

# ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

Ευάγγελος Παντελής  
Λέκτορας Ιατρικής Φυσικής  
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής  
Ιατρική Σχολή Αθηνών

Κεφάλαιο 15 : Θεραπευτικές εφαρμογές  
ιοντιζουσών ακτινοβολιών - Ακτινοθεραπεία

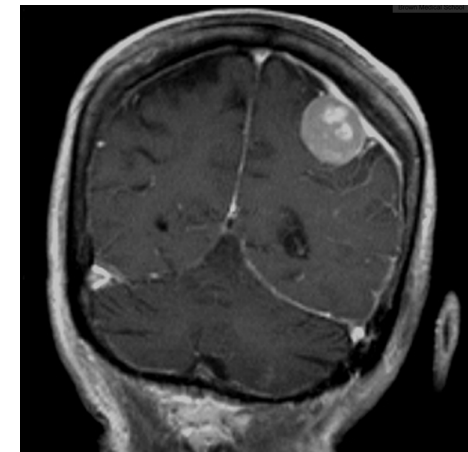
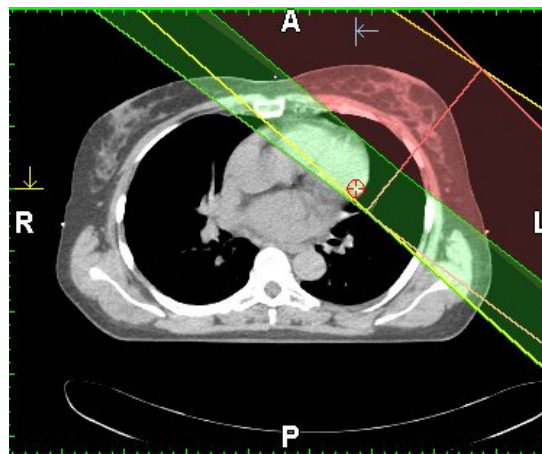
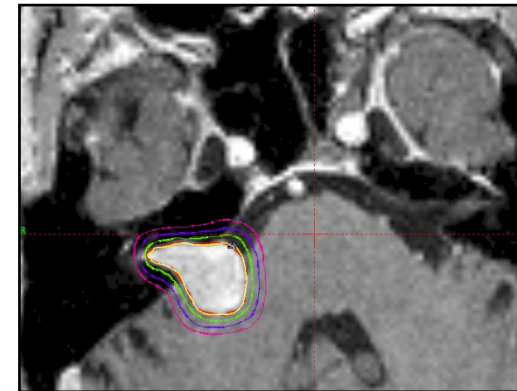
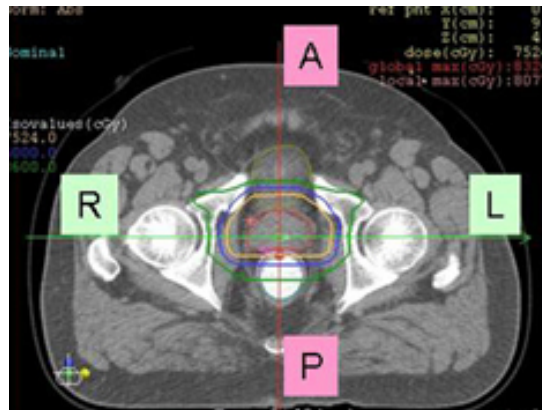
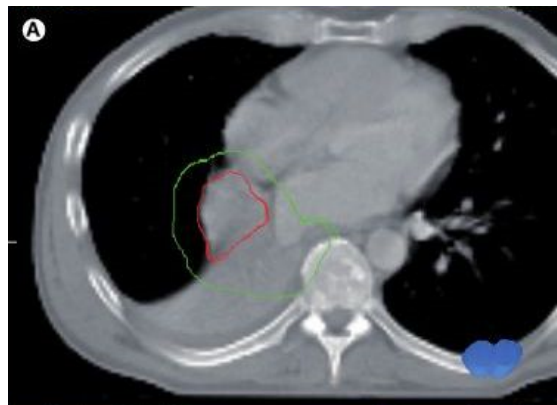
# ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ...

- ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ
- ΡΑΔΙΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΒΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ
  - ▣ Καμπύλες δόσης – επιβίωσης
  - ▣ Κλασματοποίηση
- ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ
  - ▣ Γραμμικός επιταχυντής
  - ▣ Κατανομές δόσης δέσμης φωτονίων
  - ▣ Κατανομές δόσης δέσμης ηλεκτρονίων
  - ▣ Τεχνικές ακτινοθεραπείας
- ΒΡΑΧΥΘΕΡΑΠΕΙΑ

# Ορισμός ακτινοθεραπείας

- Ακτινοθεραπεία είναι η επιστήμη αντικείμενο της οποίας είναι η θεραπεία διαφόρων νόσων με τη χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών.
- Μετά τις χειρουργικές επεμβάσεις είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος αντιμετώπισης (θεραπείας) του καρκίνου και παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιτυχία.
- Εφαρμόζεται σε περισσότερο από το 50% των πασχόντων από καρκίνο σήμερα, καθώς και σε πολλές περιπτώσεις καλοηθών όγκων, όπως ακουστικά νευρινώματα, δυσπλασίες, μηνιγγιώματα κ.α., οι οποίοι είτε δεν μπορούν να χειρουργηθούν, είτε η χειρουργική τους αφαίρεση εγκυμονεί πολλούς κινδύνους.

# Παραδείγματα...



# Στόχος της Ακτινοθεραπείας



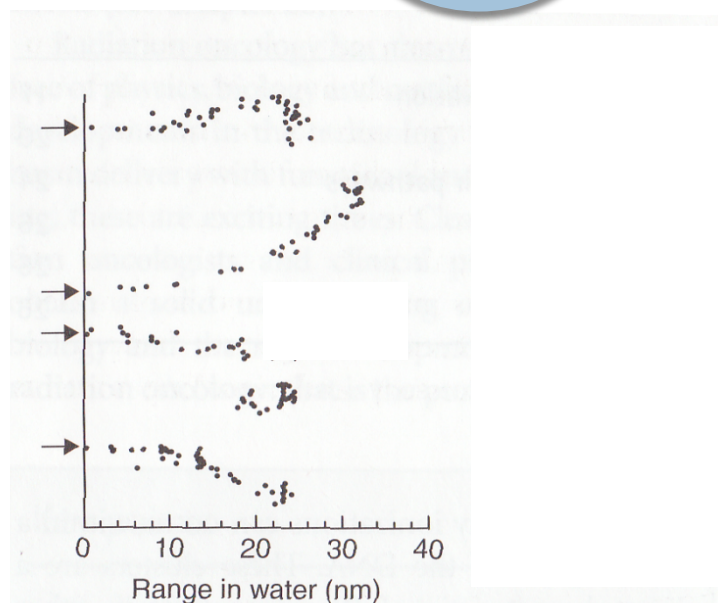
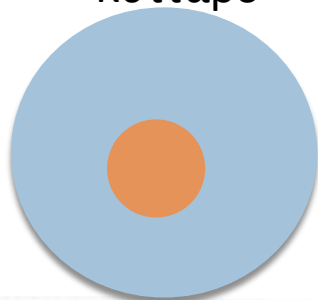
1. Η εναπόθεση της μέγιστης δυνατής δόσης στον όγκο-στόχο με σκοπό τον θάνατο των καρκινικών κυττάρων και τον τοπικό έλεγχο της νόσου.
2. Ταυτόχρονα πρέπει να προστατευτούν οι γειτνιάζοντες υγιείς ιστοί (κυρίως όσοι είναι ακτινοευαίσθητοι).

# Ραδιοβιολογική βάση ακτινοθεραπείας (1)

Ιοντίζουσα  
ακτινοβολία



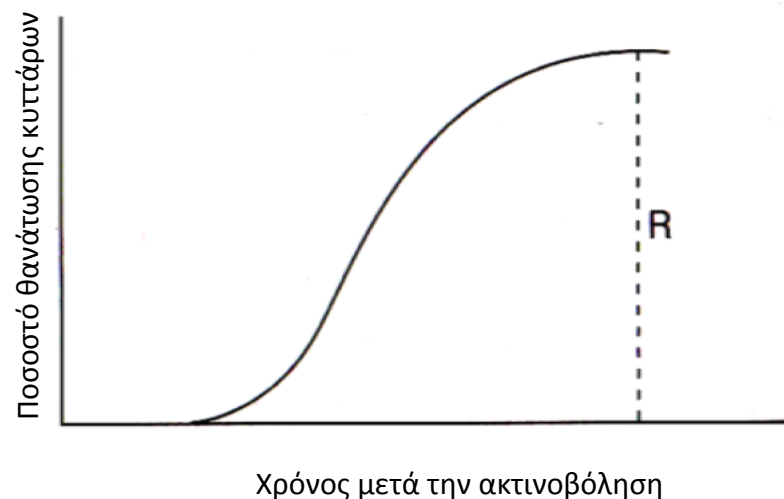
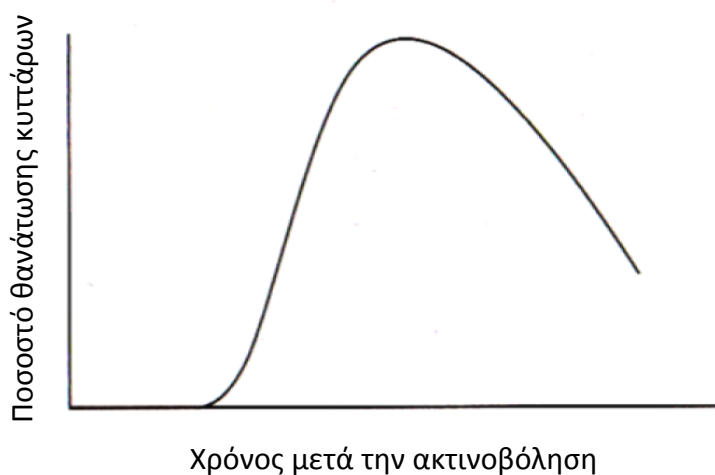
Κύτταρο



- ❑ Φυσική Φάση: Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας με τα άτομα ή τα μόρια της ύλης και δημιουργία ιόντων – ελεύθερων ριζών.
- ❑ Χημική Φάση: Χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ελεύθερων ριζών και των μορίων του κυττάρου. Διάσπαση χημικών δεσμών και δημιουργία νέων, π.χ. διάσπαση ενός χημικού δεσμού στην αλυσίδα DNA (θραύση αλυσίδας).
- ❑ Βιολογική Φάση.
  - Επιτυχής επιδιόρθωση βλαβών
  - Ανεπιτυχής επιδιόρθωση συμβατή με τη ζωή του κυττάρου (πιθανή μετάλλαξη)
  - Ανεπιτυχής επιδιόρθωση μη συμβατή με τη ζωή του κυττάρου

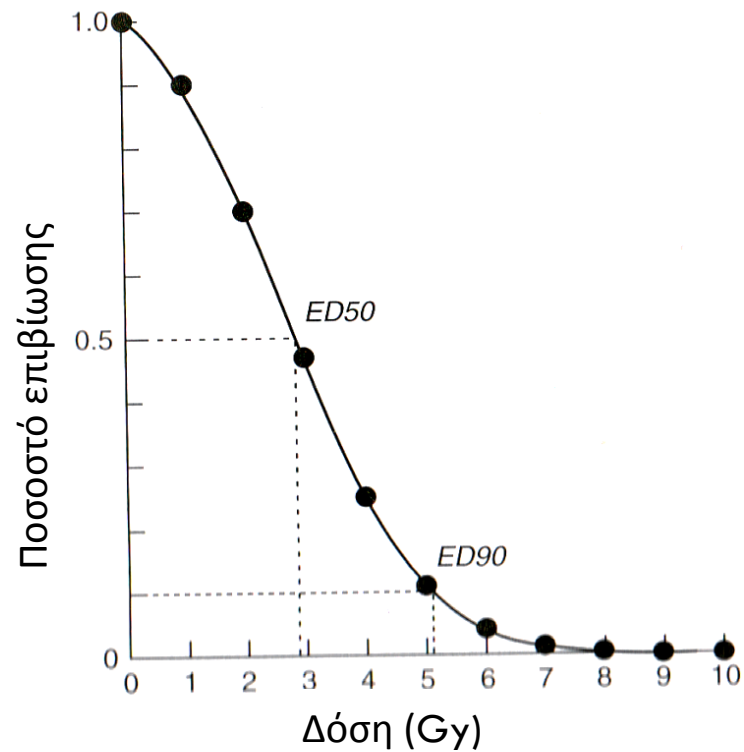
## Ραδιοβιολογική βάση ακτινοθεραπείας (2)

- Τι γίνεται όμως όταν ακτινοβολούμε ένα κυτταρικό πληθυσμό με μια συγκεκριμένη δόση  $D$ ;



