

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Κουμαριανός Δημήτρης - Κουτρομπής Γιώργος - Στασινός Σωτήρης

ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Γ΄ ΕΠΑ.Λ.

Ειδικότητα: Βοηθών Ακτινολογικών Εργαστηρίων



ΤΟΜΕΑΣ ΥΓΕΙΑΣ - ΠΡΟΝΟΙΑΣ - ΕΥΞΕΙΑΣ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ



Με απόφαση της Ελληνικής Κυβερνήσεως τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

Κουμαριανός Δημήτρης - Κουτρογιάννης Γιώργος - Στασινός Σωτήρης

ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Β' Τάξη 1^{ου} ΚΥΚΛΟΥ

Ειδικότητα: Βοηθών Ακτινολογικών Εργαστηρίων



ΤΟΜΕΑΣ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ • ΑΘΗΝΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

ΚΟΥΜΑΡΙΑΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Τεχνολόγος Ακτινολόγος, 2ο Γραμματοπύργιο Ακτινολογίας,
Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΓΝΝ Σισμανόγλειο

ΚΟΥΤΡΟΥΜΠΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ
ΣΤΑΣΙΝΟΣ ΣΩΤΗΡΗΣ

Δρ. Φυσικός - Ακτινοφυσικός, Καθηγητής ΤΕΙ Αθήνας,
Εκπαιδευτικός ΠΕ18 Ραδιολογίας - Ακτινολογίας

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΡΙΑ

ΣΤΑΠΠΑ ΜΑΡΙΝΑ

Οδοντίατρος, Πάρεδρος ε. θ. Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

ΒΑΛΕΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Εκπαιδευτικός ΠΕ18 Ραδιολογίας - Ακτινολογίας

ΚΟΥΛΕΤΙΑΝΟΣ ΗΛΙΑΣ

Ιατρός Ακτινολόγος, Δ/ντής ΓΠΝ "Αγ. Όλγα"

ΣΑΡΧΟΣΟΓΛΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

MSc Τεχνολόγος Ακτινολογίας

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Καραπέτσου Ελευθερία

Φιλολόγος

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Μπαρτά Μαρία

Εκπαιδευτικός ΠΕ18

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Υπεύθυνη του Τομέα Υγείας και Πρόνοιας

Μαρίνα Στάππα, Οδοντίατρος

Πάρεδρος ε.θ. του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
----------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1	Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή της Ακτινοπροστασίας	14
1.2	Φυσική και τεχνητή ραδιενέργεια, Ραδιοϊσότοπα	16
1.3	Φύση ακτινοβολιών (οιαματιδιακή, ηλεκτρομαγνητική)	20
1.4	Ο άνθρωπος και το ραδιενεργό περιβάλλον	26
1.5	Ακτίνες Χ (παραγωγή - ιδιότητες, φάσματα)	29
1.6	Εφαρμογές των ακτινοβολιών	34
	Περίληψη	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ

2.1	Εισαγωγή	42
2.2	Έκθεση	42
2.3	Απορροφούμενη δόση	43
2.4	Ισοδύναμη δόση	44
2.5	Ενεργός δόση	44
2.6	Όργανα Μέτρησης της Ακτινοβολίας	45
	Περίληψη	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

	Εισαγωγή	62
3.1	Το κύτταρο	62
3.2	Ραδιόλυση του νερού	64
3.3	Στάδια βιολογικής βλάβης	66

3.4	Βλαπτικές επιδράσεις στο κύτταρο	69
3.5	Βλαπτικές επιδράσεις στους ιστούς και τα όργανα	73
3.6	Πηγές πληροφοριών που αφορούν την ακτινοβόληση ανθρώπου	73
	Περίληψη	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΜΕΣΑ ΚΑΙ ΑΠΩΤΕΡΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

	Εισαγωγή	84
4.1	Καμπύλη δόσης-απόκρισης	84
4.1.1	Μη στοχαστικά και στοχαστικά αποτελέσματα	85
4.2	Άμεσα βιολογικά αποτελέσματα	87
4.2.1	Όξια ακτινολογικά σύνδρομα	88
4.2.2	Τοπική βλάβη ιστών	91
4.3	Απώτερα βιολογικά αποτελέσματα	92
4.3.1	Λευχαιμία	93
4.3.2	Καρκινογένεση	93
4.3.3	Καταρρακτογένεση	95
4.3.4	Γενετικά αποτελέσματα	95
4.3.5	Αποτελέσματα σε έμβρυα	96
	Περίληψη	98

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

	Εισαγωγή	108
5.1	Διεθνείς οργανισμοί	108
5.2	Αρχές ακτινοπροστασίας	109
5.3	Όρια δόσεων	110
	Περίληψη	112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**ΟΔΗΓΙΑ 97/43/EURATOM**

Εισαγωγή	120
6.1 Φυσικά πρόσωπα	120
6.2 Ευθύνες κατόχου ακτινολογικής εγκατάστασης	121
6.3 Ευθύνες του πραγματογνώμονα και του εμπειρογνώμονα	122
6.4 Διαδικασία αιτιολόγησης	123
6.5 Διαδικασία βελτιστοποίησης	124
6.6 Συνεχής εκπαίδευση	125
6.7 Πρωτόκολλα	126
Περίληψη	127

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

Εισαγωγή	134
7.1 Ορια δόσεων	135
7.2 Αρχές προστασίας εργαζομένων	136
7.3 Μέτρα ακτινοπροστασίας προσωπικού	138
7.4 Μέτρα ακτινοπροστασίας για τον ασθενή	140
Περίληψη	141

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**ΑΔΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ**

Εισαγωγή	150
8.1 Ακτινολογικός Θάλαμος	150
8.2 Ακτινολογική Λυχνία	152
8.3 Θωρακίσεις χώρων	152
8.4 Έλεγχοι ακτινοπροστασίας	154
Περίληψη	154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9**ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ**

Εισαγωγή	162
9.1 Προσωπικό εργαστηρίου	162
9.2 Προϋποθέσεις ακτινοπροστασίας	164
9.3 Ακτινοπροστασία κατά τη χρήση "φορητού μηχανήματος" (τροχήλατο)	172
9.4 Ακτινοπροστατευτικά υλικά	174
Περίληψη	175

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10**ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ**

Εισαγωγή	182
10.1 Ακτινοπροστασία κατά τη διάρκεια της ακτινογραφικής εξέτασης	183
10.1.1 Έλεγχος παραπεμπτικού-επικοινωνία με τον εξεταζόμενο	183
10.1.2 Οδηγίες-Προβολικά θέση εξεταζόμενου	184
10.1.3 Ακτινολογικά στοιχεία	185
10.1.4 Ηθμός ή φίλτρο	186
10.1.5 Εστιακή απόσταση	188
10.1.6 Διαστάσεις πεδίου ακτινοβολήσης	188
10.1.7 Αντιοκεδαστικό διάφραγμα	189
10.1.8 Ενιοχυτικές πινακίδες	191
10.1.9 Ακτινολογικό φιλμ	192
10.1.10 Σκοτεινός θάλαμος-Συνθήκες εμφάνισης του φιλμ	193
10.1.11 Τεχνική προβολών	195
10.2 Κατάλληλη χρήση ακτινοπροστατευτικών	197
10.3 Αντιμετώπιση εγκύου	199
Περίληψη	200

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Γλωσσάρι	206
Βιβλιογραφικές παραπομπές	213
Πηγές προέλευσης σχημάτων και εικόνων	215

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο βιβλίο της Ακτινοπροστασίας που έχει στα χέρια του ο μαθητής καταβλήθηκε προσπάθεια να δοθούν τα θεωρητικά και πρακτικά εφόδια με εύληπτο τρόπο που θα τον βοηθήσει μεθαύριο ουσιαστικά στον επαγγελματικό του στίβο και ιδιαίτερα στο χώρο του Ακτινοδιαγνωστικού Εργαστηρίου.

Το παρόν βιβλίο καλείται να καλύψει εκπαιδευτικές ανάγκες μαθητών της Β' τάξης του 1ου κύκλου των Τεχνικών Επαγγελματικών Εκπαιδευτηρίων (Τ.Ε.Ε.), του τομέα Υγείας και Πρόνοιας και η ύλη του είναι σύμφωνα με το αντίστοιχο αναλυτικό πρόγραμμα του Υπουργείου Παιδείας. Η διάταξη των εννοιών γράφτηκε με αποκλειστικό γνώμονα την άνετη πρόσβαση του μαθητή στην ύλη της Ακτινοπροστασίας. Σε μεγάλο βαθμό αποφεύχθηκε η εκτενής αναφορά σε έννοιες που κρίθηκαν υπερβολικές για ένα βιβλίο αυτής της στάθμης που σε τελευταία ανάλυση θα αποθάρρυνε το μαθητή, ιδίως στην πρώτη ανάγνωση.

Τα κεφάλαια 1^ο - 2^ο παρουσιάζουν τις βασικές έννοιες της Ακτινοφυσικής και αναφέρονται στη φύση των ακτινοβολιών, τη ραδιενέργεια, τις μονάδες και τα όργανα δοσιμετρίας. Τα κεφάλαια 3^ο - 4^ο παρουσιάζουν τις βασικές έννοιες της Ακτινοβιολογίας και αναφέρονται στη δράση της ακτινοβολίας στα βιολογικά υλικά και στα άμεσα και απότερα βιολογικά αποτελέσματα. Τα κεφάλαια 5^ο - 7^ο αναφέρονται στις βασικές αρχές ακτινοπροστασίας, και παρουσιάζεται η Οδηγία 97/43 της Ευρώπης και ο Κανονισμός Ακτινοπροστασίας. Το 8^ο κεφάλαιο αναφέρεται στην Άδεια λειτουργίας του Ακτινολογικού Εργαστηρίου. Τέλος τα κεφάλαια 9^ο - 10^ο αναφέρονται στις πρακτικές πτυχές της ακτινοπροστασίας του προσωπικού και του εξεταζόμενου. Μετά από κάθε κεφάλαιο παρατίθενται Ασκήσεις - Ερωτήσεις, ώστε ο μαθητής να μπορεί να ελέγξει τις γνώσεις του. Η περίληψη και οι όροι κάθε κεφαλαίου που ορίζονται στο Γλωσσάρι συμβάλλουν στην συμπύκνωση της ύλης αλλά και στην εμπέδωση των γνώσεων του μαθητή.

Αν δείξει ενδιαφέρον ο μαθητής για το τόσο σημαντικό μάθημα της Ακτινοπροστασίας, τότε θα είναι σε θέση να εργάζεται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Η συγγραφική ομάδα ευελπιστεί ότι η "Ακτινοπροστασία" επιδίωξε απτιώς τους στόχους και θα είναι ιδιαίτερα ετυχεύς, αν τους επιτύχει.

Οι συγγραφείς

Αθήνα, Αύγουστος 2001



1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ



ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 1.1. Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή της Ακτινοπροστασίας
- 1.2. Φυσική και τεχνητή ραδιενέργεια, Ραδιοϊσότοπα
- 1.3. Φύση ακτινοβολιών (σωματιδιακή, ηλεκτρομαγνητική)
- 1.4. Ο άνθρωπος και το ραδιενεργό περιβάλλον
- 1.5. Ακτίνες X (παραγωγή - ιδιότητες, φάσματα)
- 1.6. Εφαρμογές των ακτινοβολιών

Περίληψη



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

- Να γνωρίζεις τους επιστήμονες που ασχολήθηκαν με τις ακτινοβολίες
- Να αναφέρεις πότε έγιναν και που τα κυριότερα πυρηνικά ατυχήματα
- Να περιγράψεις την ατομική δομή
- Να εξηγήεις τη φύση των ακτινοβολιών α,β,γ
- Να αναφέρεις τα στοιχεία μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Να περιγράψεις την κοσμική ακτινοβολία
- Να αναφέρεις τις τεχνητές πηγές ακτινοβολίας
- Να περιγράψεις τη μόλυνση του περιβάλλοντος από ραδιενεργά υλικά
- Να εξηγήεις τη φύση των Ακτίνων Χ και την ομόνυμη λυχνία
- Να σχεδιάζεις το φάσμα των Ακτίνων Χ
- Να αναφέρεις τις εφαρμογές των ακτινοβολιών γενικότερα.

Ορολογία

eV

Ακτίνες α, β, γ

Ακτίνες Χ

Ατομικός Αριθμός

Διέγερση

Ιονισμός

Κοσμική ακτινοβολία

Λυχνία ακτίνων Χ

Μαζικός Αριθμός

Μήκος κύματος

Νετρίνο

Πυρήνας ατόμου

Ραδιενεργό στοιχείο

Ραδιενεργός οικογένεια

Ραδιοϊσότοπο

Ραδόνιο

Στιβάδες ατόμου

Συχνότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Τεχνητή Ραδιενέργεια

Φάσμα ακτίνων Χ

Φυσική Απομείωση

Φυσική Ραδιενέργεια

Χρόνος υποδιπλασιασμού

1.1. Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή της Ακτινοπροστασίας

Το Νοέμβριο του 1896 ο Γάλλος Φυσικός, H.Becquerel ανακάλυψε τυχαία ότι υπάρχουν υλικά στη φύση ονομαζόμενα ραδιενεργά που έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν ακτινοβολία (π.χ. Ουράνιο). Ο Becquerel τοποθετώντας καθημερινά κάτω από μία πέτρα το τότε υπερμεγέθους σιδηρένιο κλειδί του σπιτιού του διαπίστωσε ότι το ίχθος του κλειδιού αποτυπωνόταν στο πέτρωμα που ακουμπούσε. Σχεδόν ταυτόχρονα η διάσημη Γαλλίδα - Πολωνικής καταγωγής - Marie Curie ανακάλυψε τα στοιχεία Θόριο και Ράδιο και γι' αυτό τιμήθηκε με το βραβείο Nobel της Φυσικής (1903) και Χημείας (1911). Η Curie παντρεύτηκε το Γάλλο Φυσικό Pierre Curie, γνωστό για τις μελέτες του σε πολλούς τομείς της Φυσικής.

Το έτος 1896 ήταν ιδιαίτερα σημαδιακό, αφού προστέθηκε η ανακάλυψη των αγνώστων τότε ακτίνων που ονομάσθηκαν X, από το Γερμανό Φυσικό Wilhelm Conrad Roentgen (βραβείο Nobel 1901). Οι ακτίνες X προέρχονταν από μια λυχνία που κατασκεύασε ο ίδιος και για τις συγκεκριμένες ακτίνες θα υπάρχει ιδιαίτερη αναφορά παρακάτω. Πειραματικά ο Αμερικάνος Ερευνητής E.Grubbe πιστοποίησε την ύπαρξη των ακτίνων X. Ήταν η πρώτη παραγωγή ακτίνων από μη ραδιενεργά υλικά. Ο Grubbe παρατήρησε στο αριστερό του χέρι, το οποίο συνήθιζε να εκθέτει στις ακτίνες X, ένα έντονο ερυθρόγραμμα που εξαλείφθηκε σε σύντομο κι αργότερα σε σοβαρή εξέλκωση. Αποθεραπεύτηκε μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα αλλά παρέμεινε ένα εκτεταμένο τραύμα. Διαπιστώνοντας ο Grubbe την καταστροφική δράση των ακτίνων στους ιστούς είχε την εκπληκτική για την εποχή εκείνη ιδέα ν' ακτινοβολήσει ένα καρκίνο του μαστού προφυλάσσοντας όμως το υπόλοιπο σώμα με φύλλα μόλυβδου (Pb). Μ' αυτή την ενέργεια ο Grubbe θεωρείται ο πρώτος δίδοντας της θεραπείας με ακτίνες X αλλά και της ακτινοπροστασίας. Σήμερα η εφαρμογή των ακτίνων X για θεραπευτικούς σκοπούς αποτελεί σημαντικό κομμάτι της Ακτινοθεραπείας. Η Marie Curie το 1898 διαπίστωσε ότι οι ακτινοβολίες του Ραδίου δημιουργούσαν καψίματα στο δέρμα ανάλογα με αυτά των ακτίνων X, μιας και δε λαμβανόταν κανένα μέτρο προστασίας.

Τα πρώτα αυτά ατυχήματα καθώς και τα πειράματα που έγιναν σε ζώντες οργανισμούς κατέδειξαν ότι οι ακτινοβολίες είναι επικίνδυνες κι επομένως αυχαλούμενοι μ' αυτές κινδύνευαν σοβαρά. Οι πιο πάνω αναφερθέντες επιστήμονες αλλά και ο Αμερικάνος WH Rollins, αφού επισήμαναν τα πιο βλαπτικά αποτελέσματα των ακτινοβολιών, συνέβαλαν στην δημιουργία της πρώτης ομάδας εργασίας (1916) στη Μεγάλη Βρετανία που ασχολήθηκε με την προστασία έναντι των ακτίνων X και του Ραδίου. Ήταν η πρώτη επίσημη Επιτροπή Ακτινοπροστασίας.

Όσοι αποχλήθηκαν στα επόμενα χρόνια με ραδιενεργά υλικά, χρειάστηκε ν' αλλάξουν τις τεχνικές, ώστε ν' αποφύγουν τις δυσάρεστες συνέπειες της ακτινοβολίας. Οι πρόοδοι ωστόσο στον τομέα της ακτινοπροστασίας ήταν βραβείες και γι' αυτό δεν έλειψαν τα θύματα.

Στα 1916 ο Άγγλος Ακτινολόγος Russ παρουσίασε την πρώτη εργασία σε θέματα ακτινοπροστασίας, υπογραμμίζοντας τους κινδύνους και προτείνοντας σειρά μέτρων. Οι Άγγλοι ίδρυσαν (1921) πρώτοι την Αγγλική Εταιρεία Ακτινολογίας (British Roentgen Society) και τυπώνουν ένα σημαντικό πόνημα για τους αποτελεσματικούς τρόπους ακτινοπροστασίας. Δυστυχώς ελάχιστοι έλαβαν υπόψη τους τις υποδείξεις αυτές κι έτσι τα ατυχήματα από υπερβολικές εκθέσεις στην ακτινοβολία δεν περιορίστηκαν. Υπολογίζεται ότι από το 1900-1920 πάνω από 100 γιατροί Ακτινολόγοι έχασαν τη ζωή τους από την υπερβολική έκθεση στην ακτινοβολία. Ο αριθμός αϊσός είναι 10 φορές μεγαλύτερος από τα θανατηφόρα ατυχήματα μεταξύ των ετών 1942-1967 στα πυρηνικά εργοστάσια. Όμως από το 1928 η ακτινοπροστασία ακολουθεί την ανοδική της πορεία.

Το 1934 το ζεύγος Jean Frederic Joliot και η Irene Curie - κόρη της Marie Curie - ανακάλυψαν την τεχνητή ραδιενέργεια και γι' αυτό πήραν επάξια βραβείο Nobel στη Χημεία (1935). Μετά από οκτώ χρόνια (1942), ο διθνός, φήμης Ιταλός επιστήμονας Φυσικός Enrico Fermi (βραβείο Nobel 1938), κατασκεύασε στις ΗΠΑ τον πρώτο πυρηνικό αντιδραστήρα και μαζί με τον εξίσου διάσημο συνάδελφό του τον Αμερικάνο A. Compton (βραβείο Nobel 1927), δημιούργησαν την πρώτη ομάδα Ακτινοπροστασίας. Οι ομάδες αυτού του είδους ενισχύθηκαν με επιστημονικό δυναμικό και πολλαπλασιάστηκαν σε όλα τα προηγμένα κράτη με στόχο την επίλυση θεμάτων ακτινοπροστασίας, ώστε οι ερευνητές να εργάζονται μέσα σε συνθήκες ασφάλειας. Σ' αυτό συνέτεινε η ενημέρωση των εργαζομένων, η έρευνα κι η εκπαίδευσή τους ώστε να χρησιμοποιούνται οι ακτινοβολίες μόνο επ'ωφελεία. Στις ομάδες ακτινοπροστασίας προστέθηκαν κι άλλοι επιστήμονες, χημικοί, γεωλόγοι, μετεωρολόγοι, βιολόγοι, μηχανικοί, μαθηματικοί που εργάζονται για τον κοινό σκοπό, δηλαδή την ασφαλή χρήση των ακτινοβολιών.

Οι πυρηνικές βόμβες στη Χιρσσίμα και το Ναγκασάκι της Ιαπωνίας με τις καταστροφικές δυνάμεις των ακτινοβολιών προκάλεσαν σ' όλον τον κόσμο δέος. Έτσι επικράτησε μια ακτινοφοβία που δημιούργησε αρνητικό κλίμα στην εξέλιξη της χρήσης των ακτινοβολιών. Πολλοί εργαζόμενοι σε εργοστάσια ακτινοβολιών ζήτησαν τη βοήθεια των ψυχιάτρων, επειδή παρουσίασαν έντονα συμπτώματα νευρώσεων. Μέχρι σήμερα έχουν συμβεί

τέσσερα μεγάλα πυρηνικά ατυχήματα που προξένησαν ραδιενεργό μόλυνση του περιβάλλοντος και προκλήθηκαν από:

- α.** Τη θερμοπυρηνική δοκιμή (1954) στον Ειρηνικό Ωκεανό στη τοποθεσία Atoll de Bikini.
- β.** Την έκρηξη στον πυρηνικό αντιδραστήρα στη Μεγάλη Βρετανία στη θέση Windscale (1957),
- γ.** Την βλάβη του αντιδραστήρα κοντά στην πόλη Harrisbury στην Πενσυλβανία των ΗΠΑ (1970),
- δ.** Την έκρηξη του 11^{ου} αριθμόν τέσσερα αντιδραστήρα (1986) στη θέση Chernobyl της σημερινής Ουκρανίας την περίοδο κατά την οποία η πόλη ανήκε στην Σοβιετική Ένωση.

Μοναδικός τρόπος εφησυχασμού των εργαζομένων και του κοινού είναι η αποτελεσματική προστασία. Σήμερα, με τους Κανονισμούς Ακτινοπροστασίας που έχουν θεσπισθεί και φυσικά με την πιστή τήρησή τους, εκρηδενίζονται πρακτικώς οι κίνδυνοι.

1.2. Φυσική και Τεχνητή Ραδιενέργεια, Ραδιοϊσοτόπια

Πριν αναπτυχθεί αυτό το κεφάλαιο κρίνεται σκόπημη η αναφορά και η μικρή ανάπτυξη της Δομής του Ατόμου.

1.2.1. Δομή του Ατόμου

Η ύλη αποτελείται από μικρές ποσότητες που ονομάστηκαν Άτομα ή Στοιχεία και δεν είναι δυνατόν να τμηθούν περαιτέρω με χημικές μεθόδους. Πολλά Άτομα συνεχόμενα αποτελούν τα Μόρια. Σήμερα είναι γνωστά 108 στοιχεία, από τα οποία τα 92 βρίσκονται στη φύση και τα υπόλοιπα 16 έχουν κατασκευαστεί με τη βοήθεια της τεχνολογίας.

Η Δομή του Ατόμου είναι μια μικρογραφία πλανητικού συστήματος, η οποία για λόγους διδακτικούς απεικονίζεται ως εξής. Υπάρχει ένας πυρήνας στον οποίο συμπυκνώνεται κυρίως η μάζα του ατόμου και γύρω απ' αυτόν περιστρέφονται ηλεκτρόνια (e^-) σε τροχιές ή στιβάδες. Η πρώτη κοντά στον πυρήνα τροχιά ονομάζεται K οι επόμενες L, M, N κ.ο.κ. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων σε κάθε τροχιά καθορίζεται από τη σχέση $2n^2$, όπου λαμβάνεται $n=1$ για την K, $n=2$ για την L κ.ο.κ. Άρα η K θα έχει $2e^-$, η L 8, η M 18 κ.λπ. Στον πυρήνα περιέχονται μικρά σωματίδια τα Πρωτόνια $1p$ και τα Νετρόνια $1n$ (μόνο στο άτομο του Υδρογόνου δεν υπάρχει νετρόνιο).



Σχ. 1.1. Δομή του ατόμου

Τα πρωτόνια είναι θετικώς φορτισμένα και τα νετρόνια χωρίς ηλεκτρικό φορτίο, δηλαδή ουδέτερα. Τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται στις στιβάδες έχουν αρνητικό φορτίο. Για να συμπεριφέρεται το άτομο ηλεκτρικά ουδέτερο, πρέπει ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα να είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα. Το άθροισμα πρωτονίων και νετρονίων κάθε ατόμου ονομάζεται Μαζικός Αριθμός (Α) του στοιχείου και γράφεται στο άνω αριστερό άκρο του συμβόλου του. Ο αριθμός των πρωτονίων ονομάζεται Ατομικός Αριθμός Z του στοιχείου και γράφεται στο κάτω αριστερό του συμβόλου. Για παράδειγμα το στοιχείο του Ψευδαργύρου με σύμβολο Zn έχει Ατομικό Αριθμό 30 και Μαζικό Αριθμό 65, οπότε θα γραφεί ${}^{65}_{30}\text{Zn}$. Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα το στοιχείο αυτό έχει 30 πρωτόνια και 30 ηλεκτρόνια. Ο αριθμός των νετρονίων του πυρήνα θα είναι η διαφορά M-Z, αριθμός νετρονίων 35 δηλαδή (65-30).

Υπάρχουν στοιχεία με τον ίδιο Ατομικό Αριθμό αλλά διαφορετικό Μαζικό κι ονομάζονται Ισότοπα. Τα Ισότοπα έχουν τις αυτές χημικές ιδιότητες. Μερικά στοιχεία έχουν πολλά Ισότοπα όπως το Βάριο



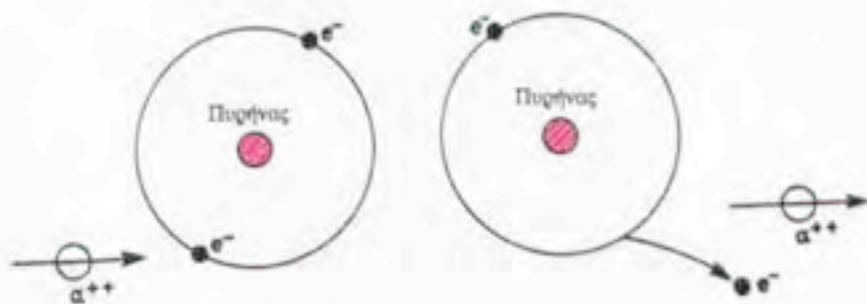
1.2.2. Διέγερση και ιοντισμός του ατόμου

Όπως αναφέρθηκε σε κάθε τροχιά ενός ατόμου κινούνται ηλεκτρόνια ενέργειας σαφώς καθορισμένης. Σύμφωνα με τη συνθήκη του Δανού Φυσικού Niels Bohr (βραβείο Nobel 1922) η κίνηση των ηλεκτρονίων δε συνοδεύεται από εκπομπή ακτινοβολίας. Ακτινοβολία εκπέμπεται μόνον όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδά από τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας σε τροχιά μικρότερης ενέργειας. Αν τώρα από οποιοδήποτε εξωτερικό αίτιο - ταχέως κινούμενα σώματα, ακτινοβολία X ή γ - το άτομο προσλάβει ενέργεια, το ηλεκτρόνιο παύει να κινείται στην αρχική του τροχιά και καταλαμβάνει μια θέση σε άλλη τροχιά επί της οποίας και περιφέρεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *διέγερση του ατόμου*.



Σχ.1.2. Διέγερση του ατόμου.

Η θέση του ηλεκτρονίου στη νέα ενεργειακά στάθμη είναι προσωρινά, διότι το ηλεκτρόνιο ακαριαία επανέρχεται στην αρχική του θέση με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας. Στην περίπτωση κατά την οποία η προσφερόμενη ενέργεια είναι πολύ μεγάλη, είναι δυνατόν το ηλεκτρόνιο ν' απομακρυνθεί οριστικά από το άτομο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *Ιοντισμός*. Έτσι ο Ιοντισμός είναι το αποτέλεσμα της σύγκρουσης ακτινοβολίας με την ύλη. Το ηλεκτρόνιο λέγεται *αρνητικό ιόν* και το άτομο που παραμένει θετικά φορτισμένο *θετικό ιόν* αφού τώρα υπερτερεί στο άτομο ένα θετικό φορτίο του πυρήνα. Το αρνητικό και θετικό ιόν που δημιουργήθηκαν ονομάζονται *ζεύγος ιόντων*. Η ακτινοβολία που όταν προσπίσει σε διάφορα υλικά δημιουργεί ζεύγη ιόντων, ονομάζεται *ιοντίζουσα ακτινοβολία*.



Σχ.1.3. Ιοντισμός του ατόμου.

1.2.3. Φυσική Ραδιενέργεια

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ονομάζονται νουκλεόνια και μέσα στον πυρήνα βρίσκονται σε διαρκή κίνηση και παρότι μεταβιβάζουν ενέργεια εντούτοις καταφέρνουν να συγκρατούνται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις.

Αυτή η σταθερότητα του πυρήνα οφείλεται κυρίως, όταν το πλήθος των νευτρονίων είναι μικρό και ο αριθμός των πρωτονίων είναι ο ίδιος ή παρhapλήσιος με τον αριθμό των νετρονίων. Όταν ο πυρήνας ενός στοιχείου γίνει βαρύτες και μάλιστα, όταν ο αριθμός των νετρονίων αυξηθεί εντυπωσιακά έναντι των πρωτονίων, τότε ο πυρήνας χάνει τη σταθερότητά του, διότι οι δυνάμεις μεταξύ των νευτρονίων είναι ασθενείς και ο πυρήνας διασπάται εκπέμποντας ακτινοβολία. Στην περίπτωση αυτή το στοιχείο του οποίου ο πυρήνας είναι ασταθής, ονομάζεται *Ραδιενεργό*. Ο αριθμός των διασπάσεων ανά μονάδα χρόνου ονομάζεται *Ραδιενέργεια*. Μονάδα ραδιενέργειας είναι το Becquerel (Bq), ισούται με μια διάσπαση ανά δευτερόλεπτο και ανήκει στο διεθνές σύστημα (SI).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ διάσπαση / sec}$$

Ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται η παλαιά μονάδα ραδιενέργειας, Curie (Ci) προς τιμήν του ζεύγους Curie και ισχύει $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10}$ διασπάσεις/s, δηλαδή $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ καθώς και τα υποπλάσματά της.

$$1 \text{ mCi} = 10^3 \mu\text{Ci} = 37 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

$$1 \mu\text{Ci} = 37 \cdot 10^3 \text{ Bq}$$

Η ραδιενέργεια δεν επηρεάζεται από εξωτερικά αίτια όπως οι μεταβολές της υγρασίας, θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης κ.λπ. Η διάσπαση των πυρήνων είναι ένα φαινόμενο αυθόρμητο. Κάθε ραδιενεργό στοιχείο έχει το δικό του ρυθμό διάσπασης των πυρήνων του. Κάθε στοιχείο αποτελείται από πληθώρα ατόμων και παρακολουθώντας τη διάσπαση των πυρήνων τους, παρατηρείται ότι σε κάποια χρονική στιγμή, η οποία ονομάζεται χρόνος υποδιπλασιασμού (T), έχει διασπασθεί το ήμισυ του συνολικού αριθμού των αρχικών. Ο χρόνος υποδιπλασιασμού είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα κάθε ραδιενεργού στοιχείου και κυμαίνεται από λίγα δευτερόλεπτα (βραχύβιο) μέχρι χιλιάδες χρόνια (μακρόβιο).

Η πυρηνική Φυσική κι η τεχνολογία με τη βοήθεια των πυρηνικών αντιδραστήρων και των επιταχυντών κατασκεύασαν νέα στοιχεία που είναι ραδιενεργά καθώς και ισότοπα σταθερών στοιχείων επίσης ραδιενεργά, τα αποκαλούμενα Ραδιοϊσότοπα. Η όλη διαδικασία παραγωγής Τεχνητών Ραδιενεργών στοιχείων ονομάζεται Τεχνητή Ραδιενέργεια και επιτυγχάνεται με βομβαρδισμό σταθερών στοιχείων με σωματίδια υψηλής ενέργειας, όπως νετρόνια, πρωτόνια, ηλεκτρόνια και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Για την τελευταία θα γίνει εκτενής αναφορά.

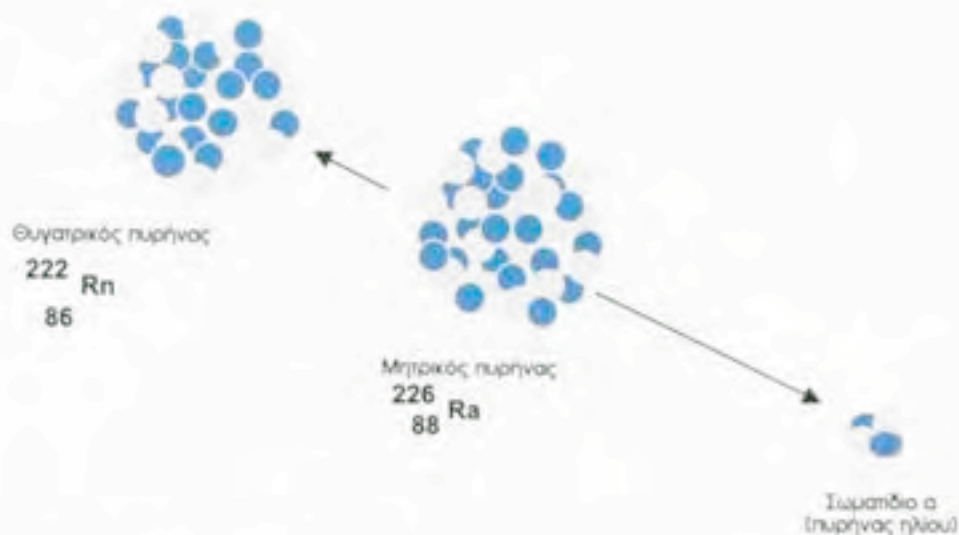
1.3. Φύση ακτινοβολιών

Τα ραδιενεργά στοιχεία είτε φυσικά είτε τεχνητά εκπέμπουν τις εξής ακτινοβολίες: ακτίνες α, ακτίνες β και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

1.3.1. Ακτίνες Άλφα (α)

Βαρείς ραδιενεργοί πυρήνες, δηλαδή με μεγάλο Μαζικό Αριθμό, έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν ακτίνες α που είναι πυρήνες του στοιχείου Ηλίου. Κάθε πυρήνας Ηλίου, που προφανώς έχει θετικό φορτίο, αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια ${}^4\text{He}$.

Κατά την εκπομπή της α ακτινοβολίας η απώλεια των πρωτονίων και των νετρονίων έχει ως επακόλουθο τη δημιουργία νέου στοιχείου που ονομάζεται θυγατρικό. Το τελευταίο μπορεί να είναι σταθερό στοιχείο αλλά και ραδιενεργό το οποίο επίσης διασπάται και δημιουργείται νέο θυγατρικό που είναι επίσης ραδιενεργό κ.ο.κ. Σ' αυτήν την περίπτωση πρόκειται περί Ραδιενεργού Οικογένειας.



Σχ.1.4. Ακτινοβολία α.

Σε πολλές περιπτώσεις κατά την α διάσπαση ο πυρήνας βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση, δηλαδή διαθέτει περίσσειμα ενέργειας και προκειμένου να βρει τη σταθερή του κατάσταση, εκπέμπει μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ακτίνα γ).

Υπάρχουν περιπτώσεις, που το Ραδιενεργό στοιχείο εκπέμπει δύο ακτίνες β διαφορετικής ενέργειας, μεταξύ τους, έτσι και κατά μικρό ποσοστό τη δεύτερη.

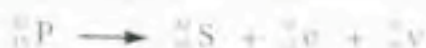
Η ακτινοβολία β ανιχνεύεται εύκολα κυρίως με τους εξής τρόπους:

- α. Αμαυρώνει το film
- β. Προκαλεί ορατό φως, όταν ηροσπίσει σε φθορίζον υλικό.
- γ. Ευαισθητοποιεί όργανα ανίχνευσης ακτινοβολίας.

Η διεισδυτικότητα της ακτινοβολίας β είναι πολύ μικρή (μικτό μέσο στους ιστούς ανεξαρτήτως της ενεργείας της - αλλά ηροσπεί οχετικά πολύ μεγάλα βλαβή

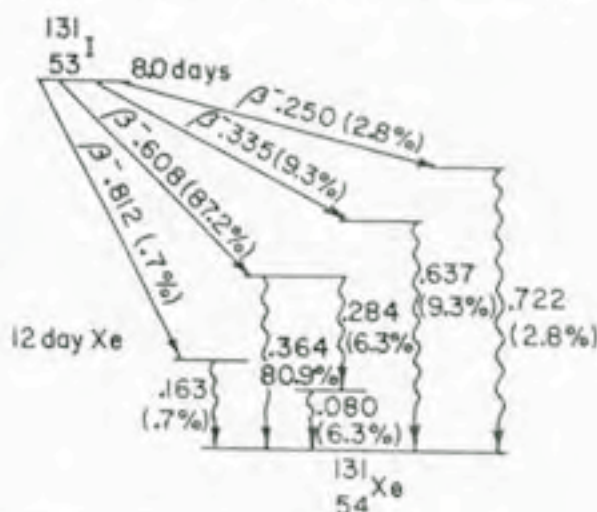
1.3.2. Ακτίνες Βήτα (β)

Υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία που εκπέμπουν ηλεκτρόνια και ονομάζονται ακτίνες β .



Σχ.1.5. Εκπομπή β ακτινοβολίας.

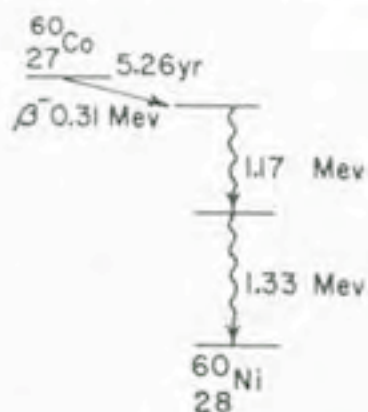
Παρατηρήθηκε ότι από ένα πλήθος ατόμων ενός ραδιενεργού στοιχείου που εκπέμπει ακτίνες β , η ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου είναι διαφορετική. Τοόσο συμβαίνει, διότι το φαινόμενο β εκπομπής συνοδεύεται κι από την ταυτόχρονη εκπομπή ενός πάρα πολύ μικρού σωματιδίου, χωρίς ηλεκτρικό φορτίο, του νετρίνο που διαθέτει κι αυτό ενέργεια. Όμως το άθροισμα της συνολικής ενέργειας ηλεκτρονίου και νετρίνο είναι σταθερό κι επομένως θα υπάρξει αλληλοσυμπλήρωση της ενέργειας κάθε ηλεκτρονίου από την ενέργεια του νετρίνο.



Σχ.1.6. Διάσπαση του Ιωδίου 131.

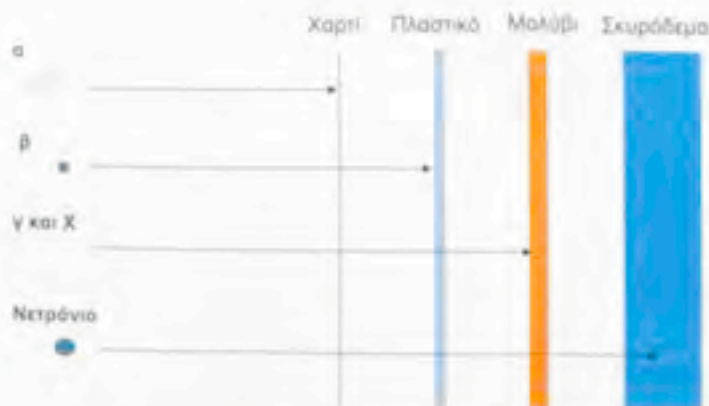
Και στην περίπτωση εκπομπής β παρατηρείται σε πολλά στοιχεία αποδιέγερση του πυρήνα με εκπομπή γ ακτινοβολίας. Υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία, όπως το Ιώδιο 131 που εκπέμπουν 4 ηλεκτρόνια διαφορετικής ενέργειας και σε διαφορετικό ποσοστό κι η εκπομπή αυτή ακολουθείται από 6 ακτίνες γ διαφορετικών ενεργειών. Τίθεται όμως το ερώτημα γιατί, εφόσον οι ακτίνες β είναι 4, υπάρχουν περισσότερες ακτίνες γ . Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι ο τρόπος πρέριας του πυρήνα στη συγκεκριμένη περίπτωση αποτελεί μετά την εκπομπή ενός ηλεκτρονίου να ακολουθούν 3 ακτίνες γ .

Μια τυπική εκπομπή e^- και στη συνέχεια γ είναι η περίπτωση του χρησιμοποιούμενου ευρύτατα στην Ακτινοθεραπεία Κοβαλτίου $^{60}_{27}\text{Co}$ ραδιοϊσοτόπου του Κοβαλτίου 59 που καταλήγει στο θυγατρικό σταθερό στοιχείο Νικέλιο.



Σχ.1.7. Διάσπαση Κοβαλτίου 60.

Σπανίως αντί για εκπομπή ηλεκτρονίου κατά τη β -διάσπαση παρατηρείται εκπομπή θετικά φορτισμένου ηλεκτρονίου, του ποζιτρονίου. Η διε-

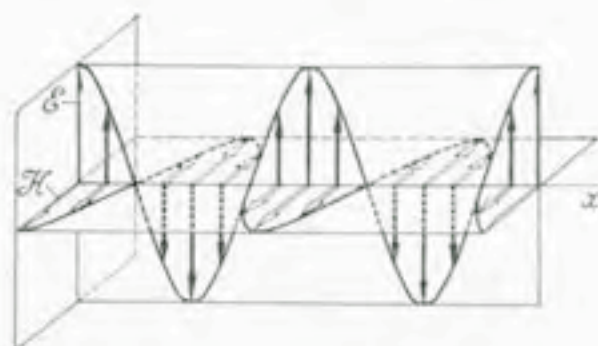


Σχ.1.8. Εύρος διαδρομής των διαφόρων τύπων ακτινοβολίας.

οδυτικότητα των ηλεκτρονίων είναι ανάλογη με την ενέργειά τους και προκαλούν μικρότερες βλάβες στους ιστούς απ' όσες οι ακτίνες α.

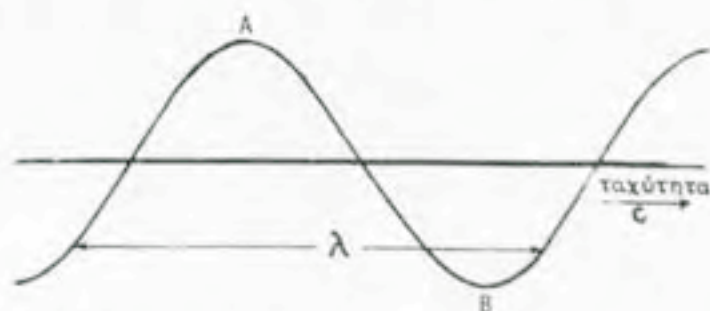
1.3.3. Ακτίνες γ

Οι ακτίνες γ ανήκουν στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και εκπέμπονται κατά την αποδιέγερση του πυρήνα ραδιοενεργού στοιχείου μετά την εκπομπή α ή β . Η ποιότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι όμοια προς τα ραδιοφωνικά κύματα, το ορατό φως, τις υπεριώδεις ακτίνες. Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κι ένα μαγνητικό πεδίο που και τα δύο χρονικά μεταβάλλονται (Θεωρία Maxwell). Τα δύο είδη κυμάτων κινούνται κάθετα μεταξύ τους και μεταβιβάζουν ενέργεια.



Σχ.1.9. Μεταβολή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε συνάρτηση με την απόσταση.

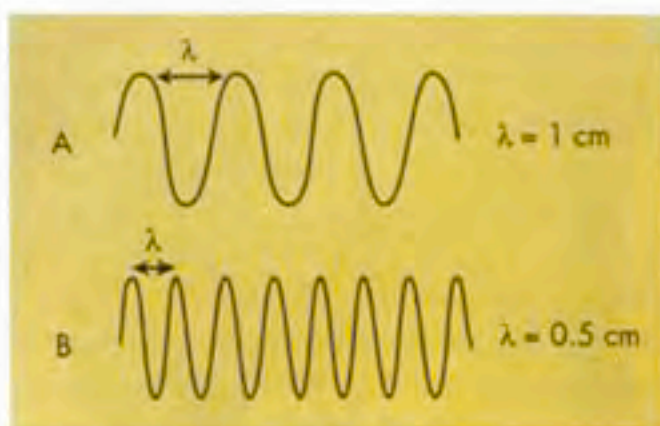
Για λόγους διδακτικούς καταγράφεται μόνο η μεταβολή του ηλεκτρικού κύματος που προσομοιάζει μ' ένα τεντωμένο σχοινί το οποίο κινείται ρυθμικά πάνω κάτω. Η απόσταση AB ονομάζεται εύρος του κύματος.



Σχ.1.10. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπέσει επί ενός υλικού, η ακτινοβολία άλλοτε συμπεριφέρεται ως κύμα για να ερμηνευτούν τα φαινόμενα της ανάκλασης και διάθλασης κι άλλοτε ως σωματίο για να ερμηνευθούν τα φαινόμενα της απορρόφησης και της σκέδασης. Στην τελευταία περίπτωση ο Einstein διατύπωσε τη θεωρία ότι η μεταβιβαζόμενη ενέργεια μιας φωτεινής δέσμης διαδίδεται με συγκεκριμένα ποσά ενέργειας των κβάντων ενέργειας ή φωτονίων. Οι ακτίνες γ επομένως είναι πακέτα ενέργειας (φωτόνια) που διαδίδονται με ταχύτητα στο κενό $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Κάθε φωτόνιο (quantum) είναι η μικρότερη ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως το άτομο είναι η μικρότερη ποσότητα ενός στοιχείου.

Όλα τα κύματα χαρακτηρίζονται από το μήκος κύματος λ και τη συχνότητά τους ν . Στο σχήμα 1.11 παρουσιάζονται δύο κύματα με διαφορετικό λ .



Σχ.1.11. Δύο κύματα με διαφορετικό λ .

Μονάδα μήκους κύματος είναι το μέτρο (m), αλλά στο χώρο της Ιατρικής η γ ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει πολύ μικρό μήκος κύματος και γι αυτό χρησιμοποιείται η μονάδα Angstrom= 10^{-10} m.

Ορίζεται συχνότητα ν και μετριέται σε Hertz (Hz) ο αριθμός των ορέων ή των κοιλιάδων που περνούν από ένα σημείο στη μονάδα του χρόνου (s). Έτσι, αν διερχονται 30 όρη εντός 10s, τότε η συχνότητα θα είναι 3Hz.

Σε κάθε κύμα το μήκος κύματος κι η συχνότητα συνδέονται με την ταχύτητα του κύματος σύμφωνα με την εξίσωση $v = \lambda \cdot \nu$.

Παρατηρείται ότι το γινόμενο του μήκους κύματος επί τη συχνότητα είναι σταθερό συνεπώς, όταν αυξάνει η συχνότητα, θα μειώνεται το μήκος κύματος, κι αντιστρόφως.

Η εξίσωση του κύματος χρησιμοποιείται και για τα ηχητικά κύματα, τα οποία παράγει λόγω χάρη ένα διαπασών αλλά η ταχύτητα κι η διάδοσή τους δεν έχουν καμιά σχέση με τις ακτίνες γ . Ενώ τα φωτόνια κινούνται

με την ταχύτητα του φωτός, η ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων εξαρτάται από την πυκνότητα της ύλης από την οποία διέρχονται, ενώ στο κενό δε διαδίδονται. Ηχητικά κύματα μεγαλύτερης συχνότητας (υπέρηχοι) χρησιμοποιούνται ευρύτατα στον τομέα της διαγνωστικής.

Είδος Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	λ
Ραδιοφωνικά, radar	$3 \cdot 10^3 \text{m}$ έως 10^4m
Υπέρυθρη ακτινοβολία	10^4 έως 8.000 \AA
Ορατό φως	7.500 \AA έως 3.900 \AA
Υπεριώδες	3.900 \AA έως 20 \AA
RX για Διαγνωστικούς σκοπούς	1 \AA έως $0,1 \text{ \AA}$
RX και γ για θεραπευτικούς σκοπούς	$0,1 \text{ \AA}$ έως 10^{-4} \AA

Πίνακας 1.1. Διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε σχέση με το αντίστοιχο μήκος κύματος.

Τα χρησιμοποιούμενα για οικιακή χρήση μικροκύματα έχουν μήκος κύματος από 10^3 έως 1m . Στις ιατρικές εφαρμογές - διάγνωση, θεραπεία - χρησιμοποιείται η ορατιδιακή υπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το ποσό της ενέργειας που διαθέτει κάθε φωτόνιο εξαρτάται από τη συχνότητα ν . Αν η συχνότητα διπλασιαστεί, διπλασιάζεται κι η ενέργεια του φωτονίου και υπολογίζεται από το γινόμενο της συχνότητας και μιας σταθεράς h (σταθερά του Planck) προς τιμήν του Γερμανού Φυσικού (Βραβείο Nobel 1918). Η τιμή της σταθεράς h είναι

$$h = 4,15 \cdot 10^{-15} \text{eVs}$$

Το eV είναι μονάδα ενέργειας και ορίζεται ως η ενέργεια που αποκτά ένα ηλεκτρόνιο, όταν μετακινηθεί μεταξύ δύο σημείων, των οποίων η διαφορά δυναμικού είναι 1 Volt. Το eV και τα πολλαπλάσιά του δεν ανήκουν στο σύστημα SI αλλά χρησιμοποιούνται μόνο στην πυρηνική φυσική $1 \text{KeV} = 10^3 \text{eV}$ και $1 \text{MeV} = 10^6 \text{KeV} = 10^9 \text{eV}$.

Η ενέργεια κάθε φωτονίου $E = h \cdot \nu$

$$E = h(\text{eVs}) \cdot \nu (\text{1/s})$$

κι επειδή $\nu = c/\lambda$, όπου c η ταχύτητα του φωτός

$$E = h(c/\lambda)$$

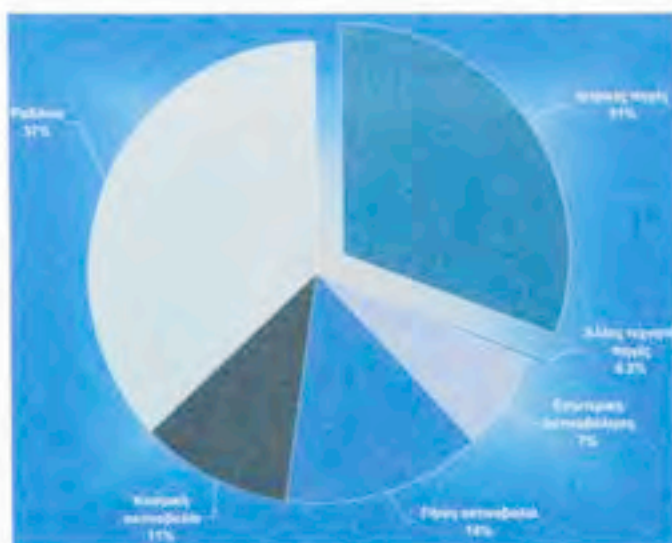
Οι ακτίνες γ είναι ιδιαίτερα διεισδυτικές και προκαλούν βλάβες στους ιστούς.

1.4. Ο άνθρωπος και το ραδιενεργό περιβάλλον

Κάθε ζωντανός οργανισμός που βρίσκεται στη γη εκτίθεται σε μικρές σχετικά ποσότητες ακτινοβολίας οι οποίες προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές πηγές. Τρεις είναι οι φυσικές πηγές που αθροιστικά συμβάλλουν στην έκθεση του ανθρώπου στην ακτινοβολία:

- Η κοσμική ακτινοβολία
- Η ακτινοβολία από ραδιενεργές πηγές που βρίσκονται στα γήινα στρώματα και
- Οι τεχνητές πηγές ακτινοβολίας

Η μέση ετήσια δόση ακτινοβολίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση από όλες τις πηγές ανέρχεται στα 3,42 mSv και η συνεισφορά των επι μέρους πηγών φαίνεται στο σχ.1.12.



Σχ.1.12. Μέση ετήσια δόση ακτινοβολίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (UNSCEAR 1995).

1.4.1. Κοσμική Ακτινοβολία

Η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από σωματίια και φωτόνια που εκπέμπονται από τον ήλιο και τ' αστέρια. Είναι διευθυντική ακτινοβολία και διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή.

- Πρωτογενής: Είναι η αρχική ακτινοβολία και αποτελείται από πρωτόνια ενέργειας έως 10^{10} GeV.
- Δευτερογενής: Προέρχεται από τη σύγκρουση των πρωτονίων με ατομικούς πυρήνες των ουσιαστικών των ανωτάτων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.

Πρόκειται για κλασικά περιπτώση πυρηνικών αντιδράσεων. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η παραγωγή νέων βλαβερών υψηλής ενέργειας, τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν αντιδράσεις στη γη. Η δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία συνίσταται από ποικιλία σωματίων, όπως πρωτόνια, πλεκτρόνια, ποζιτρόνια, μεσόνια και ιφωτόνια γ εξαιρετικά υψηλής ενέργειας. Τα μεσόνια είναι σωματίια με μάζα μεγαλύτερη από το πλεκτρόνιο και μικρότερη από το πρωτόνιο. Φέρουν πλεκτρικό φορτίο θετικό, αρνητικό ή είναι αφορτιστα.

Η κοσμική ακτινοβολία φθάνει στη γη σαφώς εξασθενημένη δεδομένου ότι είναι υποχρεωμένη να διέλθει από το εξαιρετικά μεγάλο πάχος της περιβαλλόμενης ατμόσφαιρας. Παρά ταύτα γίνεται αισθητή λόγω της τεράστιας ενέργειάς της, αποδεικνύει ότι διαπερνά μεγάλο πάχος ρολόβδινι τοιχώματα ή εισχωρεί στη γη σε μεγάλο βάθος. Είναι προκινές ότι η κοσμική ακτινοβολία αυξάνεται με το ύψος, δηλαδή όσο πλησιάζουμε προς τον τόπο προέλευσής της. Στις περιοχές των πόλων της γης η κοσμική ακτινοβολία αυξάνεται και οφείλεται στην έκτροπή της από το γήινο μαγνητικό πεδίο.

1.4.2. Γήινες πηγές ακτινοβολίας

Η γήινη ακτινοβολία προέρχεται από τα ραδιενεργά στοιχεία Ουράνιο και Θόριον που βρίσκονται στα πετρώματα. Στη γη υπάρχουν επίσης κι άλλα ραδιενεργά στοιχεία αλλά σε πολύ μικρές ποσότητες.



Σχ.1.13. Η ραδιενέργεια και οι φυσικές ακτινοβολίες.

Οι περιοχές με τις μεγαλύτερες ποσότητες ραδιενεργών στοιχείων στα πετρώματά τους είναι η Ινδία, η Βραζιλία κι η Μεγάλη Βρετανία. Το σημαντικότερο ποσό της γήινης ακτινοβολίας προέρχεται από το στοιχείο Ραδόνιο (Rn). Τούτο είναι αέριο ραδιενεργό στοιχείο που εκπέμπει ακτίνες α και παράγεται από την φυσική απομείωση του Ουρανίου. Το Ραδόνιο ανιχνεύεται γενικά στα οικοδομικά υλικά, όπως οκυρόδεμα, τούβλα, γύψο κ.λπ. Το Rn προκαλεί βλάβη στον οργανισμό, εφόσον εισπνέεται σε μεγάλη ποσότητα.

Η επιβάρυνση ενός κατοίκου της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το Ραδόνιο ανέρχεται στο 37% (1,198 mSv) της μέσης ετήσιας δόσης ακτινοβολίας απ' όλες τις φυσικές και τεχνητές πηγές (σχ.1.12). Το αντίστοιχο ποσοστό στις ΗΠΑ ανέρχεται στο 55% της μέσης ετήσιας δόσης ακτινοβολίας. Εκτός από το Ραδόνιο ανιχνεύεται κι άλλο αέριο ραδιενεργό στοιχείο το Θόριον. Και τα δύο εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό με την εισπνοή.

Τέλος, το ⁴⁰K που περιέχεται σε μικρή ποσότητα στο φυσικό Κάλιο επιβαρύνει τον ανθρώπινο οργανισμό. Το ⁴⁰K εκπέμπει β και γ ακτινοβολία κι έχει χρόνο υποδιπλασιασμού εκατομμύρια έτη.

