomy	1
Phlebography	1
Embolism	2
Cholangiography	1
Carotid artery angioplasty	2
Left subclavian artery angioplasty	1
Femoral artery angioplasty	1
TIPSS	2
Vertebroplasty	3
Lower extremities DSA	1
Fistula stenting	2
Foreign body removal	1
Total	18

δόσεων έχουν την ίδια τάξη μεγέθους, αλλά διαφέρουν σημαντικά καθώς στην παρούσα εργασία επικεντρωθήκαμε στην μελέτη τεσσάρων συγκεκριμένων επεμβάσεων που ήταν ήδη γνωστό πως τα δάχτυλα βρίσκονται πιο κοντά η ακόμη και μέσα στο πεδίο ακτινοβολήσης, κατά την διεξαγωγή τους, ενώ η δημοσίευση μετρά τη δόση σε μία μεγάλη και πιο γενική κατηγορία επεμβάσεων.

[Πηγή: Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures, E.P. Efsthopoulos, et al., 2008]

Για την δεύτερη δημοσίευση, η οποία επικεντρώνεται σε επεμβάσεις σπονδυλοπλαστικής και κυφοπλαστικής που χαρακτηρίζονται από μεγάλο χρόνο ακτινοσκόπησης, μετράται η απορροφούμενη δόση στο παράμεσο δάχτυλο και στα δύο χέρια του επεμβατικού ακτινολόγου. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης δημοσίευσης είναι 0,12 mGy και 0,23 mGy, η διάμεση απορροφούμενη δόση για τον παράμεσο για το δεξί και αριστερό χέρι αντίστοιχα, ενώ στην παρούσα εργασία η απορροφούμενη δόση 0,08 mGy και 0,29 mGy, κατ' αντιστοιχία. Όπως παρατηρείται τα αποτελέσματα στην δεδομένη σύγκριση κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα.

[Πηγή: Extermity and eye lens dosimetry for medical staff performing vertebroplasty and kyphoplasty procedures, L. Struelens, et al., Journal of Radiological Protection, June 2013]

Για κάθε ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενη πράξη θεωρείται, προσεγγιστικά, ότι η δόση στα χέρια είναι ίση με την μέγιστη μέση δόση που υπολογίσθηκε. Έτσι, η μέση απορροφούμενη δόση στα χέρια ανά επεμβατική πράξη παροχέτευσης χοληφόρων είναι 3,28 mGy, για την τοποθέτηση νεφροστομίας 0,35 mGy, 0,49 mGy είναι η μέση απορροφούμενη δόση για την τοποθέτηση διουρητικού PIGTAIL, ενώ τέλος, για την φιστουλοπλαστική η δόση ανά επεμβατική πράξη στα χέρια είναι 0,09 mGy. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας με το ετήσιο όριο δόσης των 500 mSv/χρόνο, παρατηρείται ότι ο ίδιος επεμβατικός

ακτινολόγος για να ξεπεράσει το όριο δόσης θα πρέπει μέσα σε ένα χρόνο να πραγματοποιήσει περισσότερες από 152 επεμβάσεις παροχέτευσης χοληφόρων. Για την τοποθέτηση νεφροστομίας οι επεμβατικές πράξεις πρέπει να ξεπεράσουν τις 1429, 1020 είναι οι επεμβάσεις τοποθέτησης διουρητικού PIGTAIL που πρέπει να πραγματοποιηθούν και 5555 φιστουλοπλαστικές (η σύγκριση γίνεται ατομικά για κάθε ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενη πράξη και όχι συλλογικά). Να σημειωθεί, ότι στην μονάδα Αγγειογραφίας-Επεμβατικής Ακτινολογίας πραγματοποιούνται προσεγγιστικά περίπου 2000 περιστατικά το χρόνο.