# Ραδιοβιολογική βάση ακτινοθεραπείας (3)

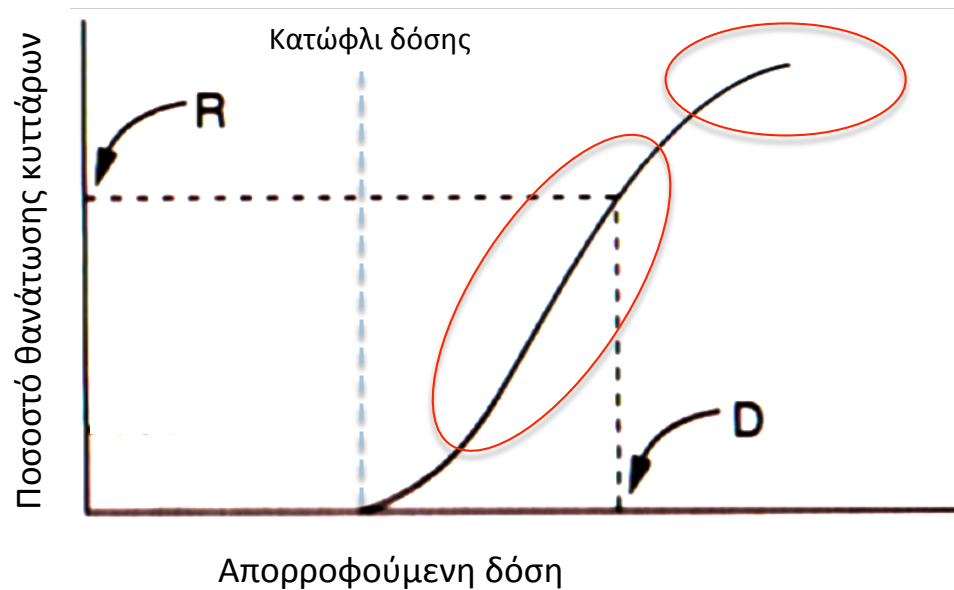
- Καμπύλη επιβίωσης συναρτήσει της απορροφούμενης δόσης



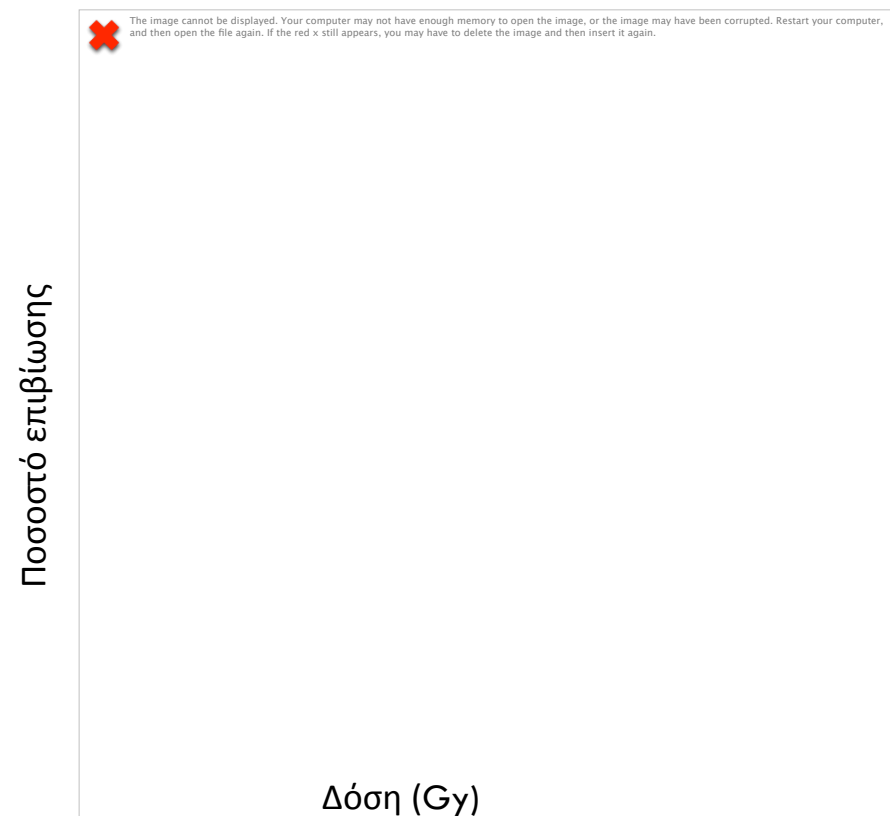
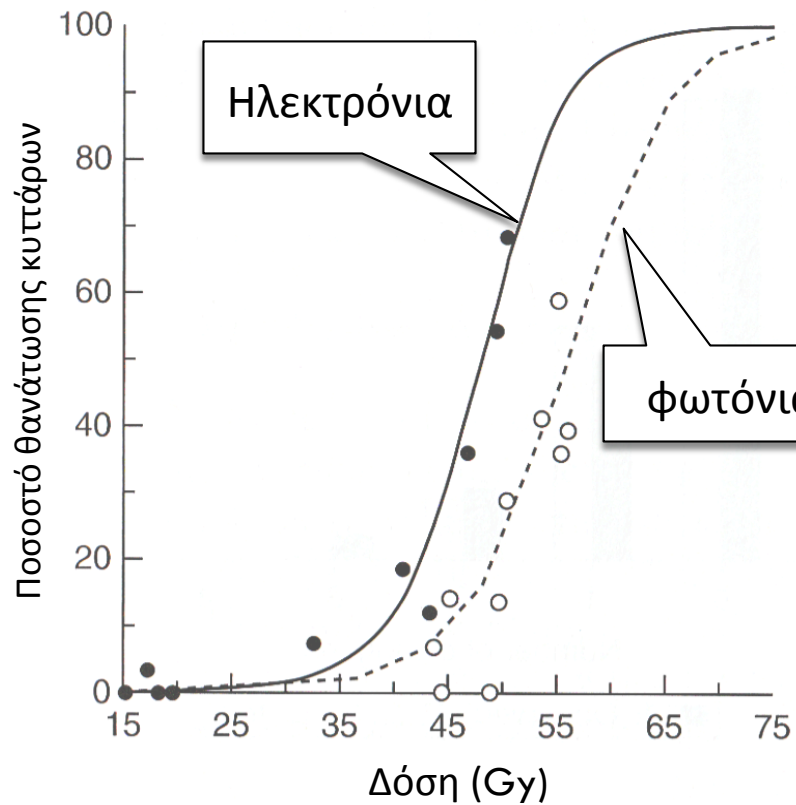


# Ραδιοβιολογική βάση ακτινοθεραπείας (4)

- Καμπύλη δόσης – επιβίωσης (σιγμοειδή μορφή)