1.4.3. Τεχνητές πηγές ακτινοβολίας

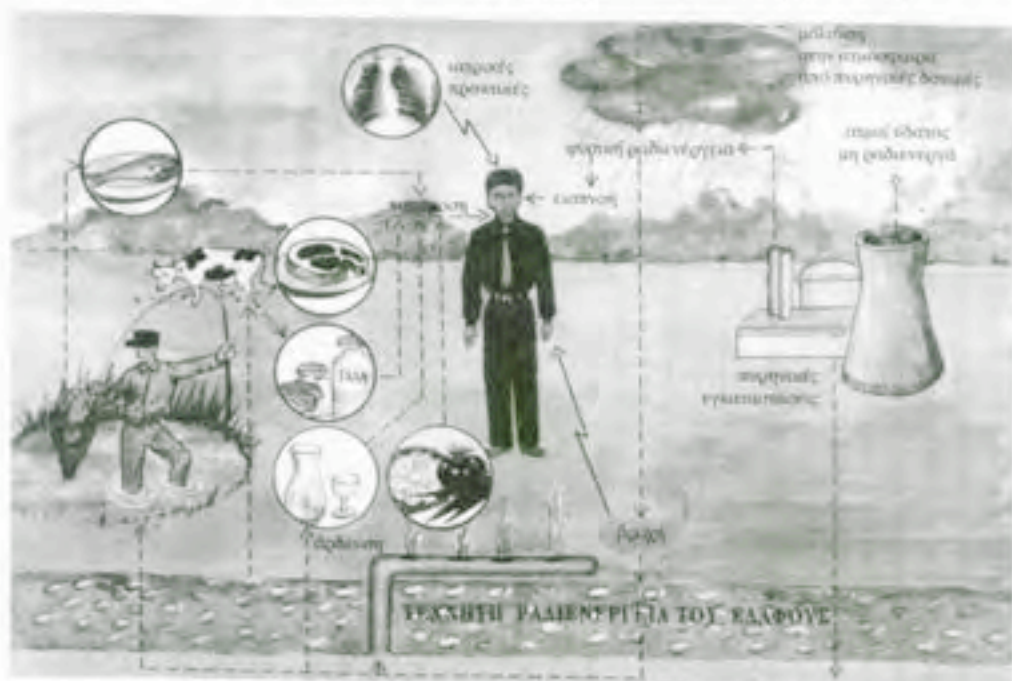
Η ευρεία εφαρμογή πηγών ακτινοβολίας κατασκευασμένων από τον άνθρωπο είναι η τρίτη αιτία ένεκα της οποίας εκτίθενται στην ακτινοβολία οι επαγγελματίες ασχολούμενοι αλλά κι ο πληθυσμός γενικότερα. Επειδή σε αρκετές περιπτώσεις οι εκθέσεις στην ακτινοβολία μπορεί να είναι σημαντικές απαιτείται γι' αυτό το λόγο ιδιαίτερη προσοχή και λήψη αποτελεσματικών μέτρων ακτινοπροστασίας.

Πρώτος παράγοντας έκθεσης είναι η χρήση ακτίνων X για ιατρικούς σκοπούς (ακτινογραφία, ακτινοσκόπηση, ακτινοθεραπεία). Το κέρδος από τη χρήση τους είναι αναμφισβήτητο, όμως κι ο έλεγχος της ακτινοβολίας είναι απαραίτητος. Επίσης η μέχρι πριν λίγα χρόνια χρήση του Ραδίου για θεραπευτικούς σκοπούς είχε ως αποτέλεσμα την υπερέκθεση στην ακτινοβολία μεγάλου αριθμού ανθρώπων που εμφάνισαν καρκίνο. Θύμα αυτής της συνέπειας ήταν κι η M.Curie. Οι βλάβες από την ακτινοθεραπεία παρατηρήθηκαν σε περιορισμένο αριθμό ανθρώπων, οι οποίοι χρειάστηκε ν' ακτινοβοληθούν για θεραπευτικούς σκοπούς.

Για διαγνωστικούς σκοπούς εισάγονται ραδιενεργά υλικά ενδοφλεβίως κι εξετάζονται αδένες ή τμήματα του ανθρώπινου σώματος και αυτό αποτελεί αντικείμενο της Πυρηνικής Ιατρικής.

Η ύπαρξη ραδιενεργών υλικών στην ατμόσφαιρα από οποιαδήποτε αιτία - πυρηνικές δοκιμές, πυρηνικά ατυχήματα, ραδιενεργά κατάλοιπα - επιβαρύνουν επίσης τον πληθυσμό με την εισπνοή και με την κατάποση. Τα ραδιενεργά υλικά είτε επικάθονται στο έδαφος, μόνα τους, είτε παρακλύδονται από τη βροχή.

Ετσι αναπόφευκτα τα γεωργικά προϊόντα περιέχουν ραδιενεργά υλικά που εισάγονται στον ανθρώπινο οργανισμό. Επίσης, τα γαλακτοκομικά προϊόντα περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία, αφού τα ζώα τρέφονται από τη γη. Και φυσικά τα ίδια τα ζώα, εφόσον καταναλώνονται από τον άνθρωπο, είναι μολυσμένα με ραδιενεργά υλικά. Τέλος, ραδιενεργά στοιχεία και ραδιενεργά απόβλητα που καταλήγουν στα ποτάμια και τις λίμνες, είναι φυσικό να μολύνουν και το νερό, άρα και τα ψάρια. Ο άνθρωπος καταναλώνοντας ψάρια ή πίνοντας νερό εισάγει στον οργανισμό του ραδιενεργά στοιχεία.



Σχ.1.14. Η ραδιενέργεια και οι ακτινοβολίες ανθρώπινης προέλευσης.

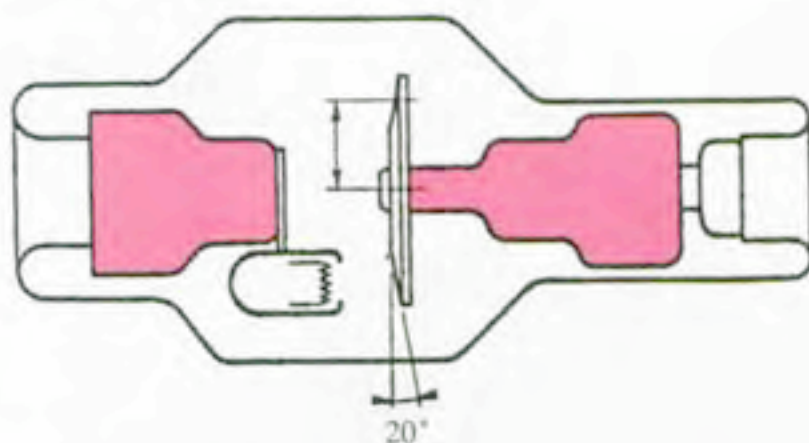
1.5 Ακτίνες X

1.5.1. Λυχνία ακτίνων X

Η σημερινή λυχνία ακτίνων X είναι ένας αερόκενος σωλήνας στον οποίο έχουν τοποθετηθεί δύο ηλεκτρόδια το αρνητικό η Κάθοδος και το θετικό η Άνοδος. Η Κάθοδος αποτελείται από ένα νήμα Βολφραμίου (W)

το οποίο βρίσκεται μέσα σ' ένα κούλο περίβλημα. Με ένα ξεχωριστό κύκλωμα τάσης, ολίγων Volt η Κάθοδος θερμαίνεται, οπότε με την προσφορά ενέργειας τα ηλεκτρόνια της εξώτατης στιβάδας του κάθε ατόμου του βολφραμίου δέχονται αρκετή ενέργεια κι εξέρχονται εκτός του ατόμου. Όσο περισσότερη ενέργεια δίνεται στο νήμα τόσο αυξάνεται η θερμοκρασία του, οπότε αυξάνεται και ο αριθμός των εξερχόμενων ηλεκτρονίων (θερμιοτική εκπομπή).

Όταν στα άκρα Ανόδου Καθόδου εφαρμοσθεί υψηλή διαφορά δυναμικού της τάξης των δεκάδων kV, τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην Κάθοδο έλκονται από την Ανόδο και οδεύουν σ' αυτή με μεγάλη ταχύτητα.



Σχ.1.15. Λυχνία ακτίνων X.

Η υψηλή διαφορά δυναμικού επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή που μετατρέπει τα 220Volts της πύλης σε kV. Προκειμένου τα ηλεκτρόδια να έχουν την ίδια πάντα πολωότητα, χρησιμοποιείται ανορθωτικό σύστημα. Έτσι η εναλλασσόμενη τάση χάνει το αρνητικό τμήμα της. Με ειδικές ανορθωτικές διατάξεις η εναλλασσόμενη τάση διατηρείται πρακτικά σταθερά.

Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι μεγάλη, διότι:

- α.** Δεν παρεμποδίζεται από μόρια αέρα λόγω του κενού
- β.** Η απόσταση K-A είναι πολύ μικρή (10cm).

Το πλήθος αυτό των ηλεκτρονίων το οποίο κυκλοφορεί μέσα στη λυχνία, ονομάζεται ρεύμα της λυχνίας και είναι υψηλής έντασης. Τα ηλεκτρόνια που κτυπούν στην Ανόδο από Βολφράμιο, όταν περάσουν κοντά από τον πυρήνα των ατόμων της, έλκονται από το μεγάλο θετικό φορτίο του πυρήνα και υφίστανται μια απότομη πέδηση (ξαφνική επιβράδυνση). Κατά τη διαδικασία αυτή παράγονται οι ακτίνες X.



Σχ.1.16. Ακτινοβολία πέδησης.

Οι ακτίνες X εκπέμπονται ισότροπα και με την ίδια ένταση προς όλες τις κατευθύνσεις. Μόνο ένα μέρος από αυτές τις ακτίνες χρησιμοποιείται για τις ακτινολογικές εξετάσεις, ονομάζεται χρήσιμη δόση και περιορίζεται από ένα σύστημα διαφραγμάτων. Οι υπόλοιπες ακτίνες X που κατευθύνονται προς άλλες διευθύνσεις, εμποδίζονται μ' ένα φύλλο Μαλιβδίου (Pb), το οποίο περιβάλλει την λυχνία.

Η χρήσιμη δόση είναι σχεδόν κάθετη προς τη διεύθυνση του ρεύματος της λυχνίας κι επιτυγχάνεται με μικρή κλίση λίγων μοιρών της Ανόδου. Η κλίση της τελευταίας εξυπηρετεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε η προέλευση των ακτίνων X να είναι πολύ μικρής επιφάνειας (cm^2), οπότε επιτυγχάνεται και σαφήνεια της ακτινογραφίας.

Κατά την παραγωγή των ακτίνων X αναπτύσσονται μεγάλα ποσά θερμότητας στην Άνοδο. Στην περιοχή της Ακτινοδιαγνωστικής μόνο το 1% της ενέργειας μετατρέπεται σε ακτίνες X και το υπόλοιπο 99% σε θερμότητα.

Το ποσό αυτό της θερμότητας πρέπει να διοχετευθεί εκτός της Ανόδου, διότι διαφορετικά με την παρατεταμένη χρήση της λυχνίας θα καταστραφεί. Έτσι ένα μέρος της θερμότητας απάγεται με ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της έκθεσης. Τότε η Άνοδος "κοκκινίζει", διότι εκπέμπεται υπέρυθρη ενέργεια. Επίσης ένα μέρος της θερμότητας διοχετεύεται προς τα τμήματα που περιβάλλουν το στόχο, κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τα χέρια μιας ζωής καθαρόλας. Ο ουσιαστικός τρόπος απαγωγής της θερμότητας προκαλείται με το ρεύμα αέρα λόγω της περιστροφής της Ανόδου (3.000 στροφές/μίν). Μ' αυτόν τον τρόπο η θερμότητα εκτινάσσεται στο εσωτερικό της λυχνίας και προκειμένου να μην υπερθερμανθεί, το υάλινο περιβλήμα τοποθετείται στην εξωτερική του επιφάνεια στρώμα ελαίου.

Η ισχύς που δέχεται η Ανόδος είναι πολύ υψηλή, επειδή ο χρόνος λειτουργίας της λυχνίας είναι πολύ μικρός της τάξης των δεκάτων ή εκατοστών του δευτερολέπτου.

Αν σε κάθε ακτινογραφική πράξη τα ηλεκτρόνια προσέκρουαν πάντα στο ίδιο σημείο, ο στόχος θα καταπονούνταν σημαντικά. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε περιστρεφόμενη Ανόδος σε σχήμα κόλουρου κώνου, ώστε σε κάθε έκθεση τα ηλεκτρόνια να κτυπούν και σε άλλη περιοχή (σχ.1.15).

Με την χρήση Ανόδου από Βολφράμιο ($Z=74$) αποφεύγεται η τήξη του μετάλλου αλλά και εξασφαλίζεται έντονη εκπομπή ακτίνων X. Η ζωή της περιστρεφόμενης Ανόδου μειώνεται από την παρατεταμένη χρήση και τούτο διότι τμήματα της επιφάνειάς της θα εξαχνωθούν, θα δηρουργηθούν ανώμαλες επιφάνειες και σπές, οπότε θα μειωθεί η ικανότητα παραγωγής ακτίνων X.

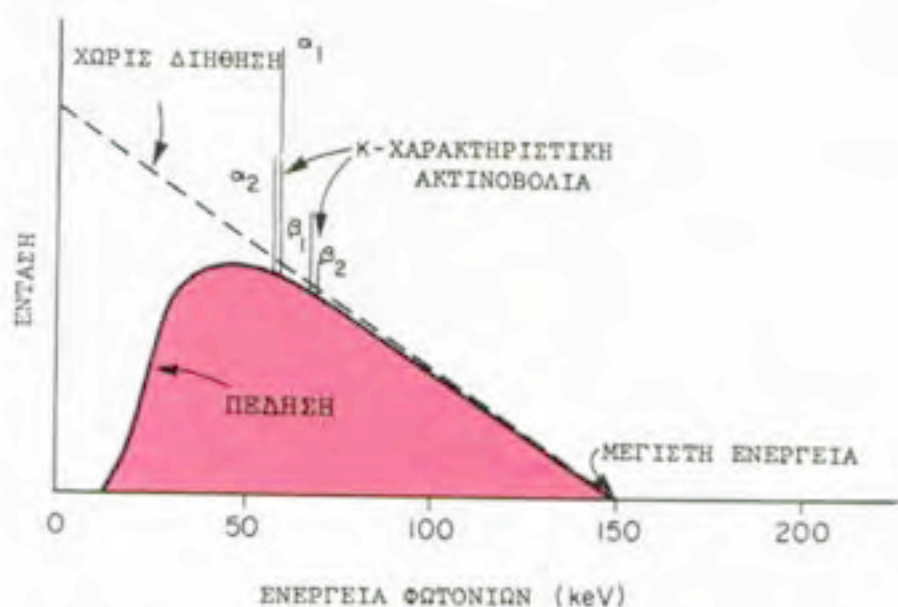
Οι λυχνίες ακτίνων X διαθέτουν δύο νήματα (Καθόδους). Ένα λεπτό που όπως λέγεται αντιστοιχεί στη μικρή εστία και χρησιμοποιείται είτε για την ακτινοσκόπηση είτε για ακτινογραφίες που απαιτούν μικρό φορτίο. Το άλλο νήμα είναι παχύτερο και επιστρατεύεται για τις ακτινολογικές εξετάσεις που απαιτούν μεγάλο φορτίο.

Εκτός του φαινομένου πεδύσεως (παραγωγή ακτίνων X) που παρατηρείται, όταν τα ηλεκτρόνια περνούν κοντά από τον πυρήνα των ατόμων του στόχου, ανιχνεύεται και άλλου είδους ακτινοβολία φωτονίων. Αυτό συμβαίνει, διότι πολλά ηλεκτρόνια συγκρούονται με ηλεκτρόνια των ατόμων του στόχου.

Σε κάθε σύγκρουση το ηλεκτρόνιο απομακρύνεται από το άτομο και την κενή θέση του στη στιβάδα καταλαμβάνει ηλεκτρόνιο εξωτερικής στιβάδας. Αυτή η μετακίνηση συνοδεύεται από εκπομπή ενός φωτονίου συγκεκριμένης ενέργειας η οποία ονομάζεται χαρακτηριστική ακτινοβολία. Το ποσοστό στη δέσμη ακτίνων X της ακτινοβολίας πεδύσεως είναι 80% και το υπόλοιπο χαρακτηριστική ακτινοβολία. Επειδή κατά το φαινόμενο πεδύσεως δεν εκτρέπονται όλα τα ηλεκτρόνια κατά τον ίδιο τρόπο γι' αυτό παρατηρείται μεγάλη ποικιλία ενεργειών ακτίνων X. Άρα μια δέσμη ακτίνων X είναι μίγμα φωτονίων από πέδηση και χαρακτηριστικής ακτινοβολίας. Το σύνολο των ακτίνων X σε συνάρτηση με την ενέργειά τους ονομάζεται φάσμα.

1.5.2. Φάσματα ακτίνων X

Η γραφική παράσταση του πλάθους των ακτίνων X σε σχέση με την ενέργειά τους φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχ.1.17. Φάσμα ακτίνων X.

Στο σχήμα φαίνεται ότι το μεγάλο πλήθος ακτίνων X έχει μικρή ενέργεια κι επομένως μικρή διεισδυτικότητα, άρα είναι άχρηστο για μια ακτινογραφία. Αντίθετα επιβαρύνει με ακτινοβολία τον εξεταζόμενο. Για το λόγο αυτό παρεμβάλλεται στη χρήση δέομη φίλτρο Αλουμινίου περίπου 2mm που μαζί με το γυάλινο περίβλημα και το παράθυρο Βηρυλλίου (Be) εξουδετερώνουν πλήρως τις μακρές ενέργειες των φωτονίων. Βεβαίως η διήθηση αυτή μειώνει και τις άλλες ενέργειες των φωτονίων αλλά μόνον οι μικρές ενέργειες εξαφανίζονται, όπως φαίνεται και στο σχήμα.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι οι ακτίνες X ανήκουν στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως κι οι ακτίνες γ. Όμως διαφέρουν ως προς την προέλευσή τους. Οι ακτίνες X προέρχονται από διεγερμένα άτομα ενώ οι ακτίνες γ από διεγερμένους πυρήνες.

1.6. Εφαρμογές των ακτινοβολιών

Οι ακτινοβολίες έχουν ευρύτατη εφαρμογή σε πολλούς κλάδους επιστημονικούς και επαγγελματικούς:

- α.** Στην Ιατρική: Η Ακτινοδιαγνωστική και γενικώς η Ιατρική επιστήμη οφείλει πολλά στις ακτίνες X. Για διαγνωστικούς σκοπούς χρησιμοποιούνται στη Κλασική Ακτινολογία, Αξονική Τομογραφία, Μαστογραφία, Οδοντιατρική, καθώς και στη θεραπεία (θεραπευτικές λυχνίες ακτίνων X, Επιταχυντές). Με τις ακτίνες γ που προέρχονται από ραδιενεργά στοιχεία (Πυρηνική Ιατρική) εξετάζεται η μορφολογία τμημάτων του ανθρώπινου σώματος καθώς κι η κυκλοφορία των ραδιενεργών στοιχείων (δυναμικές μελέτες). Ακτίνες γ αξιοποιούμε στην ακτινοθεραπεία (Κοβάλτιο 60).
- β.** Στη Βιομηχανία: Με τη βοήθεια ακτινοβολίας αποστειρώνονται σύριγγες, ιατρικά εργαλεία, τροφές, σπόροι, κ.λπ. Με ακτίνες X ελέγχονται γυτά και σφυρίλατα μέρη μηχανημάτων συγκολλήσεων (Ραδιογραφία). Επίσης ελέγχονται πάχη προϊόντων (τοιγάρα, κρύσταλλα) κ.λπ.
- γ.** Στην Παραγωγή Ενέργειας: Πολλές χώρες, καταφεύγουν στην πυρηνική ενέργεια με τη βοήθεια των πυρηνικών αντιδραστήρων όταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση πετρελαίου, άνθρακα, υδρογονάνθρακων ή εκμετάλλευσης των ανέμων (αιολική ενέργεια) δεν είναι εφικτή για οικονομικούς ή άλλους λόγους.
- δ.** Στην Έρευνα: Σε διάφορα πυρηνικά κέντρα χάρις στις έρευνες των επιστημόνων αναπτύχθηκαν τομείς της Φυσικής, Χημείας, Ακτινοχημείας, Βιολογίας, Φαρμακολογίας, Αρχαιολογίας, κ.λπ.

Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι πρωτοπόροι επιστήμονες και ερευνητές που ανακάλυψαν τα ραδιενεργά υλικά ενώ επιχειρείται και μια μικρή ιστορική αναδρομή στην Ακτινοπροστασία. Ακολουθώς γίνεται μια αναφορά στα δομή του ατόμου και δίνονται οι ορισμοί του μαζικού και ατομικού αριθμού καθώς και του ισοτόπου. Εξηγείται επίσης η διάγερση, ο ιονισμός, η φυσική ραδιενέργεια και οι μονάδες της. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις ακτινοβολίες α, β και γ και συγκεκριμένα στην ποιότητά τους, τη διεισδυτικότητά τους και γενικότερα στις εφαρμογές τους.

Στην συνέχεια δίνονται πληροφορίες για την κοσμική ακτινοβολία, τις γήινες και τεχνητές πηγές ακτινοβολίας και τις επιπτώσεις τους στον άνθρωπο.

Στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου περιγράφεται η λυχνία των ακτίνων X, η φύση των ακτίνων X, η προέλευσή τους, τα φαινόμενα και φυσικά οι εφαρμογές των ακτινοβολιών σε διάφορους τομείς, όπως στην Ιατρική, στην Βιομηχανία, στη παραγωγή Ενέργειας και στην Έρευνα.

Ερωτήσεις

- Ο Φώσφορος γράφεται ${}_{15}^{31}P$. Πόσα νετρόνια έχει;
 - 15
 - 31
 - 5
 - 16
- Σ ένα άτομο η στιβάδα N πόσα ηλεκτρόνια έχει;
 - 32
 - 18
 - 2
 - 40
- Το ζεύγος ιόντων είναι
 - Δύο ηλεκτρόνια
 - Τρία πρωτόνια
 - Ένα νετρόνιο
 - Τίποτα από τα πιο πάνω
- Έχετε ένα στοιχείο ${}_{10}^{20}X$ ποιο είναι το ισότοπό του;
 - ${}_{10}^{20}X$
 - ${}_{10}^{21}X$
 - ${}_{10}^{19}X$
 - Όλα τα πιο πάνω
- Τι είναι το Becquerel;
 - Μονάδα ισχύος στο SI
 - Μονάδα συχνότητας
 - Μονάδα ραδιενέργειας
 - Μονάδα μήκους κύματος
- Χρόνος υποδιπλασιασμού ενός ραδιενεργού στοιχείου είναι ο χρόνος στην διάρκεια του οποίου μειώνονται οι αρχικοί N πυρήνες σε
 - $N/2^1$
 - $N/2^2$
 - $N/2^3$
 - $N/2^4$

7. Πού απαντάται το νετρίνο
- Μετά την εκπομπή ακτίνων α
 - Μετά από απότομη πτώση της θερμοκρασίας
 - Με απότομη πέδηση των e^-
 - Με την εκπομπή ακτίνων β
8. Τι είναι η κοσμική ακτινοβολία
- Ακτινοβολία που βγαίνει από μια λυχνία RX
 - Πλήθος ηλεκτρονίων που προέρχεται από ραδιενεργό πυρήνα
 - Ακτινοβολία που προέρχεται από το διάστημα
 - Τίποτα από τα πιο πάνω
9. Γιατί η λυχνία RX είναι αερόκενη
- Διότι έχει μικρότερο κόστος
 - Διότι δεν αλλοιώνεται η κινητή ενέργεια των e^- από την κάθοδο προς την άνοδο
 - Διότι φύχεται εύκολα
 - Για όλα τα πιο πάνω
10. Γιατί το φάσμα των ακτίνων X είναι μεικτό
- Διότι η δέσμη διέρχεται από φίλτρο 2mmAl
 - Διότι η δέσμη διεύθυνεται καθέτως προς τη διεύθυνση του ρεύματος της λυχνίας
 - Διότι ευθύνεται η θερμονική εκπομπή
 - Για κανένα από τα πιο πάνω
11. Ένα Bq είναι ίσο με ... διάσπαση/σεις ανά sec
- 1
 - 10
 - 100
 - 3.7×10^{10}
12. Το μεγαλύτερο ποσοστό της μέσης ετήσιας δόσης ακτινοβολίας στον άνθρωπο οφείλεται
- στην ιατρική απεικόνιση
 - στην κοσμική ακτινοβολία
 - στο ραδόνιο
 - στη γήινη ακτινοβολία

13. Το αέριο ραδόνιο προέρχεται
 Α. Από το μαγνητικό πεδίο της γης
 Β. Από την περιστροφή της γης
 Γ. Από τη ραδιενεργό διάσπαση του άνθρακα 14
 Δ. Από τη ραδιενεργό διάσπαση του ουρανίου 238
14. Η δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία συνίσταται
 Α. Από ακτίνες α
 Β. Από νετρόνια
 Γ. Από νετρίνο
 Δ. Κανένα από τα παραπάνω
15. Το ραδόνιο επηρεάζει τον άνθρωπο
 Α. Με την εισπνοή
 Β. Με την έκθεσή του στον ήλιο
 Γ. Με την κατανάλωση τροφίμων
 Δ. Με την κατανάλωση ποτών

Απαντήσεις

1. Δ
 2. Α
 3. Δ
 4. Γ
 5. Γ
 6. Α
 7. Δ
 8. Γ
 9. Β
 10. Δ
 11. Α
 12. Γ
 13. Δ
 14. Δ
 15. Α

The background is a solid blue color with a subtle, abstract pattern of thin white lines forming various geometric shapes like triangles and circles. A prominent feature is a large, dense cluster of small, light blue spheres on the left side, resembling a molecular or atomic structure. Other scattered spheres of varying sizes are connected by thin white lines, creating a network-like appearance.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ
ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ



ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ

Συνοπτικό περιεχόμενο

2.1 Εισαγωγή

2.2 Έκθεση

2.3 Απορροφούμενη δόση

2.4 Ισοδύναμη δόση

2.5 Ενεργός δόση

2.6 Όργανα Μέτρησης της Ακτινοβολίας

Περίληψη



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να αναφέρεις τις μονάδες δοσιμετρίας
2. Να εξηγείς πως λειτουργεί ο Θάλαμος Ιονισμού
3. Να εξηγείς πως λειτουργεί ο Απαριθμητής Geiger-Muller
4. Να εξηγείς πως λειτουργεί ο Απαριθμητής Σπινθηρισμών
5. Να εξηγείς πως λειτουργεί ο Ανιχνευτής Cutie Pie
6. Να αναφέρεις τη χρησιμότητα όλων των πιο πάνω Ανιχνευτών
7. Να περιγράψεις τα Προσωπικά Δοσίμετρα, Φωτογραφικό, Θερμοφωταύγειας (TLD), και Αμέσου Αναγνώσεως (στυλοδοσίμετρα)

Ορολογία

Ανιχνευτής σπινθηρισμών

Απορροφούμενη δόση

Γραμμική μεταφορά

ενέργειας

Δοσιμετρία

Δοσίμετρο

Θερμοφωταύγειας

Έκθεση

Ενεργός δόση

Θάλαμος ιονισμού

Ισοδύναμη δόση

Μετρητής Geiger Muller

Προσωπικό δοσίμετρο

Στυλοδοσίμετρο

Φθορισμός

Φωτογραφικό δοσίμετρο

Φωσφορισμός

Gray

rad

Roentgen

Sievert

2.1. Εισαγωγή

Για περίπου 50 χρόνια από τότε που ανακαλύφθηκαν οι ακτίνες X και γενικότερα τα ραδιενεργά στοιχεία παρατηρήθηκαν έντονες βλάβες κυρίως στο δέρμα των ασχολουμένων αλλά και αλλοιώσεις στο αιμοποιητικό τους σύστημα. Αβίαστα συνδέθηκαν άμεσα οι επιπτώσεις των ακτινοβολιών όταν προσπίπτουν στον άνθρωπο. Όμως δεν ήταν γνωστοί οι μηχανισμοί που προκαλούν τέτοιου είδους βιολογικά αποτελέσματα και γι' αυτό οι θάνατοι θεωρούνταν ως φυσικό επακόλουθο. Η φυσική και η τεχνολογία ανέτρεφαν σταδιακά αυτά τα δεδομένα, επειδή κατασκευάστηκαν όργανα αντίληψης της ακτινοβολίας κι επομένως υπήρχε η δυνατότητα υπολογισμού της. Αυτό το βήμα αυτομάτως άνοιξε το δρόμο της ακτινοπροστασίας, μιας κι οι πειραματισμοί προς την κατεύθυνση αυτή δεν σταμάτησαν ποτέ.

2.2. Έκθεση

Η περιγραφή μιας δόσης απαιτεί τη γνώση των χαρακτηριστικών της, δηλαδή της Ενέργειας, του πλήθους σωματιδίων ή φωτονίων. Επειδή αυτά τα μεγέθη είναι δύσκολο να προσδιορισθούν, οι επιστήμονες κατέφυγαν στη μέτρηση του ιονισμού που προκαλεί μια δόση ακτινοβολίας στον αέρα. Αυτό η διαδικασία είναι σχετικά εύκολη, εφόσον είναι γνωστό, ότι η σύγκρουση μιας ακτινοβολίας με τα μόρια του αέρα προκαλεί ζεύγη ιόντων και γενικά για κάθε απώλεια ενέργειας, 33eV δημιουργείται ένα ζεύγος ιόντων. Η επιλογή του αέρα έγινε με κριτήριο την εύκολη επανάληψη των μετρήσεων σ' αυτόν. Στη συνέχεια για να αξιοποιηθούν αυτά τα ιόντα θα έπρεπε να συλλεγούν με τη βοήθεια ενός κλειστού ηλεκτρικού κυκλώματος.

Μ' αυτό το σκοπικό ορίστηκε κι η πρώτη έννοια μέτρησης της ιονίζουσας ακτινοβολίας που ονομάζεται Έκθεση. Η Έκθεση X είναι ο λόγος του αθροίσματος των ηλεκτρικών φορτίων των ιόντων που παράχθηκαν μέσω σ' ένα στοιχειώδη όγκο αέρα μάζας Δm .

$$X = \Delta Q / \Delta m$$

Μονάδα έκθεσης είναι το Roentgen (R) και ορίζεται $1R = 2,58 \cdot 10^4$ Coulombs/kg αέρα.

Πολλές φορές χρησιμοποιείται ο ρυθμός έκθεσης και εκφράζεται με το λόγο της έκθεσης προς τη μονάδα του χρόνου $D = \Delta X / \Delta t$ σε R/h και R/min.

Στο σύστημα CGS $1R=1HSM-Q/0,001293g$ αέρα.

Η ποσότητα $0,001293g$ αέρα αντιστοιχεί σε $1cm^3$ αέρα υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης ($0^\circ C$, $760mmHg$).

Τα υποπολλαπλάσια του R είναι $1mR=10^{-3}R$ και $1\mu R=10^{-6}R$.

Η ενέργεια που αντιστοιχεί στην έκθεση $1R$ ισοδυναμεί με $86,9erg$.

2.3. Απορροφούμενη δόση

Όταν μια δέσμη ακτινοβολίας προσπίσει σε οποιοδήποτε υλικό, για παράδειγμα στους ιστούς ενός ανθρώπου, παρατηρούνται μεταβολές της ενέργειάς της οι οποίες οφείλονται στις συνεχείς συγκρούσεις με τους ιστούς. Οι μεταβολές αυτές της ενέργειας απορροφήθηκαν από τους ιστούς και μεταφράστηκαν σε ιονιομούς, διεγερσεις, χημικά, φυσικοχημικά και βιολογικά φαινόμενα.

Σε όλους τους τομείς εφαρμογών ακτινοβολιών και ιδιαίτερα στον άνθρωπο, ενδιαφέρει το ποσό της ενέργειας που απορροφήθηκε αλλά σε συγκεκριμένη ποσότητα υλικού. Γι'αυτό κρίθηκε αναγκαίο να ορισθεί η έννοια της απορροφούμενης δόσης D , ως ο λόγος

$$D=\Delta E/\Delta m$$

όπου ΔE η ενέργεια που απορροφήθηκε εντός ενός στοιχειώδους όγκου μάζας Δm .

Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI μονάδα απορροφούμενης δόσεως είναι το Gray (Gy) προς τιμή του Αμερικάνου φυσικού που ασχολήθηκε με τις μετρήσεις γενικά των ακτινοβολιών και ορίζεται $1Gy=1J/kg$, δηλαδή η εναπόθεση ενέργειας $1Joule$ εντός $1kg$ ύλης.

Παλαιότερα ως μονάδα απορροφούμενης δόσεως χρησιμοποιούνταν το rad, το οποίο ορίστηκε ως η απορροφούμενη ενέργεια $100erg$ σε $1g$ υλικού

$$1rad=100erg/g$$

και $1rad=10^{-2}Joule/kg$.

Σήμερα με όσα αναπτύχθηκαν $1Gy=100rad$.

Χρησιμοποιείται κι ο ρυθμός απορροφούμενης δόσεως που είναι το πηλίκο $\Delta D/\Delta t$ και εκφράζεται σε rad/h , rad/min αλλά και Gy/h , Gy/min .

Οι ρυθμοί απορροφούμενης δόσεως εκφράζονται σε cGy/h , cGy/min .

Ο κλάδος που ασχολείται με την απορροφούμενη δόση ονομάζεται Δοσιμετρία.

2.4. Ισοδύναμη δόση

Η έννοια της ισοδύναμης δόσης (Dose equivalent DE) αναφέρεται σε βιολογικά συστήματα και εστιάζεται στη μέτρηση της έκθεσης του ανθρώπου. Έχει παρατηρηθεί ότι για την αυτή απορροφούμενη δόση αλλά για διαφορετική ποιότητα ακτινοβολίας, οι βιολογικές επιπτώσεις τους στον άνθρωπο ποικίλουν. Και τούτο οφείλεται στον τρόπο δράσης στους ιστούς. Συγκεκριμένα κάθε ακτινοβολία καθορίζεται από τη Γραμμική Μεταφορά Ενέργειας (Linear Energy Transfer) κι εκφράζεται σε keV/μ, αντιστοιχεί δε σ' ένα συντελεστή Q (συντελεστής ποιότητας).

Επομένως Ισοδύναμη δόση H_e είναι η απορροφούμενη δόση D σε ιστό ή όργανο διορθωμένα με τον παράγοντα βαρύτητας της ακτινοβολίας W_R για το είδος και την ποιότητα της ακτινοβολίας R

$$H_e = W_R \cdot D$$

Αν η απορροφούμενη δόση εκφράζεται σε Gy, τότε η ισοδύναμη δόση στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) εκφράζεται σε Sievert (Sv).

Αν η απορροφούμενη δόση εκφράζεται σε rad, τότε αντίστοιχα η H σε rem. Κι επειδή $1\text{Gy}=100\text{rad}$ έπεται ότι $1\text{Sv}=100\text{rem}$ και $1\text{mSv}=100\text{mrem}$

Οι τιμές του παράγοντα βαρύτητας της ακτινοβολίας W_R για διάφορες ακτινοβολίες παρατίθενται στον επόμενο πίνακα

Ακτινοβολία	W_R
Ακτίνες X, γ, ε	1
Νετρόνια ενέργειας <10 keV	5
Πρωτόνια, ταχεία νετρόνια, Ακτίνες α	20

2.5. Ενεργός δόση

Είναι αναμφισβήτητο ότι μερικοί ιστοί ή όργανα του ανθρώπινου οργανισμού είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην ακτινοβολία και γι' αυτό χαρακτηρίζονται από συντελεστές βαρύτητας. Έτσι είναι απαραίτητο η εισαγωγή του όρου της Ενεργού Δόσης (E) με μονάδα αυτής το Sievert.

Η Ενεργός Δόση E είναι το άθροισμα της ισοδύναμης δόσης σε κάποιο υπό ή όργανο πολλαπλασιασμένο με το συντελεστή βαρύτητας κάθε ιστού W_R

$$E = \sum W_R \cdot H_e$$

Τον υψηλότερο συντελεστή έχουν οι γονάδες, όπως φαίνεται και στον πίνακα.

Ισοί	Συντελεστής
Γονάδες	0,20
Μυελός οστών, κόλον, πνεύμονας, στόμαχος	0,12
Κύστη, μαστός, ήπαρ, οισοφάγος, θυρεοειδής	0,05
Επιφάνεια οστών, δέρμα	0,01
Υπόλοιποι	0,05

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις διάφορες μονάδες μέτρησης των ιονιζουσών ακτινοβολιών:

Φυσικό μέγεθος	Παλιά μονάδα	Νέα μονάδα(SI)	Ονομασία	Συσχέτιση
Έκθεση	Roentgen (R)	Cb/kg		$1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Cb/Kg}$ αέρα
Απορροφούμενη δόση	Rad	J/kg	Gray (Gy) $1\text{Gy} = 100 \text{ rads}$	$1\text{rad} = 0,01 \text{ Gy}$
Ισοδύναμη δόση	Rem	J/kg	Sievert (Sv) $1\text{Sv} = 100 \text{ rem}$	$1\text{rem} = 0,01 \text{ Sv}$
Ραδιενέργεια (ενεργότητα)	Curie (Ci)	1/sec	Becquerel (Bq)	$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ $1\text{Bq} = 2,70 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$

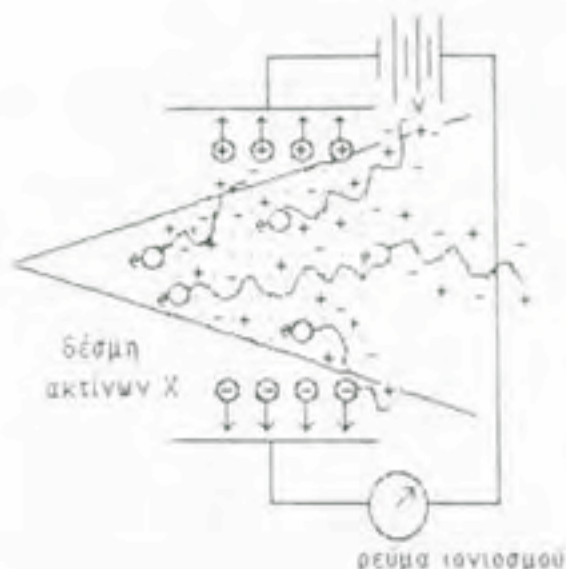
Πίνακας.2.1. Μονάδες μέτρησης των ιονιζουσών ακτινοβολιών.

2.6. Όργανα μέτρησης της ακτινοβολίας

Για κάθε εφαρμογή οποιασδήποτε ακτινοβολίας επιβάλλεται άλλοτε η ακριβής μέτρηση κι άλλοτε η ανίχνευση της.

2.6.1.Θάλαμος Ιονισμού

Ο θάλαμος ιονισμού είναι ένα όργανο μέτρησης της ακτινοβολίας και λειτουργεί ως εξής: Δύο ηλεκτρόδια - θετικό και αρνητικό - συνδέονται μ' ένα συσσωρευτή και περιβάλλεται στο κύκλωμα κι ένα γαλβανόμετρο.



Σχ.2.1. Θάλαμος ιονισμού.

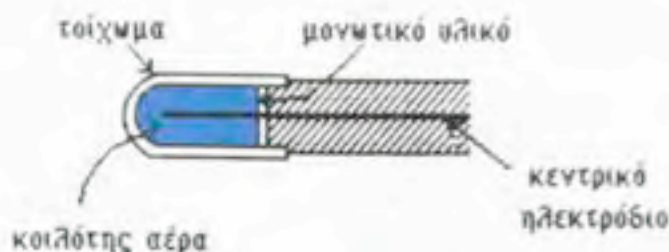
Ο θάλαμος που περιλαμβάνει τα δύο ηλεκτρόδια περιέχει αέρα, όπως αέρα ή μείγμα αερίων.

Η γ ακτινοβολία ή X που προσπίπτει στο θάλαμο συγκρούεται με τα μόρια του αερίου και δημιουργεί δευτερογενή ηλεκτρόνια. Η σύγκρουση αυτή έχει ως επακόλουθο τη μείωση της ενέργειας της ακτινοβολίας κατά το ποσό της ενέργειας που μεταβιβάζεται στα ηλεκτρόνια. Κατόπιν τα ηλεκτρόνια συγκρούονται μέσα στο θάλαμο με τα μόρια του αερίου και δημιουργούν ζεύγη ιόντων, τα οποία οδεύουν στο θετικό ή αρνητικό ηλεκτρόδιο ανάλογα με το αρνητικό ή θετικό φορτίο τους. Για την προσέλκυση των ιόντων πρέπει η τάση στα άκρα των ηλεκτροδίων να είναι ισχυρή. Στην αντίθετη περίπτωση τα περισσότερα ιόντα θα επανααυθενθούν, άρα η μέτρηση θα είναι αναξιόπιστη. Το γαλβανόμετρο μετρά το ηλεκτρικό ρεύμα που κυκλοφορεί το οποίο είναι μικρής έντασης και γι' αυτό με τη βοήθεια ενισχυτή καθίσταται ισχυρό.

Ο θάλαμος ιονισμού έχει τοιχώματα από ελαφρά υλικά αλλά και ισοδύναμα αέρα ή ισοδύναμα ιστού και χρησιμοποιείται για ακριβή υπολογισμό της ακτινοβολίας και μάλιστα ως ρυθμόμετρο (R/h , mR/h) και ως ανιχνευτής χώρων για τον έλεγχο της ακτινοβολίας. Για να υπάρχει δυνατότητα μέτρησης της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα σημεία όπως:

- α. Στην είσοδο και έξοδο της ακτινοβολίας στο κέντρο του πεδίου κατά τη λήψη μιας ακτινοβολίας.

β. Σε διάφορα σημεία μιας ακτινοβολούμενης περιοχής κατά την ακτινοθεραπεία απαιτείται θάλαμος ιονισμού μικρών διαστάσεων. Σ' αυτήν την περίπτωση ο θάλαμος είναι της τάξεως ολίγων mm³ και ονομάζεται θάλαμος ιονισμού τύπου δακτυλήθρας. Το σχήμα του θαλάμου αυτού είναι το ακόλουθο.

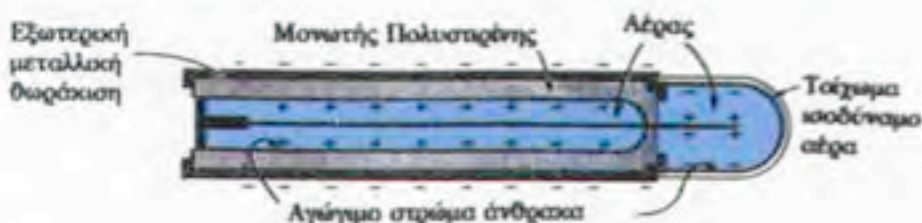


Σχ.2.2. Θάλαμος ιονισμού τύπου δακτυλήθρας.

Το ένα ηλεκτρόδιο είναι το περίβλημα του θαλάμου και το άλλο βρίσκεται στο κέντρο του θαλάμου. Ο θάλαμος για να μετρά με ακρίβεια πρέπει να τίθεται στην δέση ακτινοβολίας πάντα με το κεντρικό ηλεκτρόδιο κάθετο στη διεύθυνση της προς μέτρηση ακτινοβολίας. Ο θάλαμος αυτός μας επιτρέπει την ακριβή μέτρηση της έκθεσης ανά ώρα ή ανά λεπτό (ρυθμόμετρο) και μετά με τη βοήθεια συντελεστών υπολογίζεται ο ρυθμός δόσιως.

2.6.2. Θάλαμος τύπου πυκνωτή

Είναι συνδυασμός θαλάμου ιονισμού τύπου δακτυλήθρας με έναν πυκνωτή, όπως φαίνεται στο σχήμα.

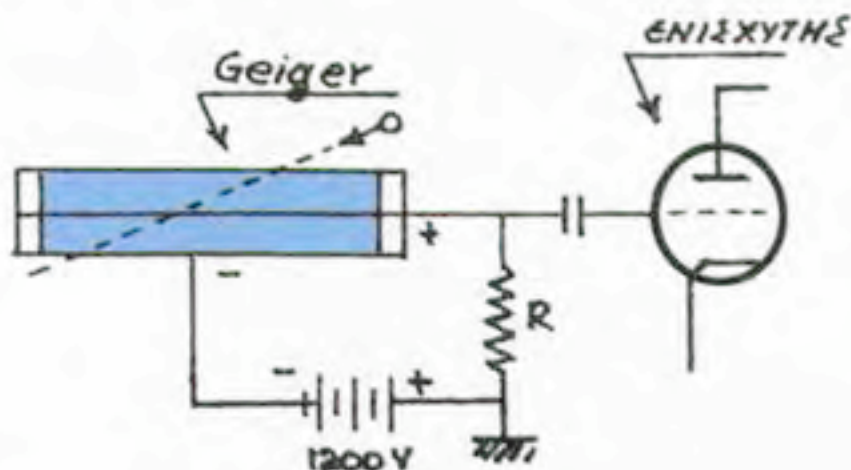


Σχ.2.3. Θάλαμος τύπου πυκνωτή.

Διαφέρει ως προς το μήκος του (10cm) και τη ποσότητα του αέρα. Πριν να εκτεθεί στην ακτινοβολία φορτίζεται τοποθετούμενος εντός φορτιστή. Μετά την έκθεση τα παραχθέντα ιόντα αποφορτίζουν τα ηλεκτρόδια και από το μέγεθος της αποφόρτισης υπολογίζεται η έκθεση. Η περιοχή μετρήσεων αυτού του τύπου των θαλάμων είναι από μερικά mR μέχρι μερικές εκατοντάδες, R.

2.6.3. Μετρητής Geiger-Muller (GM)

Αποτελείται από μια κυλινδρική μεταλλική Κάθοδο, ένα σύρμα μονωμένο στη θέση του Άξονα του Κυλίνδρου, την Άνοδο όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4. Μεταξύ Ανόδου Καθόδου επικρατεί πολύ υψηλή τάση σαφώς μεγαλύτερη από αυτή του θαλάμου ιονισμού.



Σχ. 2.4. Μετρητής Geiger-Muller

Μείγμα συνήθως από Αργό και Ηλία γεμίζει το χώρο του απαριθμητή υπό πίεση μίας ατμόσφαιρας. Όταν ένα σωματίδιο περάσει από το θάλαμο, δημιουργεί πρωτογενή ζεύγη ιόντων (ιόν και ηλεκτρόνιο). Αν η διαφορά δυναμικού μεταξύ Ανόδου-Καθόδου είναι επαρκής, το ηλεκτρικό πεδίο κοντά στο κεντρικό ηλεκτρόδιο στην Άνοδο, είναι τόσο ισχυρό, ώστε να δώσει στα ηλεκτρόνια μεγάλη ταχύτητα. Αυτά με τη σειρά τους ιονίζουν τα άτομα του αερίου του θαλάμου δημιουργώντας μια χιονοστιβάδα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5.



Σχ.2.5. Χιονοστιβάδα στον Geiger Muller.

Η πληθώρα των ιονισμένων ατόμων βρίσκεται σε μια διεγερμένη κατάσταση, τα οποία υπό την επίδραση της υψηλής διαφοράς δυναμικού αποδιγείρονται και εκπέμπουν ενέργεια ην. Η αποφόρτιση αυτή καταγράφεται με τη βοήθεια του πυκνωτή ως ένας ηλεκτρικός παλμός. Αμέσως μετά την αποφόρτιση ο απαριθμητής G-M είναι έτοιμος για νέα μέτρηση.

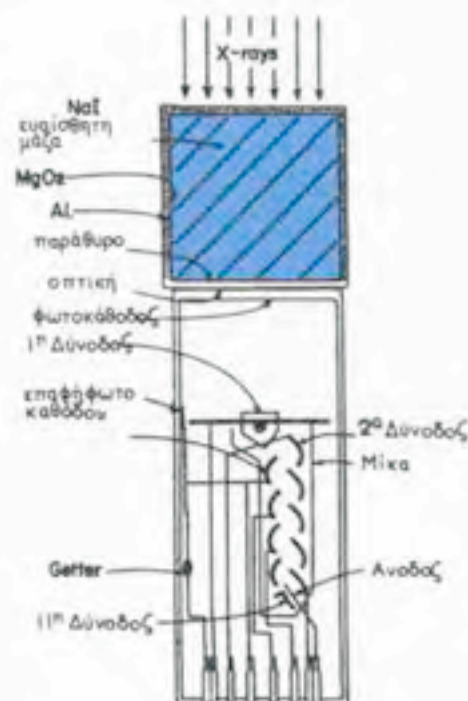
Ο G-M είναι περισσότερο ευαίσθητος από ένα θάλαμο ιονισμού. Είναι σε θέση ν' ανιχνεύσει μεμονωμένα φωτόνια ή σωμάτια τα οποία είναι αδύνατον ν' ανιχνευθούν από θάλαμο ιονισμού. Υπόψη ότι το ύψος του παλμού είναι ανεξάρτητο από την ενέργεια. Όμως ο G-M δεν είναι ένα όργανο μέτρησης της δόσεως αλλά είναι χρήσιμος μόνο για προκαταρκτική παρακολούθηση της ύπαρξης ακτινοβολίας ενώ οι θάλαμοι ιονισμού συνιστώνται για ποσοτικές μετρήσεις. Λόγω του ότι η εξέλιξη του κάθε φαινομένου καταγραφής σωματίου διαρκεί κάποιο χρονικό διάστημα, υπάρχει χρόνος νέκρωσης του απαριθμητή της τάξης των 300ns κι επομένως η καταγραφή άλλου σωματίου θ' αρχίσει μετά από το συγκεκριμένο χρόνο.

Ο G-M είναι ο ενδεδειγμένος μετρητής κοσμικής ακτινοβολίας και φυσικά η παρακολούθηση της ένδειξης του οργάνου πρέπει να είναι διαρκής, μιας κι ο ρυθμός ανίχνευσης είναι μικρός. Για το λόγο αυτό ο G-M συνδέεται μ' ένα μεγάφωνο που μας ειδοποιεί για την καταγραφή της ακτινοβολίας.

2.6.4. Ανιχνευτής σπινθηρισμών

Οι σπινθηριστές είναι υλικά που έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν φως (σπινθηρισμούς) όταν μέσα από τη μάζα τους διέλθει ένα φωτόνιο ακτινοβολίας X ή γ. Αν η εκπομπή του φωτός είναι ταυτόχρονη με τη διέλευση του φωτονίου, τότε το φαινόμενο λέγεται φθορισμός, αν όμως η εκπομπή συμβεί μετά από χρόνο μεγαλύτερο του 10^{-8} s, τότε πρόκειται για φασφορισμό.

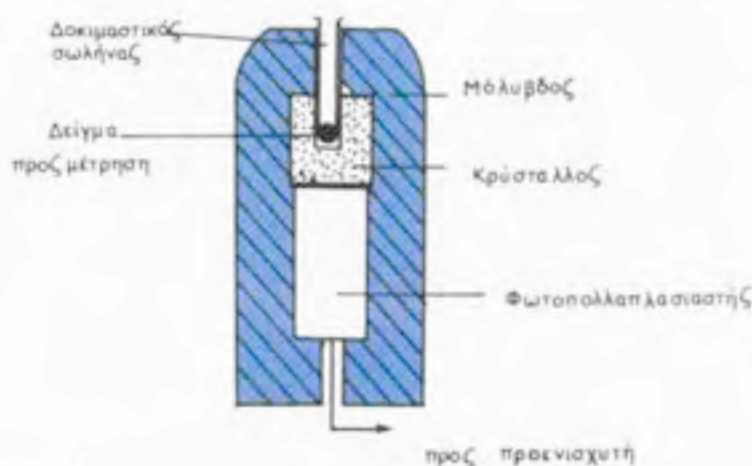
Εκμεταλλευόμενοι την παραπάνω ιδιότητα ορισμένων υλικών κατασκευάζονται όργανα ανίχνευσης της ακτινοβολίας, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν το εκπεμπόμενο φως σε ηλεκτρικούς παλμούς παρέχοντας πληροφορίες υπό μορφή αριθμών ή εικόνων. Το κυρίαρχο και συστατικό στοιχείο του Ανιχνευτή είναι το υλικό το οποίο παράγει τους σπινθηρισμούς κι ονομάζεται σπινθηριστής. Ο πιο συνηθισμένος σπινθηριστής είναι ο Ιωδιούχου Νατρίου (NaI) με πρόσμειξη Θαλίου, του οποίου η κατασκευή είναι η ακόλουθη.



Σχ.2.6. Ο Ανιχνευτής σπινθηρισμών NaI με τον φωτοπολλαπλασιαστή του.

Ο κρύσταλλος συνδέεται μ' ένα φωτοπολλαπλασιαστή, του οποίου το κυρίαρχο τμήμα είναι η φωτοκάθοδος - 10 έως 12 Δύνοδοι - και η Άνοδος. Η Άνοδος συνδέεται με ενισχυτή κι ακαλούθως με μετρητή. Ο κρύσταλλος περιβάλλεται από στρώμα MgO_2 και τέλος καλύπτεται από Αλουμίνιο. Όταν ένα φωτόνιο ακτίνας X ή γ προσπέσει επί του κρυστάλλου NaI, τότε εμφανίζεται ένα φωτοηλεκτρόνιο, του οποίου η ενέργεια είναι υψηλή. Κατά τη διαδρομή του ηλεκτρονίου μέσα στον κρύσταλλο προκαλούνται διεγέρσεις και τονισμοί των ατόμων του κρυστάλλου και παράγεται υπεριώδες ή ορατό φως. Τα φωτόνια αυτά κτυπούν την φωτοκάθοδο και ύστερα εκπέμπονται ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρόνια) τα οποία υπό την επίδραση των Δυνόδων πολλαπλασιάζονται και καταλήγουν στην Άνοδο. Η συλλογή αυτών των ηλεκτρονίων μεταφράζεται σε ηλεκτρικό παλμό. Σημειώνεται ότι από ένα ηλεκτρόνιο που δημιουργείται στον κρύσταλλο φθάνουν στην Άνοδο 10⁷ ηλεκτρόνια κι έτσι ενισχύεται ο ηλεκτρικός παλμός.

Το μέγεθος του παλμού που καταγράφεται κατά την άφιξη των ηλεκτρονίων στην Άνοδο είναι ανάλογο προς την ενέργεια του απορροφηθέντος φωτονίου εντός του κρυστάλλου. Ανιχνευτές σπινθηρισμών χρησιμοποιούνται στην γ -camera στο πεδίο της Πυρηνικής Ιατρικής. Συγκεκριμένα μ' αυτόν τον ανιχνευτή μελετάται η μορφολογία των οργάνων του σώματος με



Σχ.2.7. Απαριθμητής οπινθηρισμών τύπου φρέατος.

τη μέθοδο της μετατροπής των παλμών σε τικόνια. Επίσης χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση δειγμάτων Ραδιοϊσοτόπων ή in vitro εξετάσεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο απαριθμητής οπινθηρισμών τύπου φρέατος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.7. Ο μόλυβδινος θώρακας απαιτείται ώστε να μην αλλοιωθεί η μέτρηση από την παρουσία κοσμικής ή άλλης ακτινοβολίας λόγω της συνήθως μικρής ποσότητας ραδιενέργειας του δείγματος.

2.6.5. Ανιχνευτής τύπου Cutie-Pie

Ο ανιχνευτής αυτός είναι ένας θάλαμος ιονισμού κυλινδρικός, μεγάλων διαστάσεων, ώστε να χρησιμοποιείται σε ελέγχους ανίχνευσης ακτινοβολιών



Σχ.2.8. Ανιχνευτής τύπου Cutie-Pie.

τισία από μεγάλες επιφάνειες, όπως για παράδειγμα τοίχους. Είναι ογκώδης θάλαμος τύπου δακτυλίσθρας, δηλαδή το ένα ηλεκτρόδιο είναι το περιβάλλον του οργάνου και το άλλο το κεντρικό σύρμα. Επιπρόσ από το θάλαμο υπάρχει κάλυμμα με σκοπό να αντχνεύει και οωμοτιδιακή ακτινοβολία. Είναι βαθμονομημένο σε mR/h ή mR/min.

2.6.6. Προσωπικά Δοσόμετρα

Οι εργαζόμενοι με ιοντίζουσες ακτινοβολίες υποχρεούνται να φέρουν το προσωπικό τους δοσόμετρο, ώστε να καταγράφεται η τυχόν έκθεσή τους στην ακτινοβολία. Διακρίνονται τρία είδη προσωπικών δοσιμέτρων. Τα φωτογραφικά, τα θερμοφωταύγειας και τα δοσόμετρα άμεσης ανάγνωσης (στυλοδοσόμετρα).

A. Φωτογραφικά

Είναι γνωστό ότι, όταν ένα film δεχθεί ακτινοβολία τούτο αμαυρώνεται. Από τη μέτρηση της αμαύρωσης (οπτική πυκνότητα) και με την κατάλληλη βαθμονόμηση δίνεται το ποσό της Ισοδύναμης Δόσης για κάθε δοσιμετρούμενο. Το film είναι τοποθετημένο εντός πλαστικής θήκης, πολλά σημεία της οποίας διαθέτουν μικρά φίλτρα επιπλέον του πλαστικού τοιχώματος. Από τον τρόπο αμαύρωσης του film αποφασίζεται η αρμόδια υπηρεσία της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας για τη δόση του εργαζομένου (βλ.Κεφ.7) καθώς και για την ποιότητα της ακτινοβολίας που αμαύρωσε το film.