5.8 Συμπεράσματα

Αρχικά, με βάση την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας, παρατηρείται ότι η ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενη πράξη της παροχέτευσης χοληφόρων είναι η βασικότερη από τις τέσσερις επεμβατικές πράξεις που προσφέρει δόση στα δάχτυλα των χεριών. Ο χρόνος ακτινοσκόπησης για την διεκπεραίωση της επέμβασης είναι ο μεγαλύτερος, συγκριτικά με τις υπόλοιπες επεμβατικές πράξεις και η μέγιστη δόση που καταγράφηκε καθ' όλη την διάρκεια της παρούσας εργασίας είναι αυτή που δέχτηκε το μεσαίο δάχτυλο του αριστερού χεριού του επεμβατικού ακτινολόγου κατά την παροχέτευση χοληφόρων με χρόνο ακτινοσκόπησης ίσο με 13,4 λεπτά, και ισούται με 6,32 mGy.

Ελάχιστη, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των υπόλοιπων επεμβατικών πράξεων, είναι η δόση που απορροφούν τα δάχτυλα κατά τη διαδικασία της Φιστουλοπλαστικής. Ο συνολικός χρόνος ακτινοσκόπησης στην συγκεκριμένη επεμβατική διαδικασία δεν ξεπερνά τα 8 λεπτά και το εύρος απορροφούμενης δόσης των δαχτύλων, και για τα δύο χέρια, κυμαίνεται από 0,002 mGy μέχρι και 0,15 mGy.

Η τοποθέτηση νεφροστομίας και διουρητικού PIGTAIL βρίσκονται περίπου στα ίδια επίπεδα απορροφούμενης δόσης.

Το μικρό δάχτυλο και ο αντίχειρας είναι τα δάχτυλα που δέχονται τη μικρότερη δόση, τόσο στο δεξί όσο και στο αριστερό χέρι. Ο δείκτης είναι το δάχτυλο που μετρήθηκε να έχει την μεγαλύτερη μέση απορροφούμενη δόση για κάθε πράξη, όσον αφορά το δεξί χέρι, ενώ ο μέσος και ο παράμεσος για το αριστερό. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πλήρως αιτιολογημένο, αφού στα περισσότερα περιστατικά η θέση του επεμβατικού ακτινολόγου ήταν στα αριστερά της εξεταστικής τραπέζης, κάνοντας χρήση του αριστερού χεριού πιο κοντά στο πεδίο ακτινοβολίας, συγκριτικά με το δεξί χέρι.

Πρέπει, στο σημείο αυτό, να αναφερθεί η σχέση του χρόνου ακτινοσκόπησης με την απορροφούμενη δόση. Για μικρούς χρόνους ακτινοσκόπησης τα δάχτυλα δέχονται αντίστοιχα μικρές δόσεις, το ίδιο συμβαίνει και για μεγαλύτερους χρόνους ακτινοσκόπησης όπου η δόση είναι και αυτή πιο μεγάλη. Βέβαια, υπάρχουν περιστατικά για τα οποία ενώ ο συνολικός χρόνος ακτινοσκόπησης είναι σχεδόν ίδιος, η απορροφούμενη δόση αποκλίνει σημαντικά. Οι μετρήσεις αυτές αιτιολογούνται απόλυτα, καθώς ο επεμβατικός ο ακτινολόγος δεν ακολουθεί την ίδια διαδικασία και στις τέσσερις επεμβατικές πράξεις που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία και επίσης, κάθε ένα περιστατικό χρήζει διαφορετικής αντιμετώπισης από τα υπόλοιπα. Σε περίπτωση που ο επεμβατικός ακτινολόγος τοποθέτησε το χέρι του στη πρωτογενή δέσμη, ακόμη και για μικρό χρονικό διάστημα ακτινοσκόπησης, τα δάχτυλα του δέχτηκαν πολύ μεγαλύτερη δόση από αυτή για σύνηθες περιστατικό παρόμοιου χρόνου.

Τέλος, κάνοντας την ανάλογη σύγκριση με το ετήσιο όριο δόσης για τα άκρα, παρατηρείται ότι για όλες τις ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενες πράξεις που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, ο κίνδυνος να υπάρξει υπέρβαση του ορίου δόσης είναι αμελητέος.