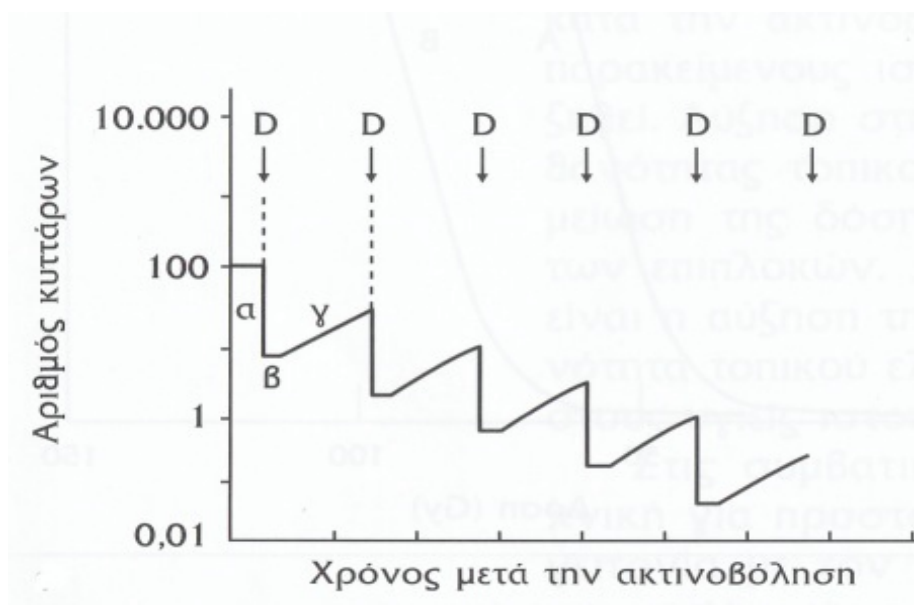


# Εξάρτηση από είδος ακτινοβολίας

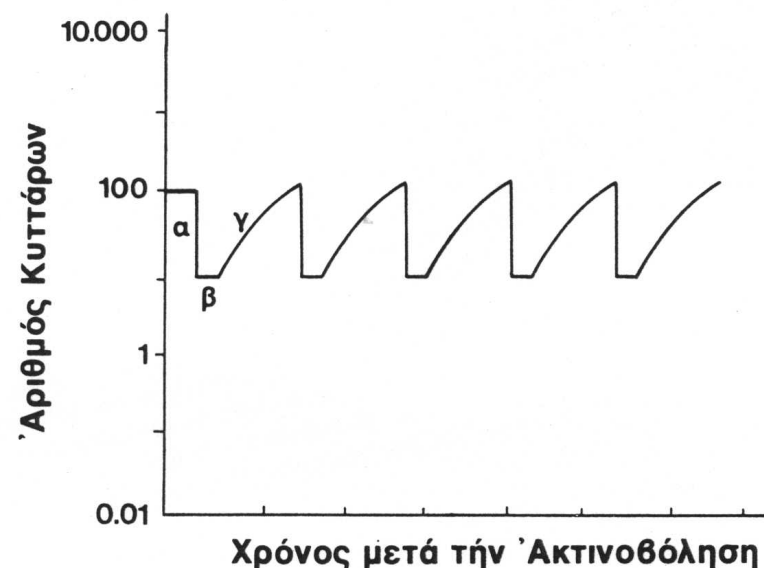


# Εξάρτηση από ρυθμό δόσης (κλασματοποίηση)

## Καρκινικά κύτταρα

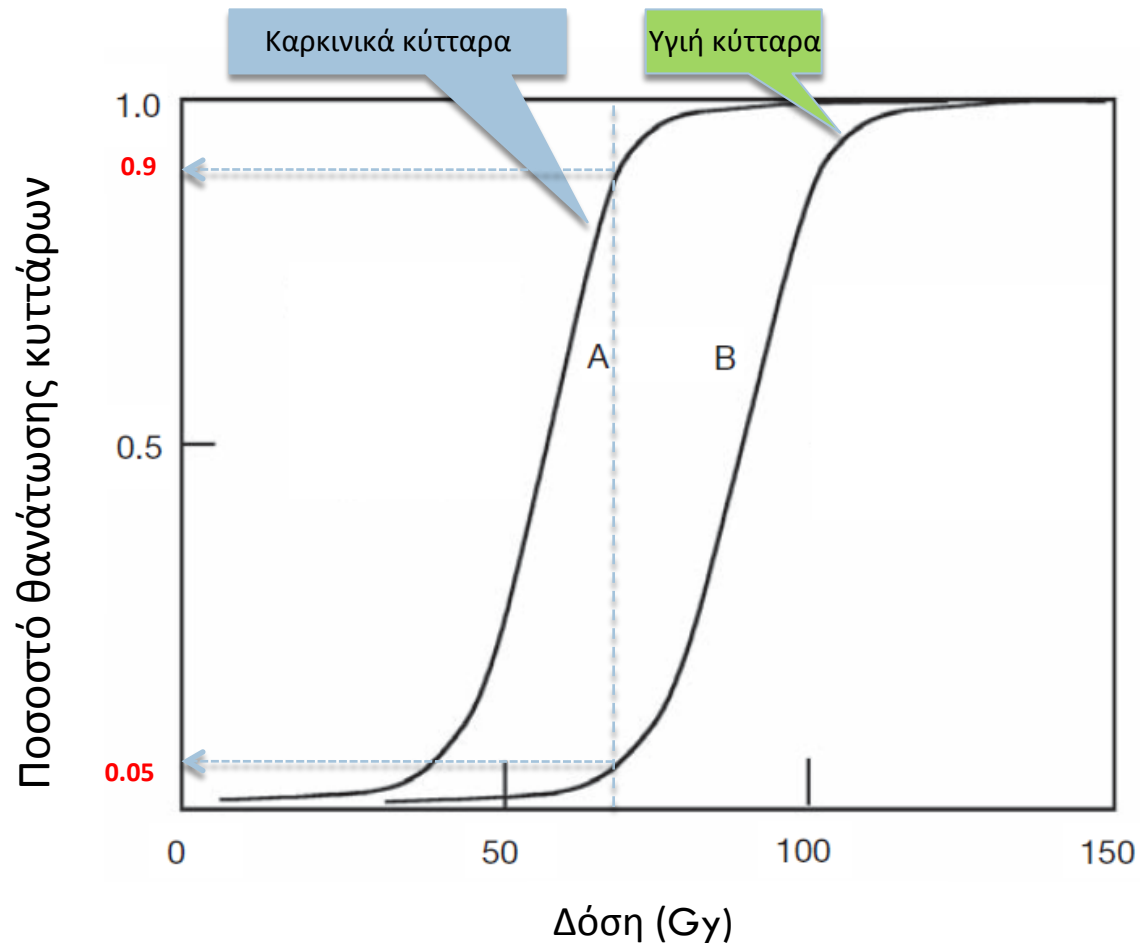


## Υγιή κύτταρα



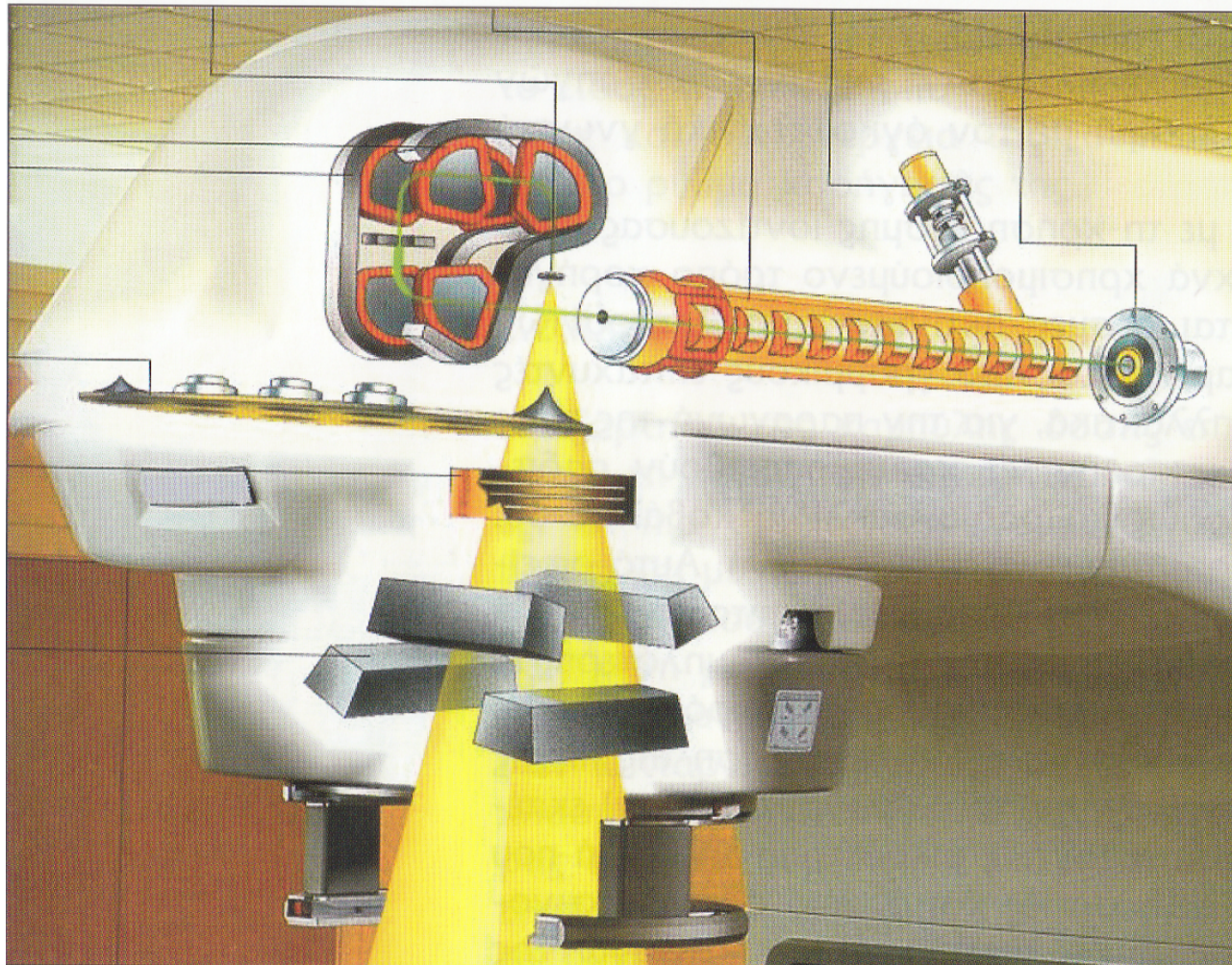
- ❑ Τα υγιή κύτταρα έχουν καλύτερους επιδιορθωτικούς μηχανισμούς του DNA σε σχέση με τα καρκινικά κύτταρα.
- ❑ Μοιράζοντας την ίδια δόση σε πολλά κλάματα-συνεδρίες έχουμε ίδια θανάτωση καρκινικών κυττάρων δίνοντας παράλληλα την δυνατότητα στα υγιή κύτταρα να ανανήψουν και να αυξήσουν ξανά τον αριθμό τους

# Ραδιοβιολογική βάση ακτινοθεραπείας (5)



# Εξωτερική ακτινοθεραπεία

- Ο γραμμικός επιταχυντής



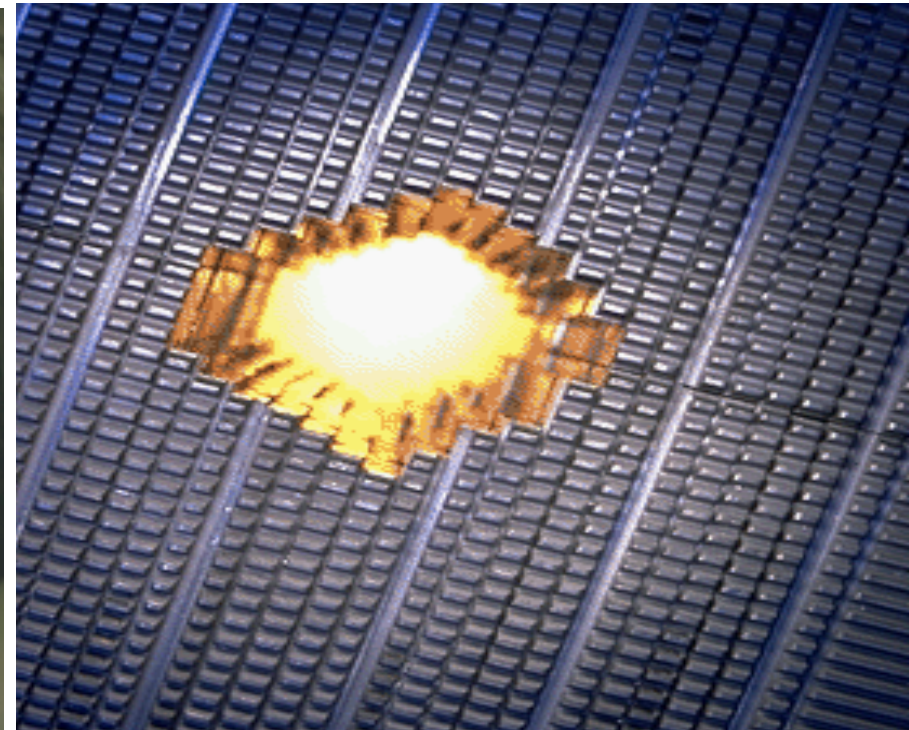
# Σύγχρονος γραμμικός επιταχυντής



# Σύγχρονος γραμμικός επιταχυντής



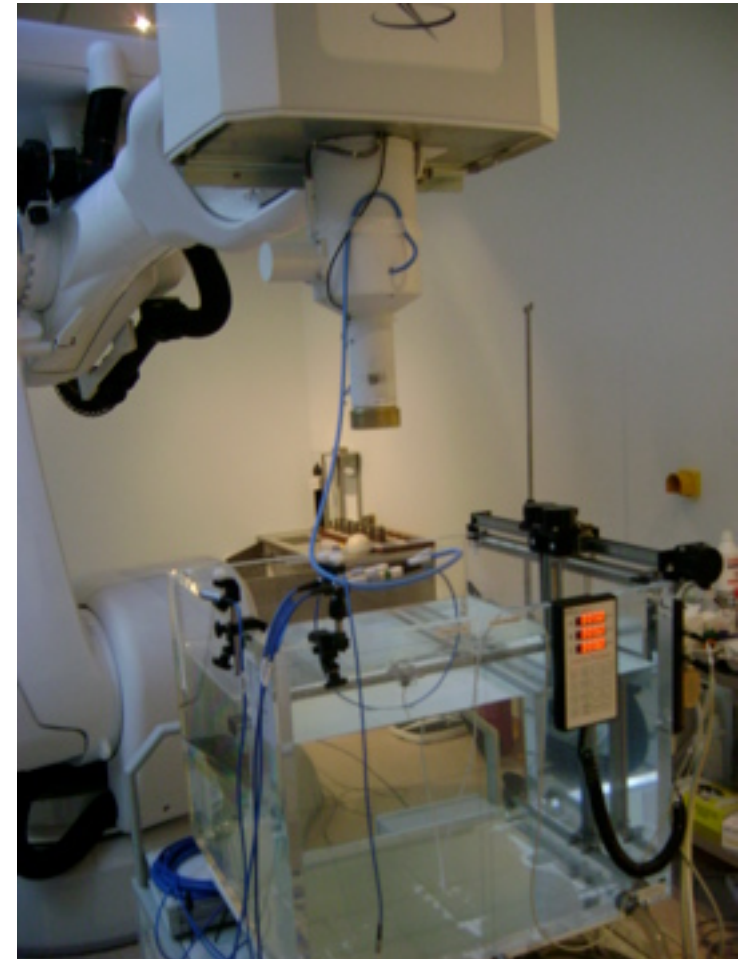
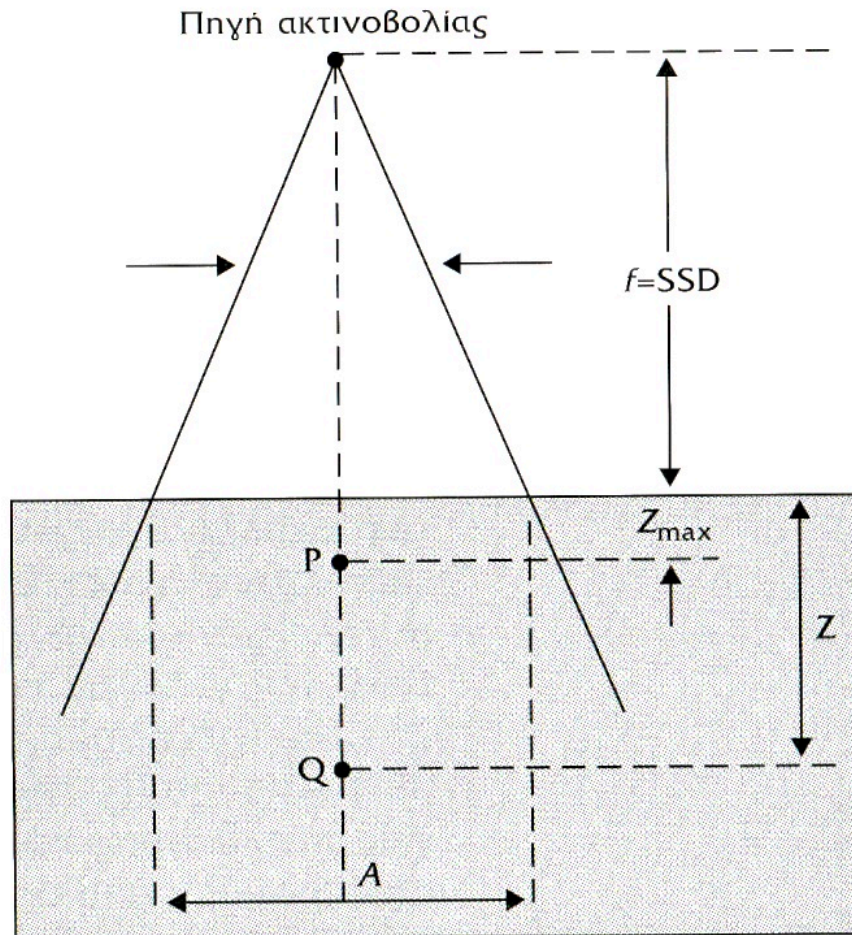
# Πεδίο ακτινοβολίας