Το φωτογραφικό δοσόμετρο πρέπει να το φέρει ο εργαζόμενος ψηλά στο στήθος για να καταγράφει την ολόσωμη έκθεση. Πρέπει πάντοτε να φοριέται σε τέτοιο σημείο, ώστε να δέχεται απευθείας την ακτινοβολία. Στη περίπτωση που ο εργαζόμενος φοράει προστατευτική ποδιά από μολυβδοκαουτσούκ, τότε το φωτογραφικό δοσόμετρο φοριέται στο πέτο, δηλαδή εκτός ποδιάς.

Αν ο εργαζόμενος προτίθεται να εργαστεί με ραδιενεργές πηγές και πιστεύει ότι τα χέρια του θα εκτεθούν σε υψηλό ποσό ακτινοβολίας, τότε μπορεί να τοποθετήσει άλλο ένα φωτογραφικό δοσόμετρο στο χέρι του, ώστε να γνωρίζει την έκθεση στη συγκεκριμένη θέση.

B. Θερμοφωταύγειας (TLD)

Τα δοσόμετρα θερμοφωταύγειας βασίζονται στην ιδιότητα που έχουν θερμαινόμενα να εκπέμπουν φως, όταν προηγουμένως, έχουν δεχθεί ακτινοβολία.

Η εκπομπή φωτός μ' αυτόν τον τρόπο ονομάζεται θερμοφωσταύγεια. Το ποσό του φωτός που εκπέμπεται, συνδέεται άμεσα με την ποσότητα ακτινοβολίας που δέχθηκε εργαζόμενος. Το πλέον συνηθισμένο δοσίμετρο θερμοφωσταύγειας είναι LiF, είναι πιο αξιόπιστο από τα φωτογραφικά δοσίμετρα και έχει τη δυνατότητα να μετρήσει από 10^{-3} Gy έως 10^3 Gy, δηλαδή διαθέτει μεγάλο εύρος απορροφούμενης δόσης. Τα δοσίμετρα θερμοφωσταύγειας κυκλοφορούν υπό μορφή δισκίων ή ραβδίων πολύ μικρών διαστάσεων.

Γ. Άμεσης Ανάγνωσης (Στυλοδοσίμετρο)

Βασίζεται στην ίδια αρχή με τους θαλάμους τύπου πυκνωτή με την διαφορά ότι είναι πολύ μικρών διαστάσεων (όσο ένα στυλό). Τοποθετείται όταν ο εργαζόμενος ενδέχεται να εκτεθεί στην ακτινοβολία κατά τη διάρκεια μιας εργασίας εκτός της συνηθισμένης. Συνήθως φοριούνται στο χέρι όταν πρόκειται να εργασθεί κανείς με ανθεκτές πηγές υψηλής ραδιενέργειας.



Σχ.2.9. Στυλοδοσίμετρο.

Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό με τίτλο Μονάδες και Όργανα δοσιμετρίας δίνεται ο ορισμός της Έκθεσης, της Απορροφούμενης Δόσης, της Ισοδύναμης Δόσης και της Ενεργούς Δόσης και αναφέρονται οι μονάδες τους.

Επειδή η ακτινοβολία δεν είναι ορατή, με τη βοήθεια της Φυσικής και της Τεχνολογίας κατασκευάστηκαν όργανα για την ανίχνευση και για τη μέτρησή της με ακρίβεια. Οι θαλάμοι ιονιορού τύπου δακτυλήθρας, πυκνωτή, Cutie Pie αποτελούν τα όργανα που εξυπηρετούν τις ανάγκες κάθε εργαστηρίου ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Ο μετρητής Geiger-Muller είναι ένας

ανιχνευτής ειδικά για την κοσμική ακτινοβολία και ο ανιχνευτής σπινθηρισμών έχει ευρύτερες εφαρμογές στην Πυρηνική Ιατρική.

Τέλος αναφέρονται τα προσωπικά δοσίμετρα που καταγράφουν την Δόση των εργαζομένων, όπως τα φωτογραφικά, θερμοφωταύγειας και τα στυλοδοσίμετρα.

Ερωτήσεις

1. Ποια είναι η μονάδα απορροφούμενης δόσης στο Διεθνές Σύστημα
 - A. Το rad
 - B. Το rem
 - Γ. Το Roentgen
 - Δ. Τίποτα από τα πιο πάνω
2. Τι είναι το Sievert
 - A. Μονάδα ισοδύναμης δόσης
 - B. Το μήκος διαδρομής των ηλεκτρονίων
 - Γ. Μονάδα πίεσης
 - Δ. Μονάδα διαφοράς δυναμικού
3. Η απορροφούμενη δόση ορίζεται ως
 - A. Η απορρόφηση ενέργειας ανά μονάδα μάζας
 - B. Η απορροφούμενη δόση ανά μονάδα χρόνου
 - Γ. Η απορροφούμενη εβδομαδιαία δόση
 - Δ. Η ροή ρεύματος ανά m²
4. Ποιο όργανο είναι κατάλληλο για ανίχνευση κοσμικής ακτινοβολίας
 - A. Το στυλοδοσίμετρο
 - B. Ο απαριθμητής Geiger-Muller
 - Γ. Ο θάλαμος ιονισμού
 - Δ. Ο θάλαμος τύπου πυκνωτή
5. Ποια η διαφορά μεταξύ ανιχνευτή σπινθηρισμών και Ανιχνευτή G-M
 - A. Περιέχουν και οι δύο αέριο
 - B. Ανιχνεύουν φωτόνια και μεσόνια
 - Γ. Ο ένας έχει κρύσταλλο για την απορρόφηση της ακτινοβολίας και άλλος αέριο υπό υψηλή τάση
 - Δ. Ο ένας έχει κρύσταλλο για την απορρόφηση της ακτινοβολίας και ο άλλος οξείδιο του Μαγγανίου (MgO)

6. Το φωτογραφικό δοσίμετρο
- Είναι μέσο προστασίας από την ακτινοβολία
 - Είναι μέσο καταγραφής της ακτινοβολίας
 - Είναι μέσο ενίσχυσης της ακτινοβολίας
 - Όλα τα πιο πάνω
7. Πότε φορά υποχρεωτικά ο εργαζόμενος με ακτινοβολία στυλοδοσίμετρο
- Στις εργασίες ρουτίνας
 - Στην αρχή κάθε μήνα
 - Στην περίπτωση ενδεχόμενης έκθεσης για μικρό χρονικό διάστημα
 - Όταν απωλέσει το φωτογραφικό του δοσίμετρο.
8. Το rad εκφράζει
- την ποσότητα των παραγόμενων ιοντισμών στον αέρα
 - το ποσό της ενέργειας που μεταδίδεται στην ακτινοβολούμενη ύλη
 - τη διαφορά δυναμικού στα άκρα μιας λυχνίας ακτίνων X
 - τον αριθμό εκπομπών από ένα ραδιενεργό πυρήνα ανά sec
9. Η Γραμμική Μετάδοση Ενέργειας (LET) εκφράζει
- το ποσό του παραγόμενου βιολογικού αποτελέσματος κατά την έκθεση
 - τον τύπο του παραγόμενου βιολογικού αποτελέσματος κατά την έκθεση
 - το ρυθμό ενεπίθεσης της ενέργειας ανά μονάδα διαδρομής στην ύλη
 - την ακτινευασιθσία ενός συγκεκριμένου ιστού
10. Ποιά από τα παρακάτω είναι μονάδα του διεθνούς συστήματος (SI);
- rad
 - R
 - Bq
 - Ci
11. Ο παράγοντας W_s είναι χρήσιμος για τη μετατροπή
- ισοδύναμης δόσης σε απορροφούμενη δόση
 - έκθεσης σε απορροφούμενη δόση
 - έκθεσης σε ισοδύναμη δόση
 - απορροφούμενης δόσης σε ισοδύναμη δόση

12. Η έκθεση εκφράζει την
- ποσότητα των παραγόμενων ιοντισμών στον αέρα
 - ενέργεια που εναποτίθεται στον ιστό
 - ραδιενέργεια
 - Τίποτα από τα παραπάνω
13. Ποια από τις παρακάτω μονάδες μετράει ποσότητα φορτίων;
- J
 - C
 - R
 - Hz
14. Η μονάδα _____ χρησιμοποιείται για τη δοσιμετρία προσωπικού
- R
 - rem
 - rad
 - Curie
15. 1 Gy είναι ίσο με _____ rad
- 0.01
 - 0.1
 - 10
 - 100

Απαντήσεις

1. Δ
2. Α
3. Α
4. Β
5. Γ
6. Β
7. Γ
8. Β
9. Γ
10. Γ
11. Δ
12. Α
13. Β
14. Β
15. Δ

The background is a solid orange color. Overlaid on it is a faint, light-colored molecular structure consisting of several spheres connected by thin lines. A large, white, stylized number '3' is positioned on the right side of the cover. The text 'ΚΕΦΑΛΑΙΟ' is centered horizontally in the upper half of the cover.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Η ΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
ΣΤΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ



Η ΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Συνοπτικά περιεχόμενα

Εισαγωγή

3.1 Το κύτταρο

3.2 Ραδιόλυση του νερού

3.3 Στάδια βιολογικής βλάβης

3.4 Βλαπτικές επιδράσεις στο κύτταρο

3.5 Βλαπτικές επιδράσεις στους ιστούς και τα όργανα

3.6 Πηγές πληροφοριών που αφορούν την ακτινοβόληση
ανθρώπου

Περίληψη

Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να περιγράφεις τη δομή του κυττάρου
2. Να περιγράφεις τη ραδιόλυση του νερού
3. Να αναφέρεις και να περιγράφεις τα στάδια βιολογικής βλάβης
4. Να εξηγείς τις διαφορές μεταξύ της άμεσης και της έμμεσης δράσης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας
5. Να εξηγείς τις καμπύλες επιβίωσης των κυττάρων
6. Να αναφέρεις τις βλαπτικές επιδράσεις της ακτινοβολίας στο κύτταρο
7. Να αναφέρεις τα διάφορα είδη των χρωμοσωματικών διασπάσεων
8. Να περιγράφεις τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας στους ιστούς και τα όργανα
9. Να αναφέρεις το νόμο Bergonie και Tribondeau
10. Να γνωρίζεις τις διάφορες πηγές πληροφοριών που αφορούν την ακτινοβόληση ανθρώπου

Ορολογία

Άμεση δράση

Ατυπία

Γονίδιο

Ελεύθερη ρίζα

Έμμεση δράση

Θεωρία του στόχου

Καμπύλη επιβίωσης

Μετάλλαξη

Νόμος Bergonie και Tribondeau

Πρωτόπλασμα

Πυρήνας

Ραδιόλυση του νερού

Χάσμα

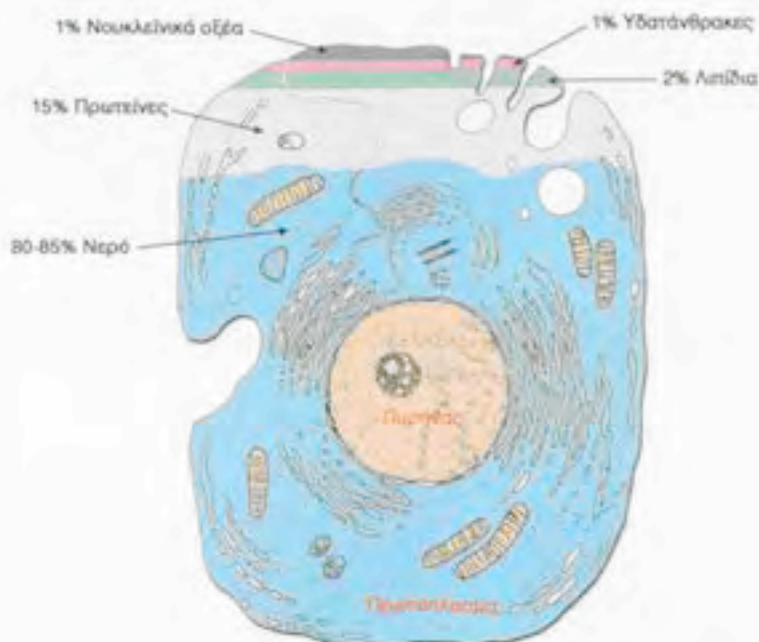
Χρωμοσωματική διάσπαση

Εισαγωγή

Ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από μεγάλο αριθμό κυττάρων, τα περισσότερα από τα οποία μπορούν να υποστούν βλάβη από την ακτινοβολία. Επειδή τα αποτελέσματα της δράσης της ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς συμβαίνουν κυρίως στο κυτταρικό επίπεδο, όλοι οι επαγγελματίες που χρησιμοποιούν ακτινοβολίες για ιατρικούς σκοπούς θα πρέπει να έχουν τις στοιχειώδεις ζωώ γνάσεις για τη δομή και λειτουργία του κυττάρου καθώς και για την ανεπιθύμητη δράση της ακτινοβολίας πάνω στα κύτταρα.

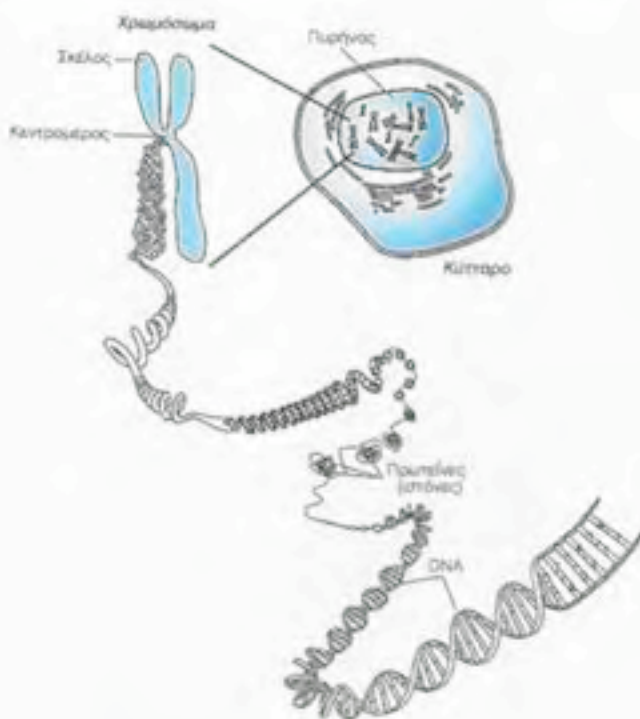
3.1. Το κύτταρο

Το κύτταρο περιβάλλεται από την κυτταρική μεμβράνη και αποτελείται από το πρωτόπλασμα και τον πυρήνα (εικ. 3.1). Το *πρωτόπλασμα* περιέχει σε ποσοστό περίπου 80% νερό, διάφορα οργανίδια που εκτελούν ξεχωριστές λειτουργίες, μακρομόρια (πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα, πολυσακχαρίτες) και μικρομόρια (αμινοξέα, σάκχαρα, άλατα, ιόντα).



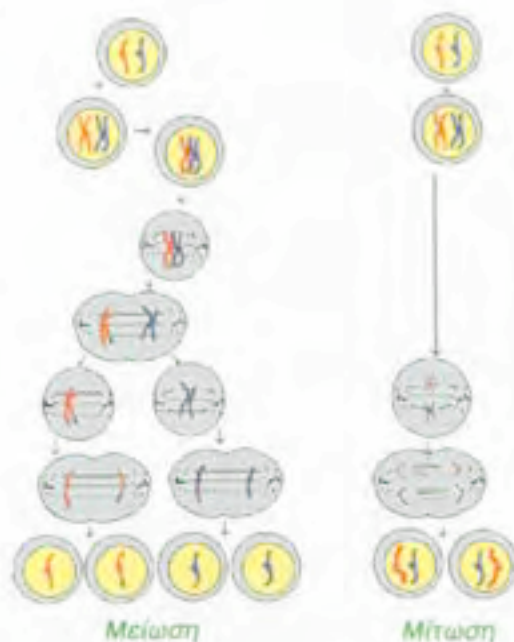
Εικ.3.1. Βασική δομή του κυττάρου.

Στον πυρήνα του κυττάρου βρίσκονται τα χρωμοσώματα που περιέχουν τις γενετικές πληροφορίες του οργανισμού. Κάθε χρωμόσωμα σχηματίζεται από μακρές αλυσίδες δεσοξυριβο-νουκλεϊνικού οξέος (DNA) και αποτελείται από μια σφαιρική περίσφιξη, το κεντρομέρος και τα σκέλη του (εικ.3.2). Η πολύ μεγάλη συμπίκνωση του μορίου του DNA γίνεται με πρωτεΐνες, ώστε κάθε μόριο DNA τελικά να είναι περίπου 50.000 φορές κοντύτερο από το ίδιο μόριο σε εκπτώχωση. Η ουσία από την οποία αποτελείται το χρωμόσωμα - DNA και πρωτεΐνες - ονομάζεται χρωματίνη. Τα τμήματα του DNA που έχουν καθορισμένη σύνθεση και είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία συγκεκριμένης πρωτεϊνής ονομάζονται γονίδια.



Εικ.3.2. DNA και χρωμοσώματα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κυτταρικής διαίρεσης η *μιτώση* και η *μείωση*. Με τη μιτώση σχηματίζονται δύο όμοια κύτταρα με τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων, με τη μείωση σχηματίζονται 4 νέα κύτταρα με το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων (εικ.3.3). Το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών μιτώσεων ονομάζεται *μεσόφαση*. Με τη μιτώση γίνονται όλα τα σωματικά κύτταρα ενώ με τη μείωση όλα τα γεννητικά κύτταρα (ωάρια και



Εικ.3.3. Είδη κυτταρικής διαίρεσης: μείωση και μίτωση.

οπερματοζώαρια). Τα σωματικά κύτταρα περιέχουν δύο σειρές χρωμοσωμάτων και ονομάζονται διπλοειδικά ενώ τα γεννητικά κύτταρα περιέχουν μια σειρά χρωμοσωμάτων και ονομάζονται απλοειδικά.

Διακρίνονται τρία είδη κυτταρικών πληθυσμών, τα αρχέγονα κύτταρα, τα μεταβατικά κύτταρα και τα ώριμα κύτταρα. Τα *αρχέγονα κύτταρα* είναι οι πρόγονοι των ώριμων διαφοροποιημένων κυττάρων, όπως είναι τα μυϊκά και τα νευρικά κύτταρα. Τα *μεταβατικά κύτταρα* είναι κύτταρα που εμφανίζουν έντονη μιτωτική δραστηριότητα και τροφοδοτούν τους ιστούς με ώριμα κύτταρα. Τα *ώριμα κύτταρα* είναι κύτταρα πλήρως διαφοροποιημένα χωρίς μιτωτική δραστηριότητα.

3.2. Ραδιόλυση του νερού

Οι περισσότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ακτινοβολίας και των ανθρώπινων ιστών γίνεται με το νερό, επειδή το μόριο του νερού υπάρχει άφθονο στο σώμα (Πίνακας 3.1). Έτσι η πιθανότητα να "χτυπηθεί" ένα μόριο νερού από την ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη από την πλάξη ενός σημαντικού μορίου στο κύτταρο, όπως το DNA.

Μόρια του σώματος	Ποσοστό
Υδωρ	80%
Πρωτεΐνες	15%
Λιπίδια	2%
Υδατάνθρακες	1%
Νουκλεϊνικά οξέα	1%
Άλλα στοιχεία	1%

Πίνακας 3.1. Μόρια του σώματος: αφθονία του νερού (ύδατος) στο ανθρώπινο σώμα.

Η αλληλεπίδραση ιοντίζουσας ακτινοβολίας και νερού προκαλεί διεγέρσεις και ιοντισμούς (βλ. κεφάλαιο 1). Ο ιοντισμός του νερού από την ακτινοβολία ονομάζεται *ραδιόλυση του νερού* και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ζευγαριού από ελεύθερες ρίζες και ενός ζευγαριού από ιόντα (εικ. 3.4).



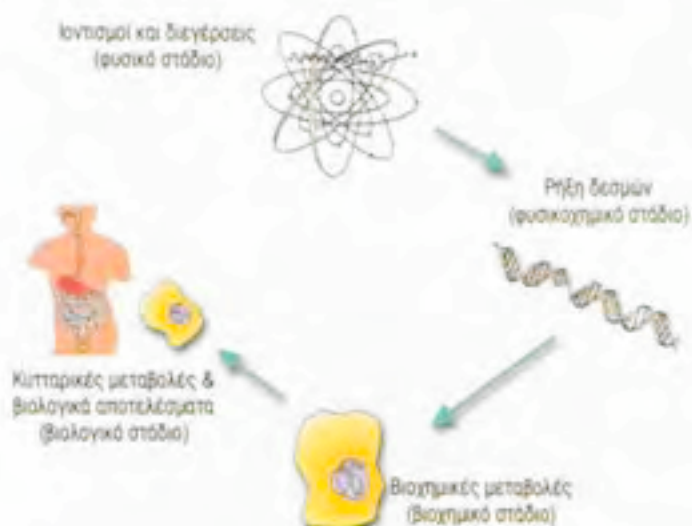
Εικ.3.4. Μηχανισμός ραδιόλυσης του νερού.

Τα ιόντα συνήθως επανασυνδέονται σε μόρια νερού χωρίς να προκαλέσουν καμία βλάβη.

Οι ελεύθερες ρίζες όμως, αν και έχουν χρόνο ζωής μικρότερο από 1ns, είναι χημικά εξαιρετικά δραστικές και μπορεί να διαχυθούν μακριά προκαλώντας σημαντικές βιολογικές βλάβες.

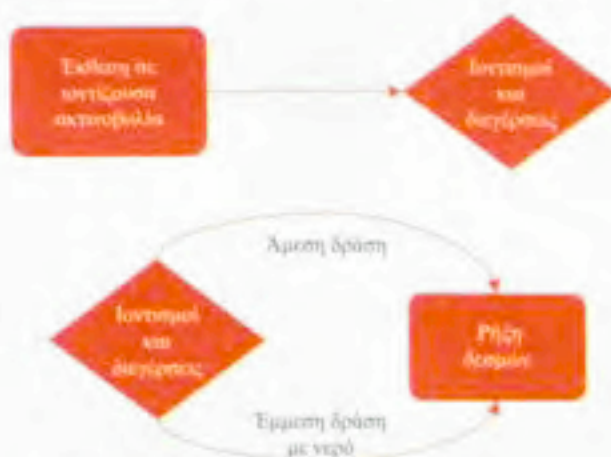
3.3. Στάδια βιολογικής βλάβης

Η βιολογική βλάβη που προκαλεί η ιοντίζουσα ακτινοβολία στα βιολογικά υλικά μπορεί να διακριθεί στο φυσικό στάδιο, στο φυσικοχημικό στάδιο, στο βιοχημικό στάδιο και στο βιολογικό στάδιο (εικ.3.5).



Εικ.3.5. Στάδια βιολογικής βλάβης.

Στο *φυσικό στάδιο* η ιοντίζουσα ακτινοβολία προκαλεί ιοντιορούς και διεγέρσεις οι οποίοι στο *φυσικοχημικό στάδιο* προκαλούν σπάσιμο των χημικών δεσμών στα διάφορα μακρομόρια (πρωτεΐνες, λιπίδια κλπ) (εικ.3.6).



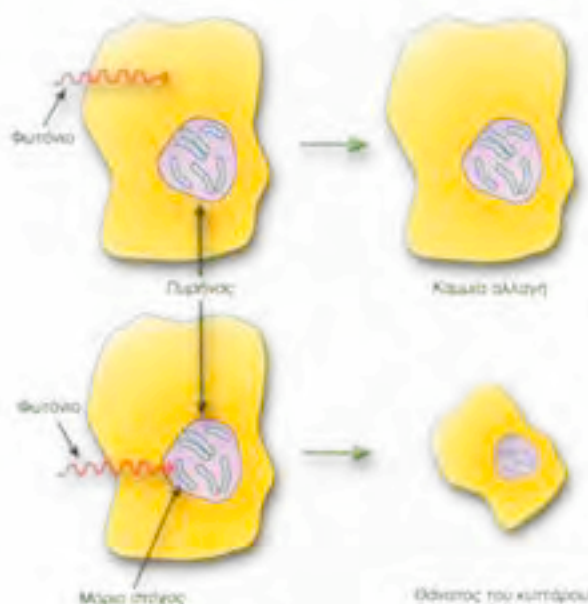
Εικ.3.6. Φυσικό και φυσικοχημικό στάδιο.

Το σπάσιμο των χημικών δεσμών μπορεί να γίνει με άμεσο ή με έμμεσο τρόπο. Την άμεση δράση εξηγεί η θεωρία του στόχου βάσει της οποίας η ακτινοβολία εναποθέτει ενέργεια στο ίδιο το βιολογικό μόριο που υφίσταται τη μεταβολή (εικ.3.7). Την έμμεση δράση εξηγεί η θεωρία των ελεύθερων ριζών και σύμφωνα με αυτήν το βιολογικό μόριο που υφίσταται την μεταβολή δεν απορροφά απευθείας την ενέργεια αλλά η βλάβη προκαλείται έμμεσα από τη δημιουργία ελεύθερων ριζών με τη ραδιόλυση του νερού.



Εικ.3.7. Μηχανισμοί μοριακών μεταβολών: έμμεση και άμεση δράση.

Στην άμεση δράση η μεταβολή εμφανίζεται σε άτομο του μορίου -στόχου, το οποίο τόσο στα σωματικά όσο και στα γενετικά κύτταρα θεωρείται ότι είναι το DNA. Τα μόρια στόχοι είναι λίγα στον αριθμό αλλά έχουν εξαιρετική σημασία για το κύτταρο (εικ.3.8). Επειδή - όπως αναφέρθηκε - το DNA είναι σπάνιο μόριο (Πίνακας 3.1), συμβαίνουν πολύ λίγες μοριακές μεταβολές με άμεση δράση, για παράδειγμα υπολογίζεται ότι μέσα στο κύτταρο, σε κάθε μόριο DNA αντιστοιχούν 7000 μόρια λιπιδίων και 1.200.000 μόρια νερού!



Εικ.3.8. Στην άμεση δράση της ακτινοβολίας η πλάσμα του μορίου στόχου οδηγεί στο θάνατο του κυττάρου.

Στην έμμεση δράση σχηματίζονται ελεύθερες ρίζες με τη ραδιόλυση του νερού και τη δράση της ακτινοβολίας στα μακρομόρια. Οι ελεύθερες ρίζες διαχέονται στο κύτταρο και προκαλούν οξείδωση των χημικών δεσμών σε σημαντικά μόρια-στόχους, όπως λόγω χάρη στις πρωτεΐνες οι ελεύθερες ρίζες αντιδρούν με τα αμινοξέα και σπάνε τους πεπτιδικούς δεσμούς. Οι χημικοί δεσμοί στους ιούς καταστρέφονται με ενέργειες της τάξης των 5-7 eV π.χ. ένα φωτόνιο X των 100 keV παράγει φωτοηλεκτρόνιο με κινητική ενέργεια περίπου 100 keV που φτάνει για να σπάσει περίπου 17.000 χημικούς δεσμούς! Ευτυχώς στην πράξη σπάει μικρός αριθμός δεσμών, γιατί το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας ξοδεύεται σε διεγέρσεις.

Στο τρίτο στάδιο, το βιοχημικό στάδιο, η διάσπαση των δεσμών προκαλεί αλλοίωση της βιοχημικής κατάστασης των μορίων που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή κυτταρική βλάβη (εικ.3.9).



Εικ.3.9. Βιοχημικό στάδιο.

Τέλος, στο βιολογικό στάδιο οι βιοχημικές μεταβολές προκαλούν κυτταρικές μεταβολές που οδηγούν είτε σε βιολογικά αποτελέσματα στους ιούς και τα όργανα είτε σε αλόωφα βιολογικά αποτελέσματα (εικ.3.10).

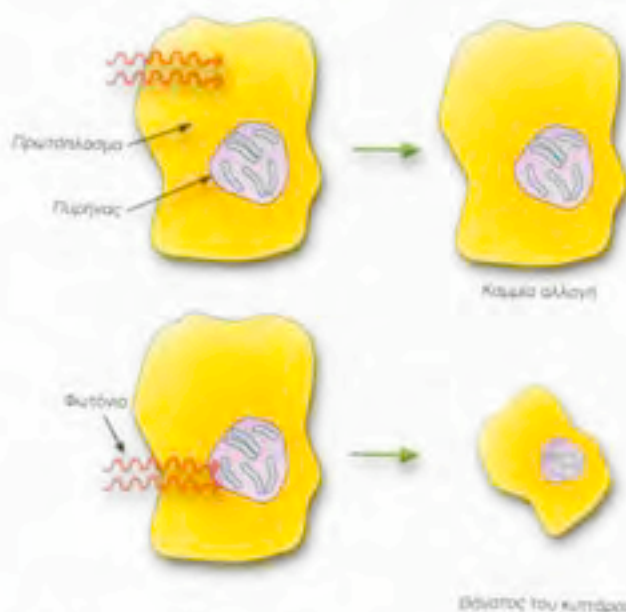


Εικ.3.10. Βιολογικό στάδιο.

Τα βιολογικά αποτελέσματα διακρίνονται σε άμεσα και απότερα και σε σωματικά και γενετικά. Τα *άμεσα* βιολογικά αποτελέσματα εκδηλώνονται αμέσως, δηλαδή μέχρι μερικές εβδομάδες μετά την ακτινοβολήση ενώ τα *απότερα* εκδηλώνονται σε μεγαλύτερο χρόνο (μακρά λανθάνουσα περίοδος). Τα *σωματικά* βιολογικά αποτελέσματα αφορούν μόνο τα σωματικά κύτταρα ενώ τα *γενετικά* αφορούν τα γενετικά κύτταρα.

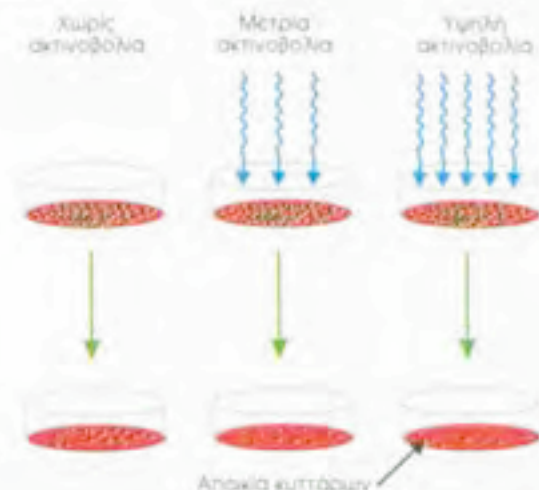
3.4. Βλαπτικές επιδράσεις στο κύτταρο

Το πρωτόπλασμα του κυττάρου δεν περιέχει το μόριο στόχο DNA και δεν είναι πολύ ακτινοευαίσθητο ενώ ο πυρήνας που περιέχει DNA είναι πολύ ακτινοευαίσθητος (εικ. 3.11), για παράδειγμα όταν ακτινοβολείται μόνο το πρωτόπλασμα, απαιτούνται περίπου 10 Gy για να προκληθεί θάνατος του κυττάρου ενώ, όταν ακτινοβολείται μόνο ο πυρήνας, απαιτείται μόλις 1 Gy!



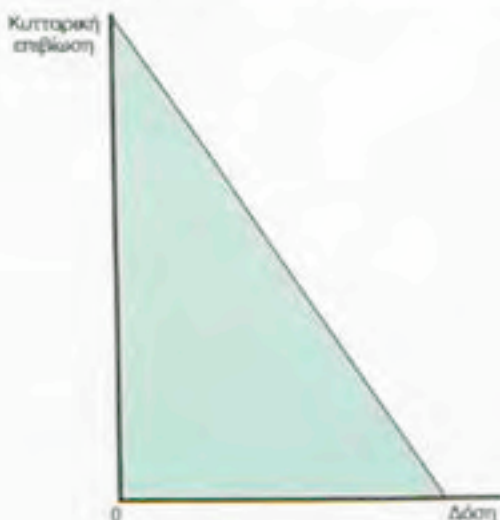
Εικ.3.11. Ακτινοευαίσθησία πυρήνα και πρωτοπλάσματος.

Οι Ruck και Marcus το 1956 καλλιέργησαν κύτταρα από καρκίνο του τραχήλου της μήτρας και στη συνέχεια τα εξέθεσαν σε διάφορες δόσεις ακτινοβολίας. Κατόπιν μετρούσαν τον αριθμό αποικιών που σχημάτιζαν τα κύτταρα που επιβίωναν (εικ.3.12).



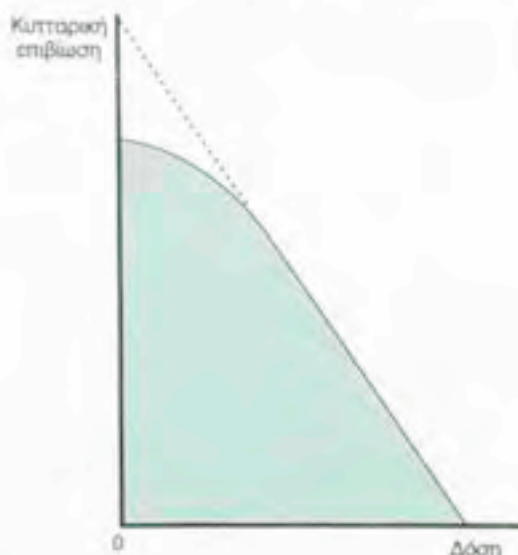
Εικ.3.12. Πείραμα των Ruck και Marcus.

Μελετώντας απλά κύτταρα όπως ιούς και βακτηρίδια ή χρησιμοποιώντας ακτινοβολίες που προκαλούν πυκνούς ιοντισμούς (υψηλής LET) τα αποτελέσματά τους έδειξαν μια γραμμική σχέση μεταξύ των κυττάρων που επιβίωσαν και της δόσης. Η γραφική παράσταση της δόσης και της κυτταρικής επιβίωσης ονομάζεται *καμπύλη επιβίωσης* (εικ.3.13). Στα κύτταρα αυτά λοιπόν ένα χτύπημα της ακτινοβολίας σε μια ευαίσθητη θέση · στόχο οδηγεί αμέσως σε κυτταρικό θάνατο (μοντέλο του ενός, στόχου-ενός, χτυπήματος).



Εικ. 3.13. Η καμπύλη επιβίωσης σε απλά κύτταρα είναι γραμμική.

Η καμπύλη επιβίωσης σε πολύπλοκα κύτταρα όπως είναι τα κύτταρα του ανθρώπου ή για ακτινοβολίες που προκαλούν αραιούς ιοντισμούς (χαμηλής LET) παρουσιάζει μια αρχικά περιοχά ελαττωμένης ακτινοευαισθησίας που ονομάζεται ώρος (εικ.3.14). Στα πλαίσια της θεωρίας του στόχου κάθε τέτοιο κύτταρο έχει έναν ειδικό αριθμό στόχων, οι οποίοι πρέπει να αδρανοποιηθούν από ένα ή περισσότερα χτυπήματα. Μόνο η αδρανοποίηση όλων των στόχων οδηγεί σε θάνατο του κυττάρου. Αυτή η βλάβη περιγράφεται δηλαδή από το μοντέλο των πολλαπλών στόχων - ενός χτυπήματος.



Εικ.3.14. Η καμπύλη επιβίωσης σε πολύπλοκα κύτταρα παρουσιάζει ώρο.

Οι βλαπτικές επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας στο κύτταρο μπορεί να αφορούν:

- καθυστέρηση στη μίτωση,
- μεσοφασικό θάνατο,
- αναπαραγωγικό θάνατο και
- χρωμοσωματικές μεταβολές.

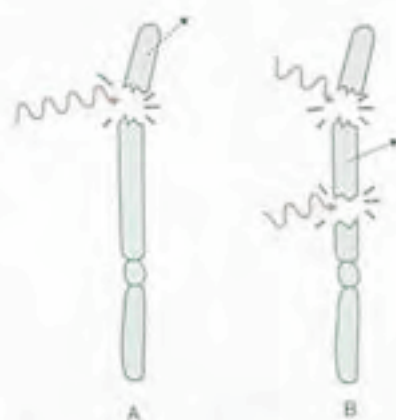
Στην *καθυστέρηση της μίτωσης* αναστέλλεται η κυτταρική διαίρεση χωρίς να επηρεάζεται η μετέπειτα αναπαραγωγική ικανότητα και η επιβίωση του κυττάρου.

Μεσοφασικός θάνατος (ή απόπτωση) ονομάζεται ο κυτταρικός θάνατος που συμβαίνει κατά τη μεσόφαση ενώ το κύτταρο σταματά να αναπαράγεται με σκοπό να επιδιορθώσει τη βλάβη. Η δόση για μεσοφασικό θάνατο εξαρτάται από το είδος του κυττάρου. Γενικά τα αδιαφοροποίητα διαιρούμενα κύτταρα είναι πιο ακτινοευαίσθητα από τα διαφοροποιημένα και μη διαιρούμενα κύτταρα.

Ο αναπαραγωγικός θάνατος έχει ως αποτέλεσμα την ανικανότητα του κυττάρου να αναπαραχθεί με το φυσιολογικό του ρυθμό αλλά με διατήρηση του μεταβολισμού του.

Στις *χρωμοσωματικές μεταβολές* ανήκουν οι εστιακές ή γονιδιακές μεταλλάξεις και οι χρωμοσωματικές διασπάσεις. Οι χρωμοσωματικές μεταβολές μπορεί να ανήκουν στα άμεσα ή στα απώτερα αποτελέσματα. Μετάλλαξη ονομάζουμε την απότομη αλλαγή του γενετικού υλικού η οποία δεν υπήρχε πριν και που κληρονομείται στον επόμενο οργανισμό (μεταλλαγμένο γαμετοκύτταρο) ή στα θυγατρικά κύτταρα (μεταλλαγμένο σωματικό κύτταρο). Μετάλλαξεις μπορεί να προκαλέσουν διάφορες χημικές ουσίες, ιοί, μυκοπλάσματα, οι μεταβολές της θερμοκρασίας και η υπεριώδης και ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η ακτινοβολία δεν προκαλεί νέο τύπο μεταλλάξεων διαφορετικό από αυτές που συναντάμε στη φύση. Δεν υπάρχουν μοναδιαία αποτελέσματα από τη δράση της ακτινοβολίας, οτιδήποτε αποδίδεται στην ακτινοβολία μπορεί να έχει άλλη αιτία. Η ακτινοβολία απλά αυξάνει τη συχνότητα των μεταλλάξεων και ο αριθμός των μεταλλάξεων είναι ανάλογος με τη δόση και την LET. Η σχέση αυτή δεν ισχύει σε υψηλές δόσεις, διότι επέρχεται ένα είδος κορεσμού και σε χαμηλές δόσεις, διότι οι βλάβες μπορούν να επιδιορθωθούν.

Στις *εστιακές ή γονιδιακές μεταλλάξεις* συμβαίνει μεταβολή της σύνθεσης ενός γονιδίου, η οποία δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα με το μικροσκόπιο αλλά μόνο έμμεσα. Οι *χρωμοσωματικές διασπάσεις* διακρίνονται σε *χάσματα* και σε *ατυπίες*. Στα *χάσματα* η χρωματινή δε θραύεται πλήρως ενώ στις *ατυπίες* συμβαίνει πλήρης θραύση ενός ή δύο χρωμοσωμάτων με ανώμαλη ανασυγκόλληση των άκρων τους και πιθανή ύπαρξη θραυσμάτων (εικ.3.15).



Εικ.3.15. Ατυπίες μιας θραύσης (Α) και δύο θραύσεων (Β).

3.5. Βλαπτικές επιδράσεις στους ιστούς και τα όργανα

Η ακτινοευαισθησία ενός ιστού ή ενός οργάνου εξαρτάται κυρίως από την ακτινοευαισθησία των κυττάρων που το αποτελούν. Ορισμένα όργανα εξαρτώνται πολύ από κύτταρα που διαιρούνται συχνά. Σ' αυτά τα όργανα τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας εκδηλώνονται σύντομα όπως λόγω χάρη στο επιθήλιο του γαστρεντερικού και το δέρμα. Σύμφωνα με τον νόμο Bergonie και Tribondeau η ακτινοευαισθησία ενός κυττάρου είναι ανάλογη της μεταβολικής κατάστασης του ακτινοβολούμενου κυττάρου. Σύμφωνα λοιπόν με αυτόν το νόμο,

- Τα νεότερα κύτταρα και οι ιστοί είναι πιο ακτινοευαίσθητα,
- Τα αδιαφοροποίητα κύτταρα είναι πιο ακτινοευαίσθητα και
- Όσο αυξάνει ο ρυθμός διαίρεσης του κυττάρου και ο ρυθμός αύξησης των ιστών τόσο αυξάνει και η ακτινοευαισθησία.

Τη μεγαλύτερη ακτινοευαισθησία έχουν ο λεμφικός και ο αιμοποιητικός ιστός ενώ τη μεγαλύτερη ακτινοευαισθησία στα όργανα έχουν το λεπτό έντερο και τα νεφρά. Τη μικρότερη ακτινοευαισθησία έχουν ο οστικός και ο νευρικός ιστός ενώ τη μικρότερη ακτινοευαισθησία στα όργανα έχουν ο εγκέφαλος και η καρδιά.

Η ευαισθησία όμως κάθε ιστού ή οργάνου δεν μπορεί να εξετασθεί αποκομμένη από τους ιστούς ή τα όργανα που το περιβάλλουν - χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η διατομή του νωπιαίου μυελού. Ο νωπιαίος μυελός είναι ο περισσότερο διαφοροποιημένος ιστός και αποτελείται από κύτταρα που δεν έχουν μιτωτική δραστηριότητα, άρα αναμένεται να έχει μικρή ακτινοευαισθησία. Ο νωπιαίος μυελός όμως έχει συνεχή ανάγκη από οξυγόνο και αίμα και έτσι μεγάλη δόση στα τοιχώματα των μικρών αγγείων του θα προκαλέσει οίδημα, το οποίο θα οδηγήσει σε μείωση της μεταβίβασης των νευρικών ώσεων που ανάλογα με τη θέση της βλάβης μπορεί να εκδηλωθεί ως αδυναμία στα κάτω άκρα, αναλγησία κλπ.

3.6. Πηγές πληροφοριών που αφορούν την ακτινοβολία ανθρώπου

Οι γνώσεις μας για τα αποτελέσματα στον άνθρωπο της ολόσωμης ή τοπικής έκθεσης είναι περιορισμένες και είναι έμμεσου τύπου προερχόμενες από πειράματα σε άλλους ζωντανούς οργανισμούς και άμεσου τύπου από ανθρώπους. Οι γνώσεις άμεσου τύπου προέρχονται από την θεραπευτική ή διαγνωστική χρήση ακτίνων X και γ σε ανθρώπους, από επαγ-

γελματικά έκθεση, από κατοίκους περιοχών με υψηλή φυσική ακτινοβολία και από τους επιβιώσαντες των ατομικών εκρήξεων.

Στις περιπτώσεις με *θεραπευτική χρήση* ακτίνων X και γ ανήκουν ασθενείς που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία για τη θεραπεία αγγυλοποιητικής οσπονδυλίτιδας, πάθησης του τριχωτού της κεφαλής, υπερτροφίας του θυμίου σε παιδιά, μαστίτιδας σε γυναίκες και παθήσεων του θυρεοειδούς με ιώδιο 131.

Πηγή πληροφοριών αποτελούν και οι ασθενείς, στους οποίους έγινε *διαγνωστική χρήση* της ουσίας Thiostrast που περιείχε ραδιενεργό θόριο, οι ασθενείς με πολλαπλές ακτινοσκοπήσεις για φυματίωση, έμβρυα ακτινοβολημένα στη μήτρα και εθελοντές.

Χρήσιμες πληροφορίες παίρνουμε ακόμη από την *επαγγελματική έκθεση* Αμερικανών Ακτινολόγων πριν το 1930, εργαζόμενων σε ορυχεία ουρανίου, σε πυρηνικούς σταθμούς, σε κύκλοτρο, ή εργαζόμενων με ραδιονουκλίδια.

Κάτοικοι περιοχών με *υψηλή φυσική ακτινοβολία* είναι οι κάτοικοι στο Μάνδρας και την Κεράλα των Ινδίων, στον Αρισόγιο, και στο Aberdeen της Σκωτίας, όπου υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα ραδιενεργών ουσιών.

Η σπουδαιότερη βέβαια πηγή πληροφοριών είναι οι επιβιώσαντες των *ατομικών εκρήξεων*. Από τους 350.000 κατοίκους της Χιροσίμα και τους 270.000 του Ναγκασάκι επιβίωσαν 82.000. Η μέση δόση αέρος για τους επιβιώσαντες ήταν 0.27Gy.

Το πιο γνωστό ατύχημα είναι το ατύχημα του Chernobyl το 1986 που οφειλόταν σε πολλαπλά ανθρώπινα λάθη και επεμβάσεις στην ασφαλή και αυτοματοποιημένη λειτουργία του αντιδραστήρα. Η εκτίναξη των ραδιονουκλιδίων στον αέρα προκάλεσε ένα ραδιενεργό νέφος κυρίως με καίσιμο 137 και ιώδιο 131 που απλώθηκε σε όλη σχεδόν την Ευρώπη. Στο ατύχημα αυτό 444 εργάτες έλαβαν δόσεις από 1-2 Sv ενώ 135.000 άτομα σε μια αίθια 30 km έλαβαν δόσεις από 0.06 έως 0.45 Sv.

Περίληψη

Η δράση της ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς μπορεί να παρατηρηθεί στο μοριακό, στο κυτταρικό και στο οργανικό επίπεδο. Το κύτταρο αποτελείται κυρίως από νερό, γεγονός που έχει πολύ μεγάλη σημασία στη μελέτη των αποτελεσμάτων της ακτινοβολίας. Ο ιοντισμός του νερού από την ακτινοβολία ονομάζεται ραδιόλυση του νερού και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των χημικά, εξαιρετικά δραστικών ελεύθερων ριζών

Η δράση της ακτινοβολίας στο κύτταρο μπορεί να γίνει με άμεσο ή με έμμεσο τρόπο. Την άμεση δράση εξηγεί η θεωρία του στόχου βάσει της οποίας η ακτινοβολία εναποθέτει ενέργεια στο ίδιο το βιολογικό μόριο που υφίσταται τη μεταβολή. Την έμμεση δράση εξηγεί η θεωρία των ελεύθερων ριζών βάσει της οποίας το βιολογικό μόριο που υφίσταται τη μεταβολή, δεν απορροφά απευθείας την ενέργεια αλλά η βλάβη προκαλείται έμμεσα από τη δημιουργία ελεύθερων ριζών με τη ραδιόλυση του νερού.

Η βιολογική βλάβη την οποία προκαλεί η iontίζουσα ακτινοβολία, μπορεί να διαιρεθεί σε 4 στάδια - στο φυσικό στάδιο, στο φυσικοχημικό στάδιο, στο βιοχημικό στάδιο και στο βιολογικό στάδιο. Οι βλαπτικές επιδράσεις της iontίζουσας ακτινοβολίας στο κύτταρο μπορεί να αφορούν καθυστέρηση στη μίτωση, μεσοφασικό θάνατο, αναπαραγωγικό θάνατο και χρωμοσωματικές μεταβολές. Στις χρωμοσωματικές μεταβολές ανήκουν οι εσπιακές ή γονιδιακές μεταλλάξεις και οι χρωμοσωματικές διασπάσεις. Η ακτινοβολία δεν προκαλεί νέο τύπο μεταλλάξεων διαφορετικό από αυτές που συναντάμε στη φύση. Δεν υπάρχουν μοναδιαία αποτελέσματα από τη δράση της ακτινοβολίας: οτιδήποτε αποδίδεται στην ακτινοβολία μπορεί να έχει άλλη αιτία. Οι χρωμοσωματικές διασπάσεις διακρίνονται σε χύορα και σε ατυπίες μιας ή δύο θραύσεων.

Οι καμπύλες επιβίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη της ακτινοευαισθησίας ενός τύπου κυττάρου. Σύμφωνα με το νόμο Bergonie και Tribondeau η ακτινοευαισθησία ενός κυττάρου είναι ανάλογη της μεταβολικής κατάστασης του ακτινοβολούμενου κυττάρου.

Οι γνώσεις μας για τα αποτελέσματα στον άνθρωπο της ολόσωμης ή τοπικής έκθεσης είναι περιορισμένες και είναι έμμεσου τύπου από πειράματα σε άλλους ζωντανούς οργανισμούς και άμεσου τύπου σε ανθρώπους από θεραπευτική ή διαγνωστική χρήση με X και γ, από επαγγελματική έκθεση, από κατοίκους περιοχών με υψηλή φυσική ακτινοβολία και από τους επιβιόσαντες των ατομικών εκρήξεων.

Ερωτήσεις

1. Ποιο από τα παρακάτω έχει τη μεγαλύτερη ακτινοευαισθησία στις ακτίνες X;
 - A. Δέρμα
 - B. Γονάδες
 - Γ. Θυρεοειδής
 - Δ. Οφθαλμός

2. Η αλληλεπίδραση της ιοντιζούσας ακτινοβολίας και του DNA ονομάζεται
 - A. άμεση δράση
 - B. έμμεση δράση
 - Γ. ρήξη δεσμών
 - Δ. ραδιόλυση

3. Οι περισσότερες αλληλεπιδράσεις ακτινοβολίας και ιστών γίνονται με
 - A. το νερό
 - B. τους υδρογονάνθρακες
 - Γ. τις πρωτεΐνες
 - Δ. τα νουκλεϊνικά οξέα

4. Οι περισσότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ ακτινοβολίας και άλλης εμφανίζονται μέσω
 - A. της άμεσης δράσης
 - B. της έμμεσης δράσης
 - Γ. των γενετικών κυττάρων
 - Δ. των πεπτιδικών δεσμών

5. Η ραδιόλυση του νερού προκαλεί
 - A. αυξημένη ακτινευσιαισθησία των ιστών που ακτινοβολούνται
 - B. μειωμένη ακτινευσιαισθησία των ιστών που ακτινοβολούνται
 - Γ. δημιουργία ελεύθερων ριζών
 - Δ. λύση του ραδίου

6. Κατά την άμεση δράση της ακτινοβολίας
 - A. προκαλείται άμεσως θάνατος του κυττάρου
 - B. υφίστανται μεταβολή βιολογικά μόρια μακριά από τα ακτινοβοληθέντα βιολογικά μόρια
 - Γ. υφίσταται μεταβολή το βιολογικό μόριο που ακτινοβολείται
 - Δ. προκαλούνται τα μικρότερα βιολογικά αποτελέσματα

7. Ποια είναι η βασική αρχή της θεωρίας του στόχου;
 - A. Ο πυρήνας είναι η πιο ακτινευσιόγητη δομή στο κύτταρο
 - B. Η επιβίωση του κυττάρου καθορίζεται από ένα μόριο κλειδί
 - Γ. Η άμεση είναι πιο επιβλαβής από την έμμεση δράση της ακτινοβολίας
 - Δ. Οι ελεύθερες ρίζες μέσα στο κύτταρο είναι πιο ακτινευσιόγητες

8. Σύμφωνα με τον νόμο Bergonie και Tribondeau ποιο από τα παρακάτω δεν ισχύει;
- Τα νεότερα κύτταρα και οι ιστοί είναι πιο ακτινευαίσθητοι
 - Τα αδιαφοροποιήτα κύτταρα είναι λιγότερο ακτινευαίσθητα
 - Αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα αυξάνει την ακτινευαίσθησία
 - Αύξηση του ρυθμού διαίρεσης του κυττάρου αυξάνει την ακτινευαίσθησία
9. Οι γονιδιακές ή εσπιακές μεταλλάξεις
- Ανήκουν στα γενετικά αποτελέσματα
 - Ανήκουν στα άμεσα σωματικά αποτελέσματα
 - Ανήκουν στα σπώτερα σωματικά αποτελέσματα
 - Δεν έχουν σχέση με την έκθεση στις ακτινοβολίες
10. Ποιος από τους παρακάτω είναι ο περισσότερο ακτινευαίσθητος ιστός;
- νευρικός
 - χόνδρος
 - λεμφικός
 - δέρμα
11. Οι ελεύθερες ρίζες είναι
- μόρια με μεγάλη διάρκεια ζωής
 - δραστικά μόρια
 - ακίνδυνα μόρια
 - βιοχημικοί δεσμοί
12. Περίπου το 15% του κυττάρου είναι
- νερό
 - λιπίδια
 - πρωτεΐνες
 - νουκλεϊνικά οξέα
13. Η εξέλιξη των σταδίων βιολογικής βλάβης μετά από έκθεση σε ακτινοβολία ακολουθεί τη σειρά
- φυσικό στάδιο, φυσικοχημικό στάδιο, βιοχημικό στάδιο, βιολογικό στάδιο
 - φυσικό στάδιο, βιοχημικό στάδιο, φυσικοχημικό στάδιο, βιολογικό στάδιο
 - φυσικοχημικό στάδιο, φυσικό στάδιο, βιοχημικό στάδιο, βιολογικό στάδιο
 - φυσικοχημικό στάδιο, βιοχημικό στάδιο, φυσικό στάδιο, βιολογικό στάδιο

14. Κατά την ακτινοβόληση του ύδατος παράγονται κυρίως μόρια
- A. νουκλεϊνικού οξέως
 - B. διγερσης
 - Γ. ιονισμού
 - Δ. ελευθέρων ριζών
15. Εξαιτίας της έμμεσης δράσης της ακτινοβολίας παράγονται
- A. ελεύθερες ρίζες
 - B. μόρια νερού
 - Γ. DNA
 - Δ. πρωτεΐνες
16. Το μόριο στόχο, ορίζεται σαν το μόριο εκείνο
- A. στο οποίο επιδράει η ακτινοβολία
 - B. το οποίο παράγει ελεύθερες ρίζες
 - Γ. που έχει δεσμούς οι οποίοι μπορούν να σπάσουν
 - Δ. που έχει ζωτική σημασία για τη λειτουργία του κυττάρου
17. Τα κύρια μόρια στόχοι στα σώμα είναι
- A. το νερό
 - B. οι υδρογονάνθρακες
 - Γ. οι πρωτεΐνες
 - Δ. το DNA
18. Η εξέλιξη των σταδίων βιολογικής βλάβης μετά από έκθεση σε ακτινοβολία ακολουθεί τη σειρά
- A. σπάσιμο δεσμών, βιοχημικές μεταβολές, κυτταρικές μεταβολές, βιολογικές μεταβολές
 - B. σπάσιμο δεσμών, κυτταρικές μεταβολές, βιοχημικές μεταβολές, βιολογικές μεταβολές
 - Γ. βιοχημικές μεταβολές, σπάσιμο δεσμών, κυτταρικές μεταβολές, βιολογικές μεταβολές
 - Δ. βιοχημικές μεταβολές, κυτταρικές μεταβολές, σπάσιμο δεσμών, βιολογικές μεταβολές
19. Ποιο από τα παρακάτω ισχύει για τη μεταλλαξιογόνο δράση της ακτινοβολίας
- A. Η δράση της ακτινοβολίας προκαλεί μοναδιαία αποτελέσματα
 - B. Η ακτινοβολία αυξάνει τη συχνότητα των μεταλλάξεων
 - Γ. Η σχέση μεταξύ δόσης και μεταλλάξεων είναι γραμμική

20. Η έμμεση δράση της ακτινοβολίας
- A. είναι το αποτέλεσμα ακτινοβόλησης των μορίων DNA
 - B. είναι ο κυρίαρχος τύπος δράσης της ακτινοβολίας στους βιολογικούς ιστούς
 - Γ. είναι το αποτέλεσμα της ακτινοβόλησης βιολογικών μακρομορίων
 - Δ. είναι αυτή κατά την οποία προκαλούνται τα λιγότερο βλαβερά αποτελέσματα

Απαντήσεις

- | | | | |
|-----|---|-----|---|
| 1. | B | 11. | B |
| 2. | A | 12. | Γ |
| 3. | A | 13. | A |
| 4. | B | 14. | Δ |
| 5. | Γ | 15. | A |
| 6. | Γ | 16. | Δ |
| 7. | B | 17. | Δ |
| 8. | B | 18. | A |
| 9. | A | 19. | B |
| 10. | Γ | 20. | B |

4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΜΕΣΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΡΑ
ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



ΑΜΕΣΑ ΚΑΙ ΑΠΩΤΕΡΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Συνοπτικά περιεχόμενα

Εισαγωγή

4.1. Καμπύλη δόσης-απόκρισης

4.1.1. Μη στοχαστικά και στοχαστικά αποτελέσματα

4.2. Άμεσα βιολογικά αποτελέσματα

4.2.1. Οξεία ακτινολογικά σύνδρομα

4.2.2. Τοπική βλάβη ιστών

4.3. Απώτερα βιολογικά αποτελέσματα

4.3.1. Λευχαιμία

4.3.2. Καρκινογένεση

4.3.3. Καταρρακτογένεση

4.3.4. Γενετικά αποτελέσματα

4.3.5. Αποτελέσματα σε έμβρυα

Περίληψη



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να αναγνωρίζεις τα χαρακτηριστικά της σχέσης δόσης - απόκρισης και να σχεδιάζεις καμπύλες που περιγράφουν τους διάφορους τύπους δόσης - απόκρισης
2. Να εξηγείς τις διαφορές ανάμεσα στα στοχαστικά και στα μη στοχαστικά αποτελέσματα
3. Να εξηγείς τις διαφορές ανάμεσα στα άμεσα και στα απώτερα βιολογικά αποτελέσματα
4. Να αναφέρεις τις κλινικές φάσεις εκδήλωσης συνδρόμου από ολόσωμη έκθεση
5. Να αναφέρεις τα επίπεδα δόσεων που σχετίζονται με τα οξεία ακτινολογικά σύνδρομα
6. Να εξηγείς την έννοια της θανατηφόρας δόσης LD 50/30 και να αναφέρεις την LD 50/30 για τους ανθρώπους
7. Να περιγράφεις τις κλινικές φάσεις της ακτινικής αντίδρασης του δέρματος
8. Να περιγράφεις τη βλάβη των γονάδων από τοπική έκθεση
9. Να αναφέρεις την ταξινόμηση των άμεσων βιολογικών αποτελεσμάτων
10. Να αναφέρεις την ταξινόμηση των απώτερων βιολογικών αποτελεσμάτων
11. Να αναφέρεις τη σχέση καρκινογένεσης και δόσης έκθεσης
12. Να αναφέρεις το κατώφλι δόσης για την καταρρακτογένεση
13. Να αναφέρεις τα αποτελέσματα των πειραμάτων για τα γενετικά αποτελέσματα της ακτινοβολίας
14. Να αναφέρεις τις περιόδους ανάπτυξης του εμβρύου και τις βλάβες που προκαλεί η ακτινοβολία σε κάθε μια από αυτές.

