

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο

# ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

### 9.1 Εισαγωγή

Η πυρηνική ιατρική είναι κλάδος της ιατρικής που χρησιμοποιεί την ιοντίζουσα ακτινοβολία, όπως η ακτινοδιαγνωστική και η ακτινοθεραπεία. Ειδικότερα η πυρηνική ιατρική χρησιμοποιεί τη ραδιενέργεια που εκπέμπεται από ορισμένα ραδιενεργά ισότοπα τόσο για διαγνωστικούς όσο και για θεραπευτικούς σκοπούς.

Η διαγνωστική πυρηνική ιατρική χωρίζεται σε δυο κατηγορίες:

- ▲ Στην *in vivo* πυρηνική ιατρική που έχει εφαρμογή σε ζωντανούς οργανισμούς και δίνει την κατανομή του ραδιοφαρμάκου στο ανθρώπινο σώμα.

- ▲ Στην *in vitro* πυρηνική ιατρική που έχει εφαρμογή σε βιολογικά δείγματα, όπως π.χ. το αίμα για προσδιορισμό ορμονών, βιταμινών και αντιβιοτικών.

Στη θεραπευτική πυρηνική ιατρική η χορήγηση των ραδιενεργών ισωτόπων γίνεται για θεραπευτικούς σκοπούς, όπως π.χ. η ακτινοβολήση όγκων.

### 9.2. Ραδιενεργά ισότοπα

Τα ισότοπα είναι άτομα που έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό  $Z$  αλλά διαφορετικό μαζικό  $A$ . Έτσι, τα ισότοπα ανήκουν στο ίδιο χημικό στοιχείο και έχουν τις ίδιες χημικές ιδιότητες, διαφέρουν όμως ως προς τη μάζα τους. Ένα παράδειγμα στοιχείου που έχει ισότοπα είναι το υδρογόνο με 3 διαφορετικά είδη ισωτόπων: το πρώτιο  $H^1$ , το δευτέριο  $H^2$  και το τρίτιο  $H^3$ , που έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό  $Z=1$  αλλά διαφορετικούς μαζικούς  $A$ , που είναι αντίστοιχα 1, 2 και 3.

Ραδιενεργά ονομάζονται τα ισότοπα που παρουσιάζουν το φαινόμενο της ραδιενέργειας.

### 9.3 Ραδιενέργεια

Ραδιενέργεια (Radioactivity) ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο ο πυρήνας ενός ασταθούς ισωτόπου διασπάται και μετασχηματίζεται σε έναν άλλο πυρήνα, εκπέμποντας ακτινοβολία (σωματιδιακή ή ηλεκτρομαγνητική). Ο αρχικός

πυρήνας ονομάζεται *μητρικός*, ενώ αυτός που προκύπτει από τη διάσπαση του μητρικού ονομάζεται *θυγατρικός*. Τις περισσότερες φορές ο θυγατρικός πυρήνας ανήκει σε διαφορετικό χημικό στοιχείο σε σχέση με τον μητρικό, και γι' αυτό λέμε ότι κατά τη διάσπαση ενός πυρήνα επέρχεται μεταστοιχείωση. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη διάσπαση των πυρήνων μπορεί να είναι:

- ▲ Σωματία α που είναι πυρήνες ηλίου  ${}^4_2\text{He}$  (ακτίνες α).
- ▲ Σωματία  $\beta^-$  που είναι ηλεκτρόνια  $e^-$  (ακτίνες β).
- ▲ Φωτόνια γ (ακτίνες γ).

Η ραδιενέργεια λέγεται και ραδιενεργός διάσπαση και εκφράζει τον αριθμό των διασπάσεων ανά δευτερόλεπτο. Μονάδες ραδιενέργειας είναι το becquerel (Bq) που αντιστοιχεί σε 1 διάσπαση το δευτερόλεπτο και το curie (Ci) που αντιστοιχεί σε  $3.7 \times 10^{10}$  διασπάσεις το δευτερόλεπτο.

*Χρόνος υποδιπλασιασμού* (φυσικός) ενός ραδιενεργού ισότοπου είναι ο χρόνος που απαιτείται για να διασπαστούν οι μισοί πυρήνες του. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος υποδιπλασιασμού, τόσο πιο αργά γίνεται η διάσπαση του ραδιενεργού αυτού ισότοπου.

Η ραδιενέργεια διακρίνεται σε φυσική και τεχνητή.

◆ **Φυσική** ονομάζεται η ραδιενέργεια που παρατηρείται σε ραδιενεργά ισότοπα που βρίσκονται στη φύση και τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλους μαζικούς αριθμούς. Τα ισότοπα αυτά είναι από τη φύση τους ασταθή, είτε επειδή οι δυνάμεις που συγκρατούν τα σωματίδια (πρωτόνια-νετρόνια) στον πυρήνα τους είναι ασθενείς, είτε επειδή έχουν περίσσεια ενέργειας.

◆ **Τεχνητή** ονομάζεται η ραδιενέργεια που παρατηρείται σε ισότοπα που δεν είναι από τη φύση τους ραδιενεργά, αλλά γίνονται με τη βοήθεια πυρηνικών αντιδράσεων. Κατά τις αντιδράσεις αυτές οι πυρήνες των ισότοπων βομβαρδίζονται με κινούμενα σωματίδια, με αποτέλεσμα να γίνονται και αυτοί ραδιενεργοί. Τα τεχνητά ραδιενεργά ισότοπα, εκτός από ακτίνες α,  $\beta^-$ , γ, εκπέμπουν και ποζιτρόνια  $\beta^+$ , τα οποία είναι σωματίδια με θετικό φορτίο και μάζα ίση με τη μάζα του ηλεκτρονίου.

## 9.4 Ραδιενεργός οικογένεια

Ορισμένοι μητρικοί πυρήνες, μετά τη ραδιενεργό διάσπασή τους, καταλήγουν σε σταθερούς θυγατρικούς πυρήνες. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που οι θυγατρικοί πυρήνες είναι ασταθείς, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν και αυτοί το φαινόμενο της ραδιενέργειας. Έτσι, οι διασπάσεις συνεχίζονται και στους θυγατρικούς πυρήνες, μέχρι να καταλήξουν σε κάποιο σταθερό πυρήνα. Το σύνολο όλων αυτών των πυρήνων αποτελεί μια ραδιενεργό οικογένεια (π.χ. η οικογένεια του ουρανίου  $\text{U}^{238}$ , που περιλαμβάνει και το ράδιο, με τελευταίο στοιχείο το μόλυβδο 206).

## 9.5 Παραγωγή ραδιενεργών ισotόπων

Τα ραδιενεργά ισotόπα που χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική είναι τεχνητά, γιατί χαρακτηρίζονται από μικρούς χρόνους υποδιπλασιασμού και εκπέμπουν ακτινοβολία για μικρότερα χρονικά διαστήματα από τα φυσικά.

Η παραγωγή των ραδιενεργών ισotόπων γίνεται με πυρηνικές αντιδράσεις και ονομάζεται *ενεργοποίηση*. Σε αυτές τις αντιδράσεις σωματίδια προσπίπτουν πάνω σε πυρήνες και τους καθιστούν ραδιενεργούς:



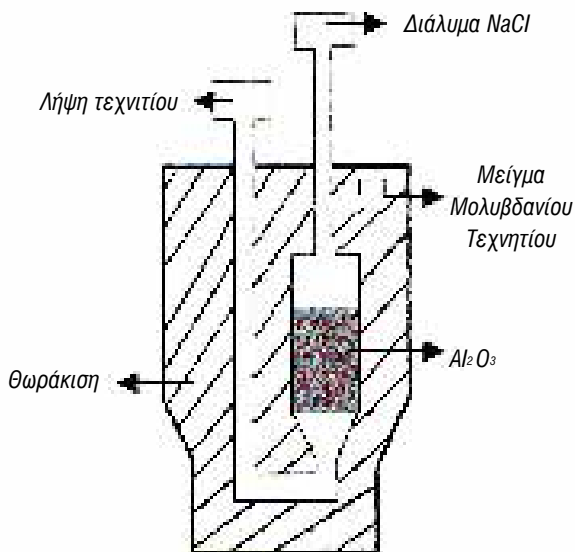
Τα σωματίδια μπορεί να είναι νετρόνια, πρωτόνια, σωματίδια  $\alpha$ , αλλά είναι δυνατό να είναι και φωτόνια  $\gamma$ . Τα νετρόνια παράγονται σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, σε γεννήτριες νετρονίων ή σε ισοτοπικές πηγές. Τα πρωτόνια και τα σωματίδια  $\alpha$  παράγονται σε ειδικές διατάξεις όπως το κύκλοτρο ή οι γραμμικοί επιταχυντές, και στη συνέχεια επιταχύνονται, ώστε να υπερνικήσουν τις πυρηνικές δυνάμεις των πυρήνων στόχων και να αλληλεπιδράσουν με αυτούς.