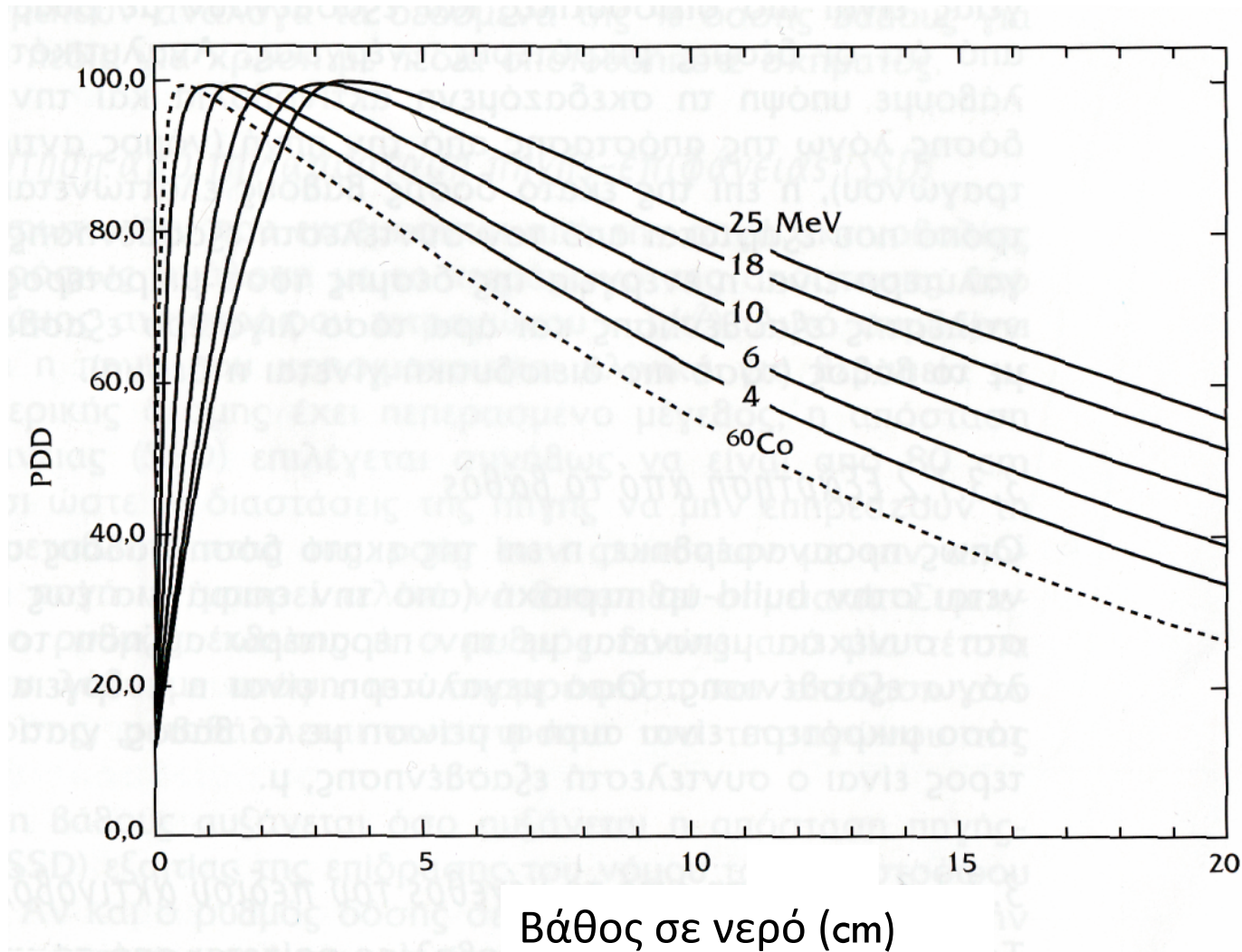
Πεδίο ακτινοβολίας διαμορφωμένου σχήματος με τη χρήση κατευθυντήρα πολλαπλών φύλλων ώστε να προσαρμόζεται στο σχήμα του προς ακτινοβολήση όγκου-στόχου



# Μέτρηση κατανομών δόσης



# Κατανομές δόσης βάθους φωτονίων



# Παράγοντες που επηρεάζουν την % δόση βάθους

## 1. Ενέργεια δέσμης

- Αύξηση της ενέργειας => αύξηση της % δόσης βάθους (μετά το μέγιστο βάθος)
- Αύξηση της ενέργειας αυξάνεται και το βάθος στο οποίο η % δόση βάθους παίρνει την μέγιστη της τιμή

## 2. Βάθος

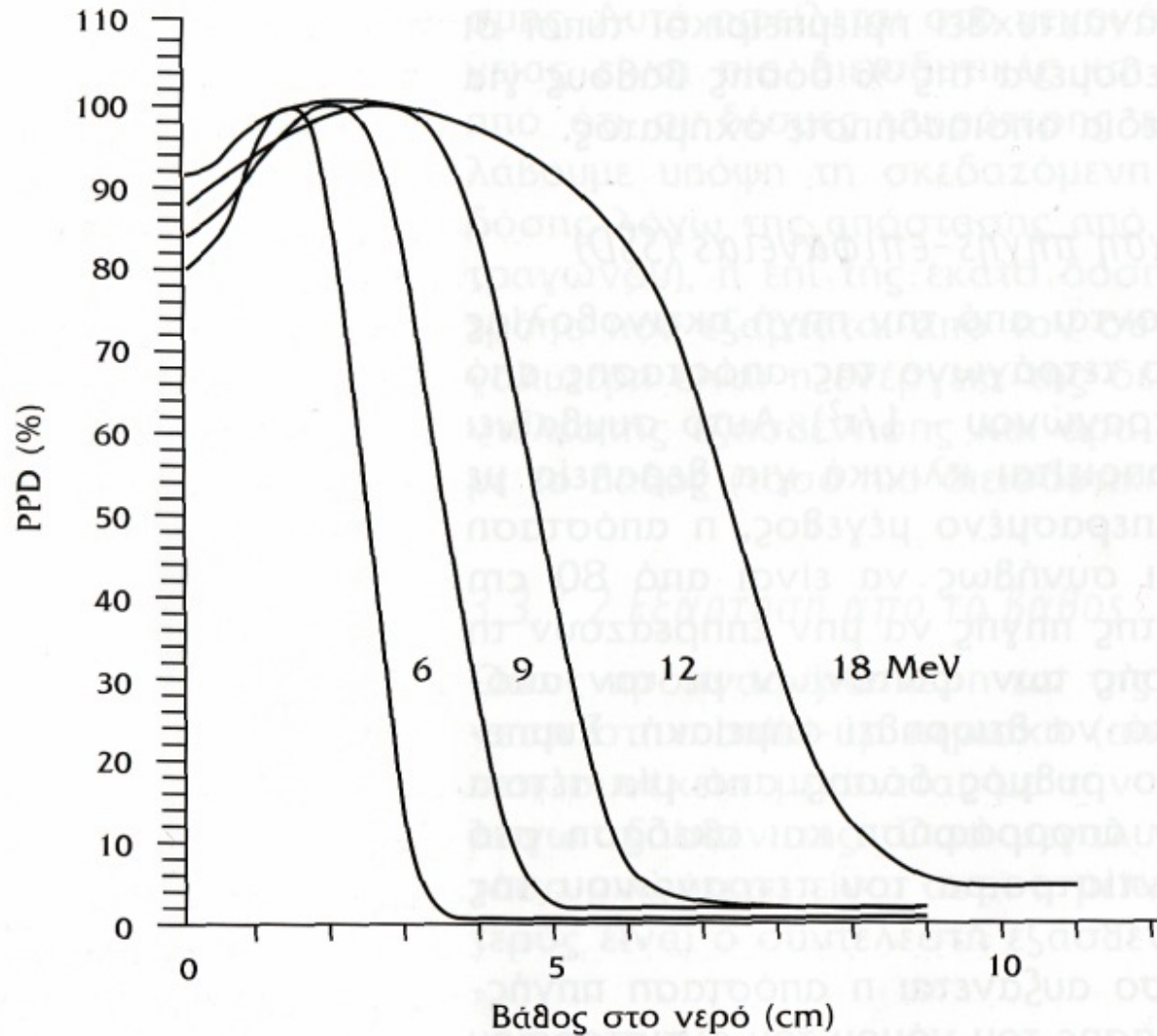
## 3. Μέγεθος πεδίου ακτινοβολήσης

- Για το ίδιο βάθος αύξηση του πεδίου ακτινοβολήσης => Αύξηση της % δόσης βάθους.

## 4. Απόσταση πηγής – επιφάνειας (Source Surface Distance- SSD)

- Αύξηση του SSD => αύξηση της % δόσης βάθους

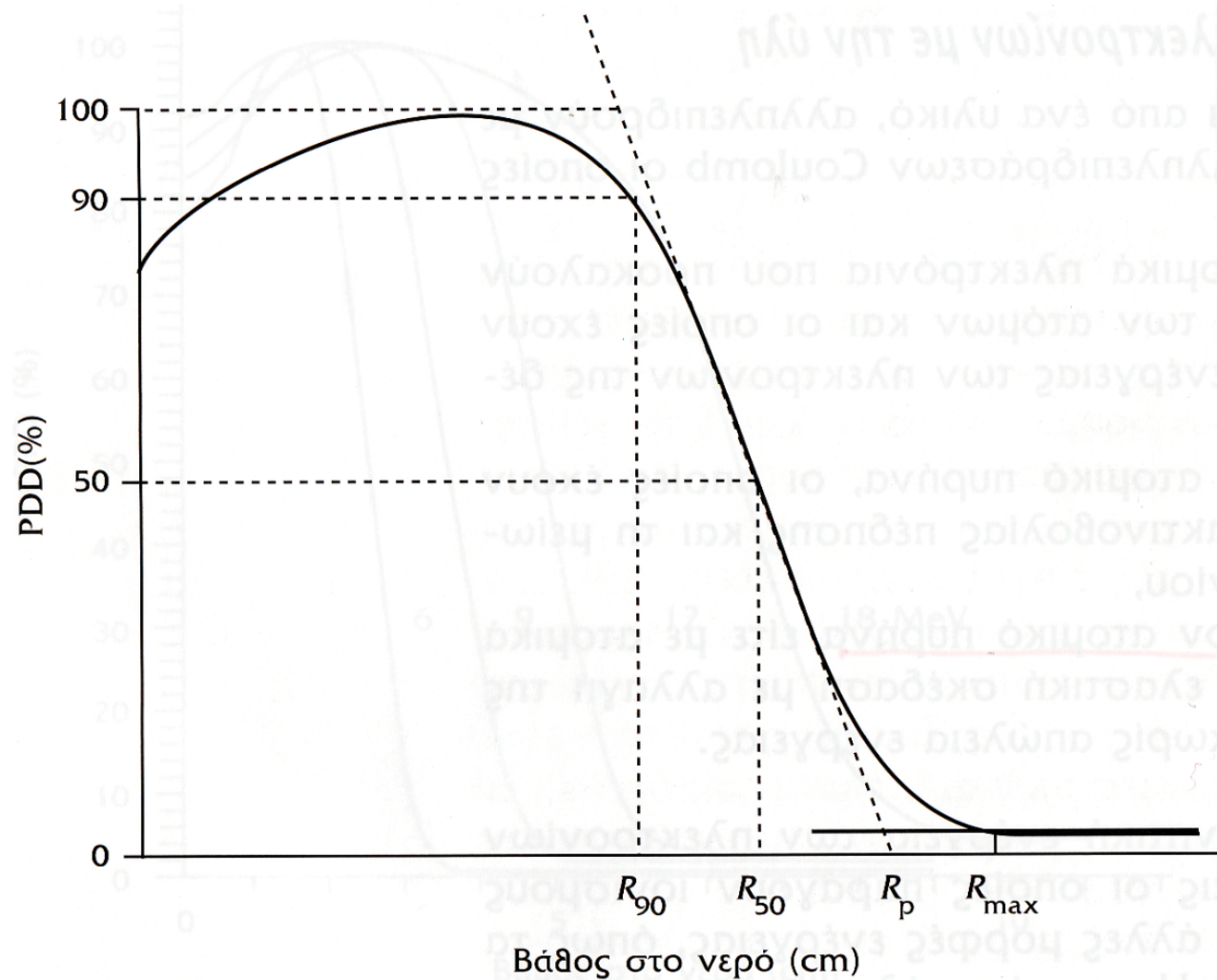
# Κατανομές δόσης βάρθους ηλεκτρονίων



# Αλληλεπίδραση δέσμης ηλεκτρονίων με την ύλη

- Τα ηλεκτρόνια ως φορτισμένα σωμάτια κατά τη διαδρομή τους μέσα στην ύλη αλληλεπιδρούν με δυνάμεις Coulomb. Έτσι έχουμε τις επόμενες περιπτώσεις :
  - Ανελαστικές κρούσεις με ατομικά ηλεκτρόνια που προκαλούν τον ιονισμό και τη διέγερση των ατόμων και οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας των ηλεκτρονίων της δέσμης
  - Ανελαστικές κρούσεις με τον ατομικό πυρήνα, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή ακτινοβολίας πέδησης και τη μείωση της ενέργειας του ηλεκτρονίου
  - Ελαστικές κρούσεις, είτε με τον ατομικό πυρήνα είτε με τα ατομικά ηλεκτρόνια, που οδηγούν σε ελαστική σκέδαση με αλλαγή της διεύθυνσης του ηλεκτρονίου χωρίς απώλεια ενέργειας

# Εμβέλεια ηλεκτρονίων



# Τεχνικές ακτινοθεραπείας



- Ισοκεντρική θεραπεία πολλαπλών πεδίων ακτινοβολίας
- Σύμμορφη τρισδιάστατη ακτινοθεραπεία
- Ακτινοθεραπεία με χρήση πεδίων ακτινοβολίας διαμορφωμένης έντασης (IMRT)
- Στερεοτακτική ακτινοχειρουργική
- Ακτινοθεραπεία με πρωτόνια