Ορολογία

Λιμοποιητικό σύνδρομο
Άμεσα αποτελέσματα
Απώτερα αποτελέσματα
Γαστρεντερικό σύνδρομο
Διπλασιάζουσα δόση
Δόση ερυθρήματος δέρματος
Θανατηφόρα δόση LD 50/30

Καμπύλη δόσης - απόκρισης
Κατώφλι
Κλασματική έκθεση
Μη στοχαστικό αποτέλεσμα
Οξύ ακτινολογικό σύνδρομο
Στοχαστικό αποτέλεσμα
Σύνδρομο ΚΝΣ

Εισαγωγή

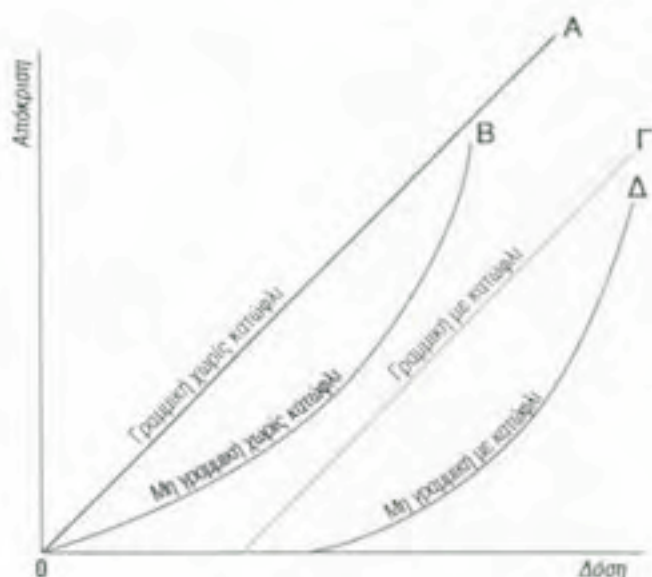
Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται εισαγωγή στην αδόσιμη έκθεση, μεταφέροντας την συζήτηση από το κυτταρικό επίπεδο (Κεφάλαιο 3) στο επίπεδο του οργανισμού. Τα βιολογικά αποτελέσματα διακρίνονται σε άμεσα και απόθερα και σε οσρατικά και γενετικά. Τα άμεσα αποτελέσματα εκδηλώνονται αμέσως μετά την έκθεση ενώ τα απόθερα εκδηλώνονται αρκετό χρόνο μετά την έκθεση. Τα οσρατικά αποτελέσματα αφορούν μόνο τα οσρατικά κύτταρα ενώ τα γενετικά, αφορούν το γενετικό κύτταρα. Επίσης, περιγράφονται τα σύνδρομα που προκαλούνται μετά από αδόσιμη έκθεση σε σχετικά μεγάλες δόσεις και μετά παρουσιάζονται τα διάφορα βιολογικά αποτελέσματα από έκθεση σε μικρότερες δόσεις. Τέλος στην αρχή του κεφαλαίου γίνεται η εισαγωγή του μαθητή στις καμπύλες δόσης - απόκρισης που εζηγούν τις έννοιες γραμμική / μη γραμμική σχέση και τη σημασία του κατώφλιου.

4.1. Καμπύλη δόσης - απόκρισης

Ενα σημαντικό τμήμα των ερευνών που διεξάγονται στην ακτινοπροστασία αφορούν τη σχέση δόσης - απόκρισης, δηλαδή τη σχέση της δόσης της χορηγούμενης ακτινοβολίας και του βαθμού του παρατηρούμενου βιολογικού αποτελέματος. Η μελέτη της σχέσης δόσης - απόκρισης είναι πολύ σημαντική στη θεραπευτική χρήση της ακτινοβολίας σε ασθενείς με νεοπλασμάτα αλλά και στην κατανόηση των βιολογικών αποτελεσμάτων της έκθεσης σε χαμηλές δόσεις.

Η σχέση δόσης - απόκρισης μελετάται με τη βοήθεια διαγραμμάτων, των *καμπυλών δόσης - απόκρισης*. Στην καμπύλη δόσης - απόκρισης στον οριζόντιο άξονα σχεδιάζεται η χορηγούμενη δόση και στον κάθετο άξονα σχεδιάζεται η απόκριση στην ακτινοβολία ή το παρατηρούμενο βιολογικό αποτέλεσμα (εικ.4.1). Οι καμπύλες δόσης-απόκρισης διαφέρουν σε δύο χαρακτηριστικά: είναι γραμμικές ή μη γραμμικές και μπορεί να έχουν ή να μην έχουν κατώφλι.

Στις γραμμικές καμπύλες δόσης - απόκρισης, όσο αυξάνει η δόση αυξάνει ανάλογα και το βιολογικό αποτέλεσμα ενώ στις μη γραμμικές καμπύλες δόσης - απόκρισης δεν παρατηρείται αναλογική απόκριση σε σχέση με τη δόση. Στις καμπύλες δόσης - απόκρισης με κατώφλι υπάρχει μια τιμή δόσης κάτω από την οποία δεν παρατηρούνται αποτελέσματα ενώ στις καμπύλες δόσης - απόκρισης χωρίς κατώφλι, θεωρητικά και η μικρότερη δόση μπορεί να προκαλέσει ένα αποτέλεσμα.



Εικ. 4.1. Καμπύλες δόσης - απόκρισης.

4.1.1. Μη στοχαστικά και στοχαστικά αποτελέσματα

Τα βιολογικά αποτελέσματα στην ακτινοβολία μπορούν ακόμα να ταξινομηθούν ως στοχαστικά και ως μη στοχαστικά (ή ντετερμινιστικά). Στο μη στοχαστικά βιολογικά αποτελέσματα το αποτέλεσμα δεν είναι πιθανολογικό ενώ στα στοχαστικά είναι ένα γεγονός τυχαίο. Στα μη στοχαστικά βιολογικά αποτελέσματα ανήκουν τα άμεσα αποτελέσματα (βλ. 4.2) και από τα απώτερα οι μετανεογνικές νεοπλασίες (βλ. 4.3.5) που οφείλονται σε έκθεση κατά την ενδομήτρια ζωή. Στα στοχαστικά ανήκουν τα απώτερα οσφαιρικά (λευχαιμία, καρκινογένεση βλ. 4.3.1-2) και τα απώτερα γενετικά αποτελέσματα (βλ. 4.3.4). Τα στοχαστικά και τα μη στοχαστικά αποτελέσματα διαφέρουν στην ύπαρξη κατώφλιου και στην εξάρτηση από τη δόση:

- Στο μη στοχαστικό αποτέλεσμα, το αποτέλεσμα εκδηλώνεται σε δόση ακτινοβολίας μεγαλύτερη ενός ορίου (κατώφλι) και υπάρχει όριο δόσης κάτω από το οποίο δεν παρατηρείται το αποτέλεσμα.
- Στο στοχαστικό αποτέλεσμα, το αποτέλεσμα εκδηλώνεται και με ελάχιστες δόσεις, είναι δηλαδή μια απόκριση "όλα ή τίποτα" ενώ δεν υπάρχει όριο δόσης (κατώφλι) κάτω από το οποίο να μη συμβαίνει το αποτέλεσμα.
- Στο μη στοχαστικό αποτέλεσμα η κλινική βαρύτητα της βλάβης αυξάνει όσο αυξάνει η δόση.
- Στο στοχαστικό αποτέλεσμα η πιθανότητα της εμφάνισης της βλάβης αυξάνει όσο αυξάνει η δόση.

Για την κατανόηση της διαφοράς μεταξύ του μη στοχαστικού και του στοχαστικού αποτελέσματος, χρήσιμη είναι η σύγκρισή τους με μια επένδυση που μπορεί να κάνει κάποιος, σε μια τράπεζα ή στο λόττο αντίστοιχα (εικ.4.2).

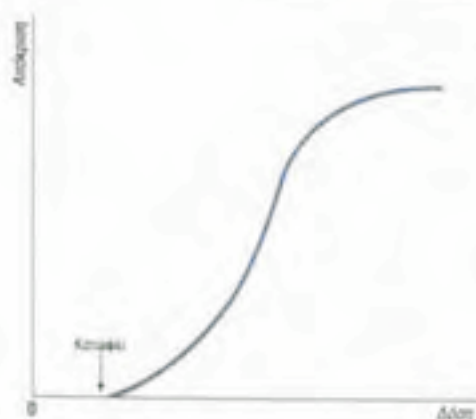


Εικ.4.2. Παράδειγμα για την κατανόηση του μη στοχαστικού (επένδυση σε τράπεζα) και του στοχαστικού αποτελέσματος (Λόττο).

Αν για παράδειγμα 100 άτομα επενδύσουν 1000 δραχμές, σε μια τράπεζα με επιτόκιο 10% θα λάβουν από 1100 δραχμές. Δηλαδή, αν κάποιος επενδύσει χρήματα (δόση) στην τράπεζα, είναι βέβαιος, ότι θα κερδίσει κάτι. Αυτό όμως δεν ισχύει, αν η επένδυσή του είναι πολύ μικρή (κατώφλι): οι τράπεζες δεν δίνουν τόκο σε μικρές καταθέσεις των 10 δραχμών λόγω χάρη. Αν αντίθετα 100 άτομα αγοράσουν από ένα λόττο αξίας 10 δραχμών, στην κλήρωση θα υπάρχουν 1000 δραχμές για ένα τυχερό άτομο ενώ οι υπόλοιποι 99 δεν θα πάρουν τίποτα.

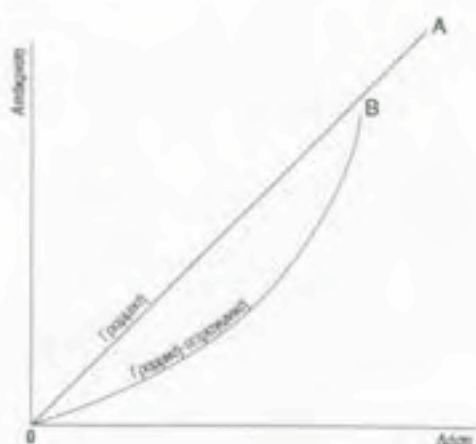
Δηλαδή, αν κάποιος επενδύσει χρήματα (δόση) στο λόττο, έχει μικρή πιθανότητα να κερδίσει (αποτελεσμα) ενώ δεν υπάρχει ασφαλές κατώτατο όριο χρημάτων (κατώφλι) ότι κάποιος θα κερδίσει κάτι (αποτελεσμα). Επιπλέον όσο αυξάνουν τα χρήματα από τα άτομα που συμμετέχουν (δόση) τόσο αυξάνει το συνολικό ποσό που θα κερδίσει κάποιος (αποτελεσμα).

Τα μη στοχαστικά αποτελέσματα έχουν σιγροειδή καμπύλη δόσης-απόκρισης, έχουν κατώφλι δόσης (ασφαλές όριο δόσης) και η κλινική βαρύτητα της βλάβης εξαρτάται από τη δόση (εικ.4.3). Τα μη στοχαστικά αποτελέσματα απαιτούν πολύ μεγαλύτερες δόσεις από τα στοχαστικά αποτελέσματα.



Εικ.4.3. Σιγμοειδής καμπύλη δόσης-απόκρισης.

Τα στοχαστικά αποτελέσματα έχουν γραμμική (ή γραμμική-τετραγωνική) καμπύλη δόσης-απόκρισης, δεν έχουν κατώφλι δόσης και η απόκριση εξαρτάται από τη δόση (εικ.4.4).



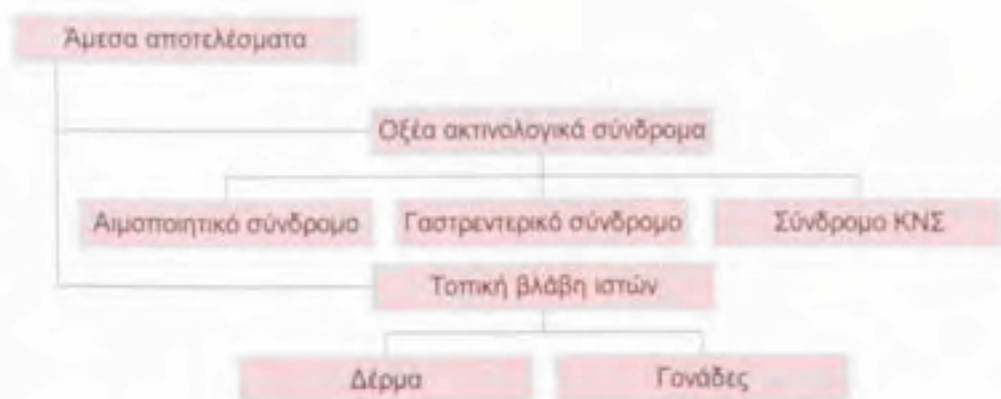
Εικ.4.4. Γραμμική και γραμμική-τετραγωνική καμπύλη δόσης-απόκρισης.

4.2. Άμεσα βιολογικά αποτελέσματα

Τα περισσότερο άμεσα αποτελέσματα της ακτινοβολίας δεν έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ιατρική απεικόνιση, όπου οι δόσεις είναι εξαιρετικά χαμηλές. Εξαιρεση αποτελεί η τοπική βλάβη του δέρματος σε ασθενείς που κάνουν επεμβατικές εξετάσεις. Τα άμεσα βιολογικά αποτελέσματα εκδηλώνονται αμέσως μετά την έκθεση και αφορούν σχετικά υψηλή δόση ακτινοβολίας, δόση δηλαδή πάνω από 0,25 Gy. Ο χρόνος εκδήλωσης του αποτελέσματος κυμαίνεται από λεπτά έως εβδομάδες και εξαρτάται από τη δόση.

Για παράδειγμα σε δόση μέχρι 6 Gy τα αποτελέσματα εκδηλώνονται σε λίγες εβδομάδες, σε δόση πάνω από 10 Gy εκδηλώνονται σε ημέρες ενώ σε δόση πάνω από 50 Gy εκδηλώνονται σε ώρες ή λεπτά.

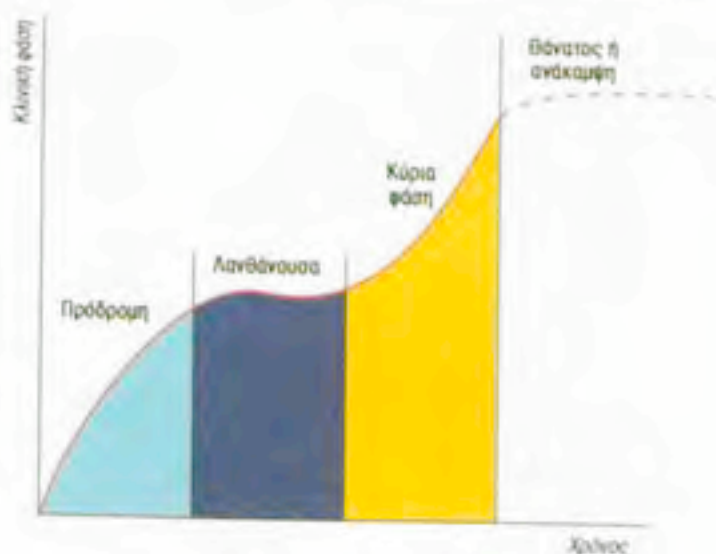
Τα άμεσα βιολογικά αποτελέσματα μπορούν να προκληθούν από αλόωμη ή τοπική ακτινοβόληση ιστών. Τα άμεσα αποτελέσματα θεωρούνται μη στοχαστικά, έχουν δηλαδή κατώφλι δόσης και η βαρύτητα του αποτελέσματος εξαρτάται από τη δόση. Κατά την αλόωμη έκθεση, με οξεία έκθεση ολιγών λεπτών σε υψηλές δόσεις ακτινοβολίας τα αποτελέσματα εκδηλώνονται ως *οξεία ακτινολογικά σύνδρομα* με τη μορφή του αιμοποιητικού συνδρόμου, του γαστρεντερικού συνδρόμου και του συνδρόμου του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ). Κατά την τοπική ακτινοβόληση ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τοπική βλάβη του δέρματος και των γονάδων (εικ. 4.5).



Εικ. 4.5. Ταξινόμηση άμεσων βιολογικών αποτελεσμάτων από αλόωμη και από τοπική έκθεση.

4.2.1. Οξεία ακτινολογικά σύνδρομα

Τα τρία σύνδρομα - το αιμοποιητικό, το γαστρεντερικό και το σύνδρομο του ΚΝΣ - εμφανίζονται σε διαφορετικές δόσεις και εκδηλώνονται σε τρεις κλινικές φάσεις (εικ. 4.6). Η πρώτη φάση ονομάζεται *πρόδρομη φάση* και εκδηλώνεται με ναυτία, εμετό και διάρροια. Η δεύτερη φάση ονομάζεται *λανθάνουσα φάση* και έχει ελαφριά συμπτωματολογία και η τρίτη φάση ονομάζεται *κύρια φάση* και έχει τα συμπτωματολογία του αντίστοιχου συνδρόμου.



Εικ.4.6. Κλινικές φάσεις στα οξεία ακτινολογικά σύνδρομα.

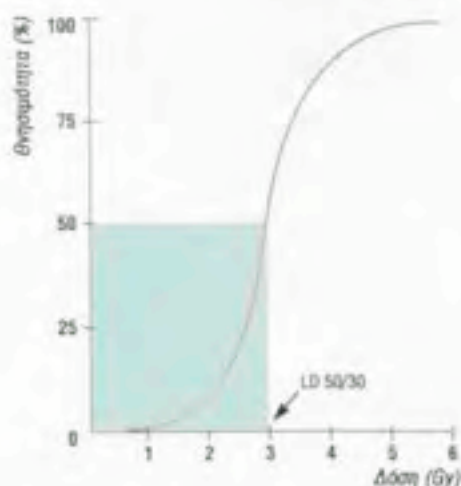
Το αιμοποιητικό σύνδρομο προκαλείται με δόσεις 1-10 Gy και ξεκινάει με την πρόδρομη φάση μία έως δύο ημέρες μετά την έκθεση. Δύο - τέσσερις εβδομάδες μετά την έκθεση και ενώ ο ασθενής βελτιώνεται (λανθάνουσα φάση) η κατάσταση χειροτερεύει (κύρια φάση) και ο θάνατος σε δόσεις μεγαλύτερες από 2 Gy επέρχεται μέσα σε δύο έως οκτώ εβδομάδες μετά την έκθεση. Το κρίσιμο όργανο στο αιμοποιητικό σύνδρομο είναι ο μυελός των οστών και τα κύρια συμπτώματα περιλαμβάνουν μείωση του αριθμού όλων των περιφερικών κυττάρων του αίματος, πυρετό, αναιμία, γενική αδυναμία, αιμορραγία, λοίμωξη και σπυραιμία. Η θεραπεία είναι ανάλογη με τα συμπτώματα και υποστηρικτική.

Το γαστρεντερικό σύνδρομο προκαλείται με δόσεις 6-10 Gy και ξεκινάει με την πρόδρομη φάση λίγες ώρες μετά την έκθεση. Τρεις - πέντε ημέρες μετά την έκθεση και ενώ ο ασθενής βελτιώνεται (λανθάνουσα φάση) η κατάσταση χειροτερεύει (κύρια φάση) και ο θάνατος επέρχεται μέσα σε τρεις έως τέσσερις ημέρες μετά την έκθεση. Στο γαστρεντερικό σύνδρομο το κρίσιμο όργανο είναι το λεπτό έντερο και τα κύρια συμπτώματα περιλαμβάνουν αποφύλωση του εντερικού επιθηλίου, λοίμωξη, αφυδάτωση, ανορεξία, λήθαργο και σπυραιμία. Η θεραπεία είναι ανάλογη με τα συμπτώματα και υποστηρικτική.

Το σύνδρομο του ΚΝΣ προκαλείται με δόσεις πάνω από 50 Gy και ξεκινάει με την πρόδρομη φάση λιγότερα ή περισσότερα ώρες μετά την έκθεση. Έξι - δέκα ώρες μετά την έκθεση και ενώ ο ασθενής βελτιώνεται (λανθάνουσα

φάση) η κατάσταση χειροτερεύει (κύρια φάση) και ο θάνατος επέρχεται μέσα σε ώρες έως δύο ημέρες μετά την έκθεση. Στο σύνδρομο του ΚΝΣ το κρίσιμο όργανο είναι ο εγκέφαλος και τα κύρια ευρήματα και συμπτώματα περιλαμβάνουν αταξία, διαταραχές της αναπνοής, οπασμούς, λήθαργο, τρόμο και κώμα. Η θεραπεία είναι ανακουφιστική.

Η δόση ακτινοβολίας με την οποία επέρχεται ο θάνατος στο 50% του πληθυσμού των ακτινοβλαβθέντων οργανισμών ονομάζεται *θανατηφόρα δόση LD 50* (Lethal Dose). Στη δόση αυτή αναγράφεται και ένας επιπλέον αριθμός για παράδειγμα LD 50/30 και σημαίνει ότι το 50% του πληθυσμού θα πεθάνει από αυτή τη δόση σε 30 ημέρες (εικ.4.7).



Εικ.4.7. Θανατηφόρα δόση LD 50/30 για τον άνθρωπο.

Η τιμή LD 50/30 διαφέρει σημαντικά από είδος σε είδος (Πιν.4.1). Για τον άνθρωπο η μέση LD 50/30 για ολόσωμη ακτινοβολία είναι 3 Gy.

Είδος	LD 50/30 (Gy)
Σκύλος	2,7
Άνθρωπος	3,0
Πίθηκος	4,7
Ποντικός	7,1
Χελώνα	15
Σαλαμάντρα	30

Πίνακας 4.1. Θανατηφόρα δόση LD 50/30 σε ολόσωμη έκθεση για διάφορα είδη.

4.2.2. Τοπική βλάβη ιστών

Για να παραχθεί ένα βιολογικό αποτέλεσμα από τοπική έκθεση απαιτείται υψηλότερη δόση σε σύγκριση με την ολόσωμη έκθεση λόγω της αναγεννητικής ικανότητας των μη ακτινοβολημένων αρχέγονων κυττάρων αφενός (βλ. 3.1) και της μετανάστευσης κυττάρων προς το σημείο της βλάβης αφετέρου. Το αποτέλεσμα από τοπική έκθεση μειώνεται ακόμη περισσότερο, όταν οι ιστοί ακτινοβολούνται *κλασματικά* σε σύγκριση με την εφάπαξ έκθεση, για παράδειγμα κατά την έκθεση δέρματος έκτασης 5cm² με ακτίνες X των 250kVp, η δόση καταψάλιου για την παραγωγή ερυθρήματος με μία εφάπαξ δόση είναι 6-8 Gy ενώ με κλασματικές δόσεις είναι 50-60 Gy.

Κατά την τοπική ακτινοβολήση ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τοπική βλάβη του δέρματος και των γονάδων. Το *δέρμα* είναι ιδιαίτερα ακτινοευαίσθητο λόγω της μεγάλης αναγεννητικής του ικανότητας - περίπου ένα 2% του δέρματος αντικαθίσταται καθημερινά. Στην ακτινική βλάβη του δέρματος η πρόδρομη φάση εκδηλώνεται 2-6 ημέρες μετά την έκθεση με πρώιμο ερύθημα δηλαδή ελαφρό κοκκίνισμα του δέρματος που εξασθενεί τις επόμενες 10 ημέρες. Η κύρια φάση εκδηλώνεται 2-3 εβδομάδες μετά την έκθεση με κύριο ερύθημα που διαρκεί 20-30 ημέρες. Τέλος η αψώτερη φάση εκδηλώνεται με λειμώξη, νέκρωση και τριχόπτωση.

Η τοπική βλάβη του δέρματος ήταν συχνή στους πρώτους ακτινογράφους και στους πρώτους ακτινολόγους που δεν έπαιρναν τα κατάλληλα μέτρα προφύλαξης. Τα σημερινά επίπεδα δόσεων στη διαγνωστική ακτινολογία συνήθως δεν προκαλούν τέτοιες βλάβες στο δέρμα με εξαίρεση τις περιβατικές εξετάσεις (εικ.4.8).



Εικ.4.8. Ακτινική βλάβη δέρματος: 40χρονος άνδρας, στον οποίο έγινε στεφανιογραφία, αγγειοπλαστική, μια δεύτερη αγγειογραφία πριν την τοποθέτηση bypass το Μάρτιο του 1990 (η συνολική δόση υπολογίστηκε γύρω στα 20 Gy).

Η ακτινική αντίδραση του δέρματος ακολουθεί μια μη γραμμική σχέση δόσης-απόκρισης με κατώφλι δόσης. Το ερώτημα δεν παρατηρείται με μικρές δόσεις, ενώ σε κλασματικές δόσεις το κατώφλι για την παραγωγή ερυθρήματος είναι περίπου 6 Gy. Η δόση ερυθρήματος δέρματος χρησιμοποιήθηκε στη δεκαετία του 1920 για τη μέτρηση του ποσού της χορηγούμενης δόσης.

Η τοπική βλάβη των γονάδων αφορά τους όρχεις και τις ωοθήκες. Μια εφάπαξ δόση 0,1Gy προκαλεί μείωση του αριθμού των σπερματοζωαρίων ενώ μια δόση 2-2,5Gy προκαλεί παροδική στειρότητα που διορθώνεται μετά από δύο μήνες, αλλά στο σπέρμα συνεχίζουν να υπάρχουν χρωμοσωματικές αλλαγές. Τέλος, μια δόση 5-6 Gy προκαλεί μόνιμη στειρότητα. Οι ωοθήκες είναι ιδιαίτερα ακτινοευαίσθητες στα παιδιά, στη συνέχεια όμως η ακτινοευαίσθησία μειώνεται μέχρι περίπου τα 30 έτη όπου αρχίζει πάλι να αυξάνει. Μια εφάπαξ δόση 0,1Gy προκαλεί καθυστέρηση της έμμηνου ρύσης ενώ μια δόση 2 Gy προκαλεί παροδική στειρότητα. Τέλος, μια δόση 5-6.2 Gy προκαλεί μόνιμη στειρότητα.

4.3. Απώτερα βιολογικά αποτελέσματα

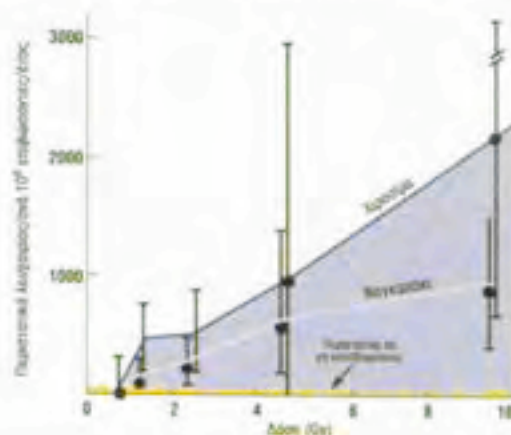
Τα απώτερα βιολογικά αποτελέσματα εκδηλώνονται χρόνια μετά την έκθεση σε σχετικά χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας, δόσεις μικρότερες από 0,25 Gy. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να προκληθούν από αλδοσιμη ή τοπική ακτινοβόληση ιστών (εικ.4.9). Τα απώτερα βιολογικά αποτελέσματα θεωρούνται στοχαστικά, δηλαδή δεν έχουν κατώφλι δόσης και η συχνότητα του αποτελέσματος εξαρτάται από τη δόση.



Εικ.4.9. Ταξινόμηση απώτερων βιολογικών αποτελεσμάτων.

4.3.1. Λευχαιμία

Η λευχαιμία είναι ένας ειδικός τύπος καρκίνου του αίματος που εκδηλώνεται με αύξηση του αριθμού των λευκοκυττάρων στο αίμα. Μελέτες στους επιβιώσαντες της Χιροσίμα και του Ναγκασάκι καθώς και σε ασθενείς που εκτέθηκαν σε ακτινοβολίες για τη θεραπεία αγγλοποιητικής οσπονδυλίτιδας, έδειξαν με βεβαιότητα ότι η ακτινοβολία προκαλεί λευχαιμία. Η λευχαιμία ακολουθεί γραμμική καμπύλη δόσης-απόκρισης χωρίς κατώφλι δόσης και έχει λανθάνουσα περίοδο που κυμαίνεται από πέντε έως επτά χρόνια (εικ.4.10).



Εικ.4.10. Τα δεδομένα για τα λευχαιμία από τους επιβιώσαντες του Ναγκασάκι και της Χιροσίμα δείχνουν μια γραμμική καμπύλη δόσης-απόκρισης χωρίς κατώφλι δόσης.

4.3.2. Καρκινογένεση

Η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει μεταλλάξεις στα φυσιολογικά κύτταρα μετατρέποντάς τα σε νεοπλασματικά. Η λανθάνουσα περίοδος για την εκδήλωση ενός νεοπλασματος, κυμαίνεται από μήνες έως χρόνια· η μέση λανθάνουσα περίοδος, για συμπαγείς όγκους είναι 25 χρόνια.

Μελέτες σε διάφορες ομάδες ατόμων ενόχλησαν την ακτινοβολία ισχυρά για τον καρκίνο των οστών, του πνεύμονα, του δέρματος, του θυρεοειδούς και του μαστού (Πιν.4.2). Χωρίς αμφιβολία οι δόσεις πάνω από 1 Gy αυξάνουν την καρκινογένεση αλλά υπάρχουν δυσκολίες στη μελέτη της σχέσης καρκινογένεσης και δόσεων για δόσεις κάτω από 0,1 Gy ακτινοβολίας, η οποία προκαλεί αραιούς ιοντισμούς (χαμηλής LET). Τα αποτελέσματα των μελετών σε ανθρώπινους πληθυσμούς για την καρκινογένεση σε χαμηλές δόσεις κρίνονται ανεπαρκή - με απλά λόγια θα λέγαμε ότι έχουμε πολύ λίγα δεδομένα με μεγάλα στατιστικά σφάλματα που δεν επιτρέπουν την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων.

Ομάδα	Ισχυρή συσχέτιση	Ασθενής συσχέτιση
Ιάπωνες επιδιώσαντες ατομικών εκρήξεων	Λευχαιμία, καρκίνος θυρεοειδούς και μαστού	Καρκίνος σπυράγου, μαστού, κίστες και σιελόγλυσσ
Κάτοικοι Marshall	-	Καρκίνος θυρεοειδούς
Εργαζόμενοι με ράδιο για ρολόγια	Καρκίνος οστών	Καρκίνος ορθού
Πρώτοι ακτινολόγοι	Λευχαιμία, καρκίνος δέρματος	Λεμφίωμα, καρκίνος εγκέφαλου
Ακτινοσκόπηση θώρακα για την θεραπεία ψευρατίωσης	Καρκίνος μαστού	-
Ακτινοβολία παιδιών με διόγκωση θύρου	Καρκίνος θυρεοειδούς	Λευχαιμία, καρκίνος δέρματος και σιελόγλυσσ
Ασθενείς με Thorotrast	Λευχαιμία, καρκίνος ήπατος	Καρκίνος πνεύμονα και νεφρού
Εβραία ακτινοβολημένα στην μήτρα	Λευχαιμία	-
Ποθήσεις θυρεοειδούς με I131	-	Λευχαιμία
Εργαζόμενοι σε ορυχεία ουρανίου	Καρκίνος πνεύμονα	-

Πίνακας 4.2. Μελέτες ακτινοπροκλητής καρκινογένεσης και τα αποτελέσματά τους με ενδείξεις ισχυρής και ασθενούς συσχέτισης.

Αυξημένα περιστατικά καρκίνου των οστών παρατηρήθηκαν σε εργαζόμενους, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν ράδιο ως φθορίζουσα ουσία για ρολόγια. Οι εργαζόμενοι - κυρίως γυναίκες - έγλυφαν τα πινέλα για να τα κάνουν πιο λεπτά και έτσι κατάνηαν το ραδιενεργό ράδιο.

Αυξημένα περιστατικά καρκίνου του πνεύμονα παρατηρήθηκαν σε εργαζόμενους σε ορυχεία ουρανίου λόγω της έκθεσής τους, στο ραδιενεργό αέριο ραδόνιο.

Αυξημένα περιστατικά καρκίνου του θυρεοειδούς παρατηρήθηκαν σε παιδιά με διογκωμένο θύρο που υποβλήθηκαν σε ακτινοθεραπεία. Ο ακτινοπροκλητός καρκίνος του θυρεοειδούς, βρέθηκε ότι είναι 4 φορές συχνότερος στις γυναίκες απ' ό,τι στους άνδρες - μάλλον για ορμονικούς λόγους.

Αυξημένα περιστατικά καρκίνου του μαστού παρατηρήθηκαν σε γυναίκες με πολλαπλές ακτινοσκόπησεις θώρακα για ψευρατίωση, σε γυναίκες που έκαναν ακτινοθεραπεία για μαστίτιδα λοχίας, και στους επιδιώσαντες των ατομικών εκρήξεων. Η ηλικία φαίνεται ότι αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στην εμφάνιση καρκίνου του μαστού, και μάλιστα ο ανώριμος μαστός είναι πιο ακτινοευαίσθητος από το μαστό γυναίκας πάνω από 40 ετών.

Η ακτινοβολία δεν προκαλεί νέο τύπο καρκίνου διαφορετικό από τον καρκίνο που εκδηλώνεται αυτόματα στη φύση και η συχνότητα καρκινογένεσης εξαρτάται από τη δόση έκθεσης. Δεν υπάρχει κατώφλι για την ακτινοπροκλητή καρκινογένεση και αυτό δείχνει για ποίους λόγους οι εκθέσεις θα πρέπει να ακολουθούν την αρχή ALARA (βλ.5.2). Επιπλέον η ακτινοπροκλητή καρκινογένεση θεωρείται ότι ακολουθεί γραμμική καμπύλη δόσης-απόκρισης.

4.3.3. Καταρρακτογένεση

Ο οφθαλμός γενικά δε θεωρείται ακτινοευαίσθητο όργανο εκτός από τους φακούς οι οποίοι είναι μέτρια ακτινοευαίσθητοι. Το κύριο αποτέλεσμα από την έκθεση των οφθαλμών είναι ο σχηματισμός καταρράκτη. Η ακτινοπροκλητή καταρρακτογένεση ξεχωρίζει από το φυσιολογικά εμφανιζόμενο καταρράκτη, από το γεγονός ότι σχηματίζεται στον οπίσθιο πόλο του φακού του οφθαλμού. Η καμπύλη δόσης-απόκρισης για την ακτινοπροκλητή καταρρακτογένεση θεωρείται μη γραμμική με κατώφλι 2 Gy για εφάπαξ δόση και 10 Gy για κλασματικές δόσεις.

4.3.4. Γενετικά αποτελέσματα

Οι γνώσεις που έχουμε για τις γενετικές βλάβες που προκαλεί η ακτινοβολία βασίζονται στα πειράματα του Muller στην *Drosophila* (1927) και του ζεύγους των Russell στα ποντίκια (1946). Σύμφωνα με τα πειράματα αυτά,

- η ακτινοβολία δεν προκαλεί νέο τύπο μεταλλάξεων,
- οι περισσότερες μεταλλάξεις δεν ανιχνεύονται στην επόμενη γενιά αλλά σε μεταγενέστερη (είναι υπολειπόμενες),
- τα γενετικά αποτελέσματα ακολουθούν μια γραμμική καμπύλη δόσης-απόκρισης χωρίς κατώφλι, είναι στοχαστικού τύπου και εμφανίζονται στην πρώτη γενιά ή στις επόμενες γενιές (εικ.4.11).

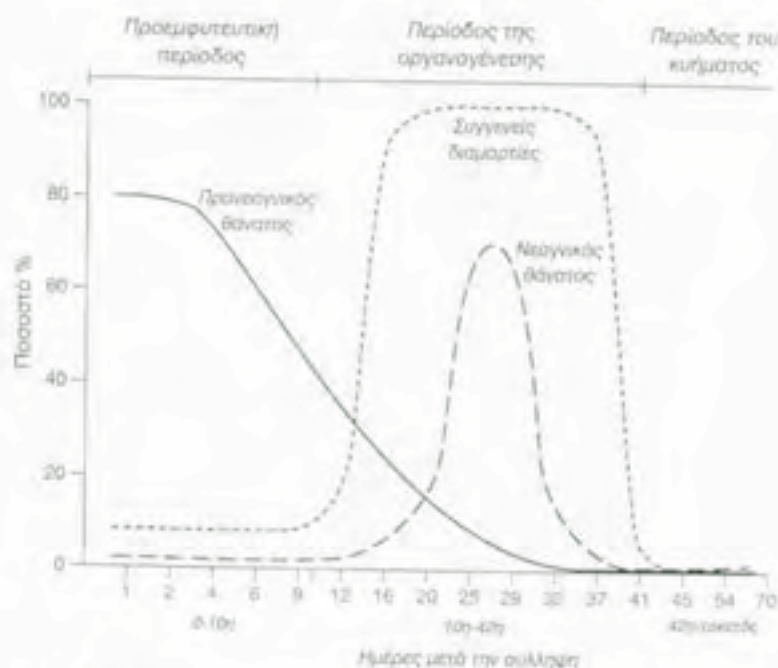


Εικ.4.11. Κληρονομικές ακτινοπροκλαπές μεταλλάξεις στην *Drosophila* που αφορούν το σχήμα του φτερού (πάνω δεξιά), το χρώμα (κάτω αριστερά), και τα μάτια (κάτω δεξιά).

Η δόση εκείνη που διπλασιάζει τον αυτόματο ρυθμό μεταλλάξεων μιας γενεάς ονομάζεται διπλασιαζούσα δόση. Η διπλασιαζούσα δόση για τον άνθρωπο έχει μέση τιμή 1,56 Sv και η διπλασιαζούσα δόση στις γυναίκες είναι κατά 40% μεγαλύτερη από αυτή των ανδρών. Αυτό σημαίνει ότι οι άνδρες είναι πιο ευαίσθητοι στην ακτινοβολία από τις γυναίκες!

4.3.5. Αποτελέσματα σε έμβρυα

Διακρίνουμε τρεις περιόδους στην προγεννητική ανάπτυξη του εμβρύου. Η πρώτη περίοδος είναι η προεμφυτευτική περίοδος που διαρκεί από τη σύλληψη μέχρι την 9η ημέρα μετά τη σύλληψη. Κατά την περίοδο αυτή το γονιμοποιημένο ωάριο διαιρείται σχηματίζοντας μια μπάλα από αδιαφοροποίητα κύτταρα, το βλαστίδιο. Η δεύτερη περίοδος είναι η περίοδος της οργανογένεσης που διαρκεί από την 10η έως την 42η ημέρα. Κατά την περίοδο αυτή το βλαστίδιο εμφυτεύεται στο τοίχωμα της μήτρας και αρχίζει η διαφοροποίηση των κυττάρων σε όργανα. Η τρίτη περίοδος είναι η περίοδος του κύηματος που διαρκεί από την 43η ημέρα μέχρι τον τοκετό. Στην περίοδο αυτή συντελείται κυρίως αύξηση του εμβρύου και λιγότερο νέα ανάπτυξη με εξαίρεση το ΚΝΣ, του οποίου η ανάπτυξη ολοκληρώνεται το 12ο έτος της ηλικίας.



Εικ. 4.12. Επίδραση της ακτινοβολίας σε ανθρώπινα έμβρυα.

Η ακτινοβολία σε έμβρυα προκαλεί βιολογικά αποτελέσματα που εκδηλώνονται ως προνεογενικός θάνατος (θάνατος πριν τη γέννηση), νεογενικός θάνατος (θάνατος κατά την γέννηση), συγγενείς διαταραχές, μετανεογενικές νεοπλασίες, καθυστέρηση ανάπτυξης και μειωμένη ανάπτυξη. Το είδος της βλάβης που θα προκληθεί εξαρτάται από το στάδιο της ανάπτυξης, τη δόση και το ρυθμό δόσης (εικ. 4.12).

Κατά την προεμφυτευτική περίοδο μια έκθεση που καταστρέφει μεγάλο αριθμό κυττάρων μπορεί να προκαλέσει προνεογενικό θάνατο του βλαστοειδίου και αποβολή. Εάν όμως επιβιώσει ικανοποιητικός αριθμός κυττάρων για να συνεχίσουν τις διαιρέσεις, επειδή τα κύτταρα σε αυτό το στάδιο είναι ακόμη αδιαφοροποίητα, μόνο αποτέλεσμα θα είναι η καθυστέρηση στην ανάπτυξη. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως φαινόμενο "όλα ή τίποτα". Κατά την περίοδο της οργανογένεσης, επειδή τα όργανα δεν έχουν ακόμη πλήρως σχηματιστεί, η ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει συγγενείς διαταραχές ή διαταραχή της ανάπτυξης ανάλογα με τη φάση της οργανογένεσης. Τέλος κατά την περίοδο του κυήματος η ακτινοευαισθησία είναι μικρότερη και απαιτούνται μεγαλύτερες δόσεις για πρόκληση βλαβών (εικ. 4.13).



Εικ. 4.13. Αποτελέσματα της ακτινοβολίας σε έμβρυα ποντικών.

Περίληψη

Τα βιολογικά αποτελέσματα διακρίνονται σε άμεσα και απώτερα, σε σώματικά και γενετικά, σε στοχαστικά και μη στοχαστικά. Τα άμεσα αποτελέσματα εκδηλώνονται αμέσως μετά την έκθεση και αφορούν σχετικά υψηλά δόση ακτινοβολίας, δόση δηλαδή πάνω από 0,25 Gy. Τα απώτερα αποτελέσματα εκδηλώνονται χρόνια μετά την έκθεση σε σχετικά χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας, δόσεις μικρότερες από 0,25 Gy.

Τα στοχαστικά και τα μη στοχαστικά αποτελέσματα διαφέρουν στην ύπαρξη κατώφλιου και στη δόσοεξάρτηση. Η σχέση δόσης - απόκρισης μπορεί να μελετηθεί με τη βοήθεια της καμπύλης δόσης - απόκρισης. Οι καμπύλες δόσης-απόκρισης μπορούν να είναι γραμμικές ή μη γραμμικές και μπορεί να έχουν ή να μην έχουν κατώφλι. Τα μη στοχαστικά αποτελέσματα έχουν σιγροειδή καμπύλη δόσης-απόκρισης, έχουν κατώφλι δόσης και η κλινική βαρύτητα της βλάβης εξαρτάται από τη δόση. Τα στοχαστικά αποτελέσματα έχουν γραμμική (ή γραμμική-τετραγωνική) καμπύλη δόσης-απόκρισης, δεν έχουν κατώφλι δόσης και η απόκριση εξαρτάται από τη δόση. Τα άμεσα αποτελέσματα θεωρούνται μη στοχαστικά, έχουν κατώφλι δόσης και η βαρύτητα του αποτελέσματος εξαρτάται από την δόση. Τα απώτερα αποτελέσματα θεωρούνται στοχαστικά, δεν έχουν κατώφλι δόσης και η συχνότητα του αποτελέσματος εξαρτάται από τη δόση.

Κατά την ολόσωμη έκθεσή σε υψηλές δόσεις ακτινοβολίας, τα αποτελέσματα εκδηλώνονται ως οξεία ακτινολογικά σύνδρομα με τη μορφή του αιτροποιητικού συνδρόμου (1-10 Gy), του γαστρεντερικού συνδρόμου (6-10 Gy) και του συνδρόμου του ΚΝΣ (>50 Gy). Τα σύνδρομα αυτά εκδηλώνονται σε τρεις κλινικές φάσεις: την πρόδρομη φάση, τη λανθάνουσα φάση και την κύρια φάση. Για τον άνθρωπο η μέση θανατηφόρος δόση LD 50/30 για ολόσωμη ακτινοβολία είναι 3 Gy.

Η ακτινική αντίδραση του δέρματος ακολουθεί μη γραμμική σχέση δόσης-απόκρισης με κατώφλι δόσης (περίπου 6 Gy). Οι ωθήκες είναι ιδιαίτερα ακτινοευαίσθητες στα παιδιά ενώ μετά η ακτινοευαισθησία μειώνεται μέχρι περίπου τα 30 όπου αρχίζει πάλι να αυξάνει.

Η λευχαιμία ακολουθεί γραμμική καμπύλη δόσης-απόκρισης χωρίς κατώφλι δόσης και έχει λανθάνουσα περίοδο που κυμαίνεται από 5 έως 7 χρόνια. Μελέτες σε διάφορες ομάδες ατόμων ενοχοποιούν ισχυρά την ακτινοβολία για καρκίνο των οστών, του πνεύμονα, του δέρματος, του θυρεοειδούς και του μαστού. Τα αποτελέσματα των μελετών σε ανθρώπινους πληθυσμούς για την καρκινογένεση σε χαμηλές δόσεις είναι ανεπαρκή. Η ακτινοπροκλητή καρκινογένεση θεωρείται ότι ακολουθεί γραμμική καμπύλη δόσης-απόκρισης χωρίς κατώφλι δόσης. Η καμπύλη δόσης-απόκρισης για την ακτινοπροκλητή καταρρακτογένεση θεωρείται μη γραμμική με κατώφλι 2 Gy για εφάπαξ δόση και 10 Gy για κλασματικές δόσεις.

Σύμφωνα με τα πειράματα του Muller και των Russell η ακτινοβολία δεν προκαλεί νέο τύπο μεταλλάξεων και τα γενετικά αποτελέσματα ακολουθούν μια γραμμική καμπύλη δόσης - απόκρισης χωρίς κατώφλι, είναι στοχαστικού τύπου και εμφανίζονται στην πρώτη γενιά ή στις επόμενες γενιές. Η διπλασιάζουσα δόση για τον άνθρωπο έχει μέση τιμή 1,56 Sv και η διπλασιάζουσα δόση στις γυναίκες είναι κατά 40% μεγαλύτερη από αυτή των ανδρών.

Η ακτινοβολία σε έμβρυα προκαλεί βιολογικά αποτελέσματα που εκδηλώνονται ως προνεογνικός θάνατος, νεογνικός θάνατος, συγγενείς διαμαρτίες, μετανεογνικές νεοπλασίες, καθυστέρηση ανάπτυξης και μειωμένη ανάπτυξη. Το είδος της βλάβης που θα προκληθεί εξαρτάται από το στάδιο της ανάπτυξης (προεμφυτευτική περίοδος, περίοδος οργανογένεσης, περίοδος κύησης) τη δόση και το ρυθμό δόσης.

Ερωτήσεις

- Ένα μη στοχαστικό αποτέλεσμα αναφέρεται
 - στα άμεσα αποτελέσματα της ανθρώπινης απόκρισης στην έκθεση
 - στα απότερα αποτελέσματα της ανθρώπινης απόκρισης στην έκθεση
 - στη οξεία υψηλή ακτινολογική έκθεση
 - στη χρόνια χαμηλή ακτινολογική έκθεση
- Η ακτινοπροκλητή καρκινογένεση
 - χαρακτηρίζεται ως γενετικό αποτέλεσμα
 - χαρακτηρίζεται ως άμεσο οωματικό αποτέλεσμα
 - χαρακτηρίζεται ως απότερο οωματικό αποτέλεσμα
 - αφορά καρκίνους που δεν εμφανίζονται αυτόματα
- Ποια από τις παρακάτω ανθρώπινες αποκρίσεις στην ακτινολογική έκθεση είναι άμεσο αποτέλεσμα;
 - καρκίνος του μαστού
 - λευχαιμία
 - χρωμοσωματικές μεταβολές
 - καταρράκτης
- Ένα άμεσο αποτέλεσμα της έκθεσης στην ακτινοβολία που απαντάται στην ιατρική απεικόνιση με ακτίνες Χ είναι
 - ο καταρράκτης
 - το ερύθημα του δέρματος
 - η τριχόπτωση
 - το αιμοποιητικό σύνδρομο
- Θάνατος μέσα σε τρεις εβδομάδες μετά την έκθεση είναι βιολογικό αποτέλεσμα που
 - κατατάσσεται στα γενετικά αποτελέσματα
 - κατατάσσεται στα άμεσα οωματικά αποτελέσματα
 - κατατάσσεται στα απότερα οωματικά αποτελέσματα
 - δε σχετίζεται με την έκθεση στις ακτινοβολίες
- Ποιο από τα παρακάτω θεωρείται μη στοχαστικό αποτέλεσμα;
 - καρκίνος του μαστού
 - λευχαιμία
 - γενετικές βλάβες
 - καταρράκτης

7. Κατά τη διάρκεια ποίου σταδίου της προγεννητικής περιόδου η ατυχής ακτινοβολήση του εμβρύου είναι ασφαλής;
- A. την 1η-2η εβδομάδα
 B. την 3η-10η εβδομάδα
 Γ. το δεύτερο τρίμηνο
 Δ. το τρίτο τρίμηνο
8. Ποια από τα παρακάτω είναι παραδείγματα απώτερων βιολογικών αποτελεσμάτων;
- A. καρκίνος, ερύθημα δέρματος
 B. γαστρεντερικό σύνδρομο, καταρράκτης
 Γ. αιμοποιητικό σύνδρομο, γενετικές βλάβες
 Δ. καρκίνος, συγγενείς διαμαρτίες
9. Ένα μη στοχαστικό αποτέλεσμα
- A. έχει δόση κατωφλίου
 B. έχει αυξημένη συχνότητα με αυξημένη δόση
 Γ. ακολουθεί μια χαμηλή δόση ακτινοβολίας
 Δ. μπορεί και να μην εκφρασθεί κατά τη διάρκεια της ζωής
10. Η ναυτία κυρίως σχετίζεται με
- A. την πρόδρομη φάση ενός ακτινοπροκλητού συνδρόμου
 B. τη λανθάνουσα φάση ενός ακτινοπροκλητού συνδρόμου
 Γ. την κύρια φάση ενός ακτινοπροκλητού συνδρόμου
 Δ. το γαστρεντερικό σύστημα
11. Η διακινδύνευση για συγγενείς διαμαρτίες είναι μεγαλύτερη αν το έμβryo ακτινοβοληθεί κατά την
- A. προεμφυτευτική περίοδο
 B. περίοδο της οργανογένεσης
 Γ. περίοδο του κύησης
 Δ. 2η-3η εβδομάδα
12. Η ελάχιστη δόση που απαιτείται για την παραγωγή ερυθρήματος στη χέρια ενός επιμετατικού ακτινολόγου είναι
- A. 0,5 Gy
 B. 1 Gy
 Γ. 3 Gy
 Δ. 6 Gy

13. Ο όρος LD50/30 αναφέρεται στο επίπεδο δόσης που θα προκαλέσει
- A. Ερύθημα του δέρματος στο 30% του πληθυσμού μέσα σε 50 ημέρες
 - B. Ερύθημα του δέρματος στο 50% του πληθυσμού μέσα σε 30 ημέρες
 - Γ. Θάνατο στο 30% του πληθυσμού μέσα σε 50 ημέρες
 - Δ. Θάνατο στο 50% του πληθυσμού μέσα σε 30 ημέρες
14. Το στοχαστικό αποτέλεσμα
- A. εμφανίζεται μόνο μετά από χαμηλές δόσεις
 - B. εμφανίζεται μόνο μετά από υψηλές δόσεις
 - Γ. ακολουθεί μια σχέση δόσης-απόκρισης με κατώφλι
 - Δ. είναι μια απόκριση τύπου "όλα-ή-τίποτα"
15. Ένα παράδειγμα άμεσου βιολογικού αποτελέσματος στην έκθεση είναι
- A. Η λευχαιμία
 - B. Ο καρκίνος του πνεύμονα
 - Γ. Ο σχηματισμός καταρράκτη
 - Δ. Το ερύθημα του δέρματος
16. Η ελάχιστη δόση έκθεσης που οδηγεί σε στειρότητα είναι περίπου
- A. 0.5 Gy
 - B. 5 Gy
 - Γ. 50 Gy
 - Δ. 500 Gy
17. Ποια από τις παρακάτω ανθρώπινες αποκρίσεις στην ακτινολογική έκθεση είναι άμεσο αποτέλεσμα;
- A. η τριχόπτωση
 - B. η λευχαιμία
 - Γ. ο καρκίνος των οστών
 - Δ. ο καταρράκτης
18. Για την ανίχνευση της ακτινοπροκλητής λευχαιμίας μεσολαβεί λανθάνουσα περίοδος συνήθως
- A. μικρότερη από 2 χρόνια
 - B. 5 - 7 χρόνια
 - Γ. 7 - 12 χρόνια
 - Δ. μεγαλύτερη από 12 χρόνια

19. Ποια από τα παρακάτω είναι στοχαστικά αποτελέσματα; 1. Καρκίνος του πνεύμονα, 2. Στειρότητα, 3. Γενετικές βλάβες, 4. Καταρράκτης
- A. 1 και 3
 B. 2 και 4
 Γ. 1, 2 και 3
 Δ. 1, 2, 3 και 4
20. Ο ακτινοπροκλητός καταρράκτης
- A. εμφανίζεται στον πρόσθιο πόλο του φακού
 B. εμφανίζεται στον οπίσθιο πόλο του φακού
 Γ. ακολουθεί γραμμική, χωρίς κατώφλι, καμπύλη δόσης - απόκρισης
 Δ. ακολουθεί μη γραμμική, χωρίς κατώφλι, καμπύλη δόσης - απόκρισης

Απαντήσεις

- | | |
|-------|-------|
| 1. A | 11. B |
| 2. Γ | 12. Δ |
| 3. Γ | 13. Δ |
| 4. B | 14. Δ |
| 5. B | 15. Δ |
| 6. Δ | 16. B |
| 7. A | 17. A |
| 8. Δ | 18. B |
| 9. A | 19. A |
| 10. A | 20. B |

The background is a deep purple color with a complex, abstract pattern of thin, light-colored lines and dots, resembling a molecular structure or a network diagram. A large, white, stylized number '5' is positioned in the upper right quadrant. The text is in white, providing a strong contrast against the purple background.

5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ



ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Συνοπτικά περιεχόμενα

Εισαγωγή

5.1 Διεθνείς οργανισμοί

5.2 Αρχές ακτινοπροστασίας

5.3 Όρια δόσεων

Περίληψη

Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να αναφέρεις τους διεθνείς οργανισμούς που σχετίζονται με την επεξεργασία κανονισμών ακτινοπροστασίας
2. Να αναφέρεις τις βασικές αρχές της ακτινοπροστασίας
3. Να αναφέρεις την αρχή της αιτιολόγησης
4. Να αναφέρεις την αρχή της βελτιστοποίησης
5. Να αναφέρεις την αρχή των ορίων δόσεων
6. Να περιγράψεις την εξέλιξη των ορίων δόσεων
7. Να εξηγείς πώς προοδιορίζονται τα όρια δόσεων.

Ορολογία

Αρχή αιτιολόγησης

Αρχή βελτιστοποίησης

Αρχή ορίων δόσεων

ALARA

Μέγιστη επιτρεπόμενη

δόση MPD

Όρια δόσεων

Εισαγωγή

Οι βιολογικές επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας έγιναν γνωστές σχεδόν αμέσως μετά την ανακάλυψη των ακτίνων Χ. Η ανάγκη για τον έλεγχο αυτών των επικίνδυνων βιολογικών επιδράσεων οδήγησε αρκετά γρήγορα στην ίδρυση διεθνών οργανισμών για την προστασία από τις ακτινοβολίες.

Οι οργανισμοί αυτοί εκτός από τη θεμελίωση των θεωρητικών αρχών της ακτινοπροστασίας συνέταξαν και νομοθετικά πλαίσια (Οδηγίες και Κανονισμούς) η πιστή εφαρμογή των οποίων περιορίζει δραστικά τις εκθέσεις. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια ανασκόπηση των διεθνών οργανισμών που επεξεργάζονται οδηγίες ακτινοπροστασίας, παρουσιάζονται οι τρεις βασικές αρχές ακτινοπροστασίας και εξηγείται ο τρόπος προσδιορισμού των ορίων δόσεων.