Τα ισotόπα που παράγονται με την ενεργοποίηση, μπορεί να εκπέμπουν διάφορα είδη ακτινοβολίας ( $\beta^-$ ,  $\gamma$ ,  $\beta^+$  κ.λπ.). Όσα όμως χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική είναι: αυτά που αρχικά εκπέμπουν ακτινοβολία  $\beta^-$  και τελικά αποδιδεγείρονται με την εκπομπή ακτίνων  $\gamma$ , αυτά που αρχικά εκπέμπουν  $\beta^+$  ακτινοβολία και με το φαινόμενο της εξαϋλώσης εκπέμπουν ακτίνες  $\gamma$ , καθώς και αυτά που εκπέμπουν ακτίνες  $X$ , μετά τη σύλληψη ενός ηλεκτρονίου από τον πυρήνα τους (φαινόμενο ηλεκτρονικής σύλληψης).

## 9.6 Ισοτοπικές γεννήτριες (αγελάδες)

Οι ισοτοπικές γεννήτριες ή αγελάδες, όπως έχει καθιερωθεί να λέγονται στην πράξη, είναι μονάδες που παράγουν ραδιενεργά ισotόπα. Η λειτουργία τους βασίζεται στο *φαινόμενο της ραδιενεργού ισορροπίας*, το οποίο συμβαίνει όταν ο θυγατρικός πυρήνας που προκύπτει είναι και αυτός ραδιενεργός, αλλά έχει μικρότερο χρόνο υποδιπλασιασμού σε σχέση με τον μητρικό. Σύμφωνα με το φαινόμενο της ραδιενεργού ισορροπίας, κάποια δεδομένη χρονική στιγμή ο θυγατρικός πυρήνας αρχίζει να διασπάται με το χρόνο υποδιπλασιασμού του μητρικού πυρήνα, που είναι πολύ μεγαλύτερος. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η μεταφορά των θυγατρικών πυρήνων από τους τόπους παραγωγής τους (πυρηνικά εργοστάσια) στα νοσοκομεία, και είναι διαθέσιμοι για εκμετάλλευση για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Στη συνέχεια οι θυγατρικοί πυρήνες διαχωρίζονται από τους μητρικούς με κατάλληλη χημική επεξεργασία, προκειμένου να χορηγηθούν στους ασθενείς. Όταν γίνει ο διαχωρισμός τους, οι θυγατρικοί πυρήνες αρχίζουν πάλι να δια-



Σχ. 9.1.: Γεννήτρια τεχνητίου 99m

σπώνται με το δικό τους χρόνο υποδιπλασιασμού, που είναι μικρότερος, περιορίζοντας έτσι το χρόνο ακτινοβολήσης των ασθενών.

Σήμερα χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο η **γεννήτρια τεχνητίου 99m**, που περιέχει μείγμα μολυβδαινίου – τεχνητίου 99m. Το μολυβδαίνιο παράγεται σε πυρηνικό αντιδραστήρα, όταν ενεργοποιηθεί με νετρόνια, και έχει μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού (67 ώρες). Στη συνέχεια διασπάται (εκπέμποντας ακτινοβολία β) σε τεχνητίο 99m, το οποίο είναι και αυτό ραδιενεργό με πολύ μικρότερο χρόνο υποδιπλασιασμού (6 ώρες). Τα 2 αυτά ισότοπα έρχονται σε ραδιενεργό ισορροπία σε 24 ώρες.

Η γεννήτρια αποτελείται από μια στήλη που είναι κατασκευασμένη από γυαλί ή πλαστικό και περιέχει τριοξείδιο του αργιλίου ( $Al_2O_3$ ). Στο πάνω μέρος της στήλης τοποθετείται το μείγμα μολυβδαινίου – τεχνητίου 99m, μέσα σε θωρακισμένο φιαλίδιο. Στο κάτω μέρος της στήλης υπάρχει ειδικό φίλτρο. Πάνω από τη στήλη βρίσκεται φιάλη που περιέχει διάλυμα χλωριούχου νατρίου. Το διάλυμα αυτό απελευθερώνεται από τη φιάλη και διέρχεται πάνω από το μείγμα μολυβδαινίου – τεχνητίου 99m, παρασύροντάς το προς το τριοξείδιο του αργιλίου. Αυτό κατακρατεί το μολυβδαίνιο, όχι όμως και το τεχνητίο. Έτσι, το τεχνητίο διαχωρίζεται και εξέρχεται από τη στήλη με μικρές μόνο προσμίξεις μολυβδαινίου<sup>1</sup>. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται *έκλυση*. Μια γεννήτρια τεχνητίου διατηρείται περίπου για μια εβδομάδα.

<sup>1</sup>Το μολυβδαίνιο έχει μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού και, αν η ποσότητα που βγαίνει μαζί με το τεχνητίο είναι μεγάλη, αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η δόση για τον ασθενή. Για το λόγο αυτό, το μολυβδαίνιο πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό.

Το **τεχνητίο 99m** διασπάται στη συνέχεια, εκπέμποντας ακτινοβολία  $\gamma$ , και μεταπίπτει στο σταθερό τεχνητίο που δεν είναι ραδιενεργό. Είναι ιδανικό για χρήση στην πυρηνική ιατρική γιατί:

- ▲ Έχει μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού (6 ώρες).
- ▲ Εκπέμπει μονοενεργειακά φωτόνια  $\gamma$  και όχι άλλα είδη ακτινοβολίας ( $\alpha$ ,  $\beta$ ).
- ▲ Η ενέργεια των φωτονίων που εκπέμπει είναι 140 KeV, που ανιχνεύεται εύκολα από τα συστήματα της πυρηνικής ιατρικής.

Εκτός από το τεχνητίο, άλλα ισότοπα που χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική είναι το θάλλιο 201, το ιώδιο 131, το γάλλιο 67, το ξένο 133 κ.λπ.

## 9.7 Ραδιοφάρμακα

Τα ραδιενεργά ισότοπα χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική με τη μορφή ραδιοφαρμάκων. Τα ραδιοφάρμακα είναι χημικές ουσίες οι οποίες έχουν επισημανθεί με κάποιο ραδιενεργό ισότοπο, κατάλληλα επιλεγμένες ώστε να κατευθύνονται σε συγκεκριμένα όργανα. Τα όργανα στα οποία κατανέμονται τα ραδιοφάρμακα γίνονται με αυτόν τον τρόπο πηγές εκπομπής ακτινοβολίας  $\gamma$ , η οποία χρησιμοποιείται τόσο για διαγνωστικούς όσο και για θεραπευτικούς σκοπούς. Έτσι, είναι φανερό ότι η πηγή εκπομπής της ακτινοβολίας στην πυρηνική ιατρική βρίσκεται μέσα στο ανθρώπινο σώμα, σε αντίθεση με την ακτινοδιαγνωστική, που οι ακτίνες  $X$  παράγονται έξω από το σώμα του ασθενή.

Τα ραδιοφάρμακα εισάγονται στον ανθρώπινο οργανισμό κυρίως ενδοφλέβια αλλά και από το στόμα (π.χ. ιώδιο 131) ή υποδόρια (π.χ. τεχνητίο 99 Sulfur). Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, συμμετέχουν στο μεταβολισμό, αθροίζονται σε διάφορα όργανα και στη συνέχεια αποβάλλονται από τον οργανισμό μέσω του πεπτικού ή του ουροποιητικού συστήματος.