## Ισοκεντρική θεραπεία πολλαπλών πεδίων ακτινοβολίας

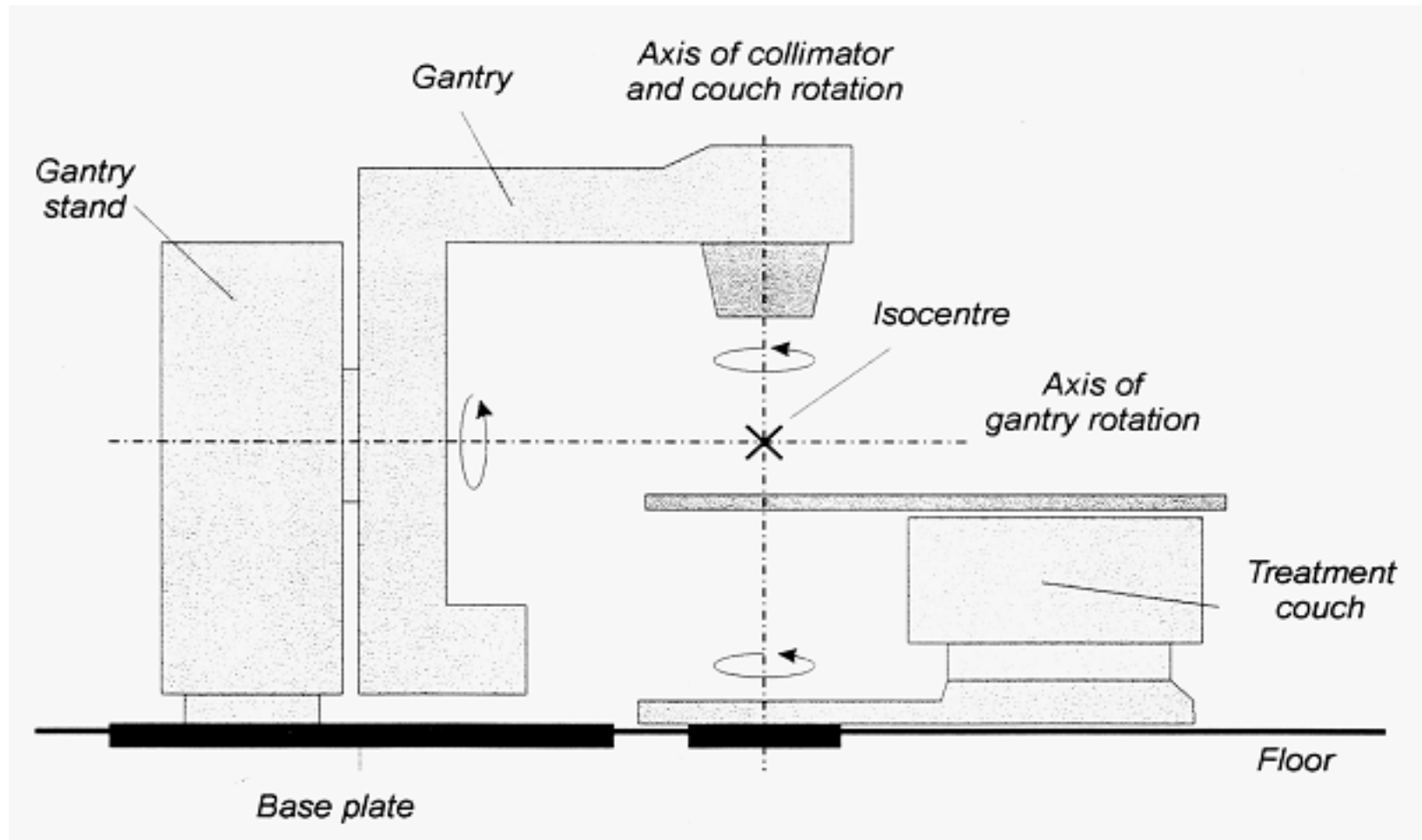
- Για την επίτευξη του σκοπού της ακτινοθεραπείας (αύξηση της απορροφούμενης δόσης από τον όγκο με παράλληλη μεγιστοποίηση της προστασίας των παρακείμενων υγιών ιστών) χρησιμοποιούνται πολλαπλά πεδία ακτινοβολίας τα οποία εισέρχονται στον ασθενή από διαφορετικές εισόδους και ακτινοβολούν τον όγκο στόχο.
- Με τον τρόπο αυτό κάθε πεδίο ακτινοβολίας συνεισφέρει στη δόση στον όγκο και ταυτόχρονα ακτινοβολεί διαφορετική περιοχή υγιών κυττάρων και ιστών από τα υπόλοιπα, με τελικό αποτέλεσμα η δόση στον όγκο να είναι μεγαλύτερη από τη δόση στους υγιείς ιστούς.



# Ισοκεντρικές Θεραπείες πολλαπλών πεδίων

- Ο ασθενής τοποθετείται σε ειδική κλίνη κάτω από την κεφαλή του γραμμικού επιταχυντή, ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται με τη χρήση ειδικού βραχίονα (gantry) με κέντρο περιστροφής ένα σημείο στο χώρο το οποίο ονομάζεται ισόκεντρο.
- Το ισόκεντρο είναι το κέντρο περιστροφής τόσο του βραχίονα περιστροφής, όσο και της κλίνης αλλά και του συστήματος διαφραγμάτων ενώ από το σημείο αυτό περνάει και ο κεντρικός άξονας της δέσμης ακτινοβολίας
- Έτσι τοποθετώντας το ισόκεντρο στο κέντρο του όγκου μπορούμε γυρνώντας απλώς τον βραχίονα περιστροφής να ακτινοβολήσουμε τον όγκο, με πολλαπλά πεδία ακτινοβολίας τα οποία έχουν διαφορετικές εισόδους και ακτινοβολούν διαφορετικό μέρος υγιών κυττάρων-ιστών.


## Ισοκεντρικές θεραπείες πολλαπλών πεδίων (2)



Σχηματική αναπαράσταση του ισοκέντρου ενός γραμμικού επιταχυντή

# Σύμμορφη τρισδιάστατη ακτινοθεραπεία (3 D conformal radiotherapy – CRT)

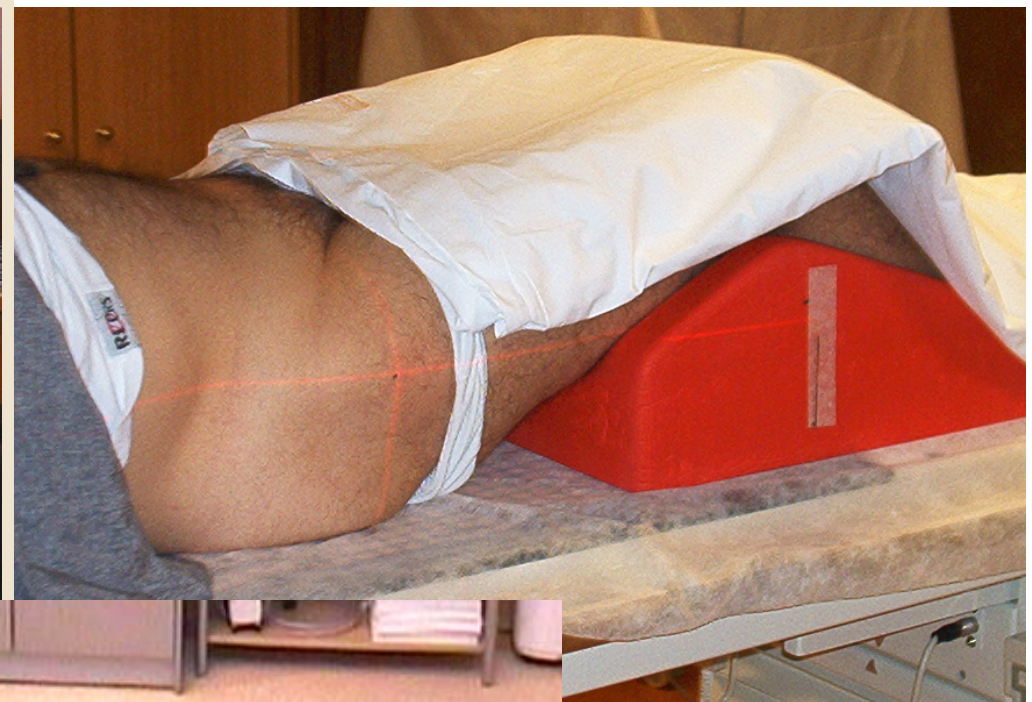
- Η σύμμορφη (ή προσαρμοσμένη) τρισδιάστατη ακτινοθεραπεία (3 D conformal radiotherapy – CRT) επιτυγχάνει να προσαρμόσει τη περιοχή υψηλής δόσης στον ακριβώς καθορισμένο όγκο-στόχο περιορίζοντας ταυτόχρονα τη δόση στους παρακείμενους υγιείς ιστούς.
- Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται πολλαπλά πεδία ακτινοβολίας ομοιόμορφης έντασης το σχήμα των οποίων είναι τέτοιο που να προσαρμόζεται στον όγκο.

- 
- Ο ακριβής καθορισμός των κατευθύνσεων των πολλαπλών δεσμών, του σχήματος του πεδίου ακτινοβολίας και του ποσοστού της δόσης που χορηγείται από κάθε δέσμη, πραγματοποιείται από ειδικό λογισμικό του συστήματος σχεδιασμού ακτινοθεραπείας, με τη βοήθεια λεπτομερών δεδομένων που παρέχονται από τον αξονικό τομογράφο.
  - Η χρήση του αξονικού τομογράφου έχει το πλεονέκτημα ότι δεδομένου ότι χρησιμοποιεί ακτίνες-Χ για την απεικόνιση του σώματος, δίνει πληροφορίες για την αλληλεπίδραση των ιστών με τις ακτίνες-Χ, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον ακριβή υπολογισμό της δόσης που λαμβάνεται από κάθε τμήμα του σώματος (όγκος και υγιής ιστός-όργανα).

## Στάδια σύμμορφης τρισδιάστατης ακτινοθεραπείας

1. ακινητοποίηση ασθενούς και απεικονιστική μέθοδος (π.χ. CT, MRI, PET),
2. καθορισμό όγκων και κρίσιμων οργάνων,
3. σχεδιασμό Θεραπείας,
4. υπολογισμό κατανομών δόσης,
5. εκτίμηση πλάνου θεραπείας,
6. εξομοίωση,
7. χορήγηση Θεραπείας και
8. ποιοτικό έλεγχο και επαλήθευση.