5.1. Διεθνείς οργανισμοί

Η επεξεργασία κανονισμών ακτινοπροστασίας γίνεται από διεθνείς μη κυβερνητικούς οργανισμούς. Η ICRP (International Commission on Radiological Protection) ιδρύθηκε το 1928 με σκοπό τη συλλογή, ανάλυση, ανάπτυξη και διασπορά στο κοινό πληροφοριών και προτάσεων για θέματα ακτινοπροστασίας. Για την ποσοτική εκτίμηση της έκθεσης στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες, η ICRP το 1964 συγκρότησε τη NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements).

Η UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation) ιδρύθηκε το 1955 από τα Ηνωμένα Έθνη με κύριο σκοπό την αξιολόγηση της έκθεσης των ανθρώπων και του περιβάλλοντος στην ιοντίζουσα ακτινοβολία από τις φυσικές πηγές, τις ανθρώπινες πρακτικές και τα ατυχήματα. Η UNSCEAR αξιολογεί τους κινδύνους της έκθεσης σε ακτινοβολία με βάση επιδημιολογικά και ερευνητικά δεδομένα.

Η NRC (National Research Council Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, BEIR) ιδρύθηκε το 1955 και έχει δημοσιεύσει πέντε εκθέσεις για τα βιολογικά αποτελέσματα της ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Η τελευταία έκθεση (BEIR V) δημοσιεύτηκε το 1990 και είχε ως θέμα τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας χαμηλής δόσης.

Σχηματικά θα μπορούσαμε να πούμε πως οι μελέτες της UNSCEAR και οι εκθέσεις BEIR τροφοδοτούν τις εργασίες της ICRP και της NCRP που με τη σειρά τους εξυπηρετούν την ανάπτυξη των κανονισμών ακτινοπροστασίας από τα διάφορα κράτη (σχ.5.1). Η Ελλάδα ανήκει στην



Σχ.5.1. Σχέση μεταξύ των διεθνών οργανισμών που επεξεργάζονται κανονισμούς ακτινοπροστασίας.

Ευρωπαϊκή Ένωση, όπου οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας αναπτύσσονται από την επιτροπή Ευρατομ με βάση τις προτάσεις της ICRP.

Τέλος υπάρχουν και άλλοι διεθνείς οργανισμοί που σχετίζονται με τους κανονισμούς ακτινοπροστασίας. Η ICRU (International Commission on Radiological Units and Measurements) ιδρύθηκε το 1925 με σκοπό την ανάπτυξη κοινού πλαισίου σε θέματα σχετικά με την ασφαλή και αποτελεσματική χρήση της ακτινοβολίας. Η IAEA (International Atomic Energy Agency) ιδρύθηκε το 1957 από τα Ηνωμένα Έθνη και ενθαρρύνει την παγκόσμια ανάπτυξη ειρηνικών χρήσεων της ατομικής ενέργειας. Η ILO (International Labour Organization) ιδρύθηκε το 1919 και από το 1946 βρίσκεται υπό την εποπτεία του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών και ασχολείται με επαγγελματικά θέματα υγείας και ασφάλειας.

5.2. Αρχές ακτινοπροστασίας

Η σύσταση 26 της ICRP (1977) έθεσε ως βασικές αρχές της ακτινοπροστασίας, την αρχή της αιτιολόγησης, την αρχή της βελτιστοποίησης και την αρχή των ορίων δόσεων. Οι δύο πρώτες αρχές εφαρμόζονται για κάθε έκθεση σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες περιλαμβανομένων και των ιατρικών εκθέσεων ενώ η τρίτη αρχή δεν εφαρμόζεται στις ιατρικές εκθέσεις.

Σύμφωνα με την αρχή της αιτιολόγησης κάθε δραστηριότητα η οποία συντελείται έκθεση σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες πρέπει να δικαιολογείται από τα πλεονεκτήματα τα οποία παρέχει σε σχέση με την βλάβη στην υγεία την οποία μπορεί να προκαλέσει. Κάθε μη αιτιολογημένη έκθεση απαγορεύεται.

Σύμφωνα με την αρχή της βελτιστοποίησης, κάθε έκθεση θα πρέπει να διατηρείται τόσο χαμηλή όσο είναι λογικά δυνατό να επιτευχθεί, λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες. Η αρχή αυτή είναι γνωστή και ως αρχή ALARA από τα αρχικά του "As Low As Reasonably Achievable".

Σύμφωνα με την αρχή των ορίων δόσεων, το άθροισμα δόσεων που λαμβάνονται από όλες τις δραστηριότητες - εκτός από τις ιατρικές - δεν πρέπει να υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή (όρια δόσεων) η οποία καθορίζεται από κανονισμούς.

5.3. Όρια δόσεων

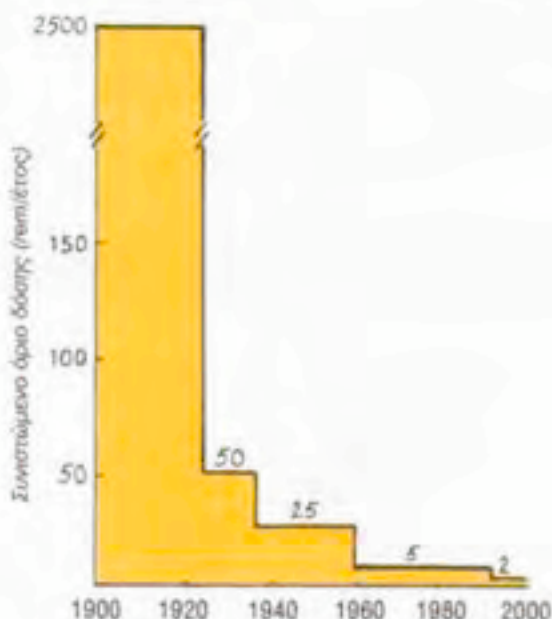
Όρια δόσεων ονομάζονται οι ανώτατες τιμές αναφοράς για τις δόσεις που προκύπτουν από την έκθεση στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες των εκτεθειμένων εργαζομένων, των μαθητευόμενων και του κοινού. Από τις δόσεις αυτές εξαιρούνται οι δόσεις οι οποίες προκύπτουν από το φυσικό υπόστρωμα των ακτινοβολιών και από την έκθεση που προκύπτει από ιατρικές εξετάσεις και θεραπείες, στις οποίες υποβάλλονται τα άτομα.

Το 1910 ως όριο δόσεων εθεωρείτο η δόση ερυθρήματος δέρματος (βλ. 4.2.2), το 1930 η δόση ανοχής και το 1940 η μέγιστη επιτρεπόμενη δόση MPD (Maximum Permissible Dose). Σύμφωνα με τις τότε γνώσεις μέγιστη επιτρεπόμενη δόση MPD ονομαζόταν η δόση εκείνη, η οποία δεν αναμενόταν να παραγάγει σημαντικά βιολογικά αποτελέσματα. Η μέγιστη επιτρεπόμενη δόση MPD, δηλαδή είχε παρόμοια έννοια με το ανώτερο επιτρεπτό όριο ταχύτητας στους αυτοκινητόδρομους ή με τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας. Δηλαδή με δόσεις στο επίπεδο της μέγιστης επιτρεπόμενης δόσης MPD και σε μικρότερες δόσεις ο κίνδυνος δε μηδενίζεται αλλά περιορίζεται. Πρόσφατα η NCRP με τις έννοιες στοχαστικό και μη στοχαστικό δημιουργεί ένα νέο σύστημα ακτινοπροστασίας και αντί του όρου μέγιστη επιτρεπόμενη δόση MPD συνιστά τη χρήση του όρου ισοδύναμη δόση (1970) και ενεργός δόση (1990). Η πολιτική της ακτινοπροστασίας είναι η μείωση των ορίων δόσεων όσο αυξάνονται οι γνώσεις για τις βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας (σχ.5.2).

Όταν τα συνιστώμενα όρια δόσεων εκφράζονται ως ισοδύναμη δόση λαμβάνονται υπόψη:

- Οι ακτινοευαίσθητοις των διαφόρων ιστών και οργάνων,
- Οι διαφορετικές πιθανότητες θανάτου από καρκίνο των διαφόρων ιστών και οργάνων,
- Οι πιθανότητες σοβαρών κληρονομικών αποτελεσμάτων στις πρώτες δύο γενιές.

Τα συνιστώμενα όρια δόσεων βασίζονται τόσο στα στοχαστικά όσο και στα μη στοχαστικά αποτελέσματα και υπολογίζονται με βάση μια γραμμική



Σχ. 5.2. Εξέλιξη των ορίων εκτιθέμενων εργαζομένων.

χωρίς κατώφλι καρπύλη δόσης-απόκρισης. Βέβαια τα συνιστώμενα όρια δόσεων είναι πολύ κάτω από το κατώφλι δόσης των μη στοχαστικών αποτελεσμάτων και για το κοινό προσδιορίζονται σε τέτοιο επίπεδο, ώστε να περιορίζουν το ρίσκο (διακινδύνευση) των στοχαστικών αποτελεσμάτων στο επίπεδο των υπόλοιπων ρίσκων στην κοινωνία, δηλαδή προσδιορίζονται σε ένα επίπεδο διακινδύνευσης συγκρίσιμο με αυτό κοινού σε άλλες παρόμοιες καθημερινές δραστηριότητες.

Για τον προσδιορισμό των ορίων δόσεων για τους εκτιθέμενους εργαζόμενους, τα συνιστώμενα όρια δόσεων τοποθετούνται σε ένα επίπεδο διακινδύνευσης συγκρίσιμο με αυτό εργαζόμενων σε άλλα βιομηχανικά επαγγέλματα. Γι αυτό τα συνιστώμενα όρια δόσεων βασίζονται στους υπολογισμούς θανάτων από ατύχημα και στην βράχυνση του χρόνου ζωής και έχουν σκοπό να παρέχουν (ακτινο)προστασία συγκρίσιμη με αυτή εργαζομένων σε άλλες ασφαλείς βιομηχανίες. Συγκεκριμένα τα συνιστώμενα όρια δόσεων βασίζονται σε ασφαλείς βιομηχανίες οι οποίες έχουν ετήσιο ρυθμό θανάτων από ατύχημα 1 ανά 10.000 ή λιγότερο. Αυτό σημαίνει ότι, αν κάποιος λάβει το προτεινόμενο όριο δόσης σε ένα χρόνο, η διακινδύνευση (ρίσκο) να πεθάνει από καρκίνο ή λευχαιμία αργότερα στη ζωή του είναι ίση με τη διακινδύνευση (ρίσκο) να πεθάνει τον ίδιο χρόνο από ατύχημα ενώ εργάζεται σε ασφαλή βιομηχανία.

Τα όρια δόσεων που ισχύουν στην ελληνική νομοθεσία συζητούνται αναλυτικά στο κεφάλαιο 7.1. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι τα προσωπικά δοσιμετρα δεν μετράνε ενεργό δόση αλλά για ρυθμιστικούς λόγους τα αποτελέσματά τους δίνονται ως ενεργός δόση.

Περίληψη

Η επεξεργασία κανονισμών ακτινοπροστασίας γίνεται από διεθνείς μη κυβερνητικούς οργανισμούς. Οι μελέτες της UNSCEAR και οι εκθέσεις BEIR τροφοδοτούν τις εργασίες της ICRP και της NCRP που με τη σειρά τους χρησιμοποιούν στην ανάπτυξη των κανονισμών ακτινοπροστασίας από τα διάφορα κράτη.

Οι βασικές αρχές της ακτινοπροστασίας είναι η αρχή της αιτιολόγησης, η αρχή της βελτιστοποίησης και η αρχή των ορίων δόσεων. Σύμφωνα με την αρχή της αιτιολόγησης κάθε δραστηριότητα που συνεπάγεται έκθεση, πρέπει να δικαιολογείται από τα πλεονεκτήματα τα οποία παρέχει σε σχέση με τη βλάβη στην υγεία την οποία μπορεί να προκαλέσει. Σύμφωνα με την αρχή της βελτιστοποίησης, κάθε έκθεση θα πρέπει να διατηρείται ALARA δηλαδή τόσο χαμηλή όσο είναι λογικά δυνατό να επιτευχθεί, λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες. Σύμφωνα με την αρχή των ορίων δόσεων, το άθροισμα δόσεων που λαμβάνονται από όλες τις δραστηριότητες - εκτός από τις ιατρικές - δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα όρια δόσεων που καθορίζονται από κανονισμούς.

Τα όρια δόσης βασίζονται στην εκτίμηση επιπέδων διακινδύνευσης, τα οποία είναι αποδεκτά σε άλλα βιομηχανικά επαγγέλματα. Τα όρια δόσεων δε διακρίνουν τις εκθέσεις σε "ακίνδυνες" και "επικίνδυνες" αλλά οι επιτρεπτές και μη επιτρεπτές υπό δεδομένα συνθήκες. Οι ιατρικές εφαρμογές εξαιρούνται από τον περιορισμό των δόσεων αλλά όχι και από τις απαιτήσεις αιτιολόγησης και βελτιστοποίησης.

Ερωτήσεις

- Ποια είναι η έννοια του όρου όρια δόσεων;
 - Το κατώτερο επίπεδο έκθεσης που είναι δυνατό να επιτευχθεί
 - Η μέση δόση των ακτινοδιαγνωστικών εξετάσεων στις χώρες της ΕΕ
 - Η μέση δόση έκθεσης από φυσικές πηγές στις χώρες της ΕΕ
 - Τα ανώτερα όρια δόσεων που έχουν το μικρότερο δυνατό κίνδυνο
- Αν ένας ακτινογράφος λάβει 1mGy από την έκθεσή του σε μια ακτινολογική εξέταση, 1 mSv από την έκθεσή του σε φυσικές πηγές και 2 mSv από την εργασία του ως ακτινογράφος, τότε το συνολικό ισοδύναμο άθροισμα της επαγγελματικής του έκθεσης θα είναι
 - 1 mSv
 - 2 mSv
 - 3 mSv
 - 4 mSv
- Ποιοι από τους παρακάτω όρους έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς στην έκφραση των προτεινόμενων ορίων δόσεων; 1. Δόση ανοχής, 2. Όριο ισοδύναμης δόσης, 3. Δόση ερυθρήματος, δέρματος, 4. Επικίνδυνη δόση
 - 1 και 3
 - 2 και 4
 - 1,2 και 3
 - 1,2,3 και 4
- Ποιες ομάδες πληθυσμού αφορούν τα προτεινόμενα όρια δόσεων; 1. Εκτιθέμενους εργαζόμενους, 2. Κοινό, 3. Εκτιθέμενους μαθητευόμενους και σπουδαστές, 4. Εμβρυα
 - 1 και 3
 - 1,2 και 3
 - 1,2,3 και 4
 - 1
- Τα προτεινόμενα όρια δόσης για τους εκτιθέμενους εργαζόμενους τοποθετούνται σε ένα επίπεδο διακινδύνευσης
 - που θεωρείται απόλυτα ασφαλές - μηδενικό ρίσκο
 - ίσο με το επίπεδο ευαισθησίας των προσιατρικών δοσιμέτρων
 - ίσο με αυτό εργαζόμενων σε άλλα βιομηχανικά επαγγέλματα
 - ακριβώς κάτω από το κατώφλι βλάβης

6. Τα προτεινόμενα όρια δόσης για αλόωμη έκθεση για το κοινό τοποθετούνται σε ένα επίπεδο διακινδύνευσης
- A. ίσο με την ακτινοβολία υποστρώματος
 - B. ίσο με το επίπεδο ευαισθησίας των δοσιμέτρων αντίχτυσης πεδίου
 - Γ. στο ένα δέκατο του ρίσκου των εκτιθέμενων εργαζόμενων
 - Δ. σύγκριση με αυτό άλλων καθημερινών ρίσκων στην κοινωνία
7. Τα προτεινόμενα όρια δόσεων είναι κάτω από
- A. το κατώφλι των μη στοχαστικών αποτελεσμάτων
 - B. το κατώφλι των στοχαστικών αποτελεσμάτων
 - Γ. το κατώφλι των προσωπικών δοσιμέτρων
 - Δ. την ευαισθησία των προσωπικών δοσιμέτρων
8. Τα προτεινόμενα όρια δόσεων για εργαζόμενους τοποθετούνται σε ένα επίπεδο διακινδύνευσης σύγκριση με αυτό
- A. του γενικού κοινού
 - B. εργαζόμενων σε ασφαλείς βιομηχανίες
 - Γ. εργαζόμενων σε όλες τις βιομηχανίες
 - Δ. εργαζόμενων σε επικίνδυνες βιομηχανίες
9. Ο επίσιος ρυθμός θανάτων από ατύχημα σε ασφαλείς βιομηχανίες είναι περίπου
- A. 1 στα 1.000
 - B. 1 στα 10.000
 - Γ. 1 στα 100.000
 - Δ. 1 στα 100.000.000
10. Αν κάποιος λάβει το προτεινόμενο όριο δόσης σε ένα χρόνο, η διακινδύνευση να πεθάνει από καρκίνο ή λευχαιμία αργότερα στη ζωή του είναι ίση με την διακινδύνευση να πεθάνει τον ίδιο χρόνο από ατύχημα, ενώ εργάζεται σε ασφαλή βιομηχανία
- A. Σωστό
 - B. Λάθος

Απαντήσεις


1. Δ
2. Β
3. Γ
4. Γ
5. Γ
6. Δ
7. Α
8. Β
9. Β
10. Α

The background is a vibrant green color. On the left side, there is a detailed illustration of a bunch of green grapes hanging from a vine. On the right side, there is a stylized molecular or atomic structure consisting of several spheres connected by thin lines, resembling a network or a chemical structure. The overall aesthetic is clean and scientific.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6

ΟΔΗΓΙΑ 97/43/EURATOM



ΟΔΗΓΙΑ 97/43/ΕΥΡΑΤΟΜ

Συνοπτικά περιεχόμενα

Εισαγωγή

- 6.1 Φυσικά πρόσωπα
- 6.2 Ευθύνες κατόχου ακτινολογικής εγκατάστασης
- 6.3 Ευθύνες του πραγματογνώμονα και του εμπειρογνώμονα
- 6.4 Διαδικασία αιτιολόγησης
- 6.5 Διαδικασία βελτιστοποίησης
- 6.6 Συνεχής εκπαίδευση
- 6.7 Πρωτόκολλα

Περίληψη



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να αναφέρεις τις κύριες αλλαγές που εισάγει η οδηγία 97/43
2. Να αναφέρεις τα φυσικά πρόσωπα που σχετίζονται με την έκθεση ατόμων για ιατρικούς λόγους
3. Να αναφέρεις τις ευθύνες του κατόχου της ακτινολογικής εγκατάστασης
4. Να αναφέρεις τις ευθύνες του πραγματογνώμονα και του εμπειρογνώμονα
5. Να περιγράψεις την διαδικασία της αιτιολόγησης
6. Να περιγράψεις τη διαδικασία της βελτιστοποίησης
7. Να εξηγήσεις την απαίτηση για συνεχή εκπαίδευση
8. Να εξηγήσεις τη σημασία ανάπτυξης πρωτοκόλλων.

Ορολογία

Διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς

Εμπειρογνώμονας

Κάτοχος

Κλινική ευθύνη

Παραπέμπων

Πραγματογνώμονας

Πρακτικές πτυχές

Εισαγωγή

Οι οδηγίες 80/836, 84/466 και 84/467/Ευρατομ της Ευρωπαϊκής Ένωσης βασίζονταν στη σύσταση ICRP26 και στην Ελλάδα είχαν εγκριθεί ως “Κανονισμός Ακτινοπροστασίας” με την Υπουργική Απόφαση 14632/1991. Η ICRP όρισε το 1991 επανεκτίμησε τα δεδομένα που υπήρχαν από την έκθεση του ανθρώπου στην ακτινοβολία και κατέληξε σε συμπεράσματα που οδηγούσαν σε μείωση των ορίων δόσεων για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους και σε επαναπροσδιορισμό των αρχών ακτινοπροστασίας. Τα συμπεράσματα και τις συστάσεις της ICRP ενσωμάτωσε η Ευρωπαϊκή Ένωση στις οδηγίες 96/29 και 97/43 και η ελληνική νομοθεσία αναρρονήστηκε με αυτές τις οδηγίες με το νέο “Κανονισμό Ακτινοπροστασίας” που εκδόθηκε με την Υπουργική Απόφαση 1014/2001.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανασκόπηση των βασικών αρχών της οδηγίας 97/43 και των σημαντικών νέων στοιχείων που εισάγει στα ζητήματα της ακτινοπροστασίας. Η οδηγία 97/43 έχει τον τίτλο: “Περί της προστασίας της υγείας από τους κινδύνους κατά την έκθεση στην ιοντίζουσα ακτινοβολία για ιατρικούς λόγους”. Οι κύριες αλλαγές τις οποίες εισάγει είναι στις ευθύνες των φυσικών προσώπων που σχετίζονται με την έκθεση, στις διαδικασίες αιτιολόγησης και βελτιστοποίησης των εκθέσεων, στην απαίτηση για συνεχή εκπαίδευση και στη χρήση διογνώστικων επιπέδων αναφοράς και πρωτοκόλλων.

6.1. Φυσικά πρόσωπα

Η οδηγία αναγνωρίζει τέσσερα φυσικά πρόσωπα που σχετίζονται με την έκθεση ατόμων για ιατρικούς λόγους:

- Τον *κάτοχο*, δηλαδή το φυσικό ή νομικό πρόσωπο που έχει την ευθύνη μιας ακτινολογικής εγκατάστασης.
- Τον *παραπέμποντα* (prescriber), ο οποίος παραπέμπει άτομα για να εκτεθούν σε ακτινοβολίες για ιατρικούς λόγους. Σύμφωνα με το αγγλικό κείμενο της οδηγίας ο παραπέμπων (prescriber) είναι γιατρός, οδοντίατρος ή άλλος επαγγελματίας υγείας (other health professional) και είναι εξουσιοδοτημένος να παραπέμπει άτομα για να εκτεθούν σε ακτινοβολίες για ιατρικούς λόγους.
- Τον *πραγματογνώμονα* (practitioner), που αναλαμβάνει την κλινικά ευθύνη για την έκθεση ενός ατόμου για ιατρικούς λόγους. Σύμφωνα με το αγγλικό κείμενο της οδηγίας ο πραγματογνώμονας (practitioner) μπορεί

να είναι γιατρός, οδοντίατρος ή άλλος επαγγελματίας υγείας και είναι εξουσιοδοτημένος να αναλαμβάνει την κλινική ευθύνη για μια ιατρική έκθεση.

- Τον *πραγματογνώμονα*, δηλαδή τον επαγγελματία, ο οποίος αναλαμβάνει τις πρακτικές πτυχές που σχετίζονται με τη διαδικασία οποιασδήποτε ιατρικής έκθεσης.

Σύμφωνα με το αγγλικό κείμενο της οδηγίας με τον όρο πρακτικές πτυχές εννοούνται η πραγματοποίηση ιατρικής έκθεσης και κάθε συναφής πτυχή συμπεριλαμβανομένων του χειρισμού και της χρήσης ακτινολογικού εξοπλισμού καθώς και η εκτίμηση τεχνικών και φυσικών παραμέτρων συμπεριλαμβανομένων των δόσεων ακτινοβολίας, η βαθμονόμηση και η συντήρηση εξοπλισμού και η εμφάνιση φιλμ. Οι πτυχές που καλύπτει αυτός ο όρος είναι πολύ ευρείες και περιλαμβάνουν ένα φάσμα δραστηριοτήτων, οι οποίες εκτείνονται από διαδικασίες συντελούμενες πριν την πραγματοποίηση της έκθεσης και φθάνουν μέχρι τη φυσική πράξη της πραγματοποίησης της έκθεσης.

Κλινική ευθύνη ορίζεται η ευθύνη η σχετική με κάθε έκθεση ατόμων για ιατρικούς λόγους και ιδίως η αιτιολόγηση, η βελτιστοποίηση, η κλινική αξιολόγηση του αποτελέσματος, η συνεργασία με άλλους επαγγελματίες σε σχέση με πρακτικές πτυχές και η λήψη και παροχή πληροφοριών.

Σύμφωνα με την πάγια ευρωπαϊκή τακτική αποφάσεις για το ποιος επαγγελματίας μπορεί να δρα ως παραπέμπων ή ως πραγματογνώμονας καθορίζονται στο τοπικό επίπεδο κάθε χώρας μέλους (βλ. Κεφ.7).

6.2. Ευθύνες κατόχου ακτινολογικής εγκατάστασης

Ένα από τα πιο κύρια χαρακτηριστικά της νέας οδηγίας είναι ο επαυξημένος ρόλος του κατόχου της ακτινολογικής εγκατάστασης. Ο κάτοχος της ακτινολογικής εγκατάστασης:

- Είναι υπεύθυνος για την τήρηση των διαδικασιών, τις οποίες ορίζουν οι αρμόδιες αρχές της χώρας.
- Θα πρέπει να διασφαλίζει ότι για κάθε τυποποιημένη ακτινολογική πράξη υπάρχουν γραπτά πρωτόκολλα.
- Θα πρέπει να εγγυάται ότι εφαρμόζονται προγράμματα διασφάλισης ποιότητας συμπεριλαμβανομένων των μέτρων για τον ποιοτικό έλεγχο και την εκτίμηση της δόσης του ασθενούς.
- Θα πρέπει να διασφαλίζει τη μη υπέρβαση των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς.

Διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς ονομάζονται τα συγκεκριμένα επίπεδα δόσης στις ιατρικές ακτινοδιαγνωστικές πράξεις για τυπικές εξετάσεις ομάδων ασθενών τυπικού μεγέθους για ευρέως οριζόμενους τύπους εξοπλισμού. Για παράδειγμα ανεξάρτητα από την τεχνική που ακολουθείται, η μέση δόση σε μία ακτινογραφία θώρακα δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή του διαγνωστικού επιπέδου αναφοράς για το θώρακα που ορίζεται σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο κάτοχος θα πρέπει να διασφαλίζει ότι σε περίπτωση συστηματικής υπέρβασης των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς, θα διεξάγονται οι ενδεδειγμένες τοπικές ανθεωρήσεις και ότι θα λαμβάνονται τυχόν διορθωτικά μέτρα.

- Θα πρέπει να διασφαλίζει ότι κάθε φυσικό πρόσωπο ενεργεί με συγκεκριμένο τρόπο σε αναγνωρισμένο τομέα εξειδίκευσης.
- Θα πρέπει να διασφαλίζει ότι οι πραγματογνώμονες και εμπειρογνώμονες που εργάζονται άμεσα ή έμμεσα στην ακτινολογική εγκατάσταση για την οποία είναι υπεύθυνοι, είναι διπλωματούχοι και καταρτισμένοι και ότι ακολουθούν προγράμματα συνεχούς εκπαίδευσης και κατάρτισης.

Η χορήγηση άδειας λειτουργίας ενός ακτινολογικού εργαστηρίου (βλ. Κεφ.8) θα σημαίνει ότι ο κάτοχος της ακτινολογικής εγκατάστασης είναι υπεύθυνος για την τήρηση όλων των παραπάνω.

6.3. Ευθύνες του πραγματογνώμονα και του εμπειρογνώμονα

Όσον αφορά τις ευθύνες του πραγματογνώμονα και του εμπειρογνώμονα:

- Θα πρέπει να συμμορφώνονται με όλες τις διαδικασίες ακτινοπροστασίας και ιδίως της αιτιολόγησης και της βελτιστοποίησης.
- Θα πρέπει να ακολουθούν προγράμματα συνεχούς εκπαίδευσης και κατάρτισης.
- Υπεύθυνος για την αιτιολόγηση είναι ο πραγματογνώμονας ενώ ο εμπειρογνώμονας ο οποίος προσωπικά εκτελεί οποιαδήποτε πρακτικά πτυχία σε αναγνωρισμένο τομέα ειδίκευσης, είναι υπεύθυνος για την πτυχία που πραγματοποιεί.

Το παρακάτω παράδειγμα είναι χρήσιμο για να δείξει τον τρόπο με τον οποίο σχετίζονται οι ευθύνες που περιγράφηκαν: στη χειρουργική ορθοπεδική είναι συχνά αναγκαία η χρήση ακτινοσκόπησης. Σύμφωνα με την οδηγία πριν το χειρουργείο, ο χειρουργός ορθοπεδικός (παραπέμπων) θα ζητήσει τη διενέργεια ακτινοσκόπησης και ο ακτινολόγος (πραγματογνώμονας) θα αιτιολογήσει το παραπεμπτικό. Ο κάτοχος της ακτινολογικής εγκατάστασης θα έχει θέσει ένα διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς για τη συ-

γκεκριμένα ακτινοδιαγνωστική πράξη. Κατά τη χειρουργική επέμβαση ο χειρουργός θα είναι ιατρικά υπεύθυνος για τον ασθενή ενώ την κλινική ευθύνη για την έκθεση θα την έχει λόγω χάρη ο τεχνολόγος ακτινολόγος, απόφοιτος ΤΕΙ (εμπειρογνώμονας). Ο τεχνολόγος ακτινολόγος θα έχει την ευθύνη της καταγραφής της χορηγούμενης δόσης συγκριτικά με το διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς. Εάν η δόση φτάσει στο διαγνωστικό επίπεδο αναφοράς, η περαιτέρω έκθεση μπορεί να είναι προς όφελος του ασθενούς και μπορεί να γίνει αποδεκτή. Μια τέτοια πρακτική όμως συστηματικής υπέρβασης των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς, όταν επαναλαμβάνεται συχνά, θα πρέπει να οδηγήσει σε ενδεδειγμένη αναθεώρηση και λήψη διορθωτικών μέτρων.

6.4. Διαδικασία αιτιολόγησης

Τώρα τον πιο αποτελεσματικό τρόπο για την ορθολογιστική χρήση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας όταν ιατρική αποτελεί η έμφαση στη σημασία της κατάλληλης και αυστηρής αιτιολόγησης κάθε έκθεσης χωριστά. Ο παραπέμπων και ο πραγματογνώμονας σύμφωνα με την οδηγία πρέπει να συμμετέχουν στην ευθύνη της αιτιολόγησης. Η διαδικασία της αιτιολόγησης μπορεί να διααιρεθεί σε δύο επίπεδα:

- Στην παροχή από τον παραπέμποντα επαρκών κλινικών πληροφοριών πάνω στις οποίες θα βασιστεί η αιτιολόγηση της έκθεσης.
- Στην αιτιολόγηση, αυτή καθ' εαυτή, η οποία γίνεται από τον πραγματογνώμονα.

Σε αρκετές περιπτώσεις ο παραπέμπων γνωρίζει ότι η ιατρική κατάσταση του ασθενούς απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση αλλά δεν έχει όλες τις αναγκαίες πληροφορίες για να αιτιολογήσει τη συγκεκριμένη εξέταση που ζητάει - μπορεί φερειπείν να μην έχει πλήρη γνώση της δόσης και του σχετικού κινδύνου. Ο πραγματογνώμονας έχει αυτές τις γνώσεις αλλά μπορεί να δράσει κατάλληλα μόνο, όταν έχει επαρκείς κλινικές πληροφορίες στο παραπεμπτικό και αυτή άλλωστε είναι η ευθύνη του στη διαδικασία. Αυτός είναι ο ρόλος του πραγματογνώμονα και θα πρέπει να αρνηθεί να εκτελέσει την εξέταση, αν δεν έχει επαρκείς κλινικές πληροφορίες.

Όλες οι εκθέσεις ατόμων για ιατρικούς λόγους θα πρέπει να αιτιολογούνται προκαταβολικά ενόψει των στόχων της έκθεσης και των χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου ατόμου. Εάν μια έκθεση δεν μπορεί να αιτιολογηθεί, πρέπει να απαγορεύεται. Η μέθοδος της αιτιολόγησης θα πρέπει να καθορισθεί σε τοπικό επίπεδο και μπορεί να είναι μια υπογραφή στο παραπεμπτικό ή η προσθήκη μίας ηλεκτρονικής υπογραφής κωκ.

Μια έκθεση δεν μπορεί να γίνει, αν προηγούμενα δεν έχει αιτιολογηθεί από τον πραγματογνώμονα ότι προσφέρει επαρκή ωφέλεια σταθμίζοντας:

- Τους στόχους της έκθεσης και τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου ατόμου,
- Το σύνολο των δυναμικών ή θεραπευτικών ωφελημάτων συμπεριλαμβανόμενου του άμεσου οφέλους στην υγεία του ατόμου και της κοινωνικής ωφέλειας,
- Την ατομική βλάβη που ενδέχεται να προκαλέσει η έκθεση,
- Την αποτελεσματικότητα, τα ωφελήματα και τους κινδύνους των διαθέσιμων εναλλακτικών τεχνικών οι οποίες έχουν μεν τον ίδιο στόχο αλλά δεν εκθέτουν σε ιοντίζουσα ακτινοβολία ή εκθέτουν λιγότερο.
- Τον αποκλεισμό εγκυμοσύνης γυναίκας σε ηλικία τεκνοποίησης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην αιτιολόγηση.
- Έκθεση για ιατρική και βιοϊατρική έρευνα που θα πρέπει να έχει εξεταστεί από επιτροπή δεοντολογίας,
- Έκθεση για ιατρικούς λόγους που δεν παρέχει κανένα όφελος στον εκτιθέμενο,
- Έκθεση γυναίκας για ιατρικούς λόγους, για την οποία δεν είναι δυνατόν να αποκλεισθεί η εγκυμοσύνη, ιδίως δε όταν ακτινοβολούνται η κοιλιακή και η πυελική χώρα λαμβάνοντας υπόψη την έκθεση τόσο της εγκύου όσο και του κυοφορούμενου.

Ο πραγματογνώμονας επιδιώκει, εφόσον είναι εφικτό, να συγκεντρώνει προηγούμενες πληροφορίες σχετικά με την προγραμματιζόμενη έκθεση και εκτιμά τα δεδομένα αυτά προκειμένου να αποφεύγονται οι περιττές εκθέσεις. Η αιτιολόγηση εκτός από τις ατομικές εκθέσεις αναφέρεται και στις πρακτικές. Ιδιαίτερα όλες οι νέες πρακτικές που συνεπάγονται έκθεση για ιατρικούς λόγους πρέπει να αιτιολογούνται προκαταβολικά πριν εφαρμοστούν γενικά. Οι υφιστάμενες πρακτικές που συνεπάγονται έκθεση για ιατρικούς λόγους μπορούν να αναθεωρούνται, όταν προκύπτουν νέες και σημαντικές ενδείξεις για την αποτελεσματικότητα ή τις συνέπειές τους.

6.5. Διαδικασία βελτιστοποίησης

Σ' όλες τις εκθέσεις τόσο ο πραγματογνώμονας όσο και ο εμπειρογνώμονας, θα πρέπει να διατηρούν τα όσα προκύπτει από την έκθεση στο κατώτερο εφικτό επίπεδο το οποίο συμβιβάζεται με τη συγκέντρωση των απαιτούμενων διαγνωστικών πληροφοριών, λαμβανομένων υπόψη των οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων. Η διαδικασία της

βελτιστοποίησης, περιλαμβάνει και τις πρακτικές πτυχές, οπότε ο εμπειρογνώμονας θα πρέπει να επιλέγει κατάλληλο εξοπλισμό και πρακτικές μεθόδους, ώστε να διαβεβαιώνει ότι η δόση που προκύπτει από την έκθεση, διατηρείται στο κατώτερο ευλόγως εφικτό επίπεδο. Η διαδικασία της βελτιστοποίησης, ακόμη περιλαμβάνει:

- Τον καθορισμό και τη χρήση διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς για όλες τις ακτινοδιαγνωστικές εξετάσεις.
- Τι διασφάλιση της ποιότητας, συμπεριλαμβανόμενου του ποιοτικού ελέγχου.
- Την εκτίμηση των δόσεων του ασθενούς.

6.6. Συνεχής εκπαίδευση

Οι πραγματογνώμονες και οι εμπειρογνώμονες που πραγματοποιούν ιατρικές εκθέσεις ή πρακτικές πτυχές μιας διαδικασίας θα πρέπει να έχουν τη δέουσα κατάρτιση σχετικά με τις εν λόγω ακτινολογικές πράξεις. Αυτό σημαίνει, ότι όλοι οι επαγγελματίες που εργάζονται άμεσα ή έμμεσα στην ακτινολογική εγκατάσταση, για την οποία είναι υπεύθυνος ο κάτοχος, θα πρέπει να είναι και διπλωματούχοι και καταρτισμένοι.

Τα κράτη-μέλη μεριμνούν, ώστε οι πραγματογνώμονες και οι εμπειρογνώμονες να διαθέτουν κατάλληλη θεωρητική και πρακτική κατάρτιση στις ακτινολογικές τεχνικές, καθώς και επαγγελματικές ικανότητες στον τομέα της ακτινοπροστασίας. Οι πραγματογνώμονες και οι εμπειρογνώμονες θα πρέπει να αποκτούν κατάλληλες θεωρητικές γνώσεις για την ακτινοβολία μαζί με σχετική πρακτική εμπειρία καθώς και κατάλληλες πρακτικές ακτινοπροστασίας για τον τομέα εξειδίκευσής τους.

Η απαίτηση για συνεχή εκπαίδευση και κατάρτιση μετά την ολοκλήρωση των σπουδών των πραγματογνώμονων και των εμπειρογνώμονων εμφανίζεται για πρώτη φορά σε σχετική οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (άρθρο 7.3). Επιπλέον στην ειδική περίπτωση της κλινικής χρήσης νέων τεχνικών, υπάρχει η απαίτηση για κατάρτιση σχετικά με τις τεχνικές αυτές και τις σχετικές απαιτήσεις ακτινοπροστασίας.

Υπεύθυνος για την απασχόληση διπλωματούχων καταρτισμένων ατόμων, τα οποία εργάζονται άμεσα ή έμμεσα στην ακτινολογική εγκατάσταση είναι ο κάτοχος του ακτινολογικού εξοπλισμού για τον οποίο είναι υπόλογος. Κατά συνέπεια κάθε κάτοχος θα πρέπει να κρατάει και να έχει διαθέσιμο για επιθεώρηση από αρμόδια αρχή, ένα ενημερωμένο αρχείο όλων των απασχολούμενων με στοιχεία για την αρχική τους εκπαίδευση και τη συνεχή τους εκπαίδευση.

Βασικός σκοπός της συνεχούς εκπαίδευσης θα πρέπει να είναι η ενημέρωση των επαγγελματιών και η ανάπτυξη εκείνων των επαγγελματικών δεξιοτήτων τις οποίες απαιτούν οι εξελίξεις που θα συνοδεύσουν την εφαρμογή των νέων οδηγιών. Ταυτόχρονα θα πρέπει να προσβείται και η γενικότερη βελτίωση του επιπέδου επιστημονικής γνώσης σε θεωρητικά θέματα ακτινοπροστασίας, η οποία θα ενδυναμώσει την ανάπτυξη και εφαρμογή ορθών πρακτικών ακτινοπροστασίας. Πρακτικές που θα οδηγήσουν τελικά σε μείωση της δόσης, σε βελτιστοποίηση των διαγνωστικών πληροφοριών και θα προκαλέσουν μείωση του κόστους.

6.7. Πρωτόκολλα

Για κάθε τυποποιημένα ακτινολογική πράξη θα πρέπει να καταρτιστούν γραπτά πρωτόκολλα για κάθε εξοπλισμό. Αυτή η κατάρτιση θα περιλαμβάνει την επισήμανση των πινάκων έκθεσης και άλλων δεδομένων και μπορεί να είναι ένας τρόπος επίτευξης ομοιομορφίας και τήρησης οριστών πρακτικών όπως για παράδειγμα:

- Διαδικασίες διακρίβωσης της ταυτοπροσωπίας του ατόμου που πρόκειται να εκτεθεί στην ακτινοβολία. Η διαδικασία θα πρέπει να προβλέπει πώς θα γίνει η επιβεβαίωση των ατομικών στοιχείων του ασθενούς π.χ. με την ερώτηση "Ποιο είναι το όνομά σας;" κ.ο.κ. και ποιος θα κάνει αυτήν την εξακρίβωση π.χ. ο εμπειρογνώμονας.
- Διαδικασίες για γυναίκα σε αναπαραγωγική ηλικία προκειμένου να βεβαιωθεί, αν αυτά είναι ή όχι έγκυος.
- Διαδικασίες για περιορισμό των δόσεων για βιοιατρικούς και ιατρικούς ερευνητικούς σκοπούς, όπου δεν αναμένεται από την έκθεση άμεσο ιατρικό όφελος για το άτομο.

Μια τέτοια όμως εργασία απαιτεί μια τρομακτικά μεγάλη προσπάθεια και, όταν γίνει, δε θα μπορεί εύκολα να επανεξετάζεται και να αναθεωρείται. Σύμφωνα με τα παραπάνω ο κάτοχος της ακτινολογικής εγκατάστασης θα πρέπει να διαβεβαιώνει ότι υπάρχουν γραπτές διαδικασίες για τις ιατρικές εκθέσεις για όλα τα θέματα που προβλέπονται και ότι κάθε πραγματογνώμονας και κάθε εμπειρογνώμονας τηρεί αυτές τις γραπτές διαδικασίες. Οι διαδικασίες αυτές θα πρέπει να καταρτιστούν σε συνεργασία με τους επαγγελματίες, να είναι συγκεκριμένες - όπου χρειάζεται - και να επιτρέπουν την επαγγελματική κρίση όπου αυτό είναι απαραίτητο.

Περίληψη

Η οδηγία 97/43 εισάγει σημαντικές αλλαγές στις ευθύνες των φυσικών προσώπων, οι οποίες σχετίζονται με την έκθεση, στις διαδικασίες αιτιολόγησης και βελτιστοποίησης, στην απαίτηση για συνεχή εκπαίδευση και στη χρήση διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς και πρωτοκόλλων.

Η οδηγία αναγνωρίζει τέσσερα φυσικά πρόσωπα που σχετίζονται με την έκθεση απόρων για ιατρικούς λόγους: τον κάτοχο, τον παραπέμποντα, τον πραγματογνώμονα και τον εμπειρογνώμονα και περιγράφει αναλυτικά τις ευθύνες τους.

Η διαδικασία της αιτιολόγησης διαρείται σε δύο επίπεδα: στην παροχή από τον παραπέμποντα επαρκών κλινικών πληροφοριών πάνω στις οποίες θα βασιστεί η αιτιολόγηση της έκθεσης, και στην αιτιολόγηση, αυτή καθ' εαυτή που γίνεται από τον πραγματογνώμονα.

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης περιλαμβάνει και τις πρακτικές πτυχές, οπότε ο εμπειρογνώμονας θα πρέπει να επιλέγει κατάλληλο εξοπλισμό και πρακτικές μεθόδους, ώστε να διαβεβαιώνει ότι η δόση που προκύπτει από την έκθεση, διατηρείται στο κατώτερο ευλόγως εφικτό επίπεδο.

Οι πραγματογνώμονες και οι εμπειρογνώμονες θα πρέπει να αποκτούν κατάλληλες θεωρητικές γνώσεις καθώς και κατάλληλες πρακτικές ακτινοπροστασίας για τον τομέα εξειδίκευσής τους τόσο ως μαθητές ή σπουδαστές όσο και ως διπλωματούχοι. Η απαίτηση για συνεχή εκπαίδευση και κατάρτιση μετά την ολοκλήρωση των σπουδών εμφανίζεται για πρώτη φορά σε σχετική οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (άρθρο 7.3).

Τέλος για κάθε τυποποιημένη ακτινολογική πράξη θα πρέπει να καταρτιστούν γραπτά πρωτόκολλα ενημερωμένα για κάθε εξοπλισμό.

Ερωτήσεις

1. Το φυσικό ή νομικό πρόσωπο που έχει την ευθύνη μιας δεδομένης ακτινολογικής εγκατάστασης ονομάζεται
Α. Κάτοχος
Β. Παραπέμπων
Γ. Πραγματογνώμονας
Δ. Εμπειρογνώμονας
2. Ο επαγγελματίας υγείας που είναι εξουσιοδοτημένος να αναλαμβάνει την κλινική ευθύνη για μια ιατρική έκθεση ονομάζεται
Α. Κάτοχος
Β. Παραπέμπων
Γ. Πραγματογνώμονας
Δ. Εμπειρογνώμονας
3. Ο επαγγελματίας υγείας (other health professional) που είναι εξουσιοδοτημένος να παραπέμπει άτομα για να εκτεθούν σε ακτινοβολίες για ιατρικούς λόγους ονομάζεται
Α. Κάτοχος
Β. Παραπέμπων
Γ. Πραγματογνώμονας
Δ. Εμπειρογνώμονας
4. Ο επαγγελματίας υγείας που αναλαμβάνει τις πρακτικές πτυχές που σχετίζονται με τη διαδικασία οποιασδήποτε ιατρικής έκθεσης ονομάζεται
Α. Κάτοχος
Β. Παραπέμπων
Γ. Πραγματογνώμονας
Δ. Εμπειρογνώμονας
5. Οι οδηγίες Euratom της Ευρωπαϊκής Ένωσης βασίζονται στις συστάσεις
Α. της ICRP
Β. της UNSCEAR
Γ. της BEIR
Δ. της ILO

Απαντήσεις

1. Α
2. Γ
3. Β
4. Δ
5. Α

The background is a deep blue with a complex pattern of thin, light blue lines forming various geometric shapes, including circles, triangles, and intersecting paths. A large, white, stylized number '7' is positioned in the upper right quadrant. The overall aesthetic is scientific and technical.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

7

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ
ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ



ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Συνοπτικά περιεχόμενα

Εισαγωγή

7.1. Όρια δόσεων

7.2 Αρχές προστασίας εργαζομένων

7.3. Μέτρα ακτινοπροστασίας προσωπικού

7.4. Μέτρα ακτινοπροστασίας για τον ασθενή

Περίληψη



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να περιγράφεις το σκοπό, τις δραστηριότητες και την οργάνωση της Ε.Ε.Α.Ε.
2. Να αναφέρεις το νόμο, ο οποίος εγκρίθηκε ως Κανονισμός Ακτινοπροστασίας
3. Να αναφέρεις τα όρια δόσεων που ισχύουν για τους εκτιθέμενους εργαζόμενους για ολόσωμη έκθεση, τα άκρα και τον οφθαλμό
4. Να αναφέρεις τα όρια δόσεων που ισχύουν για το κοινό για ολόσωμη έκθεση, τα άκρα και τον οφθαλμό
5. Να αναφέρεις τι περιλαμβάνουν οι αρχές προστασίας του προσωπικού
6. Να αναφέρεις τα καθήκοντα του υπεύθυνου ακτινοπροστασίας
7. Να αναφέρεις τους τομείς πρακτικής, στους οποίους αναφέρονται οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας για το προσωπικό
8. Να αναφέρεις τους τομείς πρακτικής, στους οποίους αναφέρονται οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας για τον ασθενή

Ορολογία

Διασφάλιση ποιότητας

Εκτιθέμενος εργαζόμενος

Ελεγχόμενη ζώνη

Ε.Ε.Α.Ε., Ελληνική Επιτροπή

Ατομικής Ενέργειας

Επιβλεπόμενη ζώνη

Εργαζόμενος κατηγορίας Α

Εργαζόμενος κατηγορίας Β

Κανονισμός

Ακτινοπροστασίας

Κοινό

Μαθητευόμενος

Περιοριστικά επίπεδα δόσεων

Εισαγωγή

Κάθε κράτος έχει αναπτύξει ειδικές υπηρεσίες που ελέγχουν την εφαρμογή των Κανονισμών Ακτινοπροστασίας. Στην Ελλάδα όργανο της πολιτείας για θέματα ακτινοπροστασίας, πυρηνικής ενέργειας και πυρηνικής τεχνολογίας είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε.). Η Ε.Ε.Α.Ε., ιδρύθηκε το 1954 και από το 1987 υπάγεται στο Υπουργείο Ανάπτυξης ως αποκεντρωμένο Δημόσια Υπηρεσία. Σκοπός της Ε.Ε.Α.Ε. είναι η εισήγηση για τη λήψη μέτρων, η σύνταξη κανονισμών, η άσκηση ελέγχων, η παρακολούθηση και η προώθηση επιστημονικών και τεχνολογικών ερευνών:

- Στην προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τις ιονίζουσες ακτινοβολίες.
- Στις εφαρμογές της πυρηνικής τεχνολογίας και των πυρηνικών επιστημών στη βιομηχανία, στη γεωργία, στην υγεία, στις βιολογικές και άλλες επιστήμες.
- Στην ειρηνική χρησιμοποίηση της πυρηνικής ενέργειας.

Στις δραστηριότητες της Ε.Ε.Α.Ε. ανήκουν τα παρακάτω:

- Εκδίδει οδηγίες ασφαλείας, συντάσσει κανονισμούς και παρακολουθεί την εφαρμογή τους.
- Εκδίδει άδειες και πραγματοποιεί ελέγχους σε ιατρικές, βιομηχανικές και ερευνητικές εφαρμογές ακτινοβολιών.
- Εισηγείται σε αρμόδιους φορείς τη λήψη προληπτικών μέτρων ή την εκτέλεση διορθωτικών ενεργειών σε περίπτωση παραβίασης οδηγιών ή κανονισμών ή σε περίπτωση ατυχημάτων.
- Ελέγχει την διακίνηση ραδιοϊσοτόπων και ραδιενεργών υλικών και διαχειρίζεται τα απόβλητα.
- Παρακολουθεί την ραδιενέργεια του περιβάλλοντος στον ελλαδικό χώρο.
- Δοσιμετρεί τους εργαζόμενους με ακτινοβολίες.
- Επιμορφώνει και εκπαιδεύει το προσωπικό και τον πληθυσμό.

Οργανιστικά η Ε.Ε.Α.Ε. αποτελείται από τρεις Διευθύνσεις:

- Την Διεύθυνση Ρύθμισης Πολιτικής Ασφάλειας και Ακτινοπροστασίας.
- Την Διεύθυνση Αδειών και Ελέγχων που διαθέτει τμήμα Αδειών και Ελέγχων, τμήμα Δοσιμετρίας, τμήμα Ελέγχου Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος και Εργαστήρια Μέτρησης Ραδονίου, Μη Ιονιζουσών Ακτινοβολιών και Βαθμονόμησης Οργάνων Μέτρησης Ακτινοβολιών.
- Την Διεύθυνση Εκπαίδευσης, Έρευνας και Ανάπτυξης.

Η οδηγία 97/43 εγκρίθηκε στην Ελλάδα ως "Κανονισμός Ακτινοπροστασίας" με την υπουργική απόφαση 1014/2001. Στον Κανονισμό αυτό

ο όρος *παραπέμπων* (prescriber) αποδόθηκε ως *θεράπων ιατρός* και ο όρος *πραγματογνώμονας* (practitioner) αποδόθηκε ως *παραπέμπων ιατρός*. Συγκεκριμένα ως *θεράπων ιατρός* ορίζεται ο ιατρός ακτινολόγος, ιατρός ακτινοθεραπευτής, πυρηνικός ιατρός, ή οδοντίατρος, που είναι εξουσιοδοτημένος να φέρει την ευθύνη της κλινικής εξέτασης ή θεραπείας με ιοντίζουσες ακτινοβολίες ενώ ως *παραπέμπων ιατρός* ορίζεται ο ιατρός ή οδοντίατρος που είναι εξουσιοδοτημένος να παραπέμπει άτομα σε έναν *θεράπων ιατρό* για έκθεση σε ακτινοβολία.

Ο *θεράπων ιατρός* μπορεί να αναθέτει ορισμένες πρακτικές πτυχές της έκθεσης σε άλλα άτομα, με την προϋπόθεση ότι διαθέτουν την από το νόμο προβλεπόμενη για το σκοπό αυτό επαγγελματική εκπαίδευση και εξειδίκευση.

7.1. Όρια δόσεων

Οι βασικές αρχές στην ακτινοπροστασία είναι η αρχή της αιτιολόγησης, η αρχή της βελτιστοποίησης και η αρχή των ορίων δόσεων. Σύμφωνα με την αρχή των ορίων δόσεων, το άθροισμα δόσεων που λαμβάνονται δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια δόσεων που καθορίζονται στους κανονισμούς. Οι δύο πρώτες αρχές εφαρμόζονται για κάθε έκθεση σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες - περιλαμβανόμενων και των ιατρικών εκθέσεων - ενώ η τρίτη αρχή δεν εφαρμόζεται στις ιατρικές εκθέσεις.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ακτινοπροστασίας τα ετήσια όρια δόσεων σε mSv για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους, τους μαθητευόμενους 16-18 ετών και το κοινό είναι τα παρακάτω (Πιν.7.1).

Όριο δόσεων	Επαγγελματικά Μαθητευόμενοι		
	Εκτιθέμενοι	16 - 18 ετών	Κοινό
Όριο ενεργού δόσεως (ολόσωμη έκθεση)	20	6	1
Όριο ισοδύναμης δόσεως για το άκρο χέρι, το αντιβραχίονιο, το άκρο πόδι και την κνήμη	500	150	
Όριο ισοδύναμης δόσεως για το δέρμα	500	150	50
Όριο ισοδύναμης δόσεως για τον φακό του οφθαλμού	150	50	15

Πίνακας 7.1. Όρια δόσεων (mSv/έτος).

Για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους είναι δυνατό σε εξαιρετικές περιπτώσεις η ενεργός δόση κατά τη διάρκεια ενός μεμονωμένου έτους να φθάσει τα 50 mSv, με την προϋπόθεση ότι τα πέντε προηγούμενα συνεχόμενα έτη - συμπεριλαμβανομένου και του τρέχοντος - η ενεργός δόση δεν έχει υπερβεί τα 100 mSv.

Εργαζόμενοι κάτω των 18 ετών δεν μπορούν να απασχολούνται σε θέση εργασίας, στην οποία θα καθίστανται επαγγελματικά εκτιθέμενοι σε ακτινοβολίες.

Η τήρηση των ορίων δόσεων του πίνακα 7.1. εξοφθαλίζεται με τη χρήση των περιοριστικών επιπέδων δόσεων. Τα *περιοριστικά επίπεδα δόσεων* είναι επίπεδα δόσης που στοχεύουν στον περιορισμό των αναμενόμενων και των δυνατικών δόσεων που προέρχονται από συγκεκριμένη πρακτική ή πηγή στα πλαίσια μιας πρακτικής.

7.2. Αρχές προστασίας εργαζομένων

Οι αρχές προστασίας των εκτιθέμενων εργαζομένων περιλαμβάνουν μέτρα για την πρόληψη των εκθέσεων, τη μέτρηση των ατομικών δόσεων και την ιατρική επίβλεψη τους.

1. Τα μέτρα για την πρόληψη των εκθέσεων περιλαμβάνουν την ταξινόμηση των εκτιθέμενων εργαζομένων, την εξέταση και τον έλεγχο των μέσων προστασίας και την ταξινόμηση και οροθέτηση των περιοχών.

1α. Για λόγους ελέγχου και επίβλεψης οι εργαζόμενοι κατατάσσονται σε:

- *Κατηγορίας Α* - εργαζόμενοι που ενδέχεται να δεχτούν ενεργό δόση μεγαλύτερη από 6 mSv το έτος ή ισοδύναμη δόση μεγαλύτερη από τα τρία δέκατα των ορίων δόσης για τους φακούς των οφθαλμών, το δέρμα και τα άκρα που καθορίζονται στον πίνακα 7.1.
- *Κατηγορίας Β* - όσοι δεν ενδέχεται να λάβουν αυτήν τη δόση.

1β. Η εξέταση και ο έλεγχος των μέσων προστασίας περιλαμβάνει τη μελέτη ακτινοπροστασίας και την άδεια λειτουργίας του εργαστηρίου. Η μελέτη ακτινοπροστασίας είναι ένας κριτικός προκαταρκτικός έλεγχος των μελετών των εγκαταστάσεων από την άποψη της προστασίας από ακτινοβολίες. Η άδεια λειτουργίας αφορά την έγκριση νέων εγκαταστάσεων καθώς και τον περιοδικό έλεγχο των εγκαταστάσεων, των μέσων και των μεθόδων προστασίας (βλ. Κεφ.8).

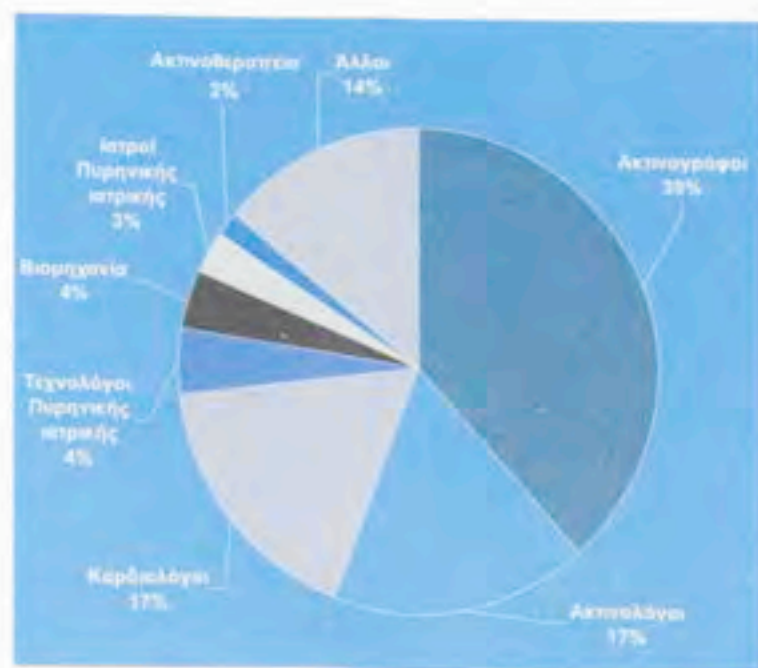
1γ. Οι χώροι εργασίας ταξινομούνται σε ζώνες ελεγχόμενης περιοχής και σε ζώνες επιβλεπόμενης περιοχής.