*Βιολογικός χρόνος υποδιπλασιασμού* ονομάζεται το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να αποβληθεί από τον οργανισμό η μισή ποσότητα του ραδιοφαρμάκου.

Τα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στη διαγνωστική πυρηνική ιατρική πρέπει να πληρούν ορισμένες **προϋποθέσεις** για να είναι ασφαλή. Αυτές είναι:

- ◆ Να έχουν μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού (φυσικό και βιολογικό), ώστε να είναι δυνατή η εξέταση, αλλά να μην ακτινοβολείται άσκοπα για μεγάλο χρονικό διάστημα ο ασθενής και το περιβάλλον του. Τα ραδιοφάρμακα με μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού επιτρέπουν τη χορήγηση μεγάλων δόσεων, χωρίς σημαντική ακτινοβόληση του ασθενή.

- ◆ Να μην εκπέμπουν άλλες ακτινοβολίες, εκτός από αυτή που απαιτείται για την απεικόνιση (ακτινοβολία  $\gamma$ ). Η ακτινοβολία  $\beta^-$  είναι ανεπιθύμητη, γιατί απορροφάται γρήγορα από τους ιστούς, αυξάνοντας τη δόση στον ασθενή και δεν ανιχνεύεται από τα διαγνωστικά μηχανήματα.

- ◆ Να μην εκπέμπουν ακτινοβολίες πολλών ενεργειών αλλά μιας μόνο ενέργειας. Η ενέργεια αυτή θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μπορεί να ανιχνεύε-

ται από τα μηχανήματα (μεταξύ 40-400 KeV). Για παράδειγμα, το τεχνητό εκπέμπει μονοενεργειακή ακτινοβολία  $\gamma$ , ενέργειας 140 KeV.

- ◆ Να περιέχουν μόνο το ραδιενεργό ισότοπο που απαιτείται για την εξέταση και όχι άλλα.

- ◆ Να παρασκευάζονται εύκολα και να έχουν χαμηλό κόστος.

- ◆ Να κατανέμονται εκλεκτικά και σε ικανοποιητική ποσότητα σε ένα μόνο όργανο (αυτό που θέλουμε να απεικονίσουμε). Η συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου πρέπει να διατηρείται σταθερή στο όργανο αυτό για αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε να επιτρέπεται η διεκπεραίωση της εξέτασης.

- ◆ Να έχουν χαμηλή τοξικότητα και να είναι απαλλαγμένα από αλλεργικές ουσίες και μικρόβια.

Αν δεν τηρηθούν οι παραπάνω προϋποθέσεις, τα ραδιοφάρμακα μπορεί να προκαλέσουν ανεπιθύμητες αντιδράσεις (αλλεργικές – τοξικές), να αυξήσουν τη δόση της ακτινοβολίας στον ασθενή, το περιβάλλον του αλλά και το προσωπικό, ή να οδηγήσουν σε εσφαλμένη διάγνωση.

## 9.8 Εργαστήριο πυρηνικής ιατρικής

Ένα εργαστήριο πυρηνικής ιατρικής αποτελείται από τους εξείς χώρους:

- ▲ Το «θερμό εργαστήριο» (hot lab). Είναι ο χώρος που γίνεται η λήψη του ραδιενεργού ισότοπου από την αελάδα, η παρασκευή των ραδιοφαρμάκων και η τοποθέτησή τους σε σύριγγες. Για τις εργασίες αυτές υπάρχει τράπεζα εργασίας με ειδική θωράκιση. Είναι ακόμα ο χώρος φύλαξης των ραδιενεργών ισότοπων αλλά και απόρριψης των ραδιενεργών καταλοίπων.

- ▲ Την αίθουσα αναμονής για τους ασθενείς που πρόκειται να υποβληθούν σε εξέταση.

- ▲ Την αίθουσα που γίνεται η χορήγηση του ραδιοφαρμάκου.

- ▲ Την αίθουσα αναμονής για τους ασθενείς που έχουν λάβει το ραδιοφάρμακο.

- ▲ Την αίθουσα που γίνονται οι εξετάσεις, η οποία διαθέτει τον εργαστηριακό εξοπλισμό.

Στα τμήματα πυρηνικής ιατρικής οι ραδιενεργές πηγές εκπέμπουν συνεχώς ακτινοβολία, σε αντίθεση με τα ακτινοδιαγνωστικά τμήματα, στα οποία υπάρχει η δυνατότητα διακοπής της λειτουργίας της λυχνίας. Επίσης, το προσωπικό εκτίθεται σε ακτινοβολία όχι μόνο κατά τη διάρκεια της εξέτασης, αλλά και κατά την προετοιμασία του ραδιοφαρμάκου, τη μεταφορά του με τη σύριγγα και την έγχυσή του στον ασθενή, αλλά και από τυχόν διασπορά του ραδιενεργού υλικού, ιδιαίτερα όταν αυτό βρίσκεται σε αέρια μορφή. Έτσι, τα τμήματα πυρηνικής ιατρικής έχουν χαρακτηριστεί ως «**ελεγχόμενες περιοχές**», όπου δεν επιτρέπεται η διέλευση σε άλλους, παρά μόνο σε όσους έχουν ειδική εκπαίδευση πάνω στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες ή πρόκειται να υποβληθούν σε εξετάσεις με ραδιενεργά ισότοπα.

Τα εργαστήρια πυρηνικής ιατρικής, ανάλογα με τις ποσότητες των ισotόπων που χρησιμοποιούν, το είδος τους αλλά και το σκοπό που εξυπηρετούν, χωρίζονται σε 4 κατηγορίες: A1, A2, A3, A4. Οι κατηγορίες A2-A4 αφορούν διαγνωστικά ή θεραπευτικά εργαστήρια, για τα οποία έχουν θεσπιστεί οι παρακάτω κανόνες ακτινοπροστασίας:

- ◆ Οι χώροι πρέπει να είναι έτσι κατανομημένοι, ώστε η διακίνηση του προσωπικού και των ασθενών να γίνεται χωρίς να εκτίθενται σε ακτινοβολία. Πρέπει να υπάρχουν χωριστές αίθουσες αναμονής για τα άτομα που έχουν λάβει το ραδιοφάρμακο, καθώς και χωριστές τουαλέτες. Οι διάδρομοι πρέπει να είναι ευρύχωροι και ολόκληρο το εργαστήριο πυρηνικής ιατρικής δεν πρέπει να γειτνεύει με άλλα ιατρεία ή γραφεία.

- ◆ Οι τοίχοι, τα δάπεδα και οι πάγκοι εργασίας πρέπει να είναι λείοι, για να μην συγκρατούν διάφορες ουσίες και να πλένονται εύκολα. Ειδικότερα οι πάγκοι πρέπει να καλύπτονται με απορροφητικό χαρτί. Πρέπει ακόμα να γίνεται καλός αερισμός του χώρου, ιδιαίτερα αν οι ραδιενεργές ουσίες είναι πτητικές.

- ◆ Οι πάγκοι στο «θερμό εργαστήριο» πρέπει να διαθέτουν ειδική θωράκιση, να υπάρχουν βρύσες που να ανοίγουν με το πόδι και οι εργαζόμενοι θα πρέπει να πλένουν καλά τα χέρια τους βγαίνοντας από αυτό.

- ◆ Στο εργαστήριο θα πρέπει να διατίθενται σύριγγες μιας χρήσης καλυμμένες με μολυβδύαλο, μολύβδινα γυαλιά, μολύβδινα γάντια και μολύβδινες ποδιές. Τα προστατευτικά αυτά πρέπει να φυλάσσονται μέσα στο εργαστήριο, για να αποφεύγεται η διασπορά ραδιενεργών υλικών σε άλλους χώρους.

- ◆ Οι εργαζόμενοι δεν πρέπει να τρώνε, να πίνουν και να καπνίζουν στους χώρους του εργαστηρίου.