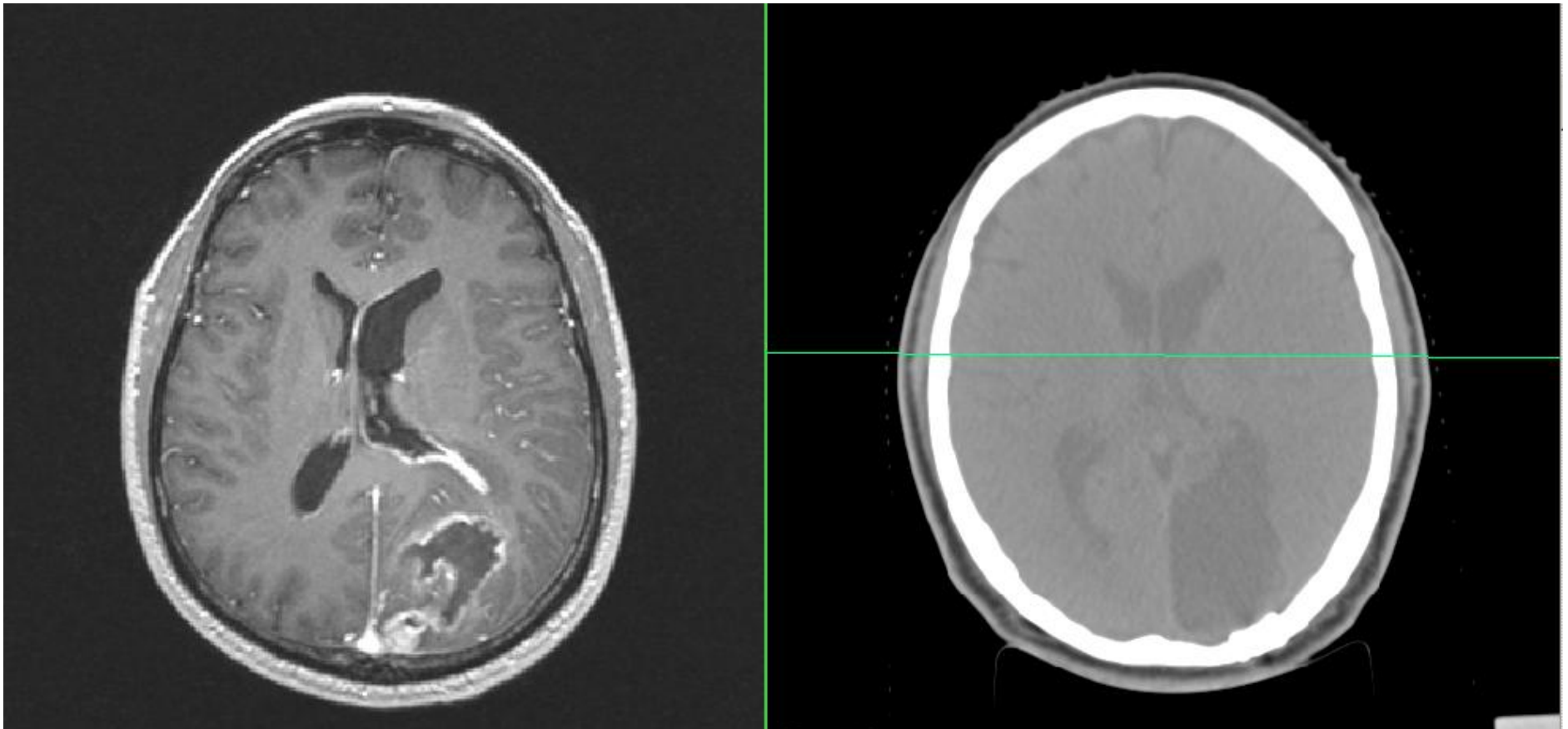
# Ακινητοποίηση ασθενούς



# Ευθυγράμμιση ιατρικών εικόνων (1)

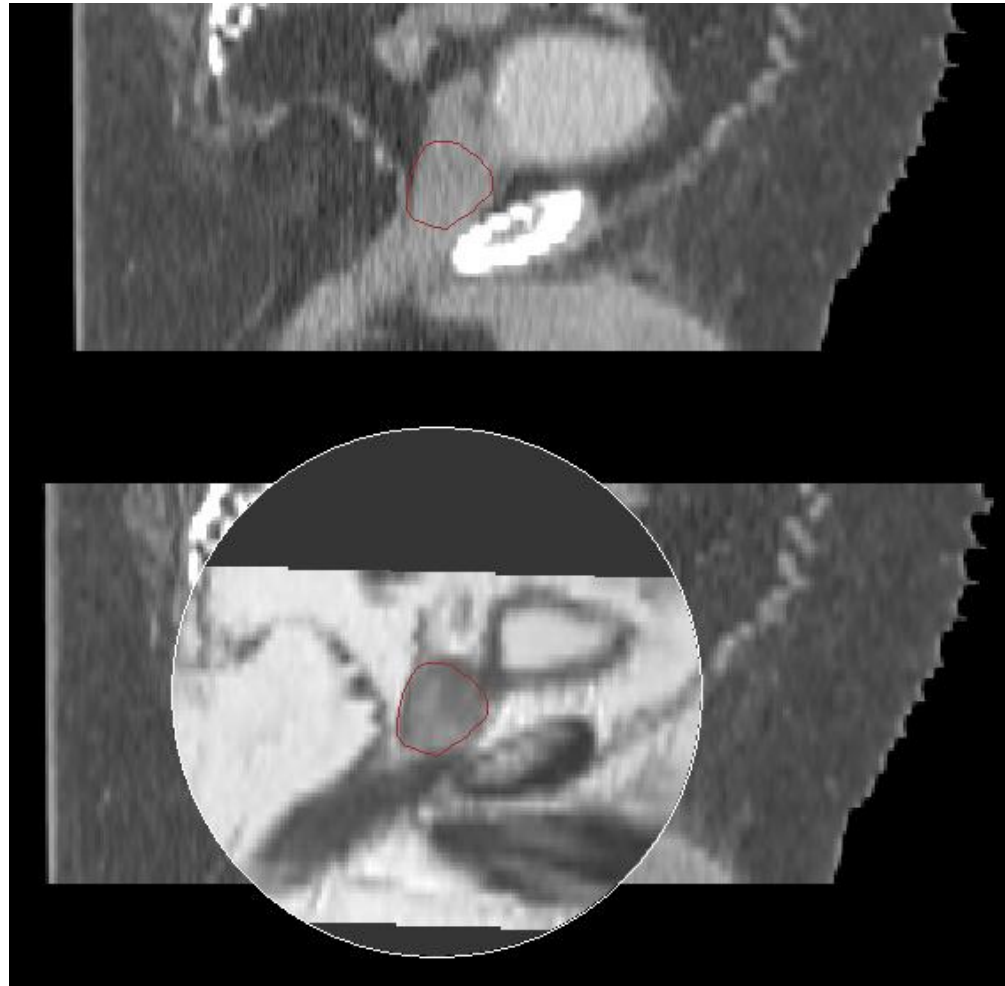
- Ευθυγράμμιση ιατρικών εικόνων καλείται η χωρική τοποθέτηση δύο συνόλων δεδομένων κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι δομές που είναι κοινές σε αυτά να συμπίπτουν
- Σύντηξη ιατρικών εικόνων καλείται ο συνδυασμός της κοινής πληροφορίας μετά την ευθυγράμμισή σε μια εικόνα που προσφέρει τη μέγιστη δυνατή διαγνωστική πληροφορία

## Ευθυγράμμιση ιατρικών εικόνων (2)





# Σύντηξη ιατρικών εικόνων

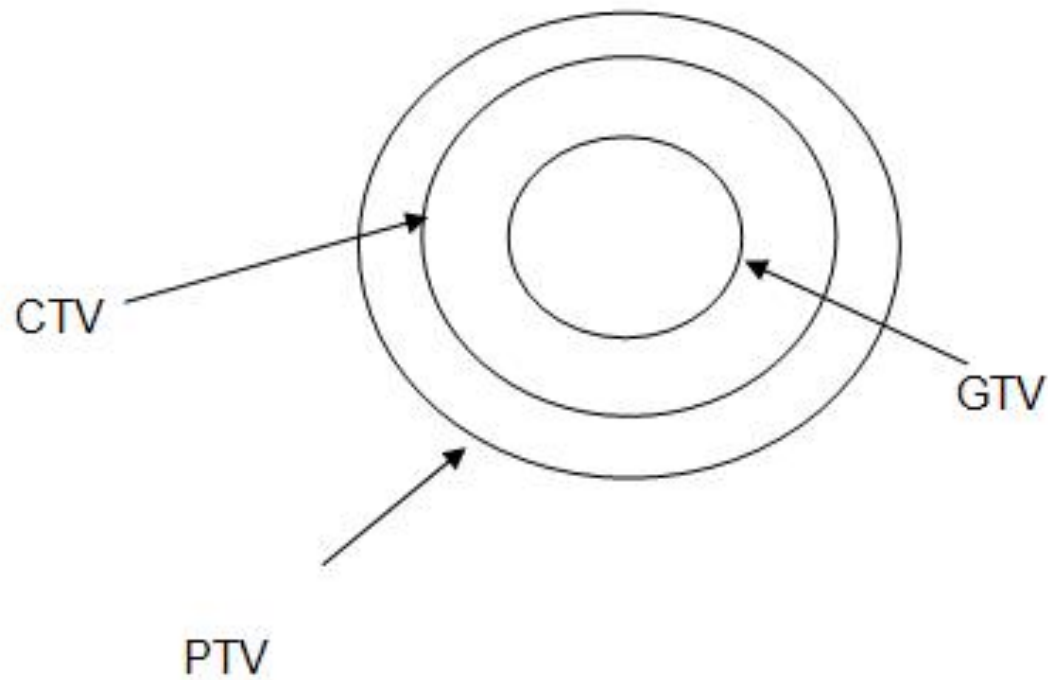


## Καθορισμός όγκων-στόχων και κρίσιμων οργάνων

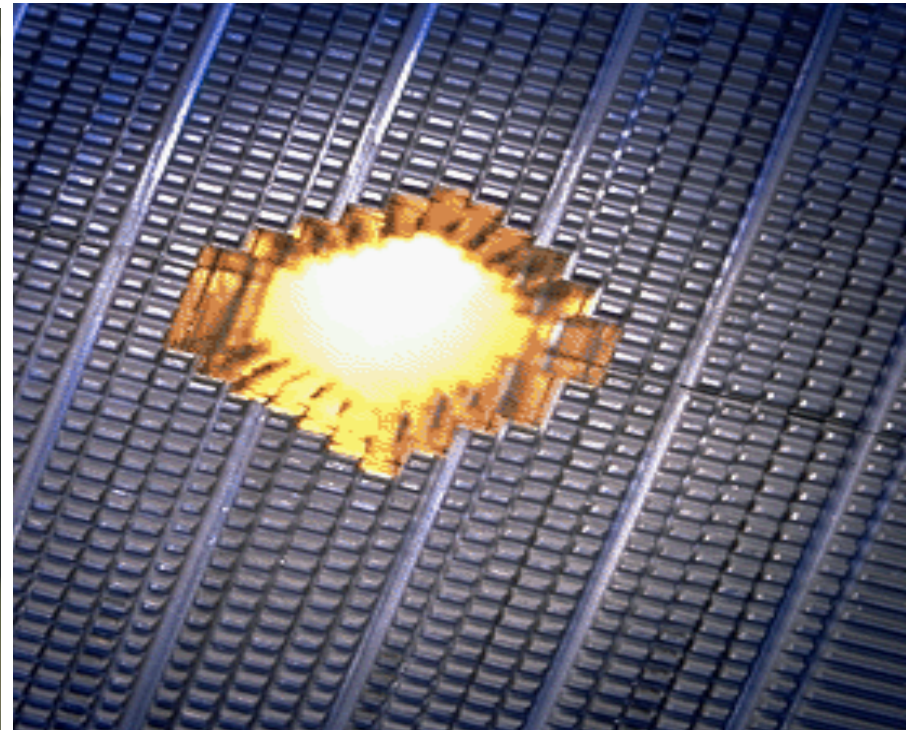


- Μακροσκοπικός όγκος στόχου - Gross tumor volume
- Κλινικός όγκος στόχου - Clinical tumor volume
- Όγκος στόχου για σχεδιασμό ακτινοθεραπείας - Planning tumor volume

# Καθορισμός όγκων-στόχων και κρίσιμων οργάνων

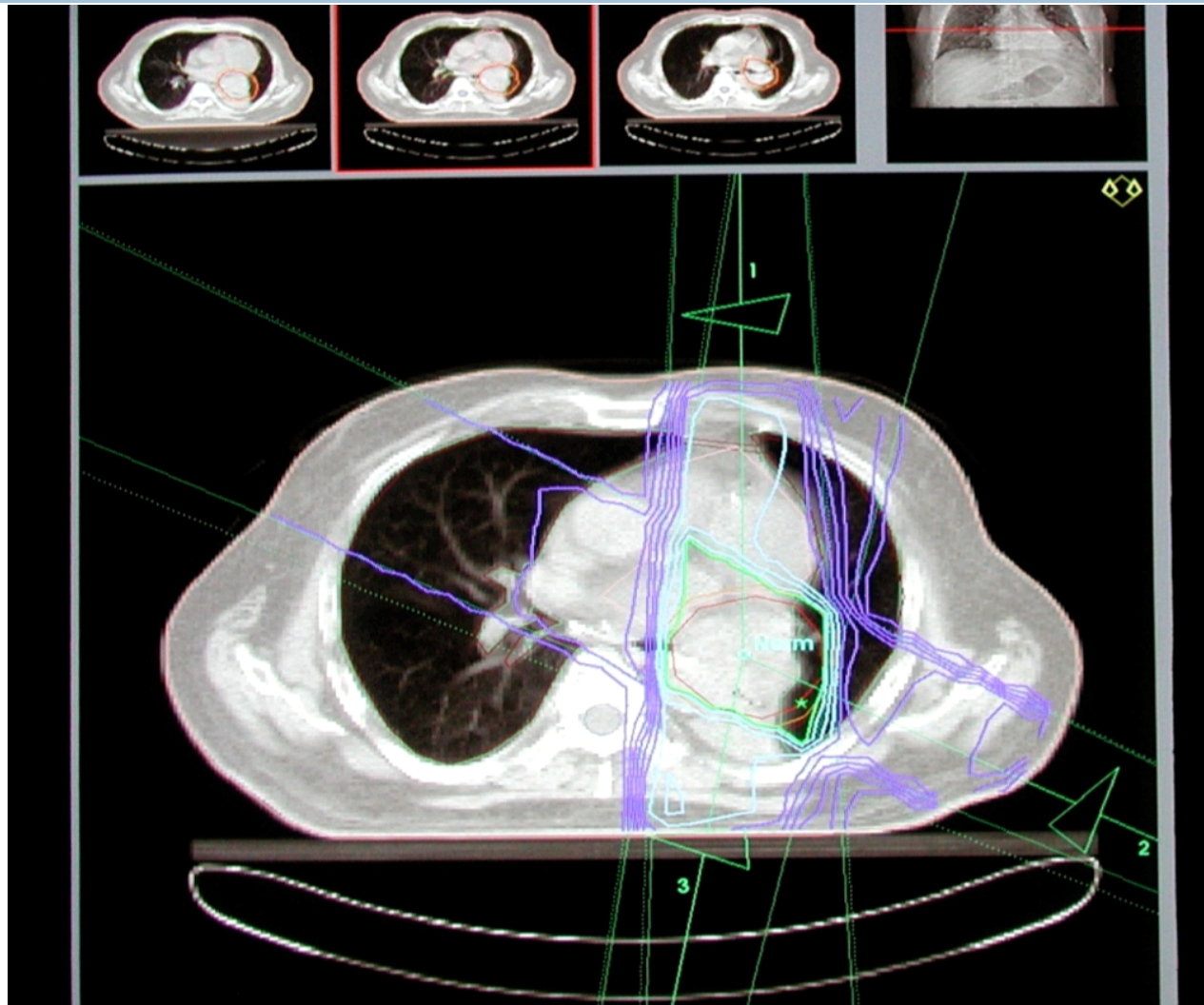


Σχηματική αναπαράσταση των GTV, CTV, PTV.