- Η *ελεγχόμενη ζώνη* είναι μια περιοχή που διέπεται από κανονισμούς για λόγους προστασίας από ιοντίζουσες ακτινοβολίες και η πρόσβαση της οποίας υπόκειται σε έλεγχο. Ελεγχόμενη ζώνη χαρακτηρίζεται κάθε περιοχή μέσα στην οποία ενδέχεται να γίνει υπέρβαση των 6 mSv ετησίως.
- Η *επιβλεπόμενη ζώνη* είναι μια περιοχή που υπόκειται στην κατάλληλη επίβλεψη για λόγους προστασίας από ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Επιβλεπόμενη ζώνη χαρακτηρίζεται κάθε περιοχή μέσα στην οποία ενδέχεται να γίνει υπέρβαση του 1 mSv ανά έτος και η οποία δεν θεωρείται ελεγχόμενη ζώνη.

16. Η *οριοθέτηση* των χώρων εργασίας περιλαμβάνει τη σήμανση των πηγών, την τοποθέτηση εμφανούς οπτικού ή και ακουστικού σήματος στην είσοδο του θαλάμου που θα λειτουργεί κατά το χρόνο της έκθεσης, την ανάρτηση οδηγιών για τις εγκύους στην αίθουσα αναμονής, την εκπόνηση οδηγιών εργασίας για την αποφυγή των κινδύνων από ακτινοβολίες και την καταγραφή των δόσεων.

2. Η *μέτρηση των ατομικών δόσεων* γίνεται από την Ε.Ε.Α.Ε. με μηνιαία μέτρηση των ατομικών δόσεων περίπου 6500 εργαζόμενων με δοσιμετρα TLD (σχ.7.1).

Η εκτίμηση των ατομικών δόσεων είναι συστηματική για τους εκτιθέμενους εργαζόμενους της κατηγορίας Α ενώ η παρακολούθηση των εργαζομένων της κατηγορίας Β μπορεί να γίνει για να καταδείξει τουλάχιστον ότι



Σχ.7.1. Δοσιμετρούμενα άτομα κατά επάγγελμα (Ε.Ε.Α.Ε. 1998).

οι συγκεκριμένοι εργαζόμενοι έχουν όρθως καταταγεί στην κατηγορία Β. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης των ατομικών δόσεων πρέπει να υποβάλλονται στις εξουσιοδοτημένες υγειονομικές υπηρεσίες εργασίας και θα πρέπει να είναι στη διάθεση των ενδιαφερόμενων εργαζομένων. Τα αποτελέσματα καταχωρούνται και αρχειοθετούνται για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 30 ετών μετά το τέλος της εργασίας που συνεπάγεται έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία. Σε οποιαδήποτε περίπτωση κατά την οποία η ενεργός δόση που έλαβε ο επαγγελματικά εκτιθέμενος υπερβαίνει τα 6 mSv ανά έτος, ο υπεύθυνος ακτινοπροστασίας πρέπει να διερευνήσει τα αίτια, να προτείνει τη λήψη κατάλληλων μέτρων και να υποβάλει γραπτή έκθεση στην Ε.Ε.Α.Ε.

3. Τέλος η *ιατρική επίβλεψη* εκτιθέμενων εργαζομένων περιλαμβάνει ιατρική εξέταση πριν από την πρόσληψη, περιοδικές εξετάσεις υγείας τουλάχιστον μια φορά το έτος, καθώς και τη δημιουργία ιατρικού φακέλου με τα αποτελέσματα των εξετάσεων και την καταγραφή των δόσεων.

7.3. Μέτρα ακτινοπροστασίας για το προσωπικό

Οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας για το προσωπικό στην ακτινοδιαγνωστική αναφέρονται:

- Στη χρήση των θωρακισμών και των προστατευτικών.
- Στη συγκράτηση ασθενούς που δε συνεργάζεται.
- Στην εργαζόμενη έγκυο γυναίκα.
- Στη χρήση φορητών (τροχήλατων) ακτινολογικών μηχανημάτων.
- Στη συνεργασία με τον υπεύθυνο ακτινοπροστασίας και
- Στη συμμετοχή σε πρόγραμμα διασφάλισης ποιότητας.

Η έκθεση θα πρέπει να ελέγχεται μόνο από τη θέση του χειριστήριου ή πίσω από προστατευτικά πετάσματα. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε το προσωπικό πρέπει να φοράει προστατευτικά ποδιά πάχους τουλάχιστον 0,25 mm ισοδύναμου μολύβδου. Η χρήση δόσης δεν θα πρέπει ποτέ να κατευθύνεται προς το χειριστήριο και το προσωπικό δοσιμετρο πρέπει να τοποθετείται πάντα στο κολάρο έξω από την προστατευτική ποδιά.

Για τη συγκράτηση ασθενούς που δεν μπορεί να συνεργαστεί, όπου απαιτείται επιβάλλεται η χρήση μηχανικών συσκευών στήριξης. Στην περίπτωση που οι παραπάνω συσκευές δεν επαρκούν για την ικανοποιητική στήριξη του ασθενούς, τελευταία επιλογή είναι η στήριξή του από άτομο που δεν ασχολείται επαγγελματικά με ακτινοβολίες. Χρήσιμη είναι η ύπαρξη γραπτών οδηγιών που θα προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα

επιλέγεται το άτομο (συνήθως είναι συνοδός μέλος της οικογένειας ή φίλος του ασθενούς). Το άτομο αυτό πρέπει υποχρεωτικά να φορέσει προστατευτικά ποδιά και αν είναι δυνατόν γάντια και πρέπει να τοποθετηθεί ορθογώνιακά ως προς την πρωτογενή δόση. Κανένα άτομο δεν μπορεί να χρησιμοποιείται συνέχεια για τη συγκράτηση ασθενών.

Η εγκυμοσύνη του προσωπικού που εργάζεται με ιοντίζουσες ακτινοβολίες, πρέπει να δαλώνεται έγκαιρα, εθελοντικά και γραπτά. Σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να τερματισθεί η εργασιακή σχέση εξαιτίας της εγκυμοσύνης. Μετά τη δάλωση η έγκυος είτε απομακρύνεται από το χώρο εργασίας με ιοντίζουσες ακτινοβολίες είτε λαμβάνονται μέτρα, ώστε η έκθεσή της στο επαγγελματικό περιβάλλον να είναι τόσο, ώστε η προς το έμβryo ισοδύναμη δόση που αθροίζεται κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ της δάλωσης της εγκυμοσύνης και του τοκετού να είναι τόσο χαμηλή όσο είναι λογικά εφικτό και να μην υπερβαίνει σε οποιαδήποτε περίπτωση τα 1mSv.

Η χρήση φορητών ακτινολογικών μηχανημάτων επιτρέπεται μόνο, όταν ο ασθενής δεν μπορεί ή δεν πρέπει να μεταφεί στον ακτινολογικό θάλαμο (άρθρο 3.13.5). Επιβάλλεται η χρήση μολύβδινης ποδιάς η οποία πρέπει να συνοδεύει μόνιμα το φορητό. Ο διακόπτης λειτουργίας της λαχνίας θα πρέπει να συνδέεται με τον πίνακα ελέγχου με καλώδιο μήκους τουλάχιστον 2m. Απαγορεύεται η συγκράτηση κασετών από το προσωπικό και όπου απαιτείται επιβάλλεται η χρήση ειδικών μηχανικών υποδοχέων. Μόνο ο ασθενής θα πρέπει να εκτίθεται στη χρήσιμη δόση. Η ελάχιστη επιτρεπτή προβολική απόσταση είναι 30cm. Εάν ένα φορητό μηχάνημα χρησιμοποιείται συνεχώς στον ίδιο χώρο, τότε η εγκατάσταση θεωρείται μόνιμη και πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις ακτινοπροστασίας των μόνιμων εγκαταστάσεων.

Με τον όρο διασφάλιση ποιότητας (quality assurance), εννοείται η οργανωμένη λειτουργία του προσωπικού του ακτινοδιαγνωστικού εργαστηρίου με κύριο σκοπό τη βελτίωση της απεικόνισης, τη μείωση της δόσης του εξεταζομένου και του προσωπικού και τη μείωση του κόστους της εξέτασης. Τα προγράμματα διασφάλισης ποιότητας περιλαμβάνουν σειρά ποσοτικών ελέγχων των μηχανημάτων και μέτρα για την εκτίμηση της δόσης του ασθενούς. Επιβάλλεται ποσοτικός έλεγχος για όλα τα ακτινοδιαγνωστικά μηχανήματα και σύμφωνα με τα επαγγελματικά δικαιώματα των αποφοίτων ΤΕΙ (ΠΔ. 164/96) οι Τεχνολόγοι Ακτινολόγοι οφείλουν να προβαίνουν στον έλεγχο αυτό.

7.4. Μέτρα ακτινοπροστασίας για τον ασθενή

Οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας για τον ασθενή που εξετάζεται με ακτινοδιαγνωστικά μηχανήματα αναφέρονται:

- Στην ολική διάθεση και στους παράγοντες έκθεσης,
- Στην μη υπέρβαση των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς,
- Στον περιορισμό των διαφραγμάτων,
- Στη χρήση προστατευτικών,
- Στη συγκράτηση καθετών και
- Στην προστασία του εμβρύου.

Θα πρέπει να γίνεται προσεκτικός έλεγχος των παραγόντων έκθεσης, των υλικών ακτινογράφησης και σωστή επεξεργασία των φιλμ. Δεν υπάρχει περιορισμός στις ακτινογραφίες που μπορεί να κάνει ο ασθενής, όταν οι εκθέσεις είναι πλήρως αιτιολογημένες. Όταν τα στοιχεία επιλέγονται χειροκίνητα, επιβάλλεται η ύπαρξη γραπτού πίνακα στοιχείων.

Για κάθε ακτινολογική εξέταση θα πρέπει να μετρείται και να αξιολογείται η δόση στον ασθενή και να συγκρίνεται με τα αντίστοιχα διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς (άρθρο 3.7.9). Τα διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς για κάθε ακτινολογική εξέταση, δηλαδή τα επίπεδα δόσης για τοπικές εξετάσεις ομάδων ασθενών τοπικού μεγέθους, θα καθοριστούν με εγκυκλίους της Ε.Ε.Α.Ε. Δεν επιτρέπεται η συστηματική υπέρβαση των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς.

Μια πολύ σημαντική διάταξη είναι η διάταξη που προβλέπει ότι το μέδιο ακτινοβολίας θα πρέπει να περιορίζεται μόνο στην περιοχή του ενδιαφέροντος ή το πολύ στις διαστάσεις της κασέτας μειωμένο περιμετρικά κατά 1cm (άρθρο 3.9.2).

Θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την προστασία των οργάνων αναπαραγωγής σε όλους τους ασθενείς που διανύουν την αναπαραγωγική ηλικία σε όλες τις ακτινοδιαγνωστικές εξετάσεις (άρθρο 3.7.5), εκτός από εκείνες τις περιπτώσεις που έχουν διαγνωστικό ενδιαφέρον ή που η προστασία τους θα εμποδίσει τη διαγνωστική διαδικασία.

Απαγορεύεται η ταυτόχρονη εξέταση περισσότερων του ενός ασθενών μέσα στον ίδιο ακτινοδιαγνωστικό θάλαμο. Κατά τη διάρκεια της ακτινογραφικής έκθεσης στο θάλαμο μπορεί να παρίσταται μόνο το απαραίτητο προσωπικό και το προσωπικό που εκπαιδεύεται. Άλλοι ασθενείς, οι οποίοι δεν μπορούν να απομακρυνθούν από το θάλαμο, θα πρέπει να προστατεύονται κατάλληλα. Τα άτομα αυτά θα πρέπει να τοποθετούνται κατάλληλα, ώστε κανένα τμήμα του σώματός τους να μην παρεμβάλλεται στην

χρήσιμη δόση χωρίς να προστατεύεται από τουλάχιστον 0,5mm ισοδύναμου μαλύβδου.

Θα πρέπει να υπάρχουν γραπτές οδηγίες στην αίθουσα αναμονής των ασθενών ότι η γυναίκα χρειάζεται να ενημερώσει το προσωπικό σε περίπτωση υποψίας εγκυμοσύνης. Θα πρέπει να γίνεται ερώτηση σε όλες τις γυναίκες που είναι ικανές για τεκνοποίηση πριν από κάθε ακτινογραφία αν υπάρχει περίπτωση εγκυμοσύνης ή ποια ήταν η ημερομηνία της τελευταίας περιόδου. Σε περίπτωση εγκυμοσύνης πρέπει να γίνονται μόνο οι τελείως απαραίτητες αιτιολογημένες ακτινολογικές εξετάσεις και αφού προηγουμένως έχει εξετασθεί το ενδεχόμενο άλλων εναλλακτικών τεχνικών.

Περίληψη

Στην Ελλάδα όργανο της πολιτείας για θέματα ακτινοπροστασίας, πυρηνικής ενέργειας και πυρηνικής τεχνολογίας είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε.). Η οδηγία 97/43 εγκρίθηκε στην Ελλάδα ως "Κανονισμός Ακτινοπροστασίας" με την υπουργική απόφαση 1014/2001.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ακτινοπροστασίας τα ετήσια όρια δόσεων για αλόσωμη έκθεση για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους είναι 20 mSv, τους μαθητευόμενους 16-18 ετών 6 mSv και το κοινό 1 mSv.

Οι αρχές προστασίας των εκτιθέμενων εργαζομένων περιλαμβάνουν μέτρα για την πρόληψη των εκθέσεων - εργαζόμενοι κατηγορίας Α και Β, ελεγχόμενη ζώνη, επιβλεπόμενη ζώνη - τη μέτρηση των ατομικών δόσεων και την ιατρική επίβλεψη των εκτιθέμενων εργαζομένων.

Οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας για το προσωπικό στην ακτινοδιαγνωστική αναφέρονται στη χρήση των θωρακίσεων και των προστατευτικών, στη συγκράτηση ασθενούς που δεν συνεργάζεται, στην εργασία έγκυοι γυναίκα, στην χρήση φορητών, στη συνεργασία με τον υπεύθυνο ακτινοπροστασίας και στη συμμετοχή σε πρόγραμμα διασφάλισης ποιότητας.

Οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας για τον ασθενή που εξετάζεται με ακτινοδιαγνωστικά μηχανήματα αναφέρονται στην ολική διήθηση και στους παράγοντες έκθεσης, στην μη υπέρβαση των διαγνωστικών επιπέδων αναφοράς, στον περιορισμό των διαφραγμάτων, στη χρήση προστατευτικών, στη συγκράτηση κασέτων και στην προστασία του εμβρύου.

Ερωτήσεις

- Τα ετήσια όρια δόσεων εκτιθέμενων εργαζόμενων για αλόωμη έκθεση σύμφωνα με τον Κανονισμό Ακτινοπροστασίας είναι
 - 2000 mSv
 - 200 mSv
 - 20 mSv
 - 2 mSv
- Τα όρια δόσεων για έγκυο εργαζόμενη γυναίκα για αλόωμη έκθεση καθ' όλη την διάρκεια της εγκυμοσύνης σύμφωνα με τον Κανονισμό Ακτινοπροστασίας είναι
 - 1000 mSv
 - 100 mSv
 - 10 mSv
 - 1 mSv
- Όταν γνωστοποιηθεί μια εγκυμοσύνη το όριο δόσης για το έμβρυο είναι
 - 1 mSv/μήνα
 - 1 mSv/9 μήνες
 - 1 mSv/έτος
 - 20 mSv/έτος
- Τα όρια δόσεων κοινού για αλόωμη έκθεση σύμφωνα με τον Κανονισμό Ακτινοπροστασίας είναι
 - 10 mSv/μήνα
 - 10 mSv/έτος
 - 1 mSv/μήνα
 - 1 mSv/έτος
- Σε μόνιμες εγκαταστάσεις η έκθεση θα πρέπει να ελέγχεται μόνο από τη θέση του χειριστήριου ή πίσω από προστατευτικά πετάσματα
 - Σωστό
 - Λάθος
- Ποιος θα ωφεληθεί κυρίως από την ακόλουθη πρακτική ακτινοπροστασίας: "Προστατευτική θωράκιση μεταξύ ακτινογραφικού θαλάμου και μη ελεγχόμενης περιοχής";
 - Ο ασθενής
 - Ο ακτινογράφος
 - Το κοινό

7. Σε ένα φορητό μηχάνημα η απόσταση εστίας - δέρματος δεν μπορεί να είναι λιγότερη από
- A. 25 cm
 - B. 30 cm
 - Γ. 40 cm
 - Δ. 50 cm
8. Ποια από τις παρακάτω πρακτικές δεν πρέπει να ακολουθείται για τη συγκράτηση ασθενούς που αδυνατεί να συνεργαστεί
- A. Όπου είναι δυνατόν επιβάλλεται η χρήση μηχανικών συσκευών στήριξης
 - B. Οποιοσ συγκρατεί ασθενή θα πρέπει να φοράει προστατευτική ποδιά
 - Γ. Προτιμάται άτομο που δεν ασχολείται επαγγελματικά με ακτινοβολίες
 - Δ. Το ίδιο άτομο μπορεί να χρησιμοποιείται συνεχώς για τη συγκράτηση
9. Το φορητό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και όταν ο ασθενής μπορεί να μεταφερθεί στον ακτινολογικό θάλαμο
- A. Σωστό
 - B. Λάθος
10. Δεν επιβάλλεται η χρήση μολύβδινης ποδιάς όταν ο ακτινογράφος μπορεί να απομακρυνθεί με το διακόπτη λειτουργίας σε απόσταση μεγαλύτερη από 2m
- A. Σωστό
 - B. Λάθος
11. Το πεδίο ακτινοβολίας μπορεί να είναι
- A. τόσο όσο ο ακτινογράφος επιθυμεί
 - B. μεγαλύτερο μέχρι και 50% περισσότερο από τις διαστάσεις της κασέτας
 - Γ. μικρότερο τουλάχιστον κατά 50% από τις διαστάσεις της κασέτας
 - Δ. μικρότερο από τις διαστάσεις της κασέτας τουλάχιστον κατά 1cm
12. Όργανο της πολιτείας στην Ελλάδα για θέματα ακτινοπροστασίας είναι
- A. η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας
 - B. η Ελληνική Εταιρεία Ακτινοπροστασίας
 - Γ. η Ακτινολογική Εταιρεία
 - Δ. το Υπουργείο Υγείας και Πρόνοιας

13. Τα προτεινόμενα όρια δόσεων για το φακό του οφθαλμού εκφράζονται ως
 Α. έκθεση
 Β. δόση
 Γ. ισοδύναμη δόση
 Δ. ενεργός δόση
14. Τα προτεινόμενα όρια δόσεων
 Α. εκφράζονται σε Gy
 Β. εκφράζονται σε Sv
 Γ. διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο της ακτινοβολίας
 Δ. διαφέρουν ανάλογα με τη θέση εργασίας
15. Τα προτεινόμενα όρια δόσεων για αλόωαμη έκθεση εκφράζονται
 Α. σε Gy
 Β. σε rad
 Γ. ως ισοδύναμη δόση
 Δ. ως ενεργός δόση
16. Όταν γνωστοποιηθεί μια εγκυμοσύνη
 Α. πρέπει να τερματισθεί η εργασιακή σχέση της εργαζόμενης
 Β. το προτεινόμενο όριο δόσης του εμβρύου επικρατεί του ορίου δόσης της εργαζόμενης
 Γ. το προτεινόμενο όριο δόσης της εργαζόμενης επικρατεί του ορίου δόσης του εμβρύου
 Δ. απαιτείται η χρήση ειδικών μολυβδόχων ποδιών για εγκύους
17. Εργασιακοί χώροι, στους οποίους η έκθεση λόγω παρουσίας φυσικών πηγών ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από 1 mSv ανά έτος, αλλά μικρότερη από 6 mSv ανά έτος, χαρακτηρίζονται ως
 Α. επιβλεπόμενες ζώνες
 Β. ελεγχόμενες ζώνες
18. Η έκθεση των εργαζόμενων σε εργασιακούς χώρους λόγω παρουσίας φυσικών πηγών ακτινοβολίας μπορεί να είναι μεγαλύτερη από το όριο των 20 mSv ανά έτος.
 Α. Σωστό
 Β. Λάθος
19. Μια ενεργός δόση 350 mSv είναι _____ Sv
 Α. 0,035
 Β. 0,350
 Γ. 3,5
 Δ. 35

20. Μια ενεργός δόση 30 mrem είναι _____ rem
- A. 0.003
 - B. 0.03
 - Γ. 0.3
 - Δ. 3

Απαντήσεις

- | | | | |
|-----|---|-----|---|
| 1. | Γ | 11. | Δ |
| 2. | Δ | 12. | Α |
| 3. | Β | 13. | Γ |
| 4. | Δ | 14. | Β |
| 5. | Α | 15. | Δ |
| 6. | Γ | 16. | Β |
| 7. | Β | 17. | Α |
| 8. | Δ | 18. | Β |
| 9. | Β | 19. | Β |
| 10. | Β | 20. | Β |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

8

ΑΔΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ



ΑΔΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Συνοπτικό περιεχόμενο

Εισαγωγή

8.1 Ακτινολογικός Θάλαμος

8.2 Ακτινολογική Λυχνία

8.3 Θωρακίσεις χώρων

8.4 Έλεγχοι ακτινοπροστασίας



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να αναφέρεις τι πρέπει να διαθέτει ένα ακτινολογικό εργαστήριο
2. Να περιγράψεις την κατάλληλη χωροθέτηση ενός ακτινολογικού εργαστηρίου
3. Να αναφέρεις τις απαιτήσεις ακτινοπροστασίας για την ακτινολογική λυχνία
4. Να εξηγήσεις πώς υπολογίζονται οι θωρακισμοί χώρων ενός εργαστηρίου
5. Να αναφέρεις τι περιλαμβάνεται στους ελέγχους ακτινοπροστασίας.

Ορολογία

Άδεια Λειτουργίας

Διαρρέουσα ακτινοβολία

Θωράκιση

Φόρτος εργασίας

Χειριστήριο

Εισαγωγή

Το Ακτινολογικό Εργαστήριο αποτελείται από:

- Τον Ακτινολογικό θάλαμο έκτασης 20m²
- Την αίθουσα αναμονής
- Το σκοτεινό θάλαμο για την εμφάνιση και φύλαξη film
- Το γραφείο ιατρού και προσωπικού
- Την τουαλέτα προσωπικού
- Την τουαλέτα επισκεπτών

Το Εργαστήριο θα πρέπει επιπλέον να διαθέτει:

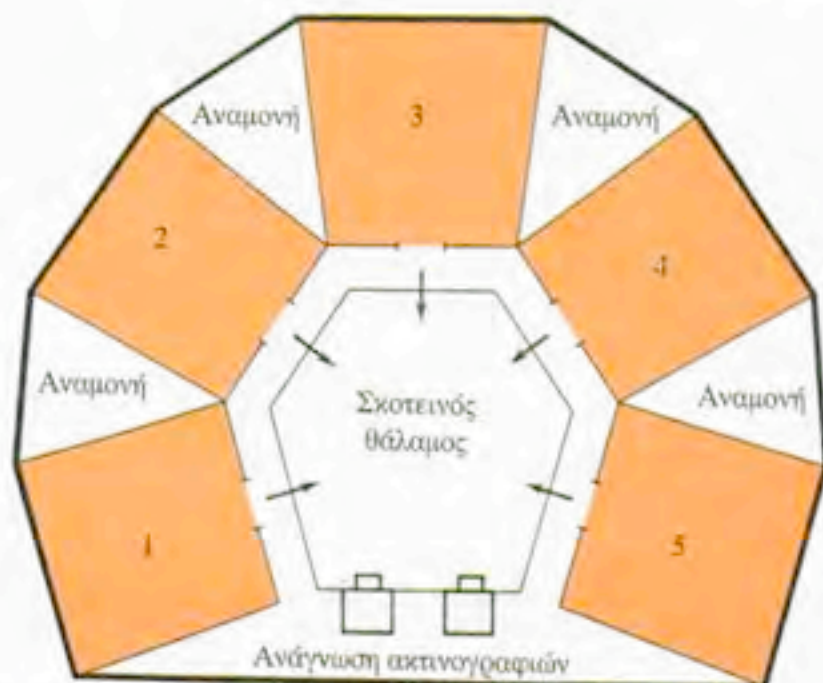
- Προστατευτικές ποδιές από μολυβδοκαουτσούκ πάχους 0,25mmPb. Ο αριθμός τους εξαρτάται από την κατηγορία του Εργαστηρίου.
- Προστατευτικά γάντια ομοίου πάχους μολυβδοκαουτσούκ με τις ποδιές.
- Ειδικούς προστατευτές για κάλυψη των ευαίσθητων οργάνων ανδρών και γυναικών.
- Πλήρη πυρασφάλεια με πυροσβεστήρες σε καίρια σημεία του Εργαστηρίου σύμφωνα με την υπόδειξη της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας.
- Σύστημα εξαερισμού ειδικώς στο σκοτεινό θάλαμο αλλά και γενικώς σε όλο το Εργαστήριο.
- Ηλεκτρικό πίνακα αυτόματο με διακόπτη διαφυγής ρεύματος.

Για να εκδοθεί άδεια λειτουργίας του Ακτινολογικού Εργαστηρίου πρέπει να πληρούνται όλες οι πιο πάνω προϋποθέσεις και φυσικά η Μελέτη Ακτινοπροστασίας και η Έκθεση Ασφαλούς Λειτουργίας, σύμφωνα με τους Κανονισμούς Ακτινοπροστασίας.

8.1. Ακτινολογικός Θάλαμος

Η τοποθέτηση των μηχανημάτων και εξαρτημάτων του Ακτινολογικού Εργαστηρίου πρέπει να είναι τέτοια, ώστε λειτουργικά το Εργαστήριο να εξυπηρετεί τους εργαζομένους αλλά και τους εξεταζομένους (περίπτωση μεταφοράς ασθενή με φορέα).

Ο χώρος του Χειριστηρίου θα πρέπει να βρίσκεται εντός του ακτινολογικού θαλάμου σε κατάλληλη θέση ώστε να υπάρχει οπτική και ακουστική επαφή μεταξύ του εξεταστή και του εξεταζομένου. Στο χώρο αυτό τοποθετείται το χειριστήριο της Ακτινολογικής Μονάδας επί της οποίας υπάρχουν ενδείξεις και όργανα για την υψηλή τάση (kV), την ένταση του ρεύματος (mA), το χρόνο εξέτασης και τα mAs. Επίσης θα πρέπει επί του



Σχ. 8.1. Σύγχρονη διάταξη Ακτινολογικού Εργαστηρίου με πέντε Ακτινολογικούς θαλάμους εκατέρωθεν του σκοτεινού θαλάμου για ταχεία διακίνηση των film. Μετά την επεξεργασία τους τα film διοχετεύονται από ειδική δίοδο στο γραφείο με διαφανασκόπια για την ανάγνωση των ακτινογραφιών. Οι αίθουσες αναμονής γειτνιάζουν με τους ακτινολογικούς θαλάμους.

χειριστηρίου ν' ανάβει κόκκινη ενδεικτική λυχνία, όταν εκπέμπεται ακτινοβολία (beam on) και την ίδια στιγμή ν' ανάβει αντίστοιχη ενδεικτική λυχνία στην πόρτα του Ακτινολογικού θαλάμου. Η εκπομπή δέσμης κατά την ώρα της εξέτασης θα πρέπει να συνοδεύεται με προειδοποιητικό ηχητικό σήμα.

Αν ο Ακτινολογικός θάλαμος διαθέτει και δεύτερη ακτινολογική λυχνία για ακτινοσκοπήσεις, τότε επί του χειριστηρίου υπάρχουν ενδείξεις για ποια από τις δύο λυχνίες λειτουργεί.

Από το χειριστήριο δίνεται η εντολή για διακοπή λειτουργίας της Ακτινολογικής Μονάδας μετά το πέρας του προκαθορισμένου χρόνου.

Όταν η εξέταση γίνεται με το σύστημα Αυτόματου Ελέγχου Έκθεσης, ο χρόνος εξέτασης καθορίζεται αυτόματα.

Όταν υπάρχει και Ακτινοσκοπική λυχνία, πρέπει η τουαλέτα των επισκεπτών να είναι κοντά στον Ακτινολογικό θάλαμο για άμεση πρόσβαση του εξεταζομένου.

Εξω από τους χώρους του Ακτινολογικού θαλάμου πρέπει να τοποθετηθούν ειδικές πινακίδες με την ένδειξη "ΠΡΟΣΟΧΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ" όπως επιβάλλουν οι Κανονισμοί.

Στο Εργαστήριο τηρείται βιβλίο (ημερολόγιο) συντήρησης των Ακτινολογικών Μονάδων, όπου καταγράφονται οι βλάβες, η αποκατάστασή τους, τα ανταλλακτικά που τοποθετήθηκαν κ.λπ.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Σε περίπτωση επέμβασης στη λυχνία απαιτείται ο έλεγχος της. Σε ειδικό βιβλίο θα πρέπει να καταχωρούνται οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε εξέταση.

Το προσωπικό του Εργαστηρίου θα πρέπει να δοσιμετρείται κάθε μήνα φορώντας, υποχρεωτικώς το δοσιμετρήτο του (φωτογραφικό ή θερμοφωσαστάγεις-TLD) και να τηρείται αρχείο.

Στην αίθουσα αναμονής θα πρέπει να υπάρχει αναρτημένη πινακίδα, η οποία θα γνωστοποιεί ότι στην περίπτωση ενδεχόμενης εγκυμοσύνης μιας εξεταζομένης θα πρέπει - πριν την εξέταση - να γίνει συνεννόηση με τον υπεύθυνο ιατρό του Εργαστηρίου.

8.2. Ακτινολογική Λυχνία

Η Ακτινολογική Λυχνία θα πρέπει να εκτελεί τις εξής κινήσεις: κατά την κατακόρυφη, παράλληλα προς το δάπεδο και να στρέφεται κατά 180°. Η ολική διάθεση της δέσμης για την τάση 100 kV να είναι 2,5μπιAl. Σ' αυτό μπορεί να συμβάλλουν εκτός από τον προσαρμοσμένο πηρό (φίλτρο) Al πάχους 2,0μπι και το υάλινο περίβλημα της λυχνίας και το παράθυρο Βαρυλίου. Επίσης, το τραπέζι να κινείται παράλληλα προς τις δύο διαστάσεις του δαπέδου.

Το ούστρα διαμόρφωσης του πεδίου ακτινοβολίας καθορίζεται από διαφράγματα και ποσοποιείται από φωτεινό πεδίο. Εξυποκόβεται ότι πρέπει το φωτεινό πεδίο να συμπίπτει με το πεδίο ακτινοβολίας και γι' αυτό θα πρέπει να γίνεται και περιοδικός έλεγχος.

Η διαρρέουσα ακτινοβολία από το κέλυφος της λυχνίας αν δεν ελεγχθεί μπορεί να δημιουργήσει τεράστια προβλήματα στην έκθεση του προσωπικού. Οι κανονισμοί απαιτούν με κλειστά διαφράγματα, τάση 100KV και μέγιστη τιμή mA και ο ρυθμός δόσεως σε απόσταση 1m να μην ξεπερνά το 1mSv/h.

8.3. Θωρακίσεις χώρων

Οι απαιτούμενες θωρακίσεις των χώρων, οι οποίοι γειτνιάζουν με τον Ακτινολογικό Θάλαμο, θα προκύψουν από την Μελέτη Ακτινοπροστασίας. Θα πρέπει η ακτινοβολία να περιορίζεται κάτω από τα εβδομαδιαία και

επίσης όρια δόσεων για κάθε κατηγορία ανθρώπων (εργαζομένων και κοινού). Ας σημειωθεί ότι η Μελέτη Ακτινοπροστασίας ακολουθεί πάντα τις δυσμενέστερες των συνθηκών που επικρατούν στο Εργαστήριο.

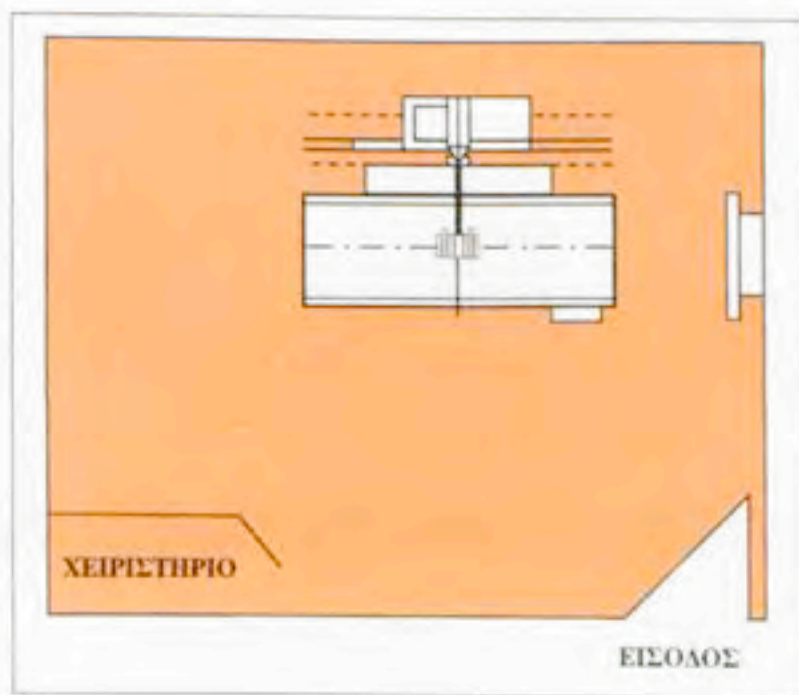
Σε κάθε Μελέτη καθοριστικό ρόλο διαδραματίζουν οι εξής παράγοντες:

- α.** Ο φόρτος εργασίας του Εργαστηρίου σε mAmin ανά εβδομάδα
- β.** Η απόσταση κάθε χώρου που μελετάται από τη λυχνία (Νόμος αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης)
- γ.** Το είδος της ακτινοβολίας που δέχεται κάθε χώρος (πρωτεύουσα, δευτερεύουσα)
- δ.** Ποιος βρίσκεται πίσω από τον προς μελέτη χώρο.

Πρώτη προτεραιότητα στη Μελέτη Ακτινοπροστασίας κατέχουν:

- α.** Ο χώρος του χειριστηρίου
- β.** Ο χώρος του σκοτεινού θαλάμου
- γ.** Οι γειτνιαζόντες με το Εργαστήριο χώροι.

Οι θωρακίσεις στα Ακτινολογικά Εργαστήρια γίνονται με φύλλα Μολύβδου (Pb). Εξυπακούεται ότι είναι απολύτως αναγκαία η θωράκιση του χώρου του χειριστηρίου διότι εκεί παραμένει το προσωπικό του Εργαστηρίου σε κάθε ακτινολογική πράξη.



Σχ.8.2. Σκαρίφημα Ακτινολογικού Θαλάμου.

Ο σκοτεινός θάλαμος απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, διότι συνήθως, εκεί φυλάσσονται και τα film που είναι ιδιαίτέρως ευαίσθητα στην ακτινοβολία. Οι γειτνιάζοντες του Εργαστηρίου χώροι εφόσον διακινούνται άνθρωποι συνεχώς - πρόσωπικό του Εργαστηρίου, άλλα Εργαστήρια, γραφεία, κατοικίες - θα πρέπει να θεωρακίζονται αποτελεσματικά.

Για την αίθουσα αναμονής θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη στην Μελέτη ότι εκεί δεν παραμένουν συνεχώς τα ίδια άτομα, επομένως ο χώρος διαφοροποιείται από τα προηγούμενα.

8.4. Έλεγχοι ακτινοπροστασίας

Στους ελέγχους ακτινοπροστασίας περιλαμβάνονται:

- α. Η σύμπτωση του φωτεινού πεδίου με το πεδίο ακτινοβολίας.
- β. Ο έλεγχος της παρεμβολής του αθμού στη δέσμη ακτινοβολίας
- γ. Ο έλεγχος διαρροής από το κελύφος της λυχνίας
- δ. Οι μετρήσεις με κατάλληλο όργανο ανίχνευσης χώρου (Survey Meter)
 - Στο χειριστήριο
 - Στην εξωτερική πλευρά των τοιχωμάτων και της πόρτας του Ακτινολογικού θαλάμου
 - Στην αίθουσα αναμονής
 - Στο σκοτεινό θάλαμο
 - Στα γραφεία και τουαλέτα προσωπικού
 - Κάτω από το δάπεδο του θαλάμου εφόσον ο θάλαμος δεν βρίσκεται στο υπόγειο του κτηρίου. Οι τιμές των μετρήσεων δεν πρέπει να ξεπερνούν τα προβλεπόμενα όρια από τους Κανονισμούς Ακτινοπροστασίας.

Σπρεϊώνεται ότι οι έλεγχοι με τα όργανα θα πρέπει να γίνονται με βάση τις πραγματικές συνθήκες που λειτουργεί το Εργαστήριο. Αυτό σημαίνει είτε ότι θα υπάρχει εξεταζόμενος είτε ομοίωμα νερού (δεδομένου ότι ο άνθρωπος αποτελείται από 80% νερό, βλ. Πίν 3.1).

Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι προϋποθέσεις για την χορήγηση Άδειας Λειτουργίας του Ακτινολογικού Εργαστηρίου. Περιγράφονται οι απαιτούμενοι χώροι για ένα Ακτινολογικό Εργαστήριο και οι τρόποι αποτελεσματικής προστασίας των εργαζόμενων και των εξεταζόμενων με την εκπόνηση μελέτης Ακτινοπροστασίας και την Έκθεση ασφαλούς λειτουργίας.

Ακολούθως γίνεται ειδική αναφορά στον ακτινολογικό θάλαμο, το χειριστήριο, και τις τεχνικές προδιαγραφές που πρέπει να έχει η ακτινολογική λυχνία (διήθηση, σύμπτωση φωτεινού πεδίου με το πεδίο ακτινοβολίας, διαρρέουσα ακτινοβολία κλ.π.).

Τέλος γίνεται μια αναφορά για τις θεαράκσιες των χώρων που απαιτούνται ώστε στο Ακτινολογικό Εργαστήριο να δοθεί Άδεια Λειτουργίας.

Ερωτήσεις

1. Πόσο είναι το συνολικό πάχος διήθησης σε mmAl μιας λυχνίας ακτίνων X
 - A. 2,5mmAl
 - B. 1,5mmAl
 - Γ. 0,5mmAl
 - Δ. 2,0mmAl
2. Πόσο πάχος μολυβδοκαουτσούκ έχει η ποδιά
 - A. 1,0mm
 - B. 1,25mm
 - Γ. 0,25mm
 - Δ. 2,0mm
3. Ποια είναι η επιτρεπόμενη διαρροή ακτινοβολίας από το κέλυφος της λυχνίας
 - A. 1mSv/h
 - B. 2mSv/h
 - Γ. 0,25mSv/h
 - Δ. 1,25mSv/h
4. Σε τι μετράται ο φόρτος εργασίας μιας Ακτινολογικής Μονάδος σε
 - A. mAmin/εβδομάδα
 - B. kVmin/εβδομάδα
 - Γ. mAs/εβδομάδα
 - Δ. κανένα από τα πιο πάνω
5. Σε τι μετράται η διαφορά δυναμικού στα άκρα Ανόδου Καθόδου της λυχνίας ακτίνων X
 - A. kV
 - B. keV
 - Γ. A
 - Δ. mA

6. Γιατί το χειριστήριο πρέπει να βρίσκεται εντός του Ακτινολογικού θαλάμου
- για να παρακολουθείται ο εξελαζόμενος από τον εξελάζοντα
 - για να πραγματοποιείται η ακτινογραφία με περισσότερα mAs
 - για να αποφευχθεί επανάληψη της ακτινογραφίας.
 - για όλα τα προαναφερθέντα
7. Αν δεν συμπίπτει το φωτεινό πεδίο με το πεδίο ακτινοβολίας μιας λυχνίας ακτίνων X θα πρέπει :
- ν'αντικατασταθεί η λυχνία
 - να διορθωθεί το φωτεινό πεδίο
 - να περιορισθεί η διαφορά δυναμικού μέχρι το πολύ 70kV κατά τις ακτινογραφικές λήψεις
 - να χρησιμοποιηθεί άλλη ποιότητα film
8. Ποιο είναι το επίσημο όριο δόσεως για τον πληθυσμό
- 1mSv
 - 100mSv
 - 0,1mSv
 - 0.01mSv
9. Ένας ακτινολογικός θάλαμος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον
- 10 cm³
 - 15 cm³
 - 20 cm³
 - 25 cm³
10. Η θωράκιση του σκευτικού θαλάμου είναι απαραίτητη
- Για τη φωτιστεγανότητα του χώρου
 - Για την προστασία των ευαίσθητων φιλμ
 - Για την προστασία του προσωπικού
 - Για περισσότερους από ένα από τους παραπάνω λόγους

Απαντήσεις

1. Α
2. Γ
3. Α
4. Α
5. Α
6. Α
7. Β
8. Α
9. Γ
10. Δ

9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ



ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Εισαγωγή

9.1 Προσωπικό εργαστηρίου

9.2 Προϋποθέσεις ακτινοπροστασίας

9.3 Ακτινοπροστασία κατά τη χρήση “φόρητου μηχανήματος”
(τροχήλατο)

9.4 Ακτινοπροστατευτικά υλικά

Περίληψη



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να γνωρίζεις τις προϋποθέσεις ακτινοπροστασίας και τους παράγοντες που συμβάλλουν στην ακτινοπροστασία.
2. Να εξηγείς πως εξασθενεί η ακτινοβολία.
3. Να αναφέρεις τα μέτρα ακτινοπροστασίας που χρειάζεται να λαμβάνονται όσον αφορά το προσωπικό.
4. Να αναφέρεις τα ιδιαίτερα μέτρα ακτινοπροστασίας, όταν γίνονται ακτινογραφίες με φορητό μηχάνημα.
5. Να χρησιμοποιείς σωστά τα διάφορα ακτινοπροστατευτικά υλικά.

Ορολογία

Διαρρέουσα ακτινοβολία

Μόλυβδος

Νόμος της πυκνότητας

Νόμος του αντίστροφου
του τετραγώνου

Προστατευτικά γάντια

Προστατευτικό

θυρεοειδούς αδένος

Προστατευτική ποδιά

Σκεδαζόμενη ακτινοβολία

Εισαγωγή

Όλο το πλέγμα της ακτινοπροστασίας βασίζεται στον τρόπο κατασκευής των μηχανημάτων και εγκαταστάσεων, στην άριστη λειτουργία τους και στον ανθρώπινο παράγοντα.

Σε ό,τι αφορά τον τρόπο κατασκευής, αυτός έχει να κάνει κυρίως με τη θωράκιση των πηγών είτε αυτές είναι μία λυχνία παραγωγής ακτινών X για ιατρικούς σκοπούς είτε ένας πυρηνικός αντιδραστήρας.

Σε ό,τι αφορά τον τρόπο λειτουργίας και χρήσης των πηγών ιοντίζουσας ακτινοβολίας, τα μέτρα αυτά σχετίζονται με την προστασία του προσωπικού κατά τη λειτουργία των πηγών και την εκπαίδευσή του.

9.1. Προσωπικό εργαστηρίου

Για την ασφαλή λειτουργία εργαστηρίου ιοντίζουσων ακτινοβολιών, από άποψη ακτινοπροστασίας, απαιτείται *ειδικευμένο και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό*, του οποίου τόσο η επαγγελματική απασχόληση στο εργαστήριο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του όσο και η γενικότερη φροντίδα, επιβλέψη και υπευθυνότητα, θα εξασφαλίζουν την προστασία των ατόμων και του περιβάλλοντος από τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες με τήρηση των κανόνων ακτινοπροστασίας.

Το ακτινολογικό εργαστήριο στελεχώνεται από προσωπικό, το οποίο με την κατάλληλη εκπαίδευσή του εργάζεται με ευσυνειδησία και αμεσληοματικότητα. Όλοι οφείλουν να ακολουθούν τους κανονισμούς ακτινοπροστασίας που προβλέπονται για τη λειτουργία του εργαστηρίου ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία των ιδίων και των εξεταζόμενων.

Λέξει να σημειωθεί εδώ ότι σε κάθε εργασία με ιοντίζουσες ακτινοβολίες υπάρχει και υπεύθυνος ακτινοπροστασίας, ο οποίος έχει εκπαιδευτεί κατάλληλα για να φροντίζει για την τήρηση των μέτρων προστασίας και την εφαρμογή των κανονισμών ακτινοπροστασίας.

Ο υπεύθυνος ακτινοπροστασίας συμμετέχει στην οργάνωση και επιβλέπει τα προγράμματα διασφάλισης ποιότητας στο εργαστήριο, τα οποία στοχεύουν στη βελτίωση των παρεχόμενων ιατρικών πράξεων από πλευράς ακτινοπροστασίας καθώς και στην ελαχιστοποίηση των δόσεων στους εξεταζόμενους και το κοινό. Προτείνει νέες μεθόδους ή τροποποιήσεις των

εφαρμοζόμενων μεθόδων για τη μείωση της δόσης στους εξεταζόμενους και τα βελτιστοποιήσει της απεικονιστικής. Οργανώνει, εποπτεύει και εκτελεί προγράμματα ποιοτικών ελέγχων, τα οποία αποσκοπούν στη σωστή και ασφαλή λειτουργία καθώς και στην ικανοποιητική απόδοση των ακτινολογικών συστημάτων και του βοηθητικού εξοπλισμού. Είναι υπεύθυνος για την επιμόρφωση και εκπαίδευση του προσωπικού του εργαστηρίου για θέματα ακτινοπροστασίας.

Οι εργαζόμενοι στα εργαστήρια ιοντίζουσών ακτινοβολιών χαρακτηρίζονται ως επαγγελματικά εκτιθέμενοι και πρέπει:

- να είναι πάνω από 18 χρόνων,
- να φέρουν δοσίμετρα,
- να γνωρίζουν τους πιθανούς κινδύνους από τη χρήση ακτινοβολιών και τις βασικές αρχές ακτινοπροστασίας, οι οποίες θα εφαρμοσθούν στην πράξη.

Η I.C.R.P. (Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας, Σύσταση αριθμός 34 1982) στη δημοσίευσή της καθορίζει το ρόλο του τεχνολόγου-ακτινολόγου απόφοιτου ΤΕΙ σχετικά με την ακτινοπροστασία, ως εξής:

“Οι τεχνολόγοι-ακτινολόγοι απόφοιτοι ΤΕΙ βρίσκονται σε θέση - κλειδί σχετικά με τη χορηγούμενη δόση ακτινοβολίας και ανάλογα με την εκπαίδευσή τους και την επαγγελματική τους ικανότητα, καθορίζουν μέσα σε ευρεία όρια το επίπεδο της χορηγούμενης δόσης.”

Πολλοί πιστεύουν ότι η δόση της ακτινοβολίας στον εξεταζόμενο - για ακτινογραφίες ίδιου θέματος - είναι περίπου η ίδια. Έρευνες έχουν αποδείξει όμως ότι δεν ισχύει αυτό, αφού οι δόσεις μπορούν να διαφέρουν δραματικά μεταξύ τους τόσο από νοσοκομείο σε νοσοκομείο όσο ακόμη και από θάλαμο σε θάλαμο.

Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη διακύμανση της δόσης είναι πολλοί: αναφέρονται ενδεικτικά οι εξής: η τοποθέτηση του ασθενούς κατά την ακτινολογική εξέταση, η εστιακή απόσταση, οι ενισχυτικές πινακίδες, τα φίλμ, η χημική επεξεργασία τους και τα ακτινολογικά στοιχεία.

Όσοσο όλοι οι παράγοντες είναι ή οφείλουν να είναι κάτω από τον πλήρη έλεγχο του εξεταστή. Αυτό έχει μεγάλη αξία για τον εξεταζόμενο αλλά και για τον ίδιο τον εργαζόμενο από άποψη ακτινοπροστασίας.

Προϋποθέσεις χώρων ακτινολογικού εργαστηρίου

Η δόση της ακτινοβολίας στους εργαζόμενους μπορεί να περιοριστεί δραστικά, αν γίνει σωστή μελέτη των χώρων του εργαστηρίου.

Σε ένα ακτινολογικό εργαστήριο πρέπει

- Οι διαστάσεις του να ικανοποιούν τις απαιτήσεις που προκύπτουν από τις διαστάσεις των μηχανημάτων και να εξασφαλίζουν την καλύτερη δυνατή λειτουργικότητα του εργαστηρίου.
- Οι θωρακίσεις του να είναι σύμφωνα με τους προβλεπόμενους κανονισμούς ακτινοπροστασίας.
- Ο θαλαμίσκος του χειριστηρίου να είναι και αυτός θωρακισμένος και να βρίσκεται σε τέτοια θέση, ώστε να υπάρχει εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στο θάλαμο ακτινογραφιών. Ο έλεγχος του θαλάμου επιτυγχάνεται μέσω ειδικού παραθύρου, το οποίο καλύπτεται με μολυβδύαλο.
- Να υπάρχει εμφανές οπτικό και ακουστικό σήμα στο χειριστήριο του μηχανήματος, το οποίο θα λειτουργεί κατά το χρόνο της εξέτασης.

Επίσης για καλύτερη ασφάλεια - ακτινοπροστασία - κατά τη λειτουργία του εργαστηρίου είναι ευνόμοιο ότι:

- Το προσωπικό πρέπει να παραμένει πίσω από τα προστατευτικά πετάσματα κατά την διάρκεια των ακτινοδιαγνωστικών εξετάσεων. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε πρέπει να φορά προστατευτική ποδιά από μολυβδοκαουτσούκ.
- Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση, μετακίνηση ή αντικατάσταση του εξοπλισμού του εργαστηρίου από άτομα, τα οποία δεν έχουν οριστεί υπεύθυνα γι' αυτές τις εργασίες.

Για τους εργαζόμενους στα ακτινολογικά εργαστήρια, οι οποίοι αναμενόμενα πρέπει να γνωρίζουν και να εφαρμόζουν σχολαστικά τους κανονισμούς της ακτινοπροστασίας, υπάρχει ένα διπλό κίνητρο:

- Κίνητρο πθικό για τη διαφύλαξη της υγείας του εξεταζόμενου
- Κίνητρο ατομικής προκοπής για την πρόοψη των ιδίων των εργαζόμενων

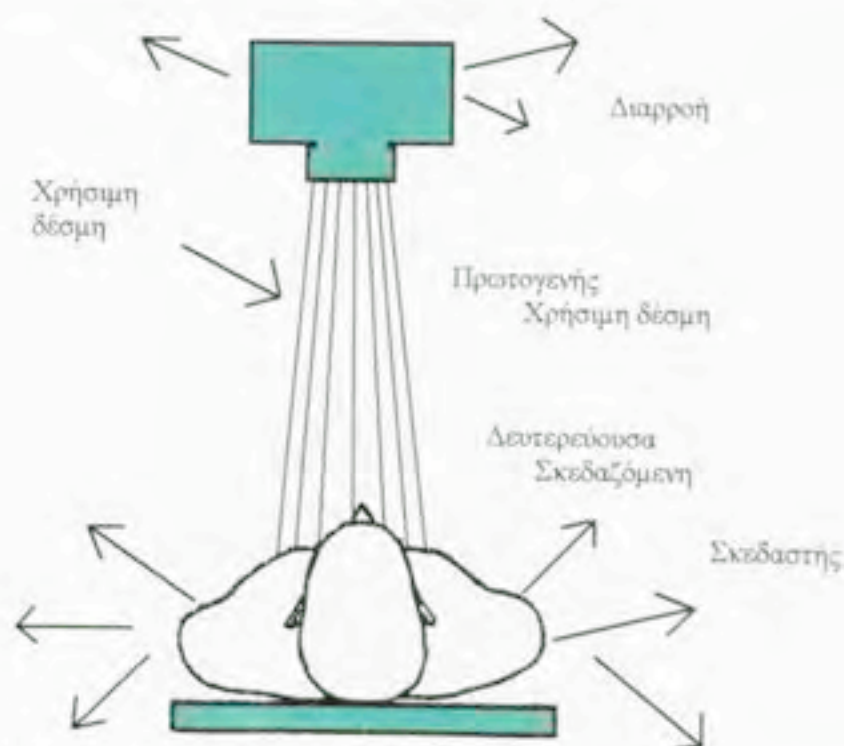
9.2 Προϋποθέσεις ακτινοπροστασίας

Στην όλη φροντίδα του εξεταζόμενου βασικό μέλημα και υποχρέωση του εργαζόμενου στα ακτινολογικά εργαστήρια είναι ο περιορισμός της ακτινοβολησής του στα όρια του εξεταζόμενου θέματος.

Σε όλες τις εξετάσεις, στις οποίες γίνεται χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας, η πρωτογενής δέσμη της ακτινοβολίας θα πρέπει να κατευθύνεται στην εξεταζόμενη περιοχή. Κατά τη διέλευση της πρωτογενούς ακτινοβολίας από το σώμα του εξεταζόμενου δημιουργείται σκεδαζόμενη ακτινοβολία - σε ενέργειες μεγαλύτερες των 60 kV - η οποία μαζί με τη διαρρέουσα ακτινοβολία ονομάζεται δευτερογενής ακτινοβολία.

Η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι μικρότερη σε σχέση με την πρωτογενή ακτινοβολία και εξαρτάται από:

1. την ένταση της πρωτογενούς ακτινοβολίας που θα προσπίσει στο σώμα. Η αύξηση της τιμής της συνεπάγεται και αύξηση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.
2. το πεδίο ακτινοβολίας. Αν οι διαστάσεις είναι μικρές, η σκεδαζόμενη ακτινοβολία μειώνεται αισθητά.
3. το πάχος του εξεταζόμενου. Σε παχύσαρκα άτομα παρατηρείται αύξηση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, γι' αυτό φροντίζουμε με διάφορους τρόπους να περιορίσουμε το πάχος που θα διασχίσει η δέσμη της ακτινοβολίας. Αυτό μπορεί να γίνει με πιεστικές ζώνες ή με τοποθέτησή του εξεταζόμενου σε τέτοια θέση ώστε να μειώνεται το πάχος του π.χ. ακτινογραφία σφυϊκής μοίρας σπονδυλικής στήλης σε πριπή θέση.



Εικ. 9.1. Δημιουργία σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

Η πορεία της σκευαζόμενης ακτινοβολίας είναι ανεξέλεγκτη. Όμως η πρωτογενής ακτινοβολία είναι ελεγχόμενη και κατευθύνεται μόνο στον εξεταζόμενο. Θα πρέπει λοιπόν το προσωπικό του εργαστηρίου να λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα ακτινοπροστασίας.

Κατά τη διάρκεια της έκθεσης του εξεταζόμενου θα πρέπει ο εργαζόμενος να βρίσκεται σε χώρο, ο οποίος είναι μόνιμα θωρακισμένος (χειριστήριο). Η έκθεση της ακτινοβολίας ελέγχεται λοιπόν μόνο από τη θέση του χειριστηρίου. Σε μερικές όμως διαγνωστικές τεχνικές και εξετάσεις στις οποίες είναι ανέφικτος αυτός του είδους ο έλεγχος, το προσωπικό χρειάζεται απαραίτητα να λαμβάνει κατάλληλα μέτρα ακτινοπροστασίας, φορώντας π.χ. τη ρολόβδινη ποδιά - προσωρινή θωράκιση - σε εξετάσεις με φορητή ακτινολογική μονάδα.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην περίπτωση που δεν υπάρχει συνοδός για να παραμείνει μέσα στο θάλαμο παραγωγής ιοντίζουσας ακτινοβολίας για τη συγκράτηση του εξεταζόμενου (μικρό παιδί). Πρέπει αυτός που θα παραμείνει να μην ανήκει στο προσωπικό του εργαστηρίου.

Όσοι χρησιμοποιούν την ιοντίζουσα ακτινοβολία σε εξετάσεις για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς, πρέπει να τηρούν τις παρακάτω βασικές προϋποθέσεις ακτινοπροστασίας:

Χρόνος - Απόσταση - Θωράκιση.