- ◆ Τα συσκευασμένα ραδιενεργά υλικά πρέπει να είναι κλειστά αεροστεγώς και να μην αποδίδουν στην επιφάνειά τους περισσότερη ακτινοβολία από 2 mSv/h. Για κάθε ραδιενεργό υλικό θα πρέπει να υπάρχει ετικέτα που να αναγράφει την ποσότητα, το είδος και την ημερομηνία παρασκευής του ραδιοφαρμάκου. Όλα τα ραδιενεργά διαλύματα πρέπει να καλύπτονται από μόλυβδο ή μολυβδύαλο (αν εκπέμπουν ακτίνες γ) ή από πλαστικό (αν εκπέμπουν ακτίνες β).

- ◆ Η απόρριψη των ραδιενεργών καταλοίπων πρέπει να γίνεται σε ειδικά θωρακισμένες κρύπτες φύλαξης που βρίσκονται συνήθως μέσα στο «θερμό εργαστήριο» και οι σύριγγες να πετάγονται αμέσως σε ειδικά δοχεία.

- ◆ Στην αίθουσα εξέτασης πρέπει να υπάρχει μολύβδινη θωράκιση μεταξύ εργαζομένων – εξεταζομένων.

- ◆ Πρέπει να τηρείται μητρώο με τις εξετάσεις του προσωπικού και μητρώο ατυχημάτων.

- ◆ Οι εργαζόμενοι στα τμήματα πυρηνικής ιατρικής συνιστάται να ανιχνεύουν την ακτινοβολία στο χώρο του εργαστηρίου, στα χέρια αλλά και στα ρούχα τους, με τη βοήθεια ειδικών μετρητών. Τέτοιοι μετρητές είναι:

- ◆ *Φορητοί μετρητές* (θάλαμοι ιονισμού ή μετρητές Geiger-Müller), που μεταφέρονται για έλεγχο σε διάφορες περιοχές του εργαστηρίου.

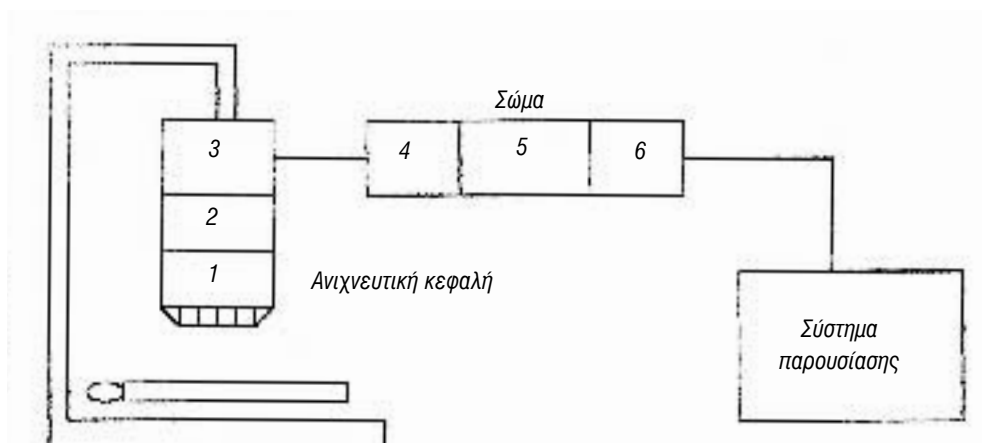
◆ **Μετρητές χώρου** που είναι τοποθετημένοι μόνιμα σε κάποιο σημείο όπως π.χ. στο «θερμό εργαστήριο».

◆ **Προσωπικά δοσίμετρα και μετρητές** (δοσίμετρα τσέπης, στυλοδοσίμετρα, φωτογραφικά δοσίμετρα, δοσίμετρα θερμοφωταύγειας).

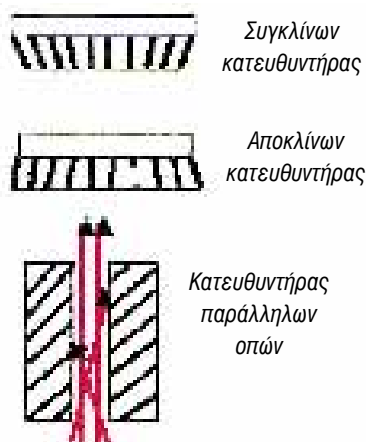
◆ **Μετρητές φρέατος**, στους οποίους εισάγονται οι πηγές ακτινοβολίας (σύριγγες, φιαλίδια) και ελέγχεται το ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπουν.

## 9.9 Εργαστηριακός εξοπλισμός

### 9.9.1 Βασική δομή συστημάτων απεικόνισης



Σχ. 9.2.: Βασική δομή ενός συστήματος απεικόνισης στην πυρηνική ιατρική. 1. Σπινθηριστής 2. Φωτοπολλαπλασιαστής 3. Προενισχυτής 4. Γραμμικός ενισχυτής 5. Αναλυτής ύψους παλμών 6. Μετρητής παλμών.

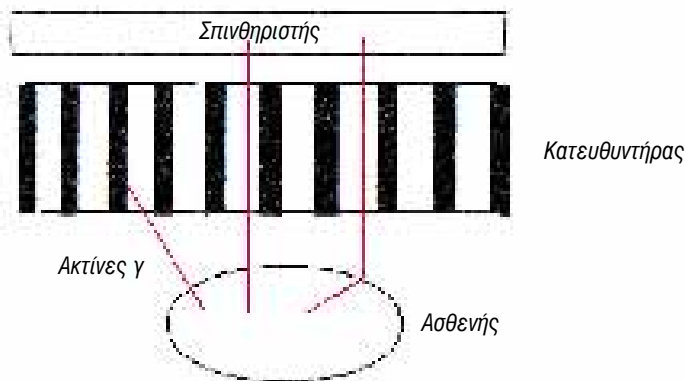


Σχ. 9.3.: Τύποι κατευθυντήρων. Στο κάτω σχήμα διακρίνεται η αποκοπή των ακτίνων γ που δεν έχουν την ίδια κατεύθυνση με τις οπές του κατευθυντήρα.

Ένα σύστημα απεικόνισης στην πυρηνική ιατρική αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

▲ **Τον κατευθυντήρα.** Τα φωτόνια γ που εξέρχονται από το σώμα του ασθενή, προσπίπτουν πρώτα στον κατευθυντήρα. Ο κατευθυντήρας έχει συνήθως κυλινδρικό σχήμα, και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος είναι μόλυβδος με μικρές προσμίξεις άλλων στοιχείων, όπως π.χ. βισμούθιου ή αντιμονίου. Ανάλογα με τον τύπο του, έχει μια ή περισσότερες οπές, από τις οποίες μπορούν να περάσουν μόνο τα φωτόνια εκείνα που έχουν την ίδια διεύθυνση με αυτές, ενώ τα υπόλοιπα αποκόπτονται από το μόλυβδο. Έτσι, ο κατευθυντήρας καθορίζει την περιοχή προέλευσης και τη διεύθυνση των φωτονίων που θα καταμε-



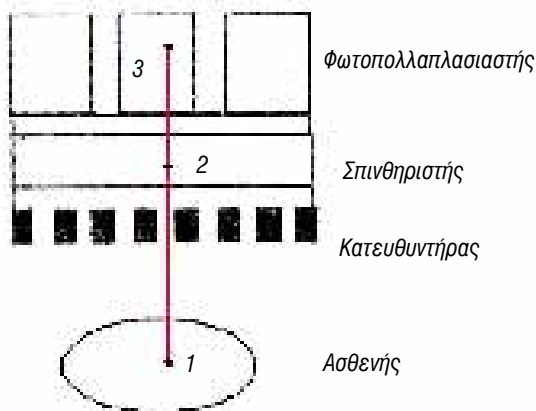


Σχ. 9.4.: Κατευθυντήρας παράλληλων οπών.

τρηθούν. Οι κυριότεροι τύποι κατευθυντήρων είναι ο κατευθυντήρας παράλληλων οπών, ο εστιασμένος (συγκλίνων ή αποκλίνων) και ο κατευθυντήρας μιας οπής (οπής καρφίτσας). Οι διαστάσεις τους ποικίλλουν ανάλογα με το εξεταζόμενο όργανο, τον τύπο του μηχανήματος και την ενέργεια των φωτονίων γ.