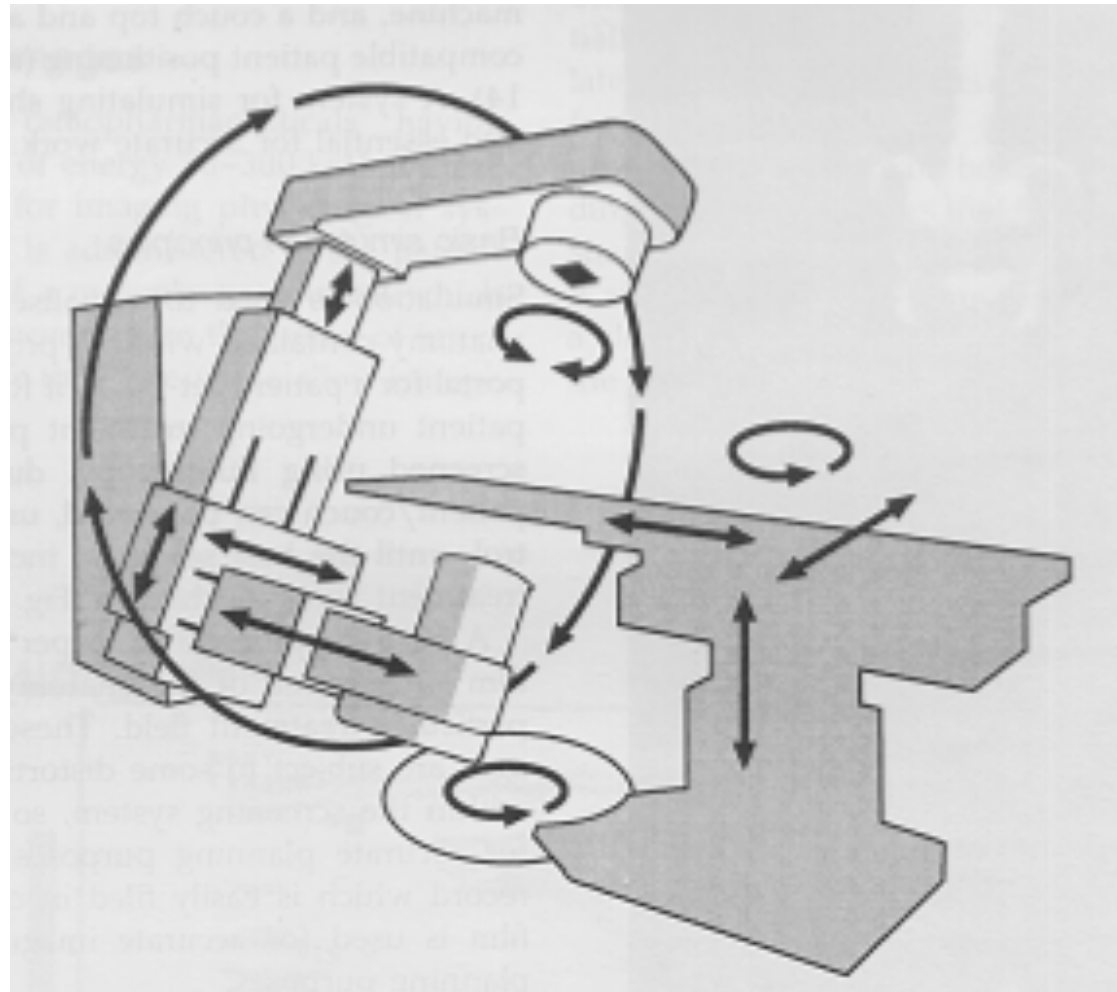


Πεδίο ακτινοβολίας διαμορφωμένου σχήματος με τη χρήση κατευθυντήρας πολλαπλών φύλλων ώστε να προσαρμόζεται στο σχήμα του προς ακτινοβόληση όγκου-στόχου

# Σχεδιασμός Θεραπείας



# Εξομοιωτής



# Τοποθέτηση στον γραμμικό επιταχυντή (1)



# Τοποθέτηση στον γραμμικό επιταχυντή (2)

The screenshot displays the iViewGT software interface for template matching. The top-left window shows a grayscale image with a white grid and red and green lines indicating field edges and anatomy. The top-right window shows a similar image with a dark central region. The 'Template Matching' dialog box is open, showing two steps: 'Match field edge' and 'Match anatomy'. The 'Results' section shows the following data:

Results	
Anatomy displacement relative to the field edge	
Horizontal (mm):	-1.0
Vertical (mm):	-0.3
Rotation (degrees):	+0.0

The bottom control panel includes a 'Field' list with entries '1. 1' and '3. 3', an 'Image' list with entries '08/09/08 14:35:03 Double', '04/09/08 14:26:03 Double', and '26/08/08 15:29:16 DICOM R'. The 'Exposure' section shows '1', '2/m', and 'm' options. The 'Help' section has a question mark icon. The bottom status bar shows '1060', 'admin', and '17:48'.



# Τοποθέτηση στον γραμμικό επιταχυντή (3)

**Template Matching**

Step 1  
Match field edge  
Use left mouse button to shift Done

Step 2  
Match anatomy  
Use left mouse button to shift  
Use right mouse button to rotate Done

**Results**

Anatomy displacement relative to the field edge

Horizontal (mm):	-0.5	
Vertical (mm):	-4.5	
Rotation (degrees):	+0.0	

**Field**

1.1
3.3

**Image**

01/09/08	14:34:19	Double
26/08/08	15:29:17	DICOM R

**Exposure**

1	2/m	m
---	-----	---

**Help**

?

*iViewGT*

1060 admin 17:49

# Cone Beam CT

The interface displays three views of a Cone Beam CT scan of a skull:

- Top Left View:** A transverse slice showing the skull and shoulders. A red outline highlights the skull, and a blue rectangle indicates the field of view. A green crosshair marks the isocenter. Orientation markers R, A, and F are shown at the bottom right. Text below: "Correction reference point = isocenter" and "Slice 205 of 410".
- Top Right View:** A sagittal slice of the skull. A red outline highlights the skull, and a blue rectangle indicates the field of view. A green crosshair marks the isocenter. Orientation markers A, L, and F are shown at the bottom right. Text below: "Slice 205 of 410".
- Bottom Left View:** A coronal slice of the skull. A red outline highlights the skull, and a blue rectangle indicates the field of view. A green crosshair marks the isocenter. Orientation markers A, R, and F are shown at the bottom right. Text below: "Transverse" and "Slice 64 of 120".

The control panel on the right includes:

- Navigation:** "GoTo .." button, zoom in (+) and zoom out (-) buttons.
- Display Settings:** "Slice Averaging" dropdown (set to "none"), "Display Mode" dropdown (set to "Localization only").
- Reference Preset:** "Cor. Ref. Point..." button, checkboxes for "Scan", "Alignment Clipbox", and "Structures ..".
- Alignment:** "Automatic" and "Manual" buttons, "Reset" button, "Convert To Correction" button.
- Position Error Table:**

Position Error	
Translation (cm)	Rotation (dg)
X: 0.00	X: 0.0
Y: 0.00	Y: 0.0
Z: 0.00	Z: 0.0

**Table Correction (cm):**

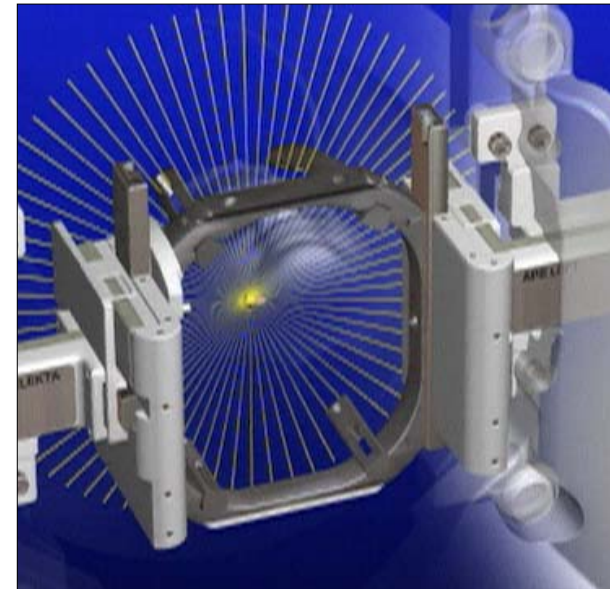
- Lateral: -
- Longitudinal: -
- Vertical: -

Buttons at the bottom: "Dismiss" and "Accept".

# Ακτινοχειρουργική

- “Ακτινοχειρουργική” (Radiosurgery - SRS): Η χορήγηση υψηλής δόσης ακτινοβολίας σε μία μικρή και με μεγάλη ακρίβεια εντοπισμένη βλάβη, σε μία συνεδρία.
- Ιστορικά ο όρος εισήχθη από το Σουηδό Νευροχειρουργό Lars Leksell (1951)
- Σκοπός της τεχνικής ήταν :
  - Η θεραπεία ενδοκρανιακών βλαβών οι οποίες δεν αντιμετωπίζονταν χειρουργικά
  - Η επιλεκτική ακτινοβολήση μικρού όγκου εγκεφάλου με τη μέγιστη δυνατή χωρική ακρίβεια
- Σήμερα η τεχνική εφαρμόζεται και σε περιοχές εκτός του κρανίου (π.χ. σπονδυλική στήλη)

# Το πρώτο σύστημα ακτινοχειρουργικής



- Το πρωτότυπο σύστημα Leksell Gamma Knife που εγκαταστάθηκε στην Στοκχόλμη, Σουηδία

# Στερεοτακτική ακτινοχειρουργική (1)

- Σε αντίθεση με τις συμβατικές κλασματοποιημένες ακτινοθεραπευτικές τεχνικές, στην στερεοτακτική ακτινοχειρουργική αποδίδεται πολύ υψηλή δόση σε μία και μόνο συνεδρία ή σε πολύ μικρό (2-5) αριθμό συνεδριών
- Η προστασία των υγιών ιστών που επιτυγχάνεται με την κλασματοποίηση της δόσης κατά τη συμβατική ακτινοθεραπεία, πρέπει να αντισταθμιστεί με απόδοση πολύ χαμηλών δόσεων στους υγιείς ιστούς που γειτονεύουν με τον όγκο-στόχο.
- Αυτή η βασική προϋπόθεση απαιτεί μεγάλη ακρίβεια στη χορήγηση της δόσης, διαδικασία η οποία σε όλα της τα στάδια ελέγχεται πλήρως από εξελιγμένα υπολογιστικά συστήματα.

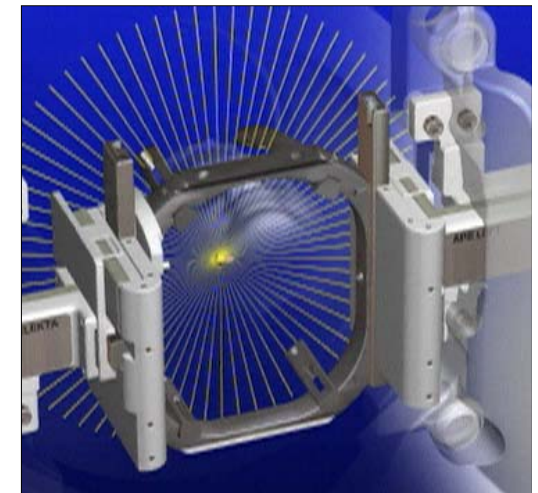
# Στερεοτακτική ακτινοχειρουργική (2)

- Για την εφαρμογή της στερεοτακτικής ακτινοχειρουργικής χρησιμοποιούνται λεπτές δέσμες ακτινοβολίας οι οποίες μπορεί να είναι:
  - ▣ λεπτές δέσμες φωτονίων (4, 8, 14 και 18 mm) παραγόμενες από 201 ημισφαιρικά κατανεμημένες πηγές  $^{60}\text{Co}$  ( $\gamma$ -knife) που επικεντρώνονται με εξαιρετική ακρίβεια στο στόχο
  - ▣ λεπτές δέσμες ακτίνων-Χ που παράγονται από εξειδικευμένο γραμμικό επιταχυντή ενσωματωμένο σε ρομποτικό βραχίονα υψηλής ακρίβειας (CyberKnife)
  - ▣ ακτίνες-Χ παραγόμενες από συμβατικό γραμμικό επιταχυντή με χρήση κατάλληλων κατευθυντήρων που επιτρέπουν την παραγωγή ιδιαίτερα λεπτών δεσμών ( $x$ -knife)

# Σύστημα Gamma Knife (1)

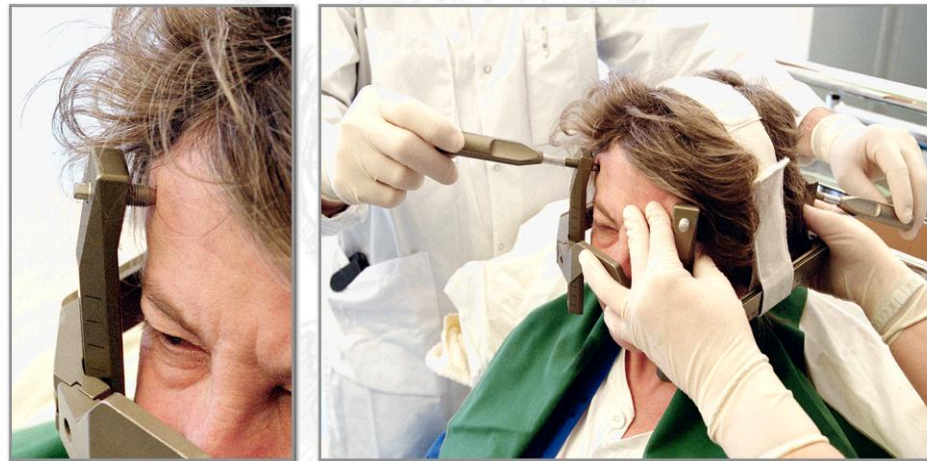
- Χρησιμοποιεί 201 ανεξάρτητες πηγές κοβαλτίου-60 οι οποίες κατευθύνονται και συγκλίνουν με εξαιρετική ακρίβεια, μέσω ειδικών κατευθυντήρων σε προεπιλεγμένο στόχο στο εσωτερικό του κρανίου.
- Στο σημείο αυτό η ένταση των ακτίνων  $\gamma$  είναι τέτοια ώστε να προκαλεί τη ζητούμενη καταστροφή των ιστών στον όγκο-στόχο ενώ η απορροφούμενη δόση στους ιστούς στην περιφέρεια του στόχου είναι ελάχιστη.