1. Χρόνος

Επειδή η δόση σχετίζεται άμεσα με τη διάρκεια της έκθεσης, η μείωση του χρόνου έκθεσης θα μειώσει ανάλογα και τη δόση. Παλαιότερα κατά την κλασική ακτινοσκόπηση χωρίς τη χρήση ενισχυτή εικόνας η ελάττωση του χρόνου παραμονής του εργαζόμενου μειωνόταν δραστικά και την έκθεσή του στην ακτινοβολία.

$$\text{Δόση} = \text{ρυθμός δόσης} \cdot \text{Χ χρόνος}$$

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι ο χρόνος έκθεσης κατά τη λήψη απλών ακτινογραφικών εξετάσεων περιορίζεται σε κλάσματα δευτερολέπτου. Έτσι μειώνεται στο ελάχιστο η πιθανότητα μετακίνησης του εξεταζόμενου θέματος που θα είχε ως συνέπεια την επανάληψη της ακτινογραφίας.

2. Απόσταση

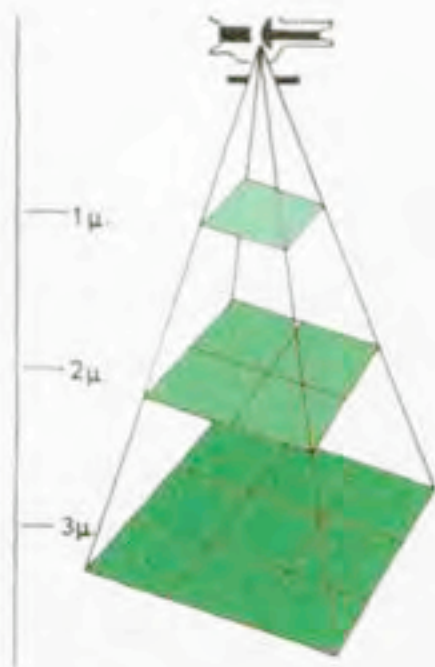
Η ένταση της ακτινοβολίας κατά την διάδοσή της στον αέρα βαθμιαία εξασθενεί. Η εξασθένιση αυτή είναι συνάρτηση της απόστασης από την πηγή.

Προκειμένου περί μιας αποκλινούσας δέσμης η έντασή της θα κατανέμεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια σύμφωνα με το "νόμο του αντίστροφου του τετραγώνου της απόστασης"

$$I = I_0 \cdot \frac{X_0^2}{X^2}$$

όπου I η ένταση της ακτινοβολίας σε μία απόσταση X μακριά από την πηγή και I_0 η ένταση σε απόσταση X_0 κοντά στη πηγή

Σύμφωνα με το νόμο αυτό η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από μία σημειακή πηγή είναι αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης από την σημειακή πηγή. Στην πράξη τα παραπάνω δηλώνουν ότι, όταν διπλασιαστεί η απόσταση από την πηγή, η ένταση της ακτινοβολίας υποβιβάζεται στο 1/4 της αρχικής τιμής, όταν τριπλασιαστεί η ένταση υποβιβάζεται στο 1/9 κ.ο.κ.



Εικ. 9.2. Η ένταση της ακτινοβολίας ελαττώνεται με το νόμο του αντίστροφου του τετραγώνου της απόστασης.

Ο νόμος του αντίστροφου του τετραγώνου είναι χρήσιμος για τον υπολογισμό της έντασης της ακτινοβολίας. Αυτό σημαίνει ότι, αν αυξηθεί η απόσταση του ατόμου από την πηγή, θα μειωθεί η ένταση της ακτινοβολίας, στο 1 μέτρο 2 φορές, στο 2 μέτρα 4 φορές, στα 3 μέτρα 9 φορές κ.ο.κ.

Γι' αυτό, όσον αφορά τον εργαζόμενο, γίνεται αντιληπτό ότι και στις περιπτώσεις, στις οποίες κατά τη διάρκεια της εξέτασης δεν υπάρχει δυνατότητα κάλυψής του πίσω από το μόνιμο μολύβδινο υλικό - π.χ ακτινογραφία επί κλίνης - τότε θα πρέπει να φορά υποχρεωτικά τη μολύβδινη ποδιά και να βρίσκεται, όσο γίνεται πιο μακριά από τη λυχνία (τουλάχιστον 2 μέτρα). Έτσι εξασθενεί η ένταση της ακτινοβολίας λόγω της απόστασης και μειώνεται αισθητά ο κίνδυνος έκθεσης.

Σταν περίπτωση αλλαγών της εστιακής απόστασης και προκειμένου να διατηρηθεί ίδια πυκνότητα στο φιλμ χρησιμοποιείται ο νόμος τετραγώνου ή διατήρησης της πυκνότητας.

Πρέπει να τονισθεί ότι η μεταβολή της εστιακής απόστασης επιφέρει αλλαγές και σε άλλους παράγοντες που συμβάλλουν στην δημιουργία της ακτινολογικής εικόνας.

Ο υπολογισμός της ποσότητας της ακτινοβολίας, την οποία απαιτεί μια έκθεση, όταν αλλάζει απόσταση σε σχέση με την ποσότητα που απαιτούνταν για την ίδια ακτινογραφία σε δεδομένη απόσταση, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{\text{νέα mAs}}{\text{παλιά mAs}} = \frac{\text{νέα απόσταση}^2}{\text{παλιά απόσταση}^2} \quad \text{ή} \quad \frac{mAs_2}{mAs_1} = \frac{(SID_2)^2}{(SID_1)^2}$$

Παράδειγμα: από 70 kVp και 100 mAs και εστιακή απόσταση (SID) 180 cm αλλάζουμε σε 90 cm την εστιακή απόσταση.

Τα νέα mAs θα είναι σύμφωνα με το νόμο του τετραγώνου

$$\frac{x}{100} = \frac{90^2}{180^2} \quad \text{ή} \quad x = \frac{100 \times 90^2}{180^2} = 25 \text{ mAs}$$

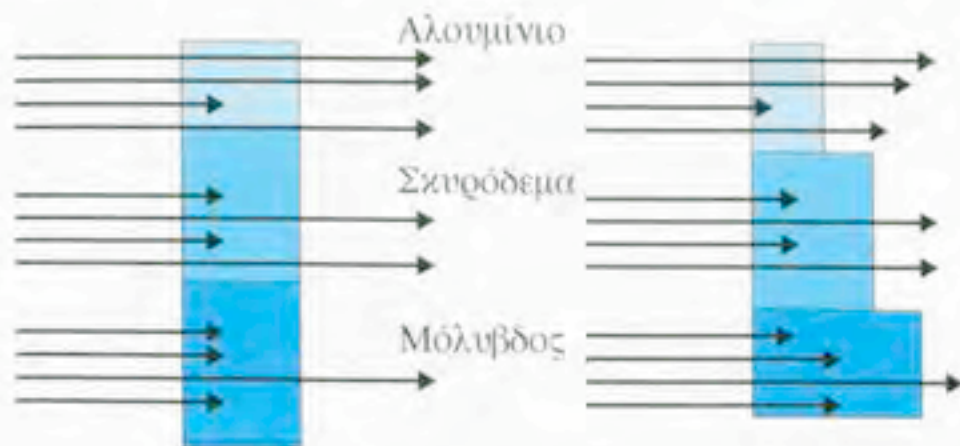
Όταν αυξηθεί η εστιακή απόσταση, θα πρέπει αντίστοιχα να αυξηθούν και τα ακτινολογικά στοιχεία με βάση το νόμο του τετραγώνου της απόστασης. Αυτό σημαίνει αύξηση του θερμικού φορτίου στην άνοδο της λυχνίας με αποτέλεσμα τη ταχύτερη καταστροφή της.

Συμπερασματικά ο ρόλος της απόστασης είναι διττός:

- Επηρεάζει την ένταση της ακτινοβολίας (Νόμος του αντίστροφου του τετραγώνου της απόστασης).
- Επηρεάζει τη διατήρηση της ίδιας πυκνότητας σε περίπτωση μεταβολής της εστιακής απόστασης (Νόμος τετραγώνου της απόστασης).

3. Θωράκιση

Είναι ο πλέον ασφαλής τρόπος μείωσης της έκθεσης του προσωπικού στην ακτινοβολία αλλά όχι ανέξοδος. Οποιοδήποτε υλικό παρεμβαλλόμενο στη δέσμη των ακτίνων X, απορροφά μέρος της ακτινοβολίας και μειώνει μ' αυτόν τον τρόπο την ένταση της δέσμης. Όσο παχύτερο είναι το υλικό και όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητά του τόσο περισσότερο απορροφά την ακτινοβολία (Σχ. 9.3.)



Εικ. 9.3. Η πυκνότητα και το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται για τη θωράκιση επηρεάζει το ποσοστό της απορροφούμενης ακτινοβολίας.

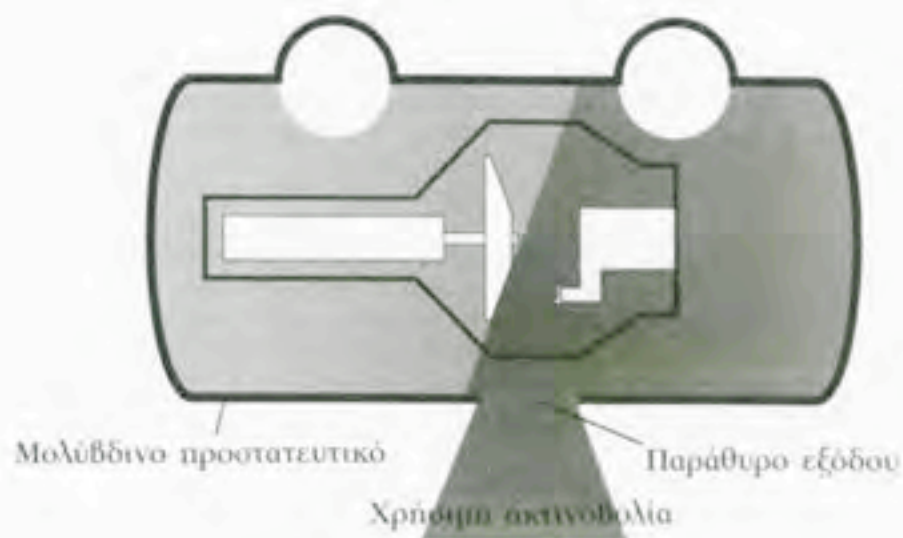
Για τα ακτινολογικά εργαστήρια, ο μόλυβδος χρησιμοποιείται ευρέως ως ακτινοπροστατευτικό υλικό, επειδή λόγω του μεγάλου ατομικού αριθμού και της μεγάλης του πυκνότητας εξασφαλίζει μεγαλύτερη απορρόφηση της ακτινοβολίας, ακόμα και όταν έχει μικρό πάχος. Σαν υλικό είναι εύκαμπτο και έχει μικρό κόστος. Τονίζεται ότι μια ιδιότητα των ακτίνων X είναι ότι, όταν διέρχονται από υλικά μεγάλου ατομικού αριθμού, απορροφώνται σε μεγάλο βαθμό. Ο μόλυβδος, επειδή έχει μεγάλο ατομικό αριθμό, είναι άριστο υλικό απορρόφησης.

Η θωράκιση της λυχνίας των ακτίνων X, πρέπει να είναι τέτοια, ώστε μόνο μικρό ποσοστό ακτινοβολίας να εξέρχεται απ' αυτήν προς άλλες κατευθύνσεις από την πριτογενή δέσμη.

Η ακτινοβολία, η οποία εξέρχεται της λυχνίας προς άλλες κατευθύνσεις εκτός της θυρίδας εξόδου ονομάζεται διαρρέουσα ακτινοβολία.

Ο έλεγχος της λυχνίας ως προς το ποσοστό της διαρρέουσας ακτινοβολίας γίνεται με θάλαμο ιονισμού, σε διάφορες θέσεις και σε καθορισμένες αποστάσεις (1 μέτρο) από τη λυχνία.

Μια εύκολη μέθοδος εντοπισμού διαρρέουσας ακτινοβολίας η οποία μπορεί να γίνει από τον εργαζόμενο σε ένα ακτινολογικό μηχάνημα, είναι η τοποθέτηση φιλμ στο εξωτερικό περίβλημα της λυχνίας. Από τη χημική επεξεργασία του φιλμ εντοπίζεται η διαρροή. Κατά τη διάρκεια του ελέγχου του ποσοστού της διαρρέουσας ακτινοβολίας, τα διαφράγματα βάθους πρέπει να είναι κλειστά. Τα στοιχεία της ακτινολογικής λήψης που επιλέγονται είναι 100 KVp, μεγάλος χρόνος, λίγα mA.



Εικ. 9.4. Θωράκιση ακτινολογικής λυχνίας

Το πάχος θωράκισης της λυχνίας και το επιτρεπτό ποσοστό ακτινοβολίας καθορίζονται από τους ισχύοντες κανονισμούς ακτινοπροστασίας και είναι διαφορετικά για τις διαγνωστικού¹ και θεραπευτικού τύπου λυχνίες.

Ετσι λοιπόν στα εργαστήρια η λυχνία φέρνει το προστατευτικό κέλυφος που παρέχει ακτινοπροστασία, αφού επιτρέπει να διέλθει μόνο η ωφέλιμη δέση των ακτίνων X από τη θυρίδα εξόδου. Στη θυρίδα εξόδου έχουν προσαρμοστεί φίλτρα και το κιβώτιο διαφραγμάτων.

Η μείωση των διαστάσεων του πεδίου ακτινοβολίας είναι ευεργετική τόσο για την προστασία εξεταζόμενου αλλά και του εργαζόμενου. Συγκεκριμένα μειώνοντας το πεδίο ακτινοβολίας μειώνεται και το ποσοστό της παραγόμενης σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

1. Στις διαγνωστικού τύπου λυχνίες δεν επιτρέπεται η διαρροή ακτινοβολίας να έχει ρυθμό έκθεσης μεγαλύτερο του 1 mSv/h για πεδίο 100 cm² σε απόσταση 1 μέτρο με στοιχεία λειτουργίας 100 KVp και μέγιστο ρεύμα λυχνίας.

Η σωστά λειτουργία των διαφραγμάτων βάθους είναι σημαντικός παράγοντας, ο οποίος πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη για την ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου αλλά και του εργαζόμενου. Η σύμπτωση του πεδίου ακτινοβολίας και του φαστεϊνού πεδίου πρέπει να είναι καλύτερη από $\pm 2\%$ της απόστασης εστίας - ουστήματος αποτύπωσης εικόνας.

Το πεδίο ακτινοβολίας είναι ανάγκη να περιορίζεται μόνο στην περιοχή του ενδιαφέροντος ή το πολύ στις διαστάσεις του ουστήματος αποτύπωσης εικόνας (φίλμ) μειωμένο περιμετρικώς κατά 1 cm. Όταν ο λαμπτήρας της φαστεϊνής επικέντρωσης δε λειτουργεί, τότε δεν μπορεί να καθορισθεί και το πεδίο ακτινοβολίας του εξεταζόμενου. Στην περίπτωση αυτή καλό είναι να μην γίνονται ακτινολογικές εξετάσεις, αφού ο εξεταζόμενος θα δεχθεί ακτινοβολία σε μεγαλύτερη ή και σε μικρότερη επιφάνεια από την ελεγχόμενη.

Η *θωράκιση του θαλάμου*, στον οποίο βρίσκεται η λυχνία των ακτίνων X, έχει σκοπό τη μείωση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας εκτός του θαλάμου για την προστασία των εργαζόμενων σε γειτονικούς χώρους αλλά και του κοινού. Το πάχος, γι' αυτήν την περίπτωση, της απαιτούμενης θωράκισης, καθώς και η θέση της εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως η ενέργεια των ακτίνων X, η κατεύθυνση της πρωτογενούς δόσης, ο φόρτος εργασίας, η συχνότητα παραμονής προσώπων και άλλων.

Το χειριστήριο των ακτίνων X είναι δυνατό, αναλόγως του προσφερόμενου χώρου, να βρίσκεται είτε εκτός του κυρίως θαλάμου είτε εντός αυτού? πάντοτε όμως επαρκώς θωρακισμένο. Το παράθυρο του χειριστηρίου είναι συνήθως κατασκευασμένο από μολυβδόαλο έτσι, ώστε να προστατεύεται ο εργαζόμενος από τη δευτερογενή ακτινοβολία αφενός και να ελέγχει αφετέρου τον εξεταζόμενο.

Για την ορθή θωράκιση τόσο του θαλάμου όσο και του χειριστηρίου απαιτείται μελέτη θωράκισης συντεταγμένη από ακτινοφυσικό, για την αποφυγή από τη μια βασικών σφαλμάτων και παραλείψεων και από την άλλη οπατάλης υλικού θωράκισης και περιπτώσεων εξόδων.

Για την προστασία του δε το *πρωσωπικό* όταν βρίσκεται στο χώρο του χειριστηρίου, τότε καταφεύγει στα εξής μέτρα προστασίας:

- Στον προστατευτικό εκ μολύβδου θώρακα
- Στην προστατευτική τροχήλατη μολυβδόαλο
- Στις προστατευτικές ποδιές
- και γάντια, τα οποία είναι κατασκευασμένα από μολυβδοκαουτσούκ, ισοδύναμου πάχους 0,5 ή 0,25 mm Pb ή από βινύλιο εμποτισμένο με μολύβδο.



*Εικ. 9.5.
Μολύβδινα
προστατευτικά
ποδιά*

*Εικ. 9.6.
Μολύβδινα
προστατευτικά
γάντια*



9.3. Ακτινοπροστασία κατά τη χρήση φορητού μηχανήματος

Η έκθεση της ακτινοβολίας ελέγχεται μόνο από τη θέση του χειριστήριου. Σε μερικές όμως διαγνωστικές τεχνικές και εξετάσεις - για παράδειγμα ακτινογραφία επί κλίνης- στις οποίες δε μπορεί να γίνει αυτό, το προσωπικό χρειάζεται απαραίτητα να λαμβάνει μέτρα ακτινοπροστασίας. Τέτοια μέτρα είναι:

- Απομάκρυνση του εργαζόμενου τουλάχιστον δύο μέτρα από τη λυχνία (μήκος καλωδίου που πρέπει απαραίτητα να διαθέτει το ακτινολογικό μηχάνημα).
- Χρήση της προστατευτικής μολύβδινης ποδιάς καθώς και του προστατευτικού θυρεοειδούς αδένου ή και προστατευτικών γυαλιών.
- Απαγόρευση της συγκράτησης της ακτινογραφικής κασέτας από τον εργαζόμενο. Όπου απαιτείται επιβάλλεται η χρήση ειδικών μηχανικών υποδοχέων.
- Υπαρξη οπτικού / φωτεινού πεδίου εντοπισμού της περιοχής ενδιαφέροντος στο κινητό ακτινογραφικό μηχάνημα. Η σύμπτωση του πεδίου ακτινοβολίας και του φωτεινού πεδίου πρέπει να είναι καλύτερη από $\pm 2\%$ της απόστασης εστίας - συστήματος αποτύπωσης εικόνας.



Εικ. 9.7. Φορητό ακτινολογικό μηχάνημα.

- Περιορισμός του πεδίου ακτινοβολίας μόνο στην περιοχή του ενδιαφέροντος ή το πολύ στις διαστάσεις του συστήματος αποτύπωσης εικόνας, μειωμένο περιμετρικώς κατά 1 cm.
- Χρήση κασέτας κατά προτίμηση με ενισχυτικές πινακίδες σπανίων γαιών - μεγάλης ευαισθησίας - συνδυαζόμενης με το αντίστοιχο φίλμ.
- Ρητή διαβεβαίωση από το χειριστή φορητού μηχανήματος ότι κατά τη διάρκεια της ακτινοβολίας το μόνο εκτεθειμένο πρόσωπο στη χρήση δέσμη είναι ο εξεταζόμενος.
- Αποφυγή ακτινοσκόπησης με φορητό μηχάνημα, εκτός από την περίπτωση κατά την οποία γίνεται χρήση ενισχυτή εικόνας.
- Ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση εστίας - δέρματος είναι τα 30 cm.
- Επιτρεπτή χρήση κινητών μηχανημάτων μόνο σε περιπτώσεις αδυναμίας του ασθενούς ή απαγόρευσης μετάβασής του στον ακτινολογικό θάλαμο.

Εάν ένα φορητό μηχάνημα χρησιμοποιείται συνεχώς στον ίδιο χώρο, τότε η εγκατάσταση θεωρείται μόνιμη και απαιτείται ακτινοπροστασία μόνιμων εγκαταστάσεων.

9.4. Ακτινοπροστατευτικά υλικά

Τα ιατρικά εργαστήρια ακτινοβολιών πρέπει να διαθέτουν τον κατάλληλο ακτινολογικό εξοπλισμό και τα συναιρή προς αυτόν εξαρτήματα, τα οποία θα χρησιμοποιεί ο εργαζόμενος και ο εξεταζόμενος κατά τη διάρκεια των ιατρικών εκθέσεων και είναι απαραίτητα για την ακτινοπροστασία. Ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει:

- προστατευτική μολύβδινη ποδιά 0,25 mm πάχος τουλάχιστον (για μικρά παιδιά το ελάχιστο πάχος θα πρέπει να είναι 0,50 mm),
- προστατευτικά γεννητικών οργάνων (διαφορετικά για άνδρες - γυναίκες),
- προστατευτικό θυρεοειδούς αδένα,
- προστατευτικά γυαλιά,
- μολύβδινα γάντια,
- προστατευτικό σκίαστρο γονάδων.



Εικ. 9.8. Μολύβδινο προστατευτικό θυρεοειδή αδένα.

Η χρήση των μολύβδινων προστατευτικών είναι επιβεβλημένη τόσο ως προς τους εξεταζόμενους αλλά και ως προς τους εργαζόμενους, οι οποίοι μπορεί να μην βρίσκονται πίσω από το μονίμως θωρακισμένο τμήμα του εργαστηρίου, για παράδειγμα ακτινογραφία επί κλίνης.

Τα ακτινοπροστατευτικά εξαρτήματα, τα οποία συνήθως χρησιμοποιεί ο εργαζόμενος, είναι η μολύβδινη ποδιά, το προστατευτικό θυρεοειδή αδένα, τα προστατευτικά γυαλιά και τα μολύβδινα γάντια.

Όλα τα προστατευτικά εξαρτήματα πρέπει να βρίσκονται στο θάλαμο ακτινολογικών εξετάσεων και κατά περίπτωση να χρησιμοποιούνται ανάλογα.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην τοποθέτηση της μολύβδινης ποδιάς, η οποία χρειάζεται να είναι τοποθετημένη σε ειδική θέση, όπως κρεμάστρα, (εικ. 9.5.) ώστε να αποφεύγονται ενδεχόμενες ραγιές που μπορεί να δημιουργηθούν, όταν αυτή διπλώνεται.

Κατά τη μεταφορά της μολύβδινης ποδιάς για ακτινογραφία επί κλίνης αυτή θα πρέπει να φοριέται και όχι να μεταφέρεται διπλωμένη. Μία μολύβδινη ποδιά, η οποία παρουσιάζει ραγιές και χρησιμοποιείται, περιορίζει αισθητά την ακτινοπροστασία.



Εικ. 9.9. Μολύβδινα προστατευτικά γυαλιά.

Περίληψη

Βασικές προϋποθέσεις για την τήρηση των κανόνων ακτινοπροστασίας, είναι η απόσταση, η θωράκιση και ο χρόνος.

Η απόσταση από την πηγή ακτινοβολίας προστατεύει και μάλιστα, αν αυτή είναι πηγή ακτινοβολίας X ή γ, ελαττώνει την έντασή της ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης. Η παρεμβολή κατάλληλης θωράκισης μειώνει την έκθεση του προσωπικού στην ακτινοβολία. Επίσης η ελάττωση του χρόνου παραμονής σε περιοχές με πηγή ακτινοβολίας αποτελεί ένα απλό μέτρο ακτινοπροστασίας.

Σ' ένα ακτινολογικό εργαστήριο ο θάλαμος, στον οποίο γίνεται η παραγωγή των ακτίνων X είναι θωρακισμένος με το ανάλογο πάχος μολύβδου σύμφωνα με τους κανονισμούς ακτινοπροστασίας.

Ο εργαζόμενος κατά τον ακτινολογικό έλεγχο πρέπει να βρίσκεται στο χειριστήριο, το οποίο επιβάλλεται να είναι θωρακισμένο. Δεν επιτρέπεται στους επαγγελματίες εργαζόμενους με ακτινοβολίες να συγκρατούν οποιοδήποτε άτομο κατά την ακτινογράφιση.

Κατά τον ακτινολογικό έλεγχο με κινητό ακτινοδιαγνωστικό μηχάνημα είναι απαραίτητο ο εξειαστής να χρησιμοποιεί όλα τα απαραίτητα προστατευτικά.

Απαραίτητος επίσης είναι ο περιορισμός του πεδίου ακτινοβολίας στα όρια του θέματος.

Ερωτήσεις

1. Διατυπώστε το νόμο του αντίστροφου του τετραγώνου της απόστασης και εξηγήστε τις πρακτικές του εφαρμογές.
2. Γιατί χρησιμοποιείται ο μόλυβδος ως ακτινοπροστατευτικό υλικό;
3. Πώς ονομάζεται η ακτινοβολία η οποία εξέρχεται της ακτινολογικής λυχνίας εκτός των διαφραγμάτων βάθους και με ποιον πρακτικό τρόπο μπορεί ο εργαζόμενος να την εντοπίσει;
4. Τι είναι η σκεδαζόμενη ακτινοβολία και πού δημιουργείται;
5. Ποιοι παράγοντες καθορίζουν το πάχος της θαλάκισης του ακτινολογικού θαλάμου;
6. Στην περίπτωση που δε λειτουργεί η φωτεινή επικέντρωση, θα προχωρήσετε στον ακτινολογικό έλεγχο του εξεταζόμενου; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
7. Τι ακτινοπροστατευτικά υλικά πρέπει να υπάρχουν σε ένα ακτινολογικό εργαστήριο για την ακτινοπροστασία του εργαζόμενου;

Σημειώστε τη σωστή απάντηση στις παρακάτω ερωτήσεις:

8. Σε ποια περίπτωση δημιουργείται σκεδαζόμενη ακτινοβολία;
 - A. Στην άνοδο της λυχνίας
 - B. Στις ενιοχυτικές πινακίδες
 - Γ. Στο σάμα του εξεταζόμενου
9. Κατά τη διάρκεια των ακτινοδιαγνωστικών εξετάσεων ο εργαζόμενος πρέπει να βρίσκεται
 - A. στο χειριστήριο
 - B. εκτός ακτινολογικού εργαστηρίου
 - Γ. μέσα στον ακτινολογικό θάλαμο και δίπλα στον εξεταζόμενο φορώντας την προστατευτικά ποδιά
10. Η πορεία της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας
 - A. ελέγχεται με το αντιδιαχυτικό διάφραγμα
 - B. ελέγχεται με το σύστημα ανίχνευσης της ακτινοβολίας
 - Γ. είναι ανεξέλεγκτη

11. Η αναγκαία συγκράτηση του εξεταζόμενου κατά τον ακτινολογικό έλεγχο γίνεται
- από τον εξεταστή
 - από ένα άτομο του προσωπικού του εργαστηρίου, το οποίο δε θα πρέπει να βρίσκεται σε αναπαραγωγική ηλικία
 - από ένα άτομο εκτός του προσωπικού του εργαστηρίου
12. Ποια η σχέση του χρόνου έκθεσης με τη δόση της ακτινοβολίας
- ανάλογη
 - αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης
 - αντιστρόφως ανάλογη
 - δεν έχει καμία σχέση
13. Συμπληρώστε τα κενά στην παρακάτω πρόταση.
Ο έλεγχος της διαρρέουσας ακτινοβολίας γίνεται με το όργανο _____ σε διάφορες θέσεις και σε απόσταση _____ από τη λυχνία.
14. Κατά τη διάρκεια ελέγχου της ακτινολογικής λυχνίας ως προς το ποσοστό της διαρρέουσας ακτινοβολίας τα διαφράγματα βάθους πρέπει να είναι
- κλειστά
 - εντελώς ανοιχτά
 - στα όρια των πιο συνηθισμένων διεξαγόμενων εξετάσεων.
15. Κατά τον ακτινολογικό έλεγχο με χρήση φορητού ακτινοδιαγνωστικού μηχανήματος η ελάχιστη απόσταση εστίας-δέρματος είναι
- 90cm
 - 60cm
 - 30cm
16. Τι μέτρα θα λάβετε κατά την ακτινογράφηση με ένα φορητό ακτινοδιαγνωστικό μηχάνημα, ώστε να αποφύγετε πιθανή δική σας έκθεση.

Απαντήσεις

- | | |
|-------|-------|
| 8. Γ | 12. Α |
| 9. Α | 14. Α |
| 10. Γ | 15. Γ |
| 11. Γ | |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

10

ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ

ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ

Συνοπτικά περιεχόμενα

- 10.1** Ακτινοπροστασία κατά τη διάρκεια της ακτινογραφικής εξέτασης
 - 10.1.1 Έλεγχος παραπεμπτικού-επικοινωνία με τον εξεταζόμενο
 - 10.1.2 Οδηγίες-Προβολικά θέση εξεταζόμενου
 - 10.1.3 Ακτινολογικά στοιχεία
 - 10.1.4 Ηθμός ή φίλτρο
 - 10.1.5 Εστιακή απόσταση
 - 10.1.6 Διαστάσεις πεδίου ακτινοβολίας
 - 10.1.7 Αντιοκεδαστικό διάφραγμα
 - 10.1.8 Ενισχυτικές πινακίδες
 - 10.1.9 Ακτινολογικό φιλμ
 - 10.1.10 Σκοτεινός θάλαμος-Συνθήκες εμφάνισης του φιλμ
 - 10.1.11 Τεχνική προβολών
 - 10.2** Κατάλληλη χρήση ακτινοπροστατευτικών
 - 10.3** Αντιμετώπιση εγκύου
- Περίληψη



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να ελέγχεις το παραπεριπτικό και να δίνεις τις κατάλληλες οδηγίες στον εξεταζόμενο, ώστε να αποφεύγεται η επανάληψη της ακτινογραφίας
2. Να γνωρίζεις τη σχέση των ακτινολογικών στοιχείων με την ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου
3. Να γνωρίζεις τη σχέση των πθμών με την ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου
4. Να επιλέγεις την κατάλληλη εστιακή απόσταση, ώστε να μην αυξάνεται η χορηγούμενη δόση στον εξεταζόμενο
5. Να γνωρίζεις τη σχέση των διαστάσεων του πεδίου ακτινοβολίας με την ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου
6. Να γνωρίζεις τη σχέση του αντισκεδαστικού διαφράγματος με την ακτινοπροστασία
7. Να επιλέγεις τις κατάλληλες ενισχυτικές πινακίδες, ώστε να μειώνεται η χορηγούμενη δόση στον εξεταζόμενο
8. Να αναφέρεις τη σχέση του ακτινολογικού φιλμ με την ακτινοπροστασία
9. Να γνωρίζεις τη σχέση του σκοτεινού θαλάμου και των χημικών διαλυμάτων με την ακτινοπροστασία
10. Να εφαρμόζεις την κατάλληλη τεχνική, ώστε να μειώνεται η χορηγούμενη δόση σε ακτινοευαίσθητες περιοχές του σώματος
11. Να χρησιμοποιείς σωστά τα διάφορα ακτινοπροστατευτικά μέσα
12. Να αναφέρεις τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στο έμβρυο από την ακτινοβολία της εγκύου.

Ορολογία

Ακτινοευαίσθητη περιοχή
Ακτινοδιαπερατός σπόγγος
Λανθάνουσα εικόνα
Μολύβδινο προστατευτικό
εκτραγείο
Μολύβδινο εύκαμπτο φύλλο

Ολική διύθνηση
Προστατευτικό σκίαστρο
Φασματική ευαισθησία
Φιλμ μίλε ευαισθησίας
Φιλμ ορθοχρωματικά

Εισαγωγή

Η ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου είναι εξίσου σημαντική όσο και η καλή ποιότητα ακτινογραφία. Έτσι κατά τη διάρκεια μιας ακτινογραφικής εξέτασης πρέπει να λαμβάνονται μέτρα και να εφαρμόζονται οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας, ώστε ο ακτινογραφικός έλεγχος να γίνεται με τη μικρότερη δυνατή δόση του εξεταζόμενου. Βασικά μέτρα ακτινοπροστασίας που πρέπει να λαμβάνονται ανάλογα βέβαια με την ακτινογραφική εξέταση, είναι:

- Ερώτηση για εγκυμοσύνη
- Κατάλληλος περιορισμός διαφραγμάτων
- Χρήση πρωτατεύτικων γεννητικών οργάνων
- Κατάλληλοι παράγοντες έκθεσης
- Σωστή εστιακή απόσταση

Οι βασικές αρχές ακτινοπροστασίας κατά τις εφαρμογές των ιοντίζουσων ακτινοβολιών για ιατρικούς σκοπούς διατυπώνονται ως εξής:

- Κάθε εξέταση ή θεραπεία θα πρέπει να πραγματοποιείται προς όφελος του εξεταζόμενου και αφού με άλλες μεθόδους δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Όλες οι ιατρικές εφαρμογές θα πρέπει να γίνονται από εξειδικευμένο προσωπικό.
- Η δόση προς τον ασθενή θα πρέπει να είναι η μικρότερη δυνατή και γι' αυτό θα πρέπει να εφαρμόζονται οι κατάλληλες τεχνικές. Ιδιαίτερη φροντίδα χρειάζεται να λαμβάνεται για τα υπόλοιπα μέρη του σώματος, ώστε η δόση προς αυτά να είναι ελάχιστη.
- Απαγορεύεται η παρουσία άλλων ατόμων εκτός από τον εξεταζόμενο μέσα στον ακτινοδιαγνωστικό θάλαμο κατά τη διάρκεια της εξέτασης.
- Κατά τον ακτινογραφικό έλεγχο των παιδιών η δόση πρέπει να διατηρείται στα χαμηλότερα επίπεδα, μιας και οι αναπτυσσόμενοι ιστοί είναι πιο ακτινοεαίσθητοι απ' αυτούς των ενηλίκων. Σε ακτινογραφία θώρακος θα πρέπει να καλύπτεται η περιοχή των γονάδων, γιατί η απόστασή τους από το άκρο του πεδίου ακτινοβολήσης είναι μικρή. Μελέτες στα παιδιά (Κουτρομπής Γ. 1999) απέδειξαν ότι σε ηλικία 0 έως 2 ετών σε περισσότερες του 30% των περιπτώσεων οι γονάδες περιλαμβάνονταν μέσα στο πεδίο κατά την εξέταση του θώρακα. Το ποσοστό γινόταν 15-20% για παιδιά 2 έως 4 ετών και 3% για παιδιά 4 έως 14 ετών. Πρέπει επίσης να υπάρχουν εξαρτήματα ακινητοποίησης. Η συγκράτηση παιδιών από συνοδούς είναι ανάγκη να αποφεύγεται, όπου όμως είναι απαραίτητη πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ακτινοπροστασίας των συνοδών.
- Απαγορεύεται η επικέντρωση με χρήση ακτινοσκοπίσης.

- Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την προστασία των γεννητικών οργάνων στα άτομα που διανύουν την ηλικία αναπαραγωγής σε όλες τις ακτινοδιαγνωστικές εξετάσεις.

Σε κάθε εργαστήριο όπου παράγεται ιονίζουσα ακτινοβολία, θα πρέπει να υπάρχει η προβλεπόμενη από το νόμο σήμανση:

- Αναρτημένες πινακίδες σε εμφανή θέση για την ανάγκη ενημέρωσης της εξεταζόμενης σε περίπτωση εγκυμοσύνης ή γαλουχίας.
- Εμφανές οπτικό και ακουστικό σήμα στην είσοδο του θαλάμου, στον οποίο γίνεται χρήση ιονίζουσας ακτινοβολίας.

10.1. Ακτινοπροστασία κατά τη διάρκεια της ακτινογραφικής εξέτασης

10.1.1. Έλεγχος παραπεριπτικού-επικοινωνία με τον εξεταζόμενο

Ο έλεγχος του παραπεριπτικού είναι το πρώτο βήμα για την ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου.

Θα πρέπει να λαμβάνονται ορθαρά υπόψη:

- Η ταυτοποίηση του εξεταζόμενου και επιβεβαίωση των ατομικών του στοιχείων
- Η επιβεβαίωση και από τον ίδιο ότι πρόκειται για την ίδια εξέταση που αναγράφεται στο παραπεριπτικό
- Έλεγχος προηγούμενων ακτινογραφιών της ίδιας εξεταζόμενης περιοχής, αν υπάρχουν
- Σε γυναίκες αναπαραγωγικής ηλικίας, για τις οποίες δεν είναι γνωστό, αν κυοφορούν ή όχι, μπορεί να εφαρμόζεται ο "κανόνας των δέκα ημερών" (η ακτινογραφία να γίνεται τις πρώτες δέκα ημέρες από την έναρξη του εμμηνορρυσιακού κύκλου). Για εξέταση της περιοχής της λεκάνης που δεν επέχει, αυτή θα αναβληθεί και θα πραγματοποιηθεί στην πιο πάνω ορισθείσα χρονική περίοδο.

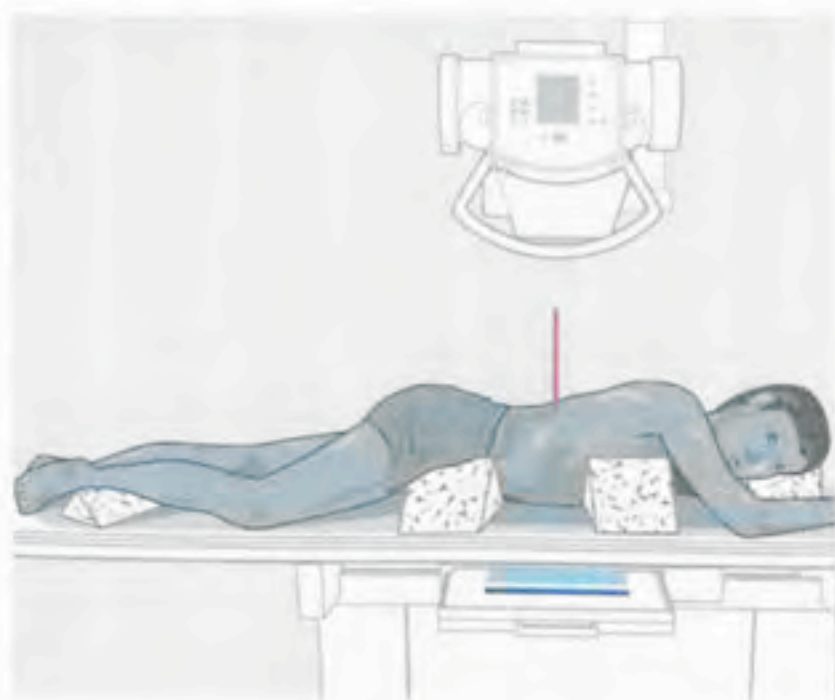
Ο κανονισμός ακτινοπροστασίας προβλέπει ότι ακτινογραφία θώρακα που γίνεται για πρόσληψη σε εργασία, εγγραφή σε σχολή, κατάσταση στις ένοπλες δυνάμεις, δεν θα πρέπει να επαναλαμβάνεται σε χρονική περίοδο ενός έτους. Για τη χρονική αυτή περίοδο πρέπει να ισχύουν τα αποτελέσματα της πρώτης εξέτασης, εκτός αν υπάρχει ιατρική ένδειξη για το αντίθετο.

10.1.2. Οδηγίες-προβολική θέση εξεταζόμενου

Βασική αιτία επανάληψης μιας ακτινογραφίας είναι η λανθασμένη τοποθέτηση του εξεταζόμενου ή η κίνησή του κατά τη διάρκεια της εξέτασης.

Έτσι θα πρέπει:

- Να παρέχονται επεξηγήσεις στον εξεταζόμενο της διαδικασίας που θα ακολουθηθεί έτσι, ώστε να ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις της εξέτασης (π.χ. αναπνευστική φάση κατά τη διάρκεια της ακτινοβολίας-καθώς και πλήρης ακινησία).
- Να γίνεται χρήση κατάλληλων συσκευών ακινητοποίησης και υποστήριξης. Όπου χρειασθεί το επίπεδο του σώματος του να σχηματίζει γωνία με το φιλμ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με χρήση ακτινοδιαπερατών τριγωνικών σπόγγων και όχι εμπειρικά.
- Κατά την τοποθέτηση του εξεταζόμενου στην κατάλληλη προβολική θέση χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη τυχόν ιδιαιτερότητες του, όπως ηλικία, δομικός τύπος κ.α. Η τοποθέτηση σε μια "εγκούραστη" θέση εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την ακινητοποίησή του.



Εικ. 10.1 Χρήση ακτινοδιαπερατών τριγωνικών σπόγγων.

10.1.3. Ακτινολογικά στοιχεία

Σημαντική αιτία των επαναλήψεων των ακτινογραφιών, αποτελεί επίσης και η λαθεμένη επιλογή των ακτινολογικών στοιχείων (kV-mAs-sec). Σε κάθε εργαστήριο υπάρχει προτεινόμενος πίνακας ακτινολογικών στοιχείων. Υπάρχουν όμως κάποιοι παράγοντες, οι οποίοι συχνά μεταβάλλονται, με σημαντικότερο το δομικό τύπο του εξεταζόμενου (αδύνατος-παχύσαρκος). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξομείωση των ακτινολογικών στοιχείων και όταν η εξέταση γίνεται εμπειρικά και όχι με τη χρήση παχύμετρου, πολλές φορές οδηγεί σε επανάληψη της ακτινογραφίας, με συνέπεια ο εξεταζόμενος να δέχεται μεγαλύτερη δόση ακτινοβολίας.

Για κάθε ακτινογραφία απαιτείται μία συγκεκριμένη ποσότητα ακτινοβολίας με συγκεκριμένη διελεύστική ικανότητα.

Τα kVr σε μεγάλο βαθμό καθορίζουν την ποιότητα της ακτινοβολίας X (διεισδυτική ικανότητα της δέσμης). Υψηλή διεισδυτικότητα της δέσμης σημαίνει και μεγαλύτερη διαπεραστική ικανότητα. Η αύξηση της τιμής των kVr θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντίθεσης στην απεικόνιση.

Τα mAs καθορίζουν την ποσότητα της ακτινοβολίας X (αριθμός φωτονίων παραγόμενων στη μονάδα του χρόνου). Η ισορροπία μεταξύ kV και mAs συμβάλλει στη βελτιστοποίηση των διαγνωστικών πληροφοριών. Αύξηση όμως των mAs επιβαρύνει τον εξεταζόμενο σε απορροφούμενη δόση. Μεγάλος χρόνος έκθεσης - σε θέμα που παρουσιάζει κινητικότητα - αυξάνει την πιθανότητα να κινηθεί ο εξεταζόμενος και έτσι η ακτινογραφία - λόγω ασάφειας - θα χρειασθεί επανάληψη.

Η σχέση που συνδέει τα mAs με τα kVr καθορίζεται με τον κανόνα του 15%. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτόν, αν αυξήσουμε τα kVr κατά 15% και μειώσουμε τα mAs στο μισό, θα πετύχουμε την ίδια σχεδόν ποιότητα στην εικόνα. Στην περίπτωση αυτή όμως θα αφηλεθεί ο εξεταζόμενος, αφού η δόση ακτινοβολίας X που θα δεχθεί θα μειωθεί δραστικά. Ο κανόνας του 15% ισχύει για τάσεις μεταξύ 60-90 kV.

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε, ότι:

Για κάθε ακτινογραφική εξέταση ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την αντίθεση είναι η ποιότητα της ακτινοβολίας (kVr), με την αντίθεση να βελτιώνεται όσο μικραίνουν τα kVr. Οσοδήποτε στην πράξη μας ενδιαφέρουν και άλλα χαρακτηριστικά (mAs) πέρα από την αντίθεση όπως λόγου χάρη η χορηγούμενη δόση στον εξεταζόμενο. Συνεπώς τα kVr αυξάνονται τόσο, ώστε να βρεθεί ο ιδανικός συνδυασμός -συμβιβασμός- για καλή απεικόνιση στην ακτινογραφία.

Στον πίνακα 10.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η τεχνική χαμηλής τάσης και η τεχνική υψηλής τάσης, για διάφορες εξετάσεις με τις τιμές σε mR.

	Κοιλιά Π - Ο	Σπονδυλική Στήλη Π - Ο	Σπονδυλική Στήλη Πλάγια	Λεκάνη Π - Ο
Τεχνική χαμηλής τάσης				
	62 kV 100 mAs	72 kV 100 mAs	78 kV 200 mAs	66 kV 100 mAs
Δέρμα	460	660	1800	500
Γονάδες Γυναικών	155	225	480-80	200
Γονάδες Ανδρών	1	1	1	500
Τεχνική υψηλής τάσης				
	120 kV 10 mAs	120 kV 13 mAs	120 kV 70 mAs	120 kV 16 mAs
Δέρμα	210	250	1500	350
Γονάδες Γυναικών	75	95	500-100	155
Γονάδες Ανδρών	1	1	1	350

Πίνακας 10.1 Τεχνική χαμηλής και υψηλής τάσης (Οι δυο τιμές στην ισοθίκια προς την πλευρά της λυχνίας και στην ισοθίκια της αντίθετης πλευράς).

10.1.4. Ηθμός ή φίλτρο

Τα φωτόνια που παράγονται στην εστία της ανόδου της λυχνίας, δεν έχουν όλα την ίδια ενέργεια. Κάποια από αυτά, των οποίων η ενέργεια είναι μικρή, δεν πρόκειται να διαπεράσουν το εξεταζόμενο σώμα και να φθάσουν στο φιλμ. Τα φωτόνια αυτά δε συμβάλλουν στο σχηματισμό της ακτινολογικής εικόνας. Λόγω της χαμηλής τους ενέργειας, απορροφώνται από το σώμα του εξεταζόμενου, με αποτέλεσμα να αυξήσουν την απορροφούμενη δόση σ' αυτόν χωρίς κανένα όφελος.

Η απομάκρυνση αυτών των φωτονίων επιτυγχάνεται με την παρεμβολή στην πορεία της δέσμης ενός φίλτρου ή ηθμού. Το υλικό που κατασκευάζεται ο ηθμός είναι συνήθως αλουμίνιο (Al). Το φίλτρο αυτό είναι μόνιμα τοποθετημένο στη θυρίδα εξόδου της λυχνίας και μαζί με το γυάλινο τμήμα της λυχνίας και το μονωτικό υλικό (λάδι) αποτελούν την ολική διάθεση των ακτίνων X.

Το πάχος του φίλτρου εξαρτάται από τα μέγιστη υψηλή τάση που εφαρμόζεται σε ένα ακτινολογικό μηχάνημα.

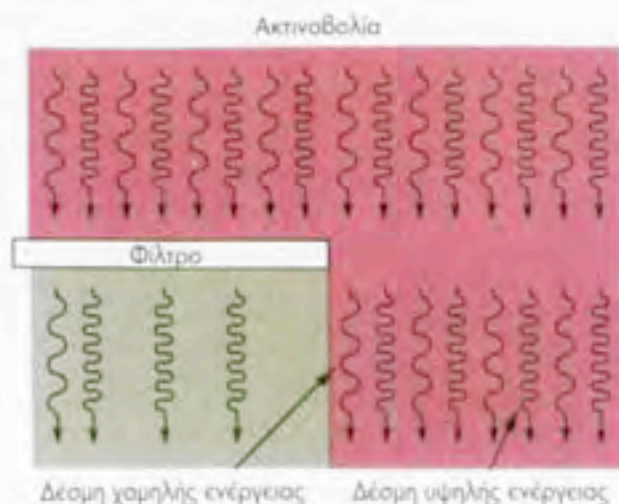
Για τάση 80 kVp χρησιμοποιείται πάχος 2,5 mm Al.

Ο εργαζόμενος σ' ένα ακτινολογικό μηχάνημα οφείλει να γνωρίζει τη σχέση της υψηλής τάσης με το πάχος του φίλτρου που χρησιμοποιείται στη λυχνία.

	65kV		90kV	
	Χωρίς Φίλτρο 200mAs	Φίλτρο 3mmAl 300 mAs	Χωρίς Φίλτρο 44 mAs	Φίλτρο 3mmAl 50 mAs
Δόση εισόδου	mR	mR	mR	mR
	3500	980	1380	435
Δόση στο κέντρο του οργανισμού	270	190	140	110
Δόση εδάφους (23 cm)	14	13	12	10
Δόση στο φιλμ	3	2,8	2,7	2,6

Πίνακας 10.2: Δραστηκότητα του φίλτρου. (mR = έκθεση στην επιφάνεια του εξεταζόμενου).

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι η δόση εισόδου μειώνεται αισθητά με την παρεμβολή του φίλτρου αλλά σοβαρό ρόλο διαδραματίζει και η αύξηση των kV. Όπως είναι φυσικό αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για την ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου.



Εικ. 10.2 Το αποτέλεσμα της διήθησης της ακτινοβολίας -X

10.1.5. Εστιακή Απόσταση

Στο σύνολο των ακτινογραφικών εξετάσεων η συνήθης εστιακή απόσταση (απόσταση εστίας-φιλμ) επιλέγεται να είναι τουλάχιστον ένα μέτρο και τούτο διότι σε μικρότερη εστιακή απόσταση η δόση στον εξεταζόμενο αυξάνει. Έτσι για την ίδια δόση στις ενισχυτικές πινακίδες, όταν η απόσταση πηγής δέρματος μικραίνει, η δόση στο δέρμα αυξάνεται. Η αύξηση της δόσης είναι ιδιαίτερα σημαντική, όταν η απόσταση πηγής δέρματος γίνεται μικρότερη από 70cm. Γι' αυτό πρέπει να αποφεύγονται ακτινογραφίες σε εστιακή απόσταση μικρότερη του ενός μέτρου. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η μεταβολή της δόσης στο δέρμα σε σχέση με την απόσταση πηγής δέρματος. Σημειώνεται ότι η δόση για απόσταση πηγής δέρματος 90cm ελήφθη ως τιμή αναφοράς (100) και οι υπόλοιπες είναι εκφρασμένες επί τοις εκατό (%) αυτής.

Πάχος (cm)	Απόσταση Πηγής - Δέρματος (cm)					
	200	110	90	70	50	30
10	89	96	100	106	116	143
15	85	95	100	108	125	165
20	81	93	100	110	130	185

Πίνακας 10.3. Μεταβολή της δόσης στο δέρμα σε mR σε συνάρτηση με την απόσταση πηγής δέρματος.

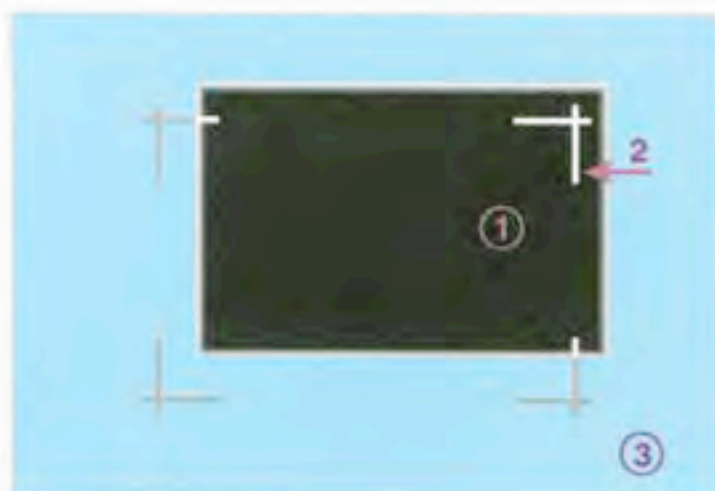
10.1.6. Διαστάσεις πεδίου ακτινοβολήσης

Σημαντικό ρόλο στην ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου αλλά και του εργαζόμενου διαδραματίζει ο καθορισμός του πεδίου ακτινοβολήσης, ο οποίος επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του κβιβάτιου διαφραγμάτων. Πρόκειται για μία συσκευή, η οποία αποτελείται από δύο ζεύγη μολύβδινων πλακών που με κατάλληλες κινήσεις μετατοπίζονται παράλληλα έτσι, ώστε να προσεγγίζουν ή να απομακρύνονται η μία από την άλλη. Στο εσωτερικό του συστήματος των διαφραγμάτων έχει προσαρτηστεί μια φασεινή πηγή -λαμπτήρας- και κάτοπτρα. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται γνωστή η έκταση της ακτινοβολούμενης περιοχής. Μεγαλύτερη ακτινοβολούμενη περιοχή από την εξεταζόμενη έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη δόση στον εξεταζόμενο αλλά και στον εργαζόμενο λόγω αύξησης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Ταυτόχρονα υποβαθμίζεται και η ποιότητα της ακτινολογι-

κής εικόνας. Επομένως πρέπει να επιδιώκεται και να επιτυγχάνεται περιορισμός του πεδίου ακτινοβολήσεως στις διαστάσεις της ακτινοβολούμενης περιοχής.

Σε τακτικά χρονικά διαστήματα χρειάζεται να γίνεται έλεγχος σύμπτωσης φωτεινού πεδίου με το πεδίο των ακτίνων Χ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εύκολα από τον εργαζόμενο, αν στα άκρα του φωτεινού πεδίου τοποθετηθούν διαγώνια δύο μεταλλικές γωνίες. Στην ακτινογραφία που θα προκύψει με τη συνηθισμένη εστιακή απόσταση, η οποία χρησιμοποιείται στις υπόλοιπες εξετάσεις, θα πρέπει το φιλμ να μην είναι ακτινοβολημένο πέρα από τα όρια των μεταλλικών τμημάτων (εικόνα 10.3).

Κρίνεται λοιπόν σκόπημο ο εργαζόμενος να προβαίνει σε έλεγχο σύμπτωσης των πεδίων, να γνωρίζει το χειρισμό των διαφραγμάτων βάθους καθώς και τις επιπτώσεις στην περίπτωση που εργάζεται με ανοιχτά τα διαφράγματα πέραν από τα όρια του εξεταζόμενου θέματος.



Εικ. 10.3: Έλεγχος σύμπτωσης φωτεινού πεδίου

1. Ακτινοβολούμενο πεδίο 2. Μεταλλικές γωνίες 3. Φιλμ

10.1.7. Αντισκεδαστικό διάφραγμα

Το αντισκεδαστικό διάφραγμα, το οποίο αναφέρεται ως αντιδιαχυτικό διάφραγμα, είναι μία διάταξη από λεπτές μολύβδινες λωρίδες ανάμεσα στις οποίες υπάρχει ακτινοδιαπερατό υλικό (πλαστικό). Κατά τη διάρκεια της εξέτασης το αντισκεδαστικό διάφραγμα κινείται για να ασαφιοποιούνται οι μολύβδινες λωρίδες και να μην απεικονίζονται στο φιλμ. Το αντισκεδαστικό αποκόπτει τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία για να μην φθάσει στο φιλμ και να μειώνεται έτσι η αντίθεση στην απεικόνιση.

Κατά τη χρήση του όριως αποκόπτεται και μέρος της πρωτογενούς δέσμης της ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να χρειασθεί να αυξηθούν τα ακτινολογικά στοιχεία για να φθάσει ίδια ένταση ακτινοβολίας στο φιλμ. Η αύξηση των ακτινολογικών στοιχείων σημαίνει και μεγαλύτερη δόση για τον εξεταζόμενο. Γι' αυτόν το λόγο το αντισκεδαστικό διάφραγμα πρέπει να αποφεύγεται να χρησιμοποιείται, όταν:

- η εφαρμοζόμενη τάση της λυχνίας είναι μικρότερη των 60 kVr και
- η εξεταζόμενη περιοχή έχει μικρό πάχος (κάτω των 13 cm)

Στην περίπτωση αυτή η δημιουργία σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι ελάχιστη και η χρήση του αντισκεδαστικού δεν είναι απαραίτητη.

Πρέπει ο εργαζόμενος επίσης να γνωρίζει και τον τύπο του χρησιμοποιούμενου αντισκεδαστικού διαφράγματος. Όταν το ακτινολογικό τραπέζι ή ο ορθοστάτης φέρει εστιασμένο αντισκεδαστικό διάφραγμα, κάθε μεταβολή της εστιακής απόστασης έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απορρόφηση της πρωτογενούς ακτινοβολίας από το διάφραγμα (διαφραγματική αποκοπή). Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται τα ακτινολογικά στοιχεία να αυξηθούν προκειμένου να υπάρξει ικανοποιητική αμαύρωση στο φιλμ. Έτσι ο εξεταζόμενος δέχεται μεγαλύτερη δόση ακτινοβολίας.

Απαραίτητη επίσης κρίνεται και η γνώση του λόγου του αντισκεδαστικού. Ο λόγος του διαφράγματος (r) είναι ο λόγος του ύψους των μαύβδινων λαρίδων (διαφραγμάτια) ή προς την απόσταση μεταξύ τους d ($r=d/h$). Όσο αυξάνει ο λόγος τόσο αυξάνει και η ικανότητα του αντισκεδαστικού για μείωση της σκεδαζόμενης με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται καλύτερη αντίθεση στην εικόνα αλλά απαιτούνται ταυτόχρονα και περισσότερα ακτινολογικά στοιχεία. Για την επιλογή του διαφράγματος με συγκεκριμένο λόγο έχει σημασία η περιοχή των kV. Ένα διάφραγμα λόγου 8:1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στα 90 kV περίπου. Από 90 kV και πάνω ο λόγος θα πρέπει να είναι 12:1. Διαφράγματα με υψηλές τιμές r (16:1) χρησιμοποιούνται σε εξετάσεις που διεξάγονται με υψηλά kV.