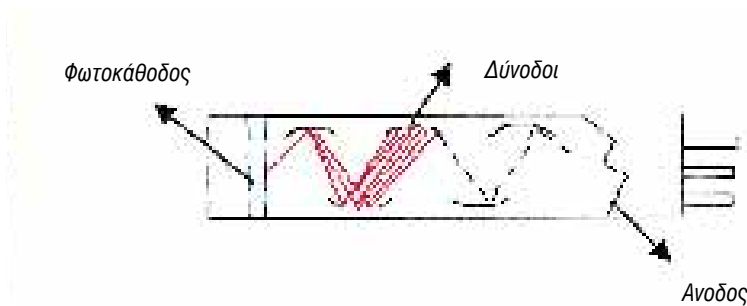
▲ **Τον σπινθηριστή**, ο οποίος βρίσκεται πίσω από τον κατευθυντήρα και ανιχνεύει τα φωτόνια γ που διέρχονται από αυτόν. Ο σπινθηριστής είναι υλικό που εκπέμπει ορατό φως, όταν διεγερθεί από ιοντίζουσα ακτινοβολία. Αποτελείται από ανόργανους ή οργανικούς κρυστάλλους, αλλά οι πιο συνηθισμένοι είναι οι ανόργανοι κρύσταλλοι ιωδιούχου νατρίου, με προσμίξεις θαλλίου. Τα φωτόνια γ που διέρχονται από τον κατευθυντήρα προσπίπτουν πάνω στο σπινθηριστή και μετατρέπονται σε ορατό φως.

▲ **Τον φωτοπολλαπλασιαστή**. Τα φωτόνια ορατού φωτός προσπίπτουν στη συνέχεια στον φωτοπολλαπλασιαστή, ο οποίος τα μετατρέπει σε ηλεκτρονικό σήμα (ηλεκτρόνια) και τα ενισχύει. Ο φωτοπολλαπλασιαστής είναι ένας κυλινδρικός σωλήνας που αποτελείται από τη φωτοκάθοδο, η οποία βρίσκεται στην είσοδό του, την άνοδο στην έξοδο και τις δυνόδους μεταξύ άνοδου - καθόδου. Η φωτοκάθοδος εκπέμπει ηλεκτρόνια όταν προσπέσει σε αυτή το ορατό φως, τα οποία στη συνέ-



Σχ. 9.5.:

1. Σημείο εκπομπής ακτίνων γ 2. Σημείο παραγωγής ορατού φωτός 3. Σημείο παραγωγής ηλεκτρικού παλμού.



Σχ. 9.6.: Φωτοπολλαπλασιαστής.

χεια εστιάζονται και κατευθύνονται στις δυνόδους. Οι δύνοδοι είναι σειρά από ηλεκτρόδια με διαδοχικά αυξανόμενο θετικό δυναμικό, που έλκουν τα ηλεκτρόνια και πολλαπλασιάζουν τον αριθμό τους. Τα ηλεκτρόνια αυτά προσπίπτουν τελικά στην άνοδο. Έτσι, στην έξοδο του φωτοπολλαπλασιαστή παράγεται ένα ενισχυμένο ηλεκτρικό σήμα.

▲ **Τον προενισχυτή και τον γραμμικό ενισχυτή.** Το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται στην έξοδο του φωτοπολλαπλασιαστή, παρ' όλη την ενίσχυση που έχει γίνει, εξακολουθεί να είναι ασθενές και χρειάζεται περαιτέρω ενίσχυση. Για το λόγο αυτό διοχετεύεται στον προενισχυτή και τον γραμμικό ενισχυτή όπου, παράλληλα με την ενίσχυση, ο ηλεκτρικός παλμός αποκτά το κατάλληλο σχήμα και πλάτος.

▲ **Τον αναλυτή ύψους παλμών.** Ο αναλυτής ύψους παλμών καταμετρά τους παλμούς και τους ταξινομεί ανάλογα με το πλάτος τους. Στη συνέχεια επιλέγει τους επιθυμητούς παλμούς, ενώ απορρίπτει τους ανεπιθύμητους (θορύβους). Για να γίνει αυτό, ο αναλυτής αφήνει να περάσουν μόνο οι παλμοί που έχουν συγκεκριμένη τιμή ηλεκτρικού δυναμικού.

▲ **Τον μετρητή παλμών,** που καταμετρά τους παλμούς που προέρχονται από τον αναλυτή ύψους παλμών.

Το σύνολο των παραπάνω διαδικασιών έχει ως σκοπό την ανίχνευση της ακτινοβολίας γ, τη μετατροπή της σε ηλεκτρικό σήμα και την κατάλληλη ηλεκτρονική επεξεργασία του σήματος αυτού, ώστε να λάβει κατάλληλη μορφή και να αποδώσει καλύτερα τις διαγνωστικές πληροφορίες, περιορίζοντας τις άχρηστες στο ελάχιστο δυνατό. Ο αριθμός των μετρήσεων που λαμβάνονται από τον μετρητή, εκφράζει τον αριθμό των φωτονίων που έχει απορροφήσει ο σπινθηριστής.

### 9.9.2 Συστήματα απεικόνισης στην πυρηνική ιατρική

Στην πυρηνική ιατρική χρησιμοποιούνται δύο βασικά συστήματα απεικόνισης:

#### 1. Τα κινητά συστήματα απεικόνισης (γραμμικοί σπινθηρογράφοι).

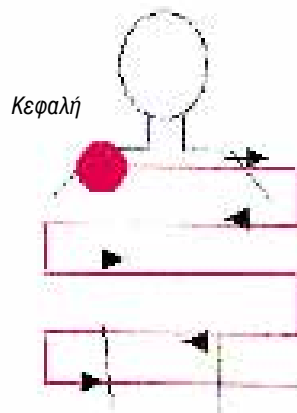
Είναι τα πρώτα συστήματα απεικόνισης που χρησιμοποιήθηκαν στη διαγνω-

στική πυρηνική ιατρική, αλλά πήραν τη μορφή που έχουν σήμερα μετά τη δεκαετία του 1950. Στα συστήματα αυτά η ανιχνευτική κεφαλή έχει μικρές διαστάσεις και ανιχνεύει φωτόνια  $\gamma$ , που προέρχονται από μια πολύ μικρή περιοχή του ανθρώπινου σώματος. Έτσι, προκειμένου να απεικονιστεί ολόκληρο ένα όργανο, πρέπει η κεφαλή να κινείται, ώστε να προσπέσουν σε αυτή φωτόνια  $\gamma$  που θα προέρχονται από όλα τα σημεία του εξεταζόμενου οργάνου. Η κίνηση που πραγματοποιεί η κεφαλή γίνεται σε νοητό επίπεδο πάνω από τον εξεταζόμενο, διαγράφοντας οριζόντιες γραμμές, παράλληλες μεταξύ τους, και σαρώνοντας έτσι όλη την έκταση της εξεταζόμενης περιοχής (γραμμική σάρωση).

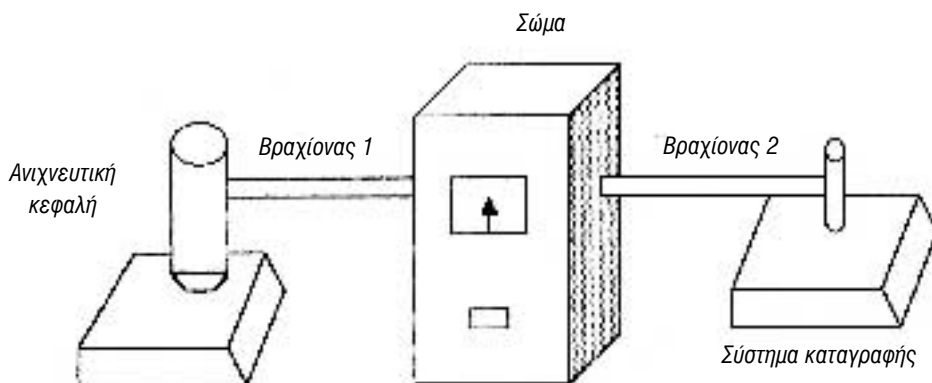
Η ανιχνευτική κεφαλή αποτελείται από τον κατευθυντήρα, το σπινθηριστή, το φωτοπολλαπλασιαστή και τον προενισχυτή. Ο κατευθυντήρας είναι σχεδόν πάντα του τύπου των εστιασμένων οπών, με πολλές συγκλίνουσες οπές. Λόγω της χρήσης τέτοιου κατευθυντήρα, εμφανίζεται τομογραφικό φαινόμενο, γιατί απεικονίζονται καλύτερα οι περιοχές του ανθρώπινου σώματος που βρίσκονται σε απόσταση ίση με την εστιακή απόσταση του κατευθυντήρα. Η κεφαλή είναι αναρτημένη σε βραχίονα ο οποίος, με τη βοήθεια ειδικού μηχανισμού, δίνει τη δυνατότητα κίνησης σε αυτή.

Το σώμα του γραμμικού σπινθηρογράφου περιλαμβάνει τον αναλυτή ύψους παλμών, το μετρητή και το χειριστήριο. Από την άλλη πλευρά του σώματος βρίσκεται ένας άλλος βραχίονας, στην ίδια ευθεία με τον πρώτο, που κινείται ταυτόχρονα με αυτόν.

Στο δεύτερο αυτό βραχίονα βρίσκεται το σύστημα καταγραφής των παλμών,



Σχ. 9.7.: Σχηματική παράσταση της σαρωτικής κίνησης που εκτελεί η ανιχνευτική κεφαλή του γραμμικού σπινθηρογράφου.



Σχ. 9.8.: Σχηματική παράσταση γραμμικού σπινθηρογράφου.

που μπορεί να είναι απλό (γραφίδα-θερμικό χαρτί) ή πιο σύνθετο, (ακτινογραφικό φιλμ-φωτογραφία polaroid).

Σήμερα διατίθενται γραμμικοί σπινθηρογράφοι με δύο κεφαλές, που βρίσκονται πάνω και κάτω από το τραπέζι και κινούνται ταυτόχρονα λαμβάνοντας δύο εικόνες, μια από κάθε πλευρά του ασθενή.

## 2. Τα στατικά ή ακίνητα συστήματα απεικόνισης

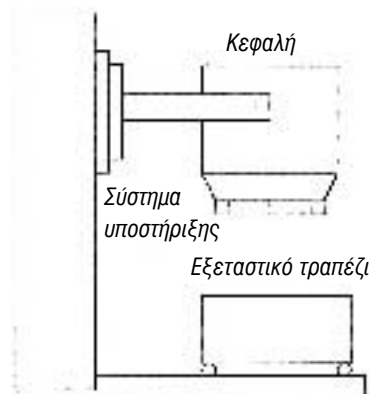
Το συνηθέστερο σύστημα απεικόνισης είναι η  $\gamma$  camera ή camera τύπου Anger που ονομάζεται έτσι, γιατί η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στην πρώτη camera που ανακάλυψε ο Anger το 1958.

Ένα σύστημα  $\gamma$  camera αποτελείται από:

### ➤ Την κεφαλή

Η κεφαλή μιας  $\gamma$  camera αποτελείται από τον κατευθυντήρα, τον σπινθηριστή, τον οδηγό φωτός, τους φωτοπολλαπλασιαστές, τον προενισχυτή και το γραμμικό ενισχυτή.

Οι κατευθυντήρες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως πολλαπλών παράλληλων οπών. Δεν αποκλείεται όμως και η χρήση άλλων κατευθυντήρων όπως, αυτοί με πολλές συγκλίνουσες οπές για δυναμικές μελέτες λόγω της μεγάλης τους ευαισθησίας, με πολλαπλές αποκλίνουσες οπές για την απεικόνιση μεγάλων οργάνων όπως οι πνεύμονες ή μιας οπής (οπής καρφίτσας), αν εξετάζονται όργανα όπως ο θυρεοειδής και οι οφθαλμοί.



Σχ. 9.9.: Σχηματική παράσταση  $\gamma$  camera.

Ο σπινθηριστής είναι ένας κρύσταλλος NaI μεγάλης διαμέτρου, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να καλύπτει όλη την εξεταζόμενη περιοχή και να καταμετρά όλα τα φωτόνια  $\gamma$  που προέρχονται από αυτή, χωρίς να κινείται. Έχει κυκλικό σχήμα ή σχήμα παραλληλόγραμμου, και το μέγεθός του ποικίλλει στα διάφορα μηχανήματα. Οι σπινθηριστές μεγάλων διαστάσεων χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση οργάνων με μεγάλη έκταση (π.χ. των πνευμόνων ή των οστών), ενώ οι σπινθηριστές μικρότερων διαστάσεων για την απεικόνιση μικρότερων οργάνων (π.χ. της καρδιάς).

Ο οδηγός φωτός αποτελείται από διαφανές πλαστικό υλικό και βρίσκεται μεταξύ σπινθηριστή – φωτοπολλαπλασιαστών. Ο ρόλος του είναι να συγκεντρώνει τα ορατά φωτόνια που εκπέμπονται από το σπινθηριστή και να τα οδηγεί στους φωτοπολλαπλασιαστές.

Μέσω του οδηγού φωτός ο σπινθηριστής συνδέεται με μια διάταξη που αποτελείται από πολλούς φωτοπολλαπλασιαστές (κυλινδρικού, εξαγωνικού ή σχήματος φλιτζανιού), που τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζουν εξάγωνο. Ο αριθμός των φωτοπολλαπλασιαστών ποικίλλει στα διάφορα μηχανήματα.



Εικ.9.1.: Συγκρότημα γ camera.

νήματα, αλλά όλοι πρέπει να έχουν την ίδια απόδοση. Κάθε φωτοπολλαπλασιαστής συλλέγει έναν ορισμένο αριθμό ορατών φωτονίων και δίνει στην έξοδό του ένα ηλεκτρικό σήμα (παλμό). Οι παλμοί από όλους τους φωτοπολλαπλασιαστές διοχετεύονται σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα, όπου συνδυάζονται, και στο τέλος παίρνουμε δύο μόνο παλμούς Χ και Ψ. Σήμερα χρησιμοποιούνται συστήματα γ camera που διαθέτουν δύο κεφαλές (εικ. 9.2).



Εικ.9.2.: Γ camera 2 κεφαλών

#### ➤ Το σύστημα υποστήριξης – κίνησης (gantry)

Η κεφαλή στηρίζεται σε ειδική κατακόρυφη στήλη μέσω βραχίονα, αλλά μπορεί να έχει και κυκλικό σχήμα. Το σύστημα αυτό δίνει τη δυνατότητα κίνησης στην κεφαλή προς όλες τις κατευθύνσεις, διευκολύνοντας έτσι τις διάφορες λήψεις.

#### ➤ Την εξεταστική τράπεζα

Η τράπεζα στηρίζεται πάνω σε ειδική βάση και έχει τη δυνατότητα κίνησης πάνω σε ειδικές ράγες. Ο βοηθός ακτινολογικών εργαστηρίων τοποθετεί τον εξεταζόμενο πάνω στην τράπεζα και φέρνει την κεφαλή πάνω από την εξεταζόμενη περιοχή.



Εικ.9.3.: Οθόνη χειριστηρίου - χειρισμός πληκτρολογίου.

### ➤ Το χειριστήριο

Το χειριστήριο περιλαμβάνει το πληκτρολόγιο και τους διακόπτες που ρυθμίζουν τη λειτουργία του μηχανήματος. Επίσης διαθέτει οθόνες στις οποίες διοχετεύονται οι παλμοί Χ, Ψ από τους φωτοπολλαπλασιαστές και απεικονίζονται σαν κηλίδες (παρουσίαση των εικόνων).

Στην οθόνη προσαρμόζεται ειδικό σύστημα φωτογράφησης για την καταγραφή της εικόνας σε ακτινολογικό φιλμ ή σε φιλμ polaroid.

Εκτός από την camera τύπου anger, υπάρχουν και άλλα είδη όπως ή camera πολλαπλών κρυστάλλων, η camera με ενισχυτή εικόνας και αυτή με ανιχνευτή ημια-

γωγού. Υπάρχει ακόμα γ camera σάρωσης, που μπορεί να μετατοπίζεται κατά μήκος του εξεταζομένου και να δίνει εικόνες ολόκληρου του σώματος. Επίσης διατίθενται και κινητά συστήματα, που μπορούν να μεταφέρονται στους θαλάμους των ασθενών.



Εικ.9.4.: Τοποθέτηση εξεταζομένου.

## 9.10 Συστήματα τομογραφίας στην πυρηνική ιατρική

Τα συστήματα τομογραφίας που χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική, διακρίνονται σε δύο είδη, ανάλογα με το είδος των ραδιενεργών ισοτόπων που χρησιμοποιούν:

### 9.10.1 Τα συστήματα εκπομπής μονού φωτονίου SPECT (Single photon emission computed tomography)

Στα συστήματα αυτά, τα ραδιενεργά ισότοπα εκπέμπουν ακτινοβολία  $\gamma$  και απεικονίζονται εγκάρσια επίπεδα του εξεταζόμενου οργάνου. Η μέτρηση της ακτινοβολίας γίνεται με  $\gamma$  camera, η κεφαλή της οποίας περιστρέφεται γύρω από τον επιμήκη άξονα του σώματος του ασθενή. Κατά τη διάρκεια της περιστροφής της, λαμβάνονται εικόνες από τις διαφορετικές θέσεις της κεφαλής, οι οποίες γίνονται ψηφιακές. Από την επεξεργασία των εικόνων αυτών με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, προκύπτει η τελική εικόνα της εγκάρσιας τομής. Στα περισσότερα συστήματα υπάρχουν 2 κεφαλές, η μια απέναντι στην άλλη.



Εικ. 9.5.: Τομογραφικό σύστημα εκπομπής ποζιτρονίου PET.

### 9.10.2 Τα συστήματα εκπομπής ποζιτρονίου PET (Positron emission tomography)

Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ραδιενεργά ισότοπα που εκπέμπουν ποζιτρόνια (σωμάτια  $\beta^+$ ). Όταν το ποζιτρόνιο συγκρουστεί τυχαία με κάποιο ηλεκτρόνιο, στους γειτονικούς ιστούς λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της δίδυμης γένεσης και εκπέμπονται 2 φωτόνια ενέργειας 511 MeV το καθένα, που οδεύουν προς αντίθετες κατευθύνσεις μεταξύ τους.

Για την καταγραφή των φωτονίων αυτών απαιτείται η παρουσία 2 κεφαλών, οι οποίες βρίσκονται σε αντιδιαμετρικές θέσεις, αλλά συνδέονται μεταξύ τους. Οι σπινθηριστές τους καταγράφουν ένα ζεύγος μετρήσεων. Δηλαδή, την ίδια χρονική στιγμή, ο καθένας από αυτούς καταγράφει από ένα φωτόνιο ενέργειας  $>511$  MeV, ενώ απορρίπτονται όσες μετρήσεις δεν γίνονται κατά ζεύγη. Αν οι 2 ανιχνευτές αναγνωρίσουν ταυτόχρονα φωτόνια  $\gamma$  ενέργειας 511 MeV, σημαίνει ότι η εκπομπή του ποζιτρονίου έγινε από κάποιο σημείο στην ευθεία των κεφα-



Εικ.9.6.: Τοποθέτηση εξεταζόμενου στο PET.

λών. Έτσι, τα ζεύγη που καταγράφονται προέρχονται όλα από μια στενή περιοχή του εξεταζόμενου οργάνου, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια, γιατί αν προέρχονταν από αλλού, δεν θα ήταν δυνατή η καταγραφή τους (τομογραφική τεχνική).

Τα συστήματα αυτά έχουν μεγάλη ευαισθησία στην ανίχνευση λεπτομερειών, ακόμα και με μικρές ποσότητες ραδιοφαρμάκου. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται στη διάγνωση παθήσεων του νευρικού συστήματος (Alzheimer, επιληψία, σχιζοφρένεια, εντόπιση όγκων του εγκεφάλου, μελέτη του αιματοεγκεφαλικού φραγμού) και του κυκλοφορικού συστήματος (ακριβής διάγνωση εμφραγμάτων, μελέτη αιματικής ροής στο μυοκάρδιο). Επιπλέον έχουν εφαρμοστεί στη μελέτη μεταβολικών λειτουργιών (απεικόνιση της πρόσληψης της γλυκόζης από τα εγκεφαλικά κύτταρα, μετατροπή της τυροσίνης σε ντοπαμίνη κ.λπ.) με θεαματικά αποτελέσματα.

### 9.11 Διαφορές διαγνωστικής πυρηνικής ιατρικής – ακτινοδιαγνωστικής

- Στην πυρηνική ιατρική η πηγή της ακτινοβολίας βρίσκεται μέσα στο σώμα του εξεταζόμενου ενώ στην ακτινοδιαγνωστική έξω από αυτό.
- Στην πυρηνική ιατρική οι ραδιενεργές πηγές εκπέμπουν συνεχώς ακτινοβολία, σε αντίθεση με την ακτινοδιαγνωστική, που υπάρχει η δυνατότητα διακοπής της λειτουργίας της λυχνίας.
- Στην πυρηνική ιατρική το ραδιενεργό ισότοπο που έχει κατανεμηθεί σε κάποιο όργανο, ακτινοβολεί σφαιρικά προς όλες τις διευθύνσεις, ενώ στην ακτινοδιαγνωστική όχι.



- Στην πυρηνική ιατρική δεν εκμεταλλευόμαστε όλη την εκπεμπόμενη ακτινοβολία, παρά μόνο αυτήν που κατευθύνεται προς την κεφαλή, σε αντίθεση με την ακτινοδιαγνωστική.
- Στην πυρηνική ιατρική χρησιμοποιούμε κυρίως ακτίνες γ χαμηλής έντασης, ενώ στην ακτινοδιαγνωστική ακτίνες Χ.
- Στην πυρηνική ιατρική παίρνουμε και πληροφορίες λειτουργικής φύσης, ενώ στην ακτινοδιαγνωστική μόνο μορφολογικής.

## 9.12 Εφαρμογές στην πυρηνική ιατρική

### 1. Διαγνωστικές εφαρμογές

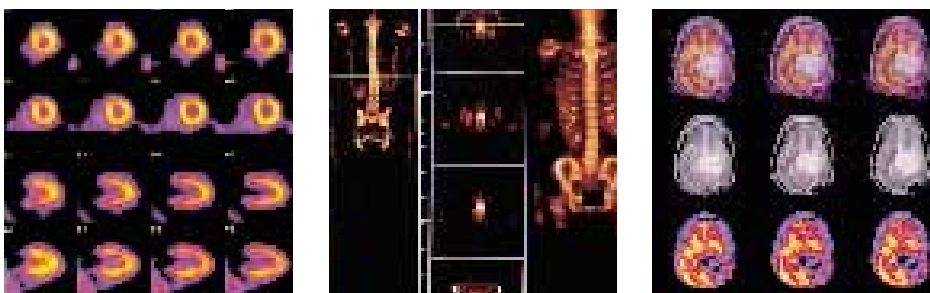
Οι εικόνες των διαφόρων οργάνων που παίρνουμε στην πυρηνική ιατρική, ονομάζονται σπινθηρογραφήματα. Κάθε σπινθηρογράφημα δείχνει την κατανομή του ραδιοφαρμάκου σε ένα συγκεκριμένο όργανο και δίνει πληροφορίες για το μέγεθος, τη θέση του και τη λειτουργικότητά του.

Τα σπινθηρογραφήματα διακρίνονται σε στατικά και δυναμικά.

◆ Στα **στατικά** σπινθηρογραφήματα γίνεται λήψη μιας εικόνας, που είναι το αποτέλεσμα της καταγραφής παλμών σε ορισμένο χρονικό διάστημα.

◆ Στα **δυναμικά** σπινθηρογραφήματα γίνεται λήψη πολλών εικόνων σε τακτά χρονικά διαστήματα και δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης της πορείας του ραδιοφαρμάκου. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η λειτουργικότητα του εξεταζόμενου οργάνου.

Τα κυριότερα σπινθηρογραφήματα που γίνονται σήμερα είναι το σπινθηρογράφημα ήπατος, σπληνός, οστών, θυρεοειδή αδένες, πνευμόνων, νεφρών και καρδιάς (ηρεμίας-κόπωσης-τομογραφικό-ραδιοϊσοτοπική κοιλιογραφία).



Εικ. 9.12.: Σπινθηρογράφημα καρδιάς (αριστερά), οστών (κέντρο) και εγκεφάλου (δεξιά).

### 2. Θεραπευτικές εφαρμογές

Στη θεραπευτική πυρηνική ιατρική το ραδιοφάρμακο συγκεντρώνεται εκλεκτικά στο επιθυμητό όργανο, το οποίο ακτινοβολείται τοπικά με υψηλές δόσεις, ενώ η ακτινοβολήση των γειτονικών οργάνων πρέπει να είναι πάρα πολύ μικρή. Για να γίνει αυτό, επιλέγονται ραδιενεργά ισότοπα που εκπέμπουν ακτινοβολία α ή β. Ως παράδειγμα αναφέρεται η χορήγηση ιωδίου για την ακτινοβολήση του θυρεοειδή αδένος.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πυρηνική ιατρική είναι κλάδος της ιατρικής, που χρησιμοποιεί τη ραδιενέργεια που εκπέμπεται από ορισμένα ραδιοϊσότοπα, και διακρίνεται σε διαγνωστική και θεραπευτική. Ραδιενέργεια ονομάζεται το φαινόμενο όπου ένας ασταθής πυρήνας (μητρικός) μετασχηματίζεται σε έναν άλλο (θυγατρικό), εκπέμποντας ακτινοβολία ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ). Η ραδιενέργεια διακρίνεται σε φυσική και τεχνητή.

Η παραγωγή των ραδιενεργών ισωτόπων γίνεται με πυρηνικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες σωματίδια (νετρόνια, πρωτόνια κ.λπ.) προσπίπτουν πάνω σε πυρήνες και τους καθιστούν ραδιενεργούς. Στα νοσοκομεία χρησιμοποιούνται οι ισοτοπικές γεννήτριες για την παραγωγή των ραδιενεργών ισωτόπων και, κατά κύριο λόγο, η γεννήτρια τεχνητίου  $^{99m}\text{Tc}$ .

Τα ραδιενεργά ισότοπα χορηγούνται με τη μορφή ραδιοφαρμάκων, τα οποία είναι χημικές ουσίες που έχουν επισημανθεί με κάποιο ραδιενεργό ισότοπο. Τα ραδιοφάρμακα κατανέμονται σε συγκεκριμένα όργανα, τα καθιστούν πηγές εκπομπής ακτινοβολίας και πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις, για να είναι ασφαλή.

Ένα εργαστήριο πυρηνικής ιατρικής αποτελείται από το «θερμό εργαστήριο», τις αίθουσες αναμονής και χορήγησης του ραδιοφαρμάκου και την αίθουσα που γίνονται οι εξετάσεις, όπου βρίσκεται ο εργαστηριακός εξοπλισμός. Τα τμήματα πυρηνικής ιατρικής χαρακτηρίζονται ως ελεγχόμενες περιοχές και πρέπει να λειτουργούν σύμφωνα με ορισμένους κανόνες ακτινοπροστασίας.

Ένα σύστημα απεικόνισης στην πυρηνική ιατρική αποτελείται από τον κατευθυντήρα, το σπινθηριστή, το φωτοπολλαπλασιαστή, τον προενισχυτή, το γραμμικό ενισχυτή, τον αναλυτή ύψους παλμών και το μετρητή. Τα συστήματα απεικόνισης διακρίνονται σε κινητά (γραμμικός σπινθηρογράφος) και σε ακίνητα ( $\gamma$ -camera). Επίσης χρησιμοποιούνται συστήματα τομογραφίας που είναι 2 ειδών: τα SPECT που χρησιμοποιούν ακτινοβολία  $\gamma$  και τα PET που χρησιμοποιούν ζεύγη φωτονίων  $\gamma$ , που προέρχονται από το φαινόμενο της δίδυμης γένεσης.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

### A. Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις:

1. Τι είναι η πυρηνική ιατρική και σε ποιες κατηγορίες χωρίζεται;
2. Τι είναι τα ραδιενεργά ισότοπα;
3. Ποιο φαινόμενο ονομάζεται ραδιενέργεια;
4. Τι ονομάζουμε φυσικό χρόνο υποδιπλασιασμού ενός ραδιενεργού ισότοπου;
5. Σε ποια είδη διακρίνεται η ραδιενέργεια;
6. Τι είναι η ραδιενεργός οικογένεια;
7. Από τι αποτελείται μια γεννήτρια τεχνητού 99m;
8. Τι είναι τα ραδιοφάρμακα;
9. Από ποιους χώρους αποτελείται ένα εργαστήριο πυρηνικής ιατρικής;
10. Από τι αποτελείται μια γ camera;

### B. Επιλέξτε τη σωστή απάντηση:

1. Ένα ραδιοφάρμακο που χρησιμοποιείται στην πυρηνική ιατρική πρέπει:  
Α) Να μην εκπέμπει άλλες ακτινοβολίες εκτός από την ακτινοβολία β<sup>-</sup>  
Β) Να έχει μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού  
Γ) Να εκπέμπει ακτινοβολίες πολλών ενεργειών  
Δ) Να κατανέμεται εκλεκτικά στο όργανο που θέλουμε να απεικονίσουμε
2. Ο σπινθηριστής:  
Α) Δέχεται πρώτος τα φωτόνια που εξέρχονται από το σώμα του ασθενή  
Β) Εκπέμπει ορατό φως όταν διεγερθεί από ιοντίζουσα ακτινοβολία  
Γ) Αποτελείται από τη φωτοκάθοδο, την άνοδο και τις δυνόδους  
Δ) Αποτελείται από μόλυβδο
3. Η ανιχνευτική κεφαλή ενός γραμμικού σπινθηρογράφου αποτελείται:  
Α) Από τον κατευθυντήρα, το σπινθηριστή και το φωτοπολλαπλασιαστή  
Β) Από τον κατευθυντήρα και το σπινθηριστή  
Γ) Από τον κατευθυντήρα, το σπινθηριστή, τον οδηγό φωτός, το φωτοπολλαπλασιαστή και τον προενισχυτή  
Δ) Από τον κατευθυντήρα, το σπινθηριστή, το φωτοπολλαπλασιαστή και τον προενισχυτή
4. Στην κεφαλή μιας γ camera ο σπινθηριστής βρίσκεται ανάμεσα:  
Α) Στον κατευθυντήρα και τον οδηγό φωτός  
Β) Στον κατευθυντήρα και το φωτοπολλαπλασιαστή  
Γ) Στον οδηγό φωτός και το φωτοπολλαπλασιαστή

**5.** Το σύστημα απεικόνισης το οποίο στην πυρηνική ιατρική κάνει γραμμική σάρωση είναι:

- A) Ο γραμμικός σπινθηριστής
- B) Η  $\gamma$ - camera
- Γ) Το σύστημα εκπομπής ποζιτρονίου PET

**6.** Τα συστήματα εκπομπής ποζιτρονίου PET:

- A) Χρησιμοποιούν ραδιενεργά ισότοπα που εκπέμπουν ηλεκτρόνια
- B) Εκμεταλλεύονται το φαινόμενο της δίδυμης γένεσης
- Γ) Χρησιμοποιούν ραδιενεργά ισότοπα που εκπέμπουν ακτινοβολία  $\gamma$  ενέργειας 140 KeV
- Δ) Διαθέτουν μια ανιχνευτική κεφαλή που περιστρέφεται γύρω από τον επιμήκη άξονα του ασθενή.