□



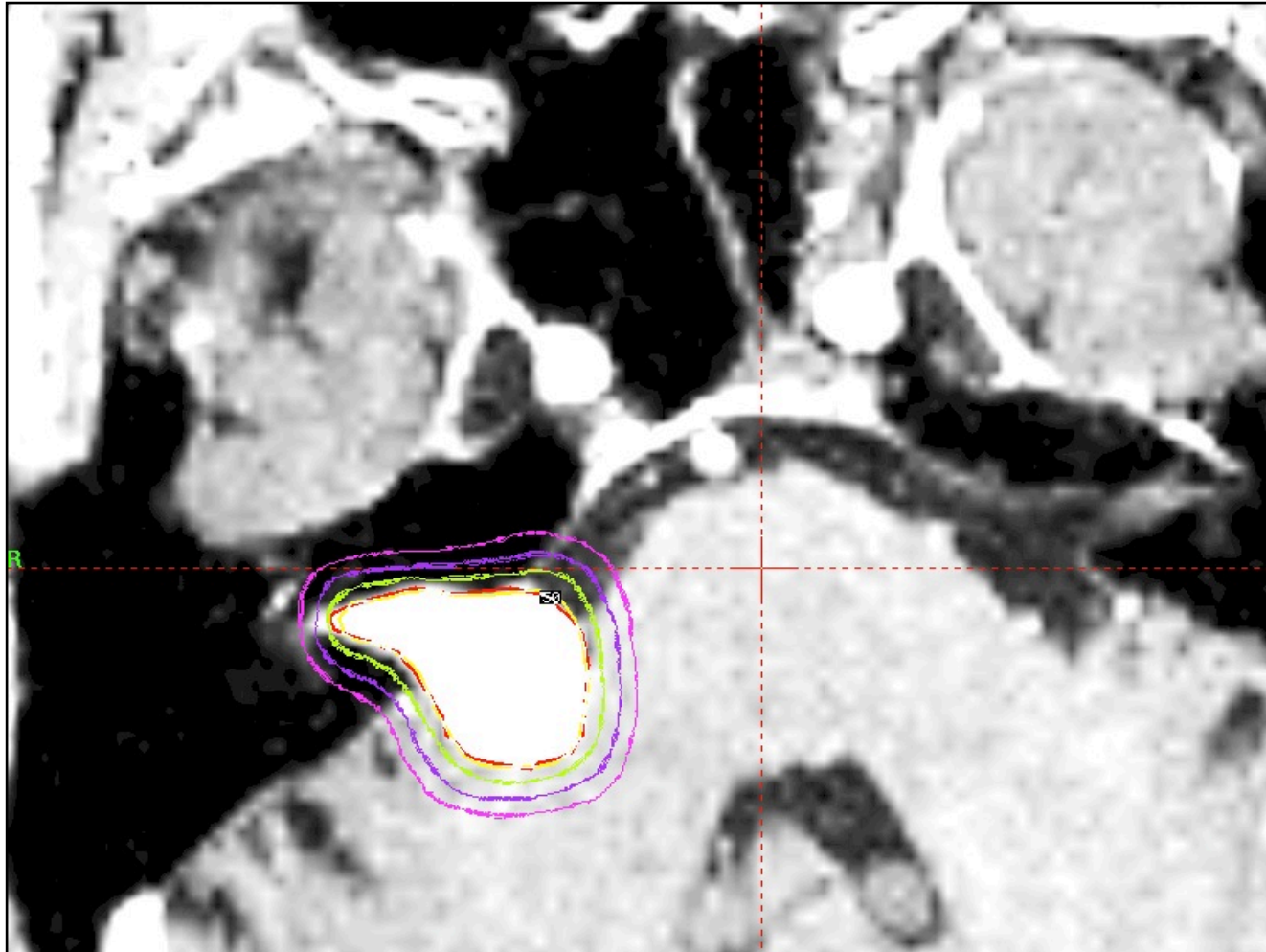
## Σύστημα Gamma Knife (2)

- Πλαίσιο ακινητοποίησης : Αποτελεί τη βάση για την ακινητοποίηση του ασθενούς και τον προσδιορισμό (μέσω MRI και CT) του όγκου στόχου σε ένα σύστημα στερεοτακτικών συντεταγμένων που θα επιτρέψει τον υπολογιστικό σχεδιασμό της θεραπείας και την αναπαραγωγή αυτού του σχεδιασμού με πιστότητα κατά τη διάρκεια της ακτινοβολήσης.

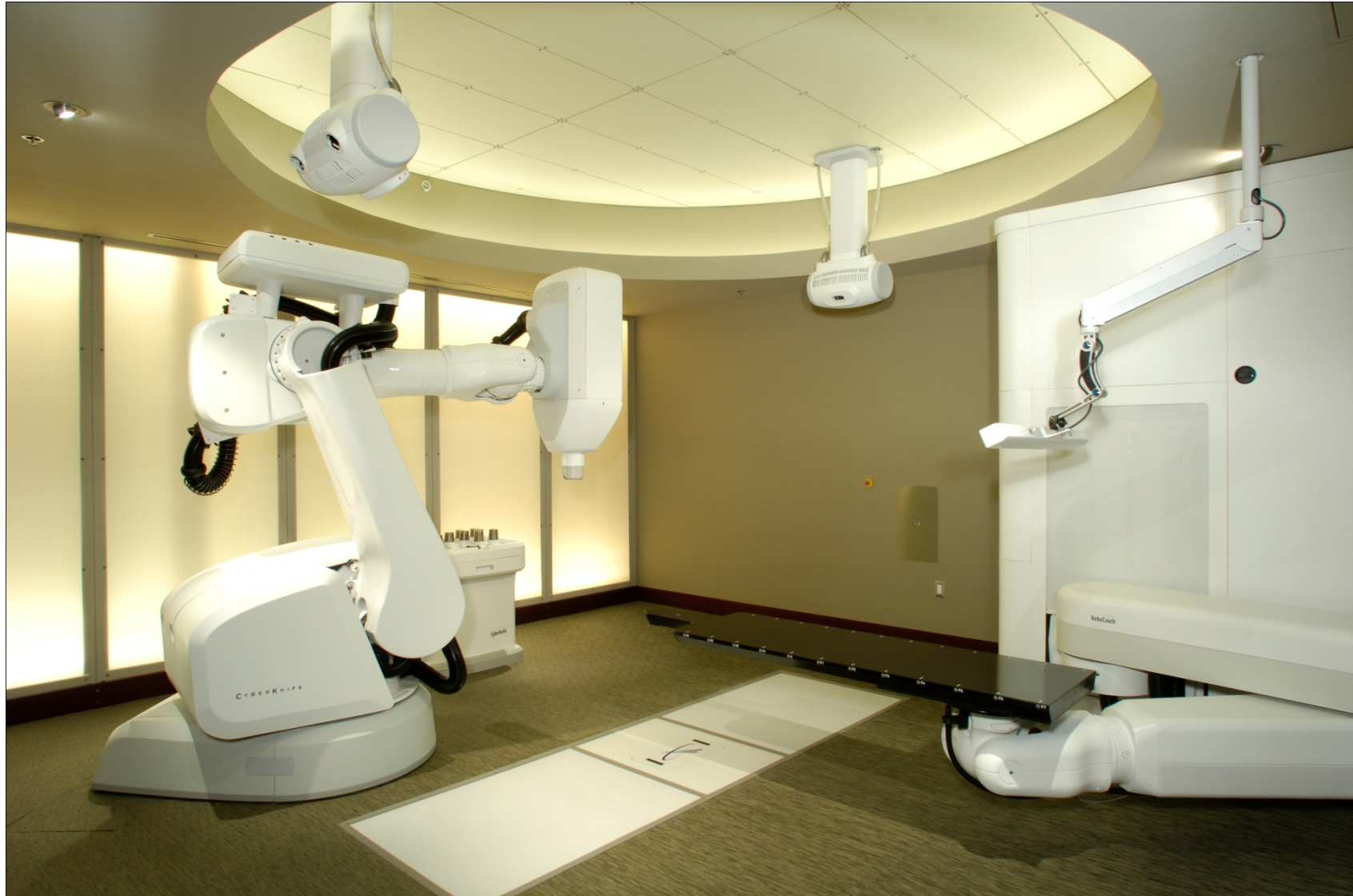




# Πλάνο θεραπείας ακουστικού νευρινώματος



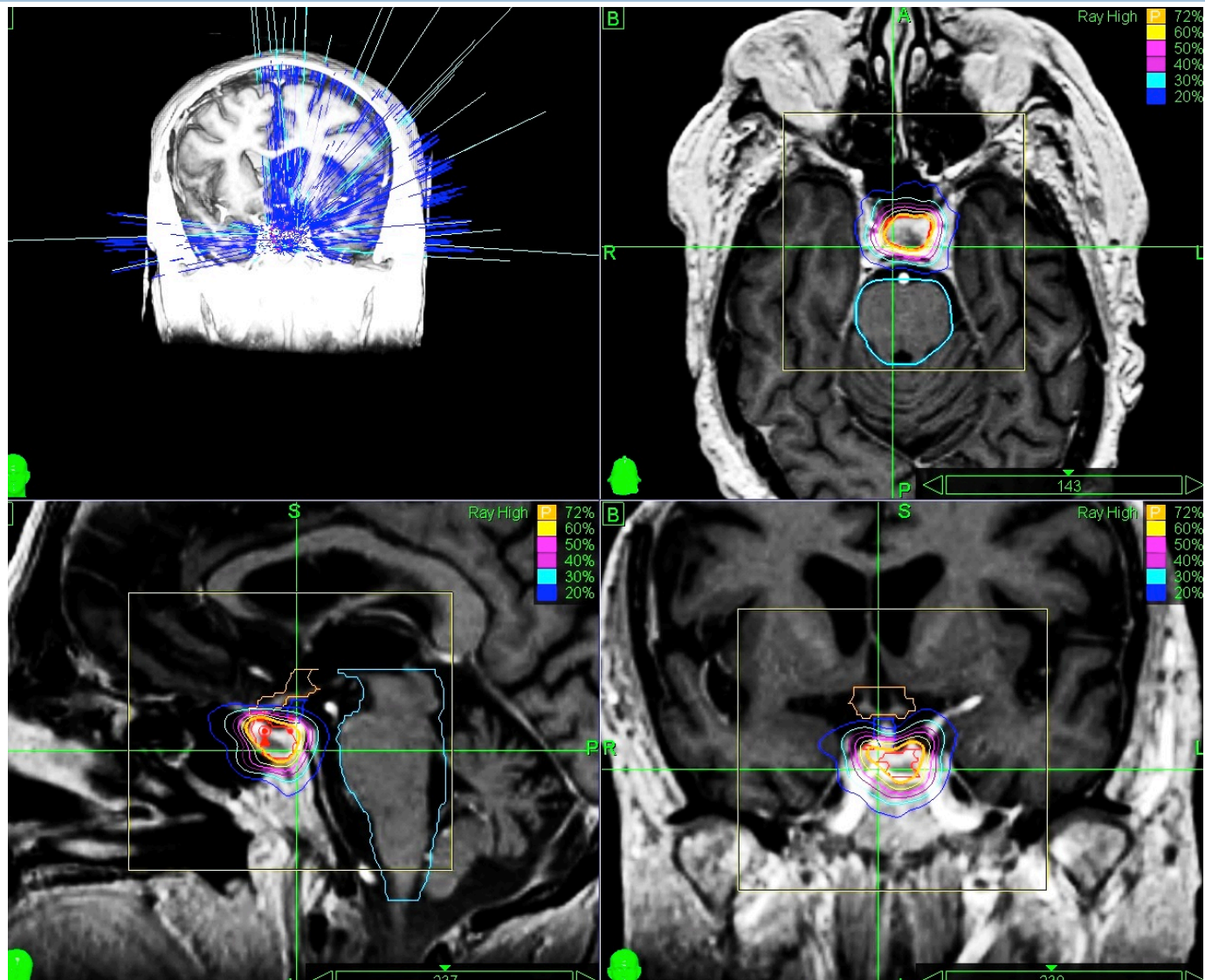
# Σύστημα CyberKnife