Πρέπει να αποφεύγονται να πραγματοποιούνται ακτινογραφίες που απαιτούν χαμηλά kVr σε ακτινολογικό τραπέζι ή ορθοστάτη, ο οποίος φέρει αντισκεδαστικό διάφραγμα με υψηλό λόγο. Στην περίπτωση αυτή ο εξεταζόμενος θα δεχθεί μεγαλύτερη δόση ακτινοβολίας.

Μια άλλη τεχνική, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς όφελος του εξεταζόμενου όσον αφορά τη χορηγούμενη δόση ακτινοβολίας, είναι η τεχνική προβολικού κενού (air gap). Στη μέθοδο αυτή το φιλμ τοποθετείται σε απόσταση (10-25 εκατοστά) από τον ασθενή και έτσι ένα μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας διαφεύγει στο πλάι. Συγχρόνως - λόγω αύξησης της απόστασης αυτής - παρατηρείται μεγάλωση στην ακτινογραφική



Εικ. 10.4 Τεχνικά προβολικού κενού

εικόνα, η οποία περιορίζεται με την αύξηση της αντικειμενικής απόστασης. Με την τεχνική προβολικού κενού ελαττώνεται η σκεδαζόμενη ακτινοβολία, η προσπίπτουσα στο φιλμ και, αφού δε χρησιμοποιείται αντισκεδαστικό διάφραγμα, τα απαιτούμενα ακτινολογικά στοιχεία είναι λιγότερα με συνέπεια και ο εξεταζόμενος να δέχεται λιγότερη δόση ακτινοβολίας.

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιορισμένες περιπτώσεις, όπου είναι πολύ σημαντική η ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου, για παράδειγμα έλεγχος σκολίωσης σε νεαρά άτομα.

10.1.8. Ενισχυτικές Πινακίδες

Η ικανότητα των ενισχυτικών πινακίδων να μετατρέπουν τις ακτίνες X σε φως, στο οποίο το ακτινολογικό φιλμ παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της δόσης στον εξεταζόμενο. Η συμβολή τους στη δημιουργία της ακτινολογικής εικόνας είναι της τάξης του 95%. Το φθορίζον υλικό, με το οποίο είναι επιστρωμένες, είναι αυτό που μετατρέπει τις ακτίνες X σε ορατή ακτινοβολία. Το υλικό αυτό μπορεί να είναι ή βολφραμικό οξείδιο (CaWO_4) σε κρυσταλλική μορφή, το οποίο εκπέμπει μπλε φως και οι ενισχυτικές πινακίδες λέγονται βολφραμικού οξειδίου ή σπάνιες γαίες (κυρίως θειούχα οξείδια των μετάλλων γαδολίνιο, λανθάνιο αλλά και ύτριο που περιέχουν προσμίξεις ξένων στοιχείων, τα οποία ονομάζονται ενεργοποιητές) που εκπέμπουν πράσινο ή μπλε φως και λέγονται ορθοχρωματικές. Είτε είναι ενισχυτικές πινακίδες βολφραμικού οξειδίου είτε ορθοχρωματικές, το πάχος του φθορίζοντος υλικού καθορίζει την ευαι-

όθλοιά τους - ταχύτητα - στις ακτίνες Χ. Διακρίνονται σε απλές - αργές - ευαίσθητες - μέσες - και υπερευαίσθητες - γρήγορες - σε σχέση με τις σχετικές τους ταχύτητες.

Η ταχύτητα είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη δόση της ακτινοβολίας. Έτσι μία απλή (αργή) ενισχυτική πινακίδα χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας για να δημιουργήσει την ίδια αμαύρωση στο φιλμ συγκριτικά με μία υπερευαίσθητη (γρήγορη). Οι ενισχυτικές πινακίδες μειώνουν αρκετά την απαιτούμενη δόση στον εξεταζόμενο αλλά ταυτόχρονα μειώνεται και η διακριτική ικανότητα της εικόνας στο φιλμ λόγω της προκαλούμενης διάχυσης του φωτός. Η μείωση αυτή γίνεται πιο έντονη όσο αυξάνει το πάχος του φθορίζοντος υλικού, το οποίο μπορεί να σκελετάει και στο μέγεθος των κρυστάλλων.

Ακόμη μεγαλύτερη είναι η διαφορά δόσης μεταξύ μιας ενισχυτικής πινακίδας βολφραμικού αοσβεστίου και σπανίων γαιών. Οι ενισχυτικές πινακίδες σπανίων γαιών παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης φωτονίων και αποδοτικότητα μετατροπής της ακτινοβολίας σε ορατό φως. Αυτό φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

Ενισχυτικές Πινακίδες	Τυπικές Σχετικές Ταχύτητες	Διακριτική Ικανότητα	Ελάχιστη Δόση Ενεργοποίησης
Βολφραμικού αοσβεστίου (αργές)	50	8	2mR
Βολφραμικού αοσβεστίου (μέσες)	100	5,5	1mR
Σπανίων γαιών (αργές)	100	8	1mR
Σπανίων γαιών (μέσες)	200	5,5	0,4mR
Σπανίων γαιών (γρήγορες)	400	4,5	0,2mR

Πίνακας 10.4 Διαφορά στα δόση και στη διακριτική ικανότητα διαφόρων τύπων και ταχυτήτων των ενισχυτικών πινακίδων.

10.1.9. Ακτινολογικό φιλμ

Το φωτογραφικό γαλάκτωμα του φιλμ, είναι ελάχιστα ευαίσθητο στις ακτίνες Χ και γι' αυτό χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ενισχυτικές πινακίδες. Η φασματική ευαισθησία ενός φιλμ πρέπει να συμπίπτει με το φάσμα εκπομπής του φωτός της ενισχυτικής πινακίδας. Σε διαφορετική περίπτωση - για να δημιουργηθεί ίδια αμαύρωση - στο φιλμ πρέπει να αυξηθούν τα ακτινολογικά στοιχεία κατά συνέπεια η δόση στον εξεταζόμενο αυξάνεται. Οι ενισχυτικές πινακίδες βολφραμικού αοσβεστίου που εκπέ-

μπούν μπλε φως συνδυάζονται με τα συνήθη φιλμ μπλε ευαισθησίας. Οι οπανίων γαιών συνδυάζονται με τα ορθοχρωματικά φιλμ.

Το ακτινολογικό φιλμ φέρει συνήθως και στις δύο πλευρές του φωτογραφικό γαλάκτωμα (φιλμ διπλής επίστρωσης). Υπάρχουν όμως και ακτινολογικά φιλμ που φέρουν μόνο στη μία πλευρά γαλάκτωμα (φιλμ μονής επίστρωσης). Τα φιλμ διπλής επίστρωσης πλεονεκτούν έναντι των φιλμ μονής επίστρωσης λόγω της αυξημένης ευαισθησίας τους, αφού κατά την προσβολή τους από την ίδια δόση ακτινοβολίας παρέχουν μεγαλύτερα αικίρωση.

Συγκρίνοντας τα λοιπών παρατηρούμε ότι τα φιλμ διπλής επίστρωσης συμβάλλουν στην ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου, αφού απαιτείται λιγότερη δόση ακτινοβολίας. Μειονεκτούν όμως στην οριακή ευκρίνεια της εικόνας.

Ένας άλλος διαχωρισμός, ο οποίος μπορεί να γίνει στα ακτινολογικά φιλμ και έχει άμεση σχέση με την ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου, είναι η ταχύτητα ενός φιλμ. Ανάλογα με το πάχος, του φωτογραφικού γαλακτώματος και το μέγεθος των κόκκων τα ακτινολογικά φιλμ χαρακτηρίζονται γρήγορα, μέσα και αργά. Η συνεχώς όμως αυξανόμενη ανάγκη για ακτινοπροστασία έχει οδηγήσει στη χρήση φιλμ μεγάλης ευαισθησίας, που απαιτούν μικρή σχετικά έκθεση στην ακτινοβολία.

Κρίνεται λοιπόν σκόπιμο ο εργαζόμενος να γνωρίζει τη φασματική ευαισθησία, την ταχύτητα ενός φιλμ και να επιλέγει την κατάλληλη ενισχυτική πινακίδα, ώστε να προκύψει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα αικίρωσης με τη μικρότερη δόση ακτινοβολίας στον εξεταζόμενο.

10.1.10 Σκοτεινός θάλαμος-Συνθήκες εμφάνισης του φιλμ

Το στάδιο της χημικής επεξεργασίας του φιλμ για τη μετατροπή της λανθάνουσας εικόνας σε ορατή και τη μονιμοποίηση της εικόνας αυτής, πραγματοποιούνται στο χώρο του εμφανιστηρίου. Η επανάληψη μιας ακτινογραφίας εξαρτάται ορισμένες φορές και από τις συνθήκες που επικρατούν στο σκοτεινό θάλαμο.

Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή:

- Στη φωτιστεγανότητα του χώρου μιας και το φιλμ παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στις ακτίνες του λευκού φωτός (φως της ημέρας ή το φως κάποιου λαμπτήρα φωτισμού).
- Στο φως ασφαλείας του σκοτεινού θαλάμου, το οποίο δεν πρέπει να ομιχιάσει με τη φασματική ευαισθησία του φιλμ.

- Η παραμονή του φιλμ για μεγάλο χρονικό διάστημα στο φως ασφαλείας έχει επίδραση στην τελική εικόνα.

Η σωστή εμφάνιση του φιλμ εξασφαλίζει εξαιρετική ποιότητα και αποφυγή επαναλήψεων.

Κατά τη διάρκεια της εμφάνισης του φιλμ, τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα της εικόνας του φιλμ και κατά συνέπεια και τα απαιτούμενα ακτινολογικά στοιχεία.

Ο χρόνος εμφάνισης, η θερμοκρασία των χημικών διαλυμάτων και το pH των διαλυμάτων (εμφάνιση-στερέωση).

Στα αυτόματα εμφανιστήρια τόσο ο χρόνος εμφάνισης όσο και η θερμοκρασία των χημικών διαλυμάτων επιλέγονται από τον εργαζόμενο με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές του εμφανιστηρίου και δε μεταβάλλονται χωρίς την παρέμβασή του. Αντίθετα το pH του διαλύματος μπορεί να μεταβληθεί στη διάρκεια του χρόνου. Για παράδειγμα χημικά υγρά που παρασκευάστηκαν και παραμένουν για αρκετές ημέρες παρουσιάζουν μείωση της δραστηριότητάς τους με αποτέλεσμα να χρειάζονται περισσότερα ακτινολογικά στοιχεία προκειμένου να επιτευχθεί το ίδιο απεικονιστικό αποτέλεσμα.

Στο χειροκίνητο εμφανιστήριο και οι τρεις παράγοντες είναι μεταβλητοί. Ο εργαζόμενος είναι αυτός που θα καθορίσει το χρόνο παραμονής του φιλμ στους κάδους των χημικών διαλυμάτων καθώς και τη θερμοκρασία τους.

Όταν ο χρόνος εμφάνισης αυξάνεται, αντίστοιχα αυξάνεται και η αμαύρωση του φιλμ. Έτσι παρέχεται η δυνατότητα με λιγότερα ακτινολογικά στοιχεία και με αύξηση του χρόνου εμφάνισης ο εργαζόμενος, να επιτυγχάνει παρόμοια περίπου ακτινολογική εικόνα με αυτή που θα έπαιρνε, αν χρησιμοποιούσε περισσότερα ακτινολογικά στοιχεία και διέθετε λιγότερο χρόνο εμφάνισης. Όσον αφορά τη θερμοκρασία των διαλυμάτων, για να επιτευχθεί η ίδια αμαύρωση στο φιλμ, χρειάζονται περισσότερα ακτινολογικά στοιχεία σε κρύα χημικά διαλύματα. Στην περίπτωση αυτή ο εξεταζόμενος δέχεται μεγαλύτερη δόση ακτινοβολίας ενώ θα μπορούσε να αυξηθεί η θερμοκρασία του διαλύματος και να μειωθεί η χρησιμοποιούμενη δόση στον εξεταζόμενο. Βέβαια αυτό έχει σαν μειονέκτημα την αύξηση της υμίχωσης του φιλμ.

Για το λόγο αυτό η χρησιμοποίηση του αυτόματου εμφανιστηρίου θα πρέπει να γίνεται μόνο όταν έχει επιτευχθεί η κατάλληλη θερμοκρασία στα υγρά εμφάνισης και στερέωσης, η προτεινόμενη από τον κατασκευαστή.

10.1.11. Τεχνική προβολών

Η τεχνική που ακολουθείται σε όλες τις προβολές πρέπει να στοχεύει στη βελτιστοποίηση της ποιότητας της ακτινογραφίας με τη λιγότερη δυνατή έκθεση του εξεταζόμενου. Ιδιαίτερη φροντίδα χρειάζεται στην επιλεγείσα τεχνική σε περιοχές του σώματος που παρουσιάζουν μεγάλη ακτινοευαισθησία. Πρέπει να χορηγείται η όσον το δυνατόν λιγότερη δόση χωρίς όμως να υποβαθμίζεται το απεικονιστικό αποτέλεσμα.

Ακτινολογικός έλεγχος κρανίου

Ο ακτινολογικός έλεγχος του κρανίου με την ακτινοβολία να εισέρχεται από την οπίσθια επιφάνεια (Ο-Π) έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της δόσης στους φακούς των οφθαλμών σε ποσοστό 95% σε σχέση με την εισοδο της ακτινοβολίας από την πρόσθια επιφάνεια του κρανίου (Π-Ο).



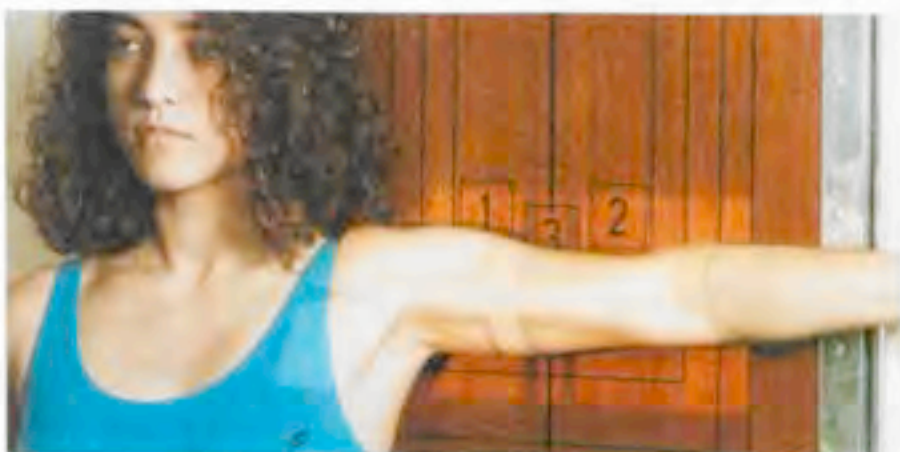
Εικ. 10.5 Ακτινολογικός έλεγχος κρανίου

Ακτινολογικός έλεγχος άνω άκρου

Κατά τον ακτινολογικό έλεγχο του άνω άκρου από το άκρο χέρι μέχρι και την περιοχή της άρθρωσης του αγκώνα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα κάτω άκρα και στις γονάδες για να μη βρίσκονται στην πορεία της δέσμης της ακτινοβολίας. Το σώμα του εξεταζόμενου να είναι σε θέση παράλληλη με το ακτινολογικό τραπέζι. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η ακτινοβολή των γονάδων.

Ο ακτινολογικός έλεγχος του βραχιονίου πρέπει να γίνεται με το βραχιόνιο σε απαγωγή. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η έκθεση γειτονικών σημείων του σώματος - μαστοί - που παρουσιάζουν μεγάλη ακτινοευαισθη-

οία τους. Στην περίπτωση που το βραχιόνιο είναι σε προσαγωγή - περίπτωση τραυματισμού - τότε πρέπει ο εξεταζόμενος να φοράει τη μολύβδινη ποδιά, ώστε να απομακρύνεται ο κίνδυνος ακτινοβολίας των μαστών.



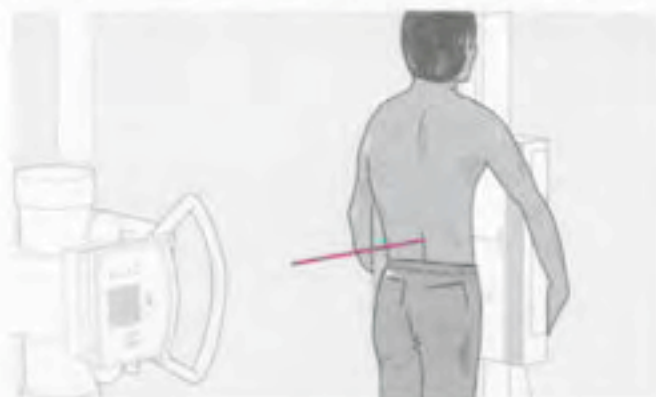
Εικ. 10.5 Ακτινολογικός έλεγχος βραχιονίου

Ακτινολογικός έλεγχος κάτω άκρου

Κατά τον ακτινολογικό έλεγχο του κάτω άκρου σε όλες τις προβολές η περιοχή των γονάδων πρέπει να καλύπτεται με τη μολύβδινη ποδιά.

Ακτινολογικός έλεγχος κοιλίας

Ο ακτινολογικός έλεγχος στην περιοχή της κοιλίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η δόση της ακτινοβολίας να εισέρχεται από την οπίσθια επιφάνεια του σώματος (Ο-Π). Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται αισθητά η δόση στην περιοχή των γονάδων. Σε παχύσαρκα άτομα με τη θέση αυτή παρέχεται λιγότερη δόση ακτινοβολίας λόγω συμπίεσης της κοιλιακής χώρας και μείωσης του πάχους της εξεταζόμενης περιοχής.



Εικ. 10.5 Ακτινολογικός έλεγχος κοιλίας

10.2. Κατάλληλη χρήση ακτινοπροστατευτικών.

Η προστασία των γενάδων, εφόσον δεν καλύπτεται περιοχή διαγνωστικού ενδιαφέροντος, είναι επιβεβλημένη σ' όλες τις ακτινογραφίες σύμφωνα με τον κανονισμό ακτινοπροστασίας.

Τα πιο συνηθισμένα προστατευτικά γεννητικών οργάνων είναι:

- Το μολύβδινο προστατευτικό εκμαγείο (προστατευτικά ανδρών) (εικ. 10.8),
- Μολύβδινο εύκαμπτο προστατευτικό φύλλο (προστατευτικά γυναικών) (εικ. 10.9),
- Προστατευτικό σκίατρο προσαρμολύμενο κιβώτιο διαφραγμάτων (εικ. 10.10).



Εικ. 10. 8. Μολύβδινα προστατευτικά ανδρών



Εικ. 10.9 Μολύβδινα προστατευτικά γυναικών

Τα προστατευτικά των γεννητικών οργάνων χρησιμοποιούνται για εξετάσεις της πυέλου ή της άρθρωσης του ισχίου ή γειτονικής περιοχής όπως είναι η οσφυϊκή μοίρα σπονδυλικής στήλης.

Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την τοποθέτηση προστατευτικών πάνω στο σώμα του εξεταζόμενου για να μην καλύπτονται διαγνω-



Εικ. 10.10 Προστατευτικό οκίαστρο (αριστερά) και προβολή του πάνω στον ασθενή (δεξιά)

στικές πληροφορίες που θα οδηγούσαν ενδεχομένως στον ακτινολογικό επανέλεγχο του εξεταζόμενου.

Κατά την τοποθέτηση προστατευτικών σε άνδρα πρέπει να καλύπτονται οι όρχεις και να τοποθετείται το προστατευτικό εκμαγείο αποφεύγοντας την κάλυψη της πβικής σύμφυσης.

Η προστασία των γεννητικών αδένων σε γυναίκα συνίσταται στην κάλυψη της ελάσσονος πυέλου και κατά την τοποθέτηση του προστατευτικού φύλλου, το στενότερο τμήμα τοποθετείται στο πάνω μέρος της ελάσσονος πυέλου, ενώ το κυκλικό τμήμα πάνω από την πβική σύμφυση.

Το προστατευτικό οκίαστρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άνδρα και σε γυναίκα. Τοποθετείται εύκολα στις ράγες του κιβωτίου διαφραγμάτων. Αποτελείται από ένα μεταλλικό πλαίσιο στο μέσον του οποίου προσαρμόζεται ένα γυάλινο τμήμα με ένα κομμάτι μολύβδου σε διαφορετικό σχήμα και μέγεθος για άνδρες ή γυναίκες. Όταν ανάψει η φωτεινή επικέντρωση στο σημείο των γεννητικών οργάνων δημιουργείται οκιά. Έτσι στο σημείο αυτό αποκόπεται η ακτινοβολία, αφού απορροφάται από το μολύβδινο παρεμβαλλόμενο κομμάτι. Αυτό το μολύβδινο κομμάτι μπορεί να μετακινείται έτσι, ώστε να συμπίπτει με τα γεννητικά όργανα. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται προστασία των γεννητικών αδένων χωρίς να υπάρχει κίνδυνος κάλυψης σημαντικού μέρους της εξεταζόμενης περιοχής.

10.3 Αντιμετώπιση εγκύου

Σε περίπτωση εγκυμοσύνης πρέπει να γίνονται μόνο οι τελειώς απαραίτητες ακτινολογικές εξετάσεις και αφού προηγουμένως έχει εξετασθεί το ενδεχόμενο άλλων εναλλακτικών τεχνικών. Στην περίπτωση που είναι απολύτως αναγκαία η ακτινογραφική εξέταση εγκύου, θα πρέπει αρχικά ο υπεύθυνος ακτινοπροστασίας να εκτιμήσει τη δόση στο έμβρυο και τους παράγοντες επικινδυνότητας και ταυτόχρονα να προτείνει απαραίτητα μέτρα ακτινοπροστασίας, όπως για παράδειγμα: χρήση των πιο ευαίσθητων ενισχυτικών πινακιδίων, τον κανόνα του 15%, χρήση των προστατευτικών υλικών.

Η ακτινοβοληση του εμβρύου μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στο αναπτυσσόμενο έμβρυο. Το είδος της βλάβης - θάνατος, καθυστέρηση ανάπτυξης, συγγενείς διαμαρτίες κατά τη διάπλαση, νεογνική νεοπλασία - εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης του εμβρύου κατά τη στιγμή της ακτινοβολησης καθώς και από το ποσό και το ρυθμό δόσης (Βλ. 4.3.4).

Όπως αναφέρθηκε οι πιο ακτινοευαίσθητες περιόδους είναι η προεμρυτευτική περίοδος και η περίοδος της μείζονος οργανογένεσης.

Στην περίοδο της μείζονος οργανογένεσης, που αρχίζει αμέσως μετά τον εμφύτευση οπότε γίνεται και η οργανογένεση - στάδιο που οι κυτταρικές διαίρεσεις αυξάνουν - αυξάνονται κατά πολύ οι πιθανότητες είτε εμφάνισης ανωμαλιών στα διάφορα όργανα ή διαφόρου βαθμού καθυστέρησης. Η περίοδος του κυήματος είναι η λιγότερο ακτινοευαίσθητη και απαιτούνται μεγάλες δόσεις για την πρόκληση βλαβών. Εκτός των προαναφερθέντων η ενδομήτριας ακτινοβοληση μπορεί να προκαλέσει μετανεογνική κακοήγη νεοπλασία (λευχαιμία, καρκίνο). Όσον αφορά το ποσό της ακτινοβολίας όσο μεγαλύτερο είναι τόσο πιο πιθανή είναι η πρόκληση βλαβών.

Επομένως είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε πριν ακτινοβολήσουμε μια γυναίκα που είναι σε ηλικία αναπαραγωγής, αν υπάρχει η παραμικρή πιθανότητα εγκυμοσύνης και μάλιστα αν βρίσκεται στα αρχικά στάδια, έτσι ώστε να αποφευχεται η ακτινοβοληση του εμβρύου.

Πρέπει να τονισθεί ότι για να εκτιμηθεί ο κίνδυνος από αρκετά χαμηλές δόσεις γίνεται αυθαίρετη αναγωγή των αποτελεσμάτων σχετικά υψηλών δόσεων στα επίπεδα χαμηλών. Πάντως είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε πριν ακτινοβολήσουμε μία γυναίκα που είναι σε ηλικία αναπαραγωγής, αν υπάρχει η παραμικρή πιθανότητα να είναι έγκυος.

Περίληψη

Η ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου κατά τη διάρκεια μιας ακτινογραφικής εξέτασης επιτυγχάνεται, όταν εφαρμόζονται οι κανονισμοί ακτινοπροστασίας. Ο εξεταστής οφείλει να εφαρμόζει κάθε φορά την κατάλληλη τεχνική, ώστε να υπάρξει το καλύτερο διαγνωστικό αποτέλεσμα με τη μικρότερη δόση ακτινοβολίας στον εξεταζόμενο. Βέβαια θα αναζητηθεί διαρκώς το ενδεχόμενο η δόση αυτή να μειωθεί ακόμα περισσότερο προς όφελος του εξεταζόμενου χωρίς ταυτόχρονα να γίνεται σε βάρος της ποιότητας της εικόνας.

Ερωτήσεις

- Κατά τον ακτινογραφικό έλεγχο των παιδιών η δόση πρέπει να διατηρείται στα χαμηλότερα επίπεδα, επειδή:
 - απαιτούνται λίγα ακτινολογικά στοιχεία
 - αποφεύγεται η κίνηση του εξεταζόμενου
 - οι αναπτυσσόμενοι ιστοί παρουσιάζουν μεγάλη ακτινοευαισθησία
- Για ποιο λόγο θα πρέπει να γίνεται έλεγχος του παραπεριττικού και σε τι ωφελεί η επικοινωνία με τον εξεταζόμενο;
- Ποιος παράγοντας μεταβάλλεται συχνότερα κατά τη διάρκεια μιας ακτινολογικής εξέτασης:
 - Ο δομικός τύπος του εξεταζόμενου
 - Το αντιοκεδαστικό διάφραγμα
 - Η θερμοκρασία των χημικών διαλυμάτων
 - Το πάχος του φίλτρου ή πθμού
- Ο κανόνας του 15% ισχύει για τάσεις μεταξύ:
 - 50-70kVp
 - 60-90KVp
 - 80-120kVp
- Σύμφωνα με τον κανόνα του 15%, αύξηση των kVp συνοδεύεται με:
 - αύξηση των mAs στο διπλάσιο
 - αύξηση των mAs κατά 15%
 - μείωση των mAs κατά 50%
 - μείωση των mAs κατά 15%

6. Ποια η χρησιμότητα του φίλτρου ή πηροού στην ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου;
7. Σε εστιακή απόσταση μικρότερη του 1 μέτρου η δόση στον εξεταζόμενο:
 Α. μειώνεται
 Β. αυξάνεται
 Γ. παραμένει η ίδια
8. Συμπληρώστε τα κενά στην παρακάτω πρόταση:
 Μεγαλύτερη ακτινοβολούμενη περιοχή από την εξεταζόμενη, έχει ως αποτέλεσμα _____ στον εξεταζόμενο, αλλά και στον εργαζόμενο λόγω της _____ ακτινοβολίας. Ταυτόχρονα υποβαθμίζεται και η _____ στην ακτινολογική εικόνα.
9. Πώς μπορεί ο εργαζόμενος να ελέγξει τη σύμπτωση του φωτεινού πεδίου με το πεδίο ακτινοβολήσης; Σε τι εξυπηρετεί ο έλεγχος αυτός;
10. Η χρήση του αντισκεδαστικού διαφράγματος ωφελεί:
 Α. Τον εργαζόμενο
 Β. Τον εξεταζόμενο
 Γ. Την ποιότητα της ακτινολογικής εικόνας.
11. Πότε χρησιμοποιείται το αντισκεδαστικό διάφραγμα;
 Α. Πάνω από 70kVp
 Β. Πάνω από 60kVp
 Γ. Πάνω από 50 kVp
12. Για ποιο λόγο θα πρέπει ο εξεταζόμενος να γνωρίζει τον τύπο και το λόγο του αντισκεδαστικού διαφράγματος σε ένα ακτινολογικό τραπέζι ή ορθοστάτη που χρησιμοποιεί;
13. Ποια η σχέση του ακτινολογικού φιλμ με την ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου;
14. Η χρήση γρήγορων ενισχυτικών πινακίδων, τη δόση του εξεταζόμενου
 Α. τη μειώνει
 Β. την αυξάνει
 Γ. δεν την επηρεάζει

15. Τι πρέπει να προσέχετε μέσα στον σκοτεινό θάλαμο, ώστε να μην υπάρξει απόκροση της λανθάνουσας εικόνας στο φιλμ;
16. Ο πιο μεταβλητός παράγοντας σε ένα αυτόματο εμφανιστήριο στη διάρκεια του χρόνου είναι:
- A. ο χρόνος της εμφάνισης
 - B. η θερμοκρασία των χημικών διαλυμάτων
 - Γ. το ΡΗ του διαλύματος
17. Πώς μπορούμε να συμβάλλουμε στην ακτινοπροστασία του εξεταζόμενου, όταν χρησιμοποιούμε χειροκίνητο εμφανιστήριο;
18. Αιτιολογήστε την τεχνική που θα επιλέξετε κατά τον ακτινογραφικό έλεγχο του κρανίου.
19. Κατά τον ακτινογραφικό έλεγχο του άνω άκρου, από το άκρο χέρι μέχρι την άρθρωση του αγκώνα, τα πόδια του εξεταζόμενου θα πρέπει να βρίσκονται:
- A. κάτω από το ακτινολογικό τραπέζι
 - B. παράλληλα με το ακτινολογικό τραπέζι
 - Γ. δεν έχει ιδιαίτερη σημασία
20. Ποια είναι η πιο ακτινοευαίσθητη περίοδος κατά τη διάρκεια της κύκλωσης;
21. Ο κανόνας των 10 ημερών πρέπει να εφαρμόζεται
- A. σε γυναίκες που είναι σε αναπαραγωγική ηλικία
 - B. σ' όλες τις γυναίκες
 - Γ. σ' όλους τους εξεταζόμενους

Απαντήσεις

1. Γ
3. Α
4. Β
5. Γ
7. Β
10. Γ
11. Β
14. Α
16. Γ
19. Β
21. Α



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΓΛΩΣΣΑΡΙ
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ
ΠΗΓΕΣ

Γλωσσάρι

Αγγλικών όρων

eV. Η ενέργεια που καταναλώνεται όταν ένα ηλεκτρόνιο μετακινηθεί μεταξύ δύο σημείων που έχουν διαφορά δυναμικού 1V.

Gray. Μονάδα απορροφούμενης δόσης που ισοδύναται με 1J/kg ύλης.

rad. Μονάδα απορροφούμενης δόσης που ισοδύναται με 100 erg/g ύλης.

Roentgen. Μονάδα έκθεσης που ισοδύναται με συλλογή $2,58 \cdot 10^4$ C/kg αέρα.

Sievert. Μονάδα ενεργού και ισοδύναμης δόσης που ισοδύναται με 1J/kg ύλης.

Ελληνικών όρων

Αιμοποιητικό σύνδρομο. Το σύνδρομο από ακτινοβόλωση του μυελού των οστών με δόση 1-10 Gy.

Ακτίνες α. Ιοντίζουσα αεριογόνια ακτινοβολία διαθέτουμεσα δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια εκπαιμόμενα από ραδιενεργούς πηγές.

Ακτίνες β. Ιοντίζουσα ακτινοβολία από ηλεκτρόνια εκπαιμόμενα από ραδιενεργούς πηγές.

Ακτίνες γ. Ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από διεγερμένους πυρήνες.

Ακτίνες X. Ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από διεγερμένα άτομα.

Ακτινοδιαπερατός οπόγγος. οπόγγος που δεν αποκόπει της πορεία των ακτίνων X.

Ακτινοευαίσθητη περιοχή. περιοχή

που παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία κυττάρων ή ιστών.

Άμεσα αποτελέσματα. Τα βιολογικά αποτελέσματα που εκδηλώνονται αμέσως μετά την έκθεση και αφορούν σχετικά υψηλή δόση ($>0,25$ Gy).

Άμεση δράση. Ιοντισμός ή διεγερση βιολογικού μέρους με απευθείας επίδραση, πάντα σε αυτό της ακτινοβολίας.

Ανιχνευτής οπινθηριωμών. Ανιχνευτής ακτινοβολίας όπως η προσοπίτησος ακτινοβολία μετατρέπεται σε φως.

Απορροφούμενη δόση. Ποσότητα ακτινοβολίας εκφραζόμενη σε rad ή Gy.

Απότερα αποτελέσματα. Τα βιολογικά αποτελέσματα που εκδηλώνονται χρόνια μετά την έκθεση και αφορούν σχετικά χαμηλή δόση ($<0,25$ Gy).

Ατομικός Αριθμός. Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα.

Ατυπία. Πλήρης θραύση ενός ή δύο χρωμοσωμάτων με ανώμαλη ανασυγκόλληση των άκρων τους και πιθανά ύπαρξη θραυσμάτων.

Γαστρεντερικό σύνδρομο. Το σύνδρομο από ακτινοβόληση του πεπτικού συστήματος με δόση 6-10 Gy.

Γονίδιο. Τμήματα του DNA με καθιερωμένη σύνθεση που είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία συγκεκριμένης πρωτεΐνης.

Γραμμική μεταφορά ενέργειας. Το κλάσμα της μεταβαλλόμενης ενέργειας στην ύλη ανά μονάδα διαδρομής, μιας ακτινοβολίας.

Διαγνωστικά επίπεδα αναφοράς. Επίπεδα δόσης στις ιατρικές ακτινοδιαγνωστικές πράξεις για τυποποιημένες εξετάσεις ομάδων ασθενών κανονικής διάταξης ή κανονικών ορμονικών για ελέγχου χρησιμοποιημένους τύπους εξοπλισμού. Τα επίπεδα αυτά δεν θα πρέπει να παραβιάζονται κατά τις τυποποιημένες διαδικασίες όταν εφαρμόζεται ορθή και κανονικά πρακτική που αφορά στη διαγνωστικά και τεχνική εκτέλεση.

Διαρρέουσα ακτινοβολία. ποσότητα ακτινοβολίας που ελέγχεται από ανεξαρτησία μέρος της λαχνίας εκτός των παράθρονα ελκείας.

Διασφάλιση ποιότητας. Όλες οι προγραμματισμένες και συστηματικές ενέργειες που απαιτούνται προκειμένου να παρέχουν την απαραίτητα αξιοπιστία ώστε μια κατασκευή, σύστημα, εξάρτημα ή διαδικασία, να λειτουργεί ικανοποιητικά σύμφωνα με αποδεκτά πρότυπα.

Διέγερση. Η μετακίνηση ενός ηλεκτρονίου από μια τροχιά σε μια άλλη.

Διπλασιαζόμενη δόση. Η δόση που διπλασιάζει τον αυτόματο ρυθμό μετάλλαξης μιας γενιάς.

Δόση ερυθράτος δέρματος. Δόση που προδίνει ερυθρή στο 50% του πληθυσμού σε 30 ημέρες.

Δοσιμετρία. Ο κλάδος που ασχολείται με τον υπολογισμό της απορροφούμενης δόσης.

Δοσίμετρο θερμοφωταύγειας. Είδος προσωπικού δοσιμετρου με κρυστάλλους TLD.

Ε.Ε.Α.Ε. Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, όργανο της πολιτείας, για θέματα αστινοπροστασίας, πυρηνικής ενέργειας και πυρηνικής τεχνολογίας.

Εκθεση. Ποσότητα έκθεσης ακτινοβολίας εκφρασμένη σε R ή C/kg.

Εκτιθέμενοι εργαζόμενοι. Άτομα, τα οποία κατά την εργασία τους σε πρακτικές που εφαρμόζουν στους κανονισμούς, εκτίθενται σε ακτινοβολία και η έκθεσή τους ενδέχεται να συνεπάγεται δόσεις που υπερβαίνουν κάποια από τα όρια δόσης, για το κοινό.

Ελεγχόμενη ζώνη. Περιοχή που υπόκειται σε ειδικούς κανόνες για λόγους προστασίας από τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες ή παρεμπόδιση της ελεύθερης ραδιενεργού ρύπανσης και στην οποία η πρόσβαση υπόκειται σε έλεγχο.

Ελεύθερη ρίζα. Μοριο εξαιρετικά ασταθές, βραχύβιο και χημικά δραστήριο.

Ερμείωση δράση. Η δράση της ακτινοβολίας σε βιολογικά μόρια μέσω ελεύθερων ριζών.

Εμπειρογνώμονας. Ο υπογεννητίας που αναλαμβάνει τις πρωταρχικές επιτυχίες που σχετίζονται με τη διαδικασία αποδοτικής ιατρικής εκθέσεως.

Ενεργός δόση. Το άθροισμα των κινδύνων δόσεων στα διάφορα όργανα ή ιστούς.

Επιβλεπόμενη ζώνη. Περιοχή που υπόκειται στην κατάλληλη επίβλεψη για λόγους προστασίας από ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

Εργαζόμενοι κατηγορίας Α. Εργαζόμενοι που εκδίδεται να δεχτούν ενεργή δόση μεγαλύτερη από 6 mSv το έτος ή

ισοδύναμη δόση μεγαλύτερη από τα τρία δέκατα των ορίων δόσης για τους φακούς των οφθαλμών, το δέρμα και τα άκρα που καθορίζονται στον Πίνακα 7.1.

Εργαζόμενοι κατηγορίας Β. Εργαζόμενοι που δεν ενδέχεται να λάβουν τη δόση που προβλέπεται για εργαζόμενους κατηγορίας Α.

Θάλαμος ιονισμού. Όργανα μέτρησης ή ανίχνευσης της ακτινοβολίας.

Θανατηφόρα δόση LD 50/30. Δόση που προξενεί θάνατο στο 50% του πληθυσμού σε 30 ημέρες.

Θεωρία του στόχου. Θεωρία σύμφωνα με την οποία το κύτταρο διαθέτει κάποιες ευαίσθητες θέσεις - στόχους που πρέπει να πληγούν για να επέλθει ο κυτταρικός θάνατος.

Ιονισμός. Η οριστικά απορρόκνηση ενός ηλεκτρονίου από το άτομο.

Ισοδύναμη δόση. Η απορροφούμενη δόση σε ιστό ή όργανο διορθώνεται με τον παράγοντα βαρύτητας της ακτινοβολίας.

Καμπύλη δόσης - απόκρισης. Γραμμική ή μη γραμμική καμπύλη που απεικονίζει τη σχέση μεταξύ χορηγούμενης δόσης της ακτινοβολίας και πιθανότητας εμφάνισης του βιολογικού αποτελέσματος.

Καμπύλη επιβίωσης. Η γραφική παράσταση της δόσης και της κυτταρικής επιβίωσης αποίκιων κυττάρων.

Κανονισμός Ακτινοπροστασίας. Η υπουργική απόφαση 1014/2001 που ορίζει μέτρα και ελέγχους για την ανίχνευση και περιορισμό κάθε πραγματικής που ενδέχεται να προκαλέσει κίνδυνο έκθεσης για τον πληθυσμό γενικότερα και τους εργαζόμενους, ειδικότερα.

Κάτοχος. Το φυσικό ή νομικό πρόσωπο που έχει την ευθύνη μιας δεδομένης ακτινολογικής εγκατάστασης.

Κατώφλι. Τμήθ δόσης κάτω από την

οποία δεν παρατηρείται μη στοχαστικό βιολογικό αποτέλεσμα.

Κλασματική έκθεση. Μια συνολική δόση που χορηγείται τμηματικά.

Κλινική ευθύνη. Η ευθύνη σχετική με κάθε έκθεση ατόμων για ιατρικούς λόγους και ιδίως η αιτιολόγηση, η βελτιστοποίηση, η κλινική αξιολόγηση του αποτελέσματος, η συνεργασία με άλλους σε σχέση με πρακτικές επιτυχίες και η λήψη και παροχή πληροφοριών.

Κοινό. Μέλη του πληθυσμού εξαιρουμένων των εκτεθειμένων εργαζομένων, των μαθητευομένων και των σπουδαστών κατά τη διάρκεια της εργασίας τους.

Κοσμική ακτινοβολία. Ακτινοβολία που προέρχεται από το διάστημα.

Λανθάνουσα εικόνα. Εικόνα, η οποία έχει διαφωτιστεί στο φιλμ αλλά δεν είναι ορατή πριν τη χημική επεξεργασία του φιλμ.

Λυχνία ακτίνων Χ. Διάταξη στην οποία παράγεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Μαζικός Αριθμός. Το άθροισμα των ηλεκτρονίων και νετρονίων ενός ατόμου.

Μαθητευόμενος. Άτομο που εκπαιδεύεται ή διδάσκεται, μέσα σε μια επιχείρηση, με σκοπό να εξασκήσει μια καθορισμένη ειδικότητα.

Μετάλλαξη. Η απότομη αλλαγή του γενετικού υλικού που δεν υπάρχει πριν και που κληρονομείται στον επόμενο οργανισμό ή στα θυγατρικά κύτταρα.

Μετρνής Geiger-Muller. Όργανο μέτρησης ή ανίχνευσης της ακτινοβολίας, κυρίως της κοσμικής.

Μη στοχαστικό αποτέλεσμα. Βιολογικό αποτέλεσμα που εμφανίζεται μετά από ένα κατώφλι δόσης και η βαρύτητα που αυξάνει όσο αυξάνει η δόση της ακτινοβολίας.

Μήκος κύματος. Η απόσταση μεταξύ

δύο διαδοχικών θέσεων ενός κύριου.

Μολύβδινο εύκαρπτο φύλλο. προστατευτικό από μολύβδο πάχους 1mm που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των γεννητικών αδένων στη γυναίκα.

Μολύβδινο προστατευτικό εκραγείο. προστατευτικό από μολύβδο πάχους 1mm που χρησιμοποιείται για τη κάλυψη των ανδρικών γεννητικών αδένων.

Μόλυβδος. υλικό με μεγάλο ατομικό αριθμό και μεγάλο πυκνότητα.

Νετρίνο. Αδρότιστο μικρό σωματίδιο που εμφανίζεται κατά την εκκίνηση β ακτινοβολίας.

Νόμος Bergonie και Tribondeau. Η ακτινοευαισθησία ενός κυττάρου είναι ανάλογη της μεταβολικής κατάστασης του ακτινοβολούμενου κυττάρου.

Νόμος της πυκνότητας. επιλογίζει τον ποσοστό της ακτινοβολίας στη νέα ιατρικά απόσταση.

Νόμος του αντίστροφου του τετραγώνου. η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μία σημειακή πηγή είναι αντίστροφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από τη σημειακή πηγή.

Ολική διήθηση. το σύνολο της εσωτερικής (λαδί, γυαλί) και εξωτερικής (φίλτρο) διήθησης.

Οξύ ακτινολογικό σύνδρομο. Το σύνολο των συμπτωμάτων που προκαλούνται από έκθεση του οργανισμού σε σχετικά υψηλή δόση (>0,25 Gy) και τα οποία εκδηλώνονται άμεσα μετά την έκθεση.

Παραπέμπων. Σύμφωνα με την οδηγία 97/43 γιατρού, οδοντίατρος ή άλλος επαγγελματίας υγείας (other health professional) που είναι εξουσιοδοτημένος να παραπέμπει άτομα σε πραγματογνώμονα (practitioner) για να εκτεθούν σε ακτινοβολίες για ιατρικούς λόγους.

Περιοριστικά επίπεδα δόσεων. Επίπεδα δόσης που στοχεύουν στον

περιορισμό των αναμενόμενων και των δυναπικών δόσεων που προέρχονται από συγκεκριμένα πρακτικά ή πηγή στα πλαίσια μιας πρακτικής. Τα επίπεδα αυτά χρησιμοποιούνται κατά το στάδιο του σχεδιασμού της ακτινοπροστασίας για λόγους βελτιστοποίησης.

Πραγματογνώμονας. Σύμφωνα με την οδηγία 97/43 γιατρός, οδοντίατρος ή άλλος επαγγελματίας υγείας που είναι εξουσιοδοτημένος να αναλαμβάνει την κλινικά ευθύνη για μια ιατρική έκθεση.

Πρακτικές πτυχές. Η πραγματοποίηση ομοιομόρπτε έκθεσης και κάθε συναφής πτυχή συμπεριλαμβανομένων της χειρωνακτικής και της χρήσεως ακτινολογικού εξοπλισμού καθώς και η εκτίμηση τεχνητών και φυσικών παραμέτρων συμπεριλαμβανομένων των δόσεων αβινοβολίας, η βαθμολόγηση και η αντήρηση εξοπλισμού και η εμφάνιση φιλμ.

Προστατευτικά γάντια. γάντια προστασίας από μολύβδοκαοιτισούς.

Προστατευτική ποδιά. ποδιά προστασίας από μολύβδοκαοιτισούς.

Προστατευτικό θυροειδούς αδένου. προστατευτικό θυροειδούς αδένου.

Προστατευτικό ακίστρο. οσκευά που τοποθετείται στο κιβώτιο διαφραγμάτων και παρέχει γονιδιακή προστασία. Πάχους μολύβδου 2mm.

Προσωπικό δοσίμετρο. Δοσίμετρο για την παρακολούθηση της έκθεσης εργαζομένων.

Πρωτόπλωμα. Η βασική ουσία του κυτταροπλάσματος, η οποία αποτελείται κατά 80% περίπου από νερό.

Πυρήνας ατόμου. Η μεγαλύτερη ποσότητα του ατόμου που περιέχει πρωτόνια και νετρόνια.

Πυρήνας. Σφαιρικό σωματίδιο στο εσωτερικό των κυττάρων που ρυθμίζει και ελέγχει τις δραστηριότητες του κυττάρου και τη μεταφορά των γενετικών πληροφοριών.

Ραδιενεργό στοιχείο. Στοιχείο με ασταθή πυρήνα.

Ραδιενεργός οικογένεια. Σειρά ραδιενεργών στοιχείων το κάθε ένα από τα οποία διασπάται στο επόμενο μέχρι να καταλήξει στα σταθερά στοιχεία.

Ραδιοϊσότοπο. Ισότοπο ενός στοιχείου που είναι ραδιενεργό.

Ραδιόλυση του νερού. Ιοντισμός του νερού από την ακτινοβολία κατά την οποία παράγονται ελεύθερες ρίζες.

Ραδόνιο. Αέριο ραδιενεργό, στοιχείο θυγατρικό του ουρανίου.

Σκεδαζόμενη ακτινοβολία. ακτινοβολία που δημιουργείται μετά από σύγκρουση της πρωτογενούς ακτινοβολίας με τον εξεταζόμενο ή οποιοδήποτε υλικό στο χώρο του εργαστηρίου.

Στιβάδες ατόμου. Νοητοί κύκλοι περι τον πυρήνα του ατόμου, στους οποίους περιφέρονται ηλεκτρόνια.

Στοχαστικό αποτέλεσμα. Βιολογικό αποτέλεσμα για το οποίο δεν υπάρχει όριο δόσης (κατώφλι) κάτω από το οποίο να μην συμβαίνει. Όσο αυξάνει η δόση της ακτινοβολίας αυξάνει η πιθανότητα και όχι η βαρύτητα.

Στυλοδοσίμετρο. Είδος προσωπικού δοσίμετρου άμεσης ανάγνωσης.

Σύνδρομο ΚΝΣ. Το σύνδρομο από ακτινοβόληση του κεντρικού νευρικού συστήματος με δόση πάνω από 50 Gy.

Συχνότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ο αριθμός των αρέων ή των κυμάτων ενός κύματος που περνούν από ένα σημείο ανά s.

Φάσμα ακτίνων Χ. Το πλήθος των φωτονίων σε συνάρτηση με την ενέργειά τους.

Φασματική ευαισθησία. Ικανότητα του φιλμ να αποκρίνεται στην ακτινοβολία.

Φθορισμός. Η εκπομπή φωτός ταυτόχρονα με την πρόσπτωση ακτινοβολίας στο υλικό.

Φιλμ μπλε ευαισθησίας. Ικανότητα του φιλμ να αποκρίνεται στο μπλε φως.

Φιλμ ορθοχρωματικά. φιλμ, τα οποία αποκρίνονται το ίδιο στο μπλε και πράσινο φως.

Φυσική απορείωση. Η σταδιακή μείωση των αριθμού των ραδιενεργών πυρήνων.

Φυσική Ραδιενέργεια. Η ραδιενέργεια που δεν προέρχεται από τεχνητές (ανθρωπογενείς) πηγές.

Φωσφορισμός. Η εκπομπή φωτός με μικρή καθυστέρηση μετά την πρόσπτωση ακτινοβολίας στο υλικό.

Φωτογραφικό δοσίμετρο. Είδος προσωπικού δοσίμετρου με φωτογραφικό φιλμ.

Χάσμα. Η μερική θραύση ενός χρωμοσώματος.

Χρόνος υποδιπλασιασμού. Ο χρόνος για να μειωθεί η ποσότητα των ραδιενεργών πυρήνων στο μισό.

Χρωμοσωματική διάσπαση. Χρωμοσωματική μεταβολή που μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα με το μικροσκόπιο.

Βιβλιογραφικές παραπομπές

ΕΠΙ ΤΩ ΕΛΛΗΝΙΚΩ Ι. Π. 2001

- Αλεξόπουλος Κ. (1966) Οπτική, Αθήνα
 Κουτρομπής, Γ.Π. (1983) Ατομική και Πυρηνική Φυσική, ΟΕΔΒ, Αθήνα
 Κουτρομπής, Γ.Π. (1983) Ακτινοφυσική Ι, ΟΕΔΒ, Αθήνα
 Κουτρομπής, Γ.Π. (1984) Ακτινοφυσική ΙΙ, ΟΕΔΒ, Αθήνα
 Κουτρομπής, Γ.Π. (2000) Ακτινοπροστασία, Λύχνος, Αθήνα
 Παλληκάρakis Ν κ.ο.υ.ν. (1989) Στοιχεία Φυσικής Πυρηνικής Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Πατρών
 Bonnet-Maury, P (1969) La Radioprotection, PUF No 1347
 Bushong, S. (1997) Radiologic Science for Technologists, Mosby, St Louis
 Cardevielle, JN (1984) Les rayons cosmiques, PUF No 729
 Chassard-Bonchand (1970) Environnement et Radioactivite
 Marbin A και Harbison, S (1999) Radiation Protection, Chapman and Hall
 Travaux (1969) Pratiques de Physique Nucleaire, INSTN

ΕΠΙ ΤΩ ΚΑΡΤΙΝΩ Ι. Π. 2001

- Κουτρομπής, Γ.Π. (2000) Ακτινοπροστασία, Λύχνος, Αθήνα
 Μαργαρίτης, Α.Χ. (1996) Ραδιοβιολογία: Ακτινοβολίες και ζωή, Αθήνα
 Πλατανιώτης, Γ.Α. (2000) Κλινική Ραδιοβιολογία, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
 Bushong, S. (1997) Radiologic Science for Technologists, Mosby, St Louis
 Glass, W και Varma, M. (1992) Physical and Chemical Mechanisms in Molecular Radiation Biology, Plenum Press, New York
 Hall, EJ. (2000²) Radiobiology for the Radiologist, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
 McParland, BJ (1998). A study of patient radiation doses in interventional radiological procedures. The British Journal of Radiology 175-185
 NCRP Report No. 105 (1989) Radiation Protection for Medical and Allied Health Personnel, NCRP, Bethesda
 Nias, A. και Dimbleby, R. (1990) An Introduction to Radiobiology, John Wiley & Son Ltd, New York
 Shope, TB (1994) Radiation-induced Skin Injuries from Fluoroscopy, US Food and Drug Administration, FDA (διαθέσιμο και στην διεύθυνση <http://www.fda.gov/cdrh/rsnail.html>)
 Travis, EL. (1989³) Primer of Medical Radiobiology, Mosby, St Louis
 Vano, E κ.ο.υ.ν. (1998). Dosimetric and radiation protection considerations

based on some cases of patient skin injuries in interventional cardiology. The British Journal of Radiology 71:510-516; 1998

Wagner, LK (1999). Perspectives on radiation risks to skin and other tissues in fluoroscopy. Στο Radiation protection in medicine: contemporary issues, Proceedings No. 21, National Council on Radiation Protection and Measurements

Για το κεφάλαιο 9 και 10

Κουτρομπής Γ.Π. (2000) Ακτινοπροστασία. Λόγχος, Αθήνα

Κουμαριανός Δ. (1999) Άτλας Ακτινολογικών Προβολών, Β' έκδοση, Αθήνα

Κανδαράκης Ι. (1998) Φυσικές και Τεχνολογικές Αρχές Ακτινοδιαγνωστικής. Έλλην

Ε.Ε.Α.Ε. (1983) Ακτινοπροστασία

Ψαρράκος Κ., Καρακατσάνης Κ. (1985) Ιατρική Φυσική

Καρακατσάνης Κ., Πανδούλας Ε., Καρατζάς Ν. (1985) Ιατρική Φυσική

ΦΕΚ 216 Τεύχος Β' (2001) Νομοθεσία Ακτινοπροστασίας

Οδηγία Ε.Ε. 97 / 43 30 - 6 - 1997

Εγχειρίδιο σημειώσεων τμήματος Ιατρικής Φυσικής - Νοσοκομείο Υγεία

Ζαμάνης Κ. (1998) Εγχειρίδιο Σημειώσεων 2ου Τ.Ε.Ε. Γαλατσίου

Ενημερωτικό έντυπο X- RAY RADIATION PROTECTION AND ACCESSORIES - Dr GOOS

Kodak (1993) Introduction to "Medical Radiographic Imaging" USA.

Πηγές προέλευσης σχημάτων και εικόνων

Για τα κεφάλαια 1, 2 και 3:

Τα σχήματα και οι εικόνες προέρχονται από τα βιβλία του συγγραφέα Κουτρούμη Γιώργου και συγκεκριμένα από τα βιβλία "Ατομικά και Πυρηνική Φυσική" (Αθήνα 1983, ΟΕΔΒ), "Ακτινοφυσική Ι" (Αθήνα 1983, ΟΕΔΒ), "Ακτινοφυσική ΙΙ" (Αθήνα 1984, ΟΕΔΒ) και "Ακτινοπροστασία" (Αθήνα 2000, Εκδόσεις Λύχνος).

Για τα κεφάλαια 4 και 7:

Τα σχήματα και οι εικόνες είναι του συγγραφέα Κουρμαριανού Δημήτρη εκτός από τα παρακάτω:

- η εικόνα 4.8, από το Shope, TB (1994) Radiation-induced Skin Injuries from Fluoroscopy, US Food and Drug Administration, FDA (διαθέσιμο και στην διεύθυνση <http://www.fda.gov/cdrh/rsnai.html>).
- η εικόνα 4.11, από φωτογραφίες του Seymour Abramson που δημοσιεύονται στο Wagner LK, 1991, Radiation and Bioeffects and Management Test and Syllabus, Reston, VA, American College of Radiology, σελ. 232-233.
- η εικόνα 4.13 από φωτογραφία του Dr Roberts Rugh που δημοσιεύεται στο Travis, EL (1989) Primer of Medical Radiobiology, Mosby, St Louis, σελ. 157.

Για τα κεφάλαια 9 και 10:

Οι εικόνες 9.1, 9.3, 10.3 είναι του συγγραφέα Στασινού Σωτήρη.

Οι εικόνες 9.5, 9.6, 9.8, 10.8, 10.9, 10.10, προέρχονται από το ενημερωτικό έντυπο X-RAY RADIATION PROTECTION AND ACCESSORIES - Dr GOOS, οι οποίες είναι διαθέσιμες και στη διεύθυνση <http://www.drgoos-suprema.de>

Η εικόνα 9.7 από το ενημερωτικό έντυπο VILLA SISTEMI MEDICAL.

Η εικόνα 9.2 από το βιβλίο "Ακτινοπροστασία" Κουτρούμη Γ. Αθήνα 2000.

Οι εικόνες 9.4, 10.2, 10.4 από Kodak "Medical Radiographic Imaging" USA 1993.

Οι εικόνες 10.1, 10.6, 10.7 από εγχειρίδιο της Philips.

Η εικόνα 10.5 από το βιβλίο "Ατλας Ακτινολογικών Προβολών" Κουρμαριανός Δ., Αθήνα 1999, 2η έκδοση.

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Σταράτης Αλαχιώτης

Καθηγητής Γενετικής Πανεπιστημίου Πατρών

Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

•Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου

Γεώργιος Βούτσιος

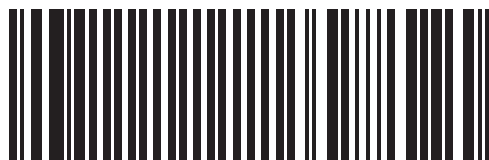
Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

•Υπεύθυνη του Τομέα Υγείας και Πρόνοιας

Ματίνα Στάπηα

Πάρεδρος ε.θ. του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Κωδικός Βιβλίου: 0-24-0270
ISBN 978-960-06-3033-6



(01) 000000 0 24 0270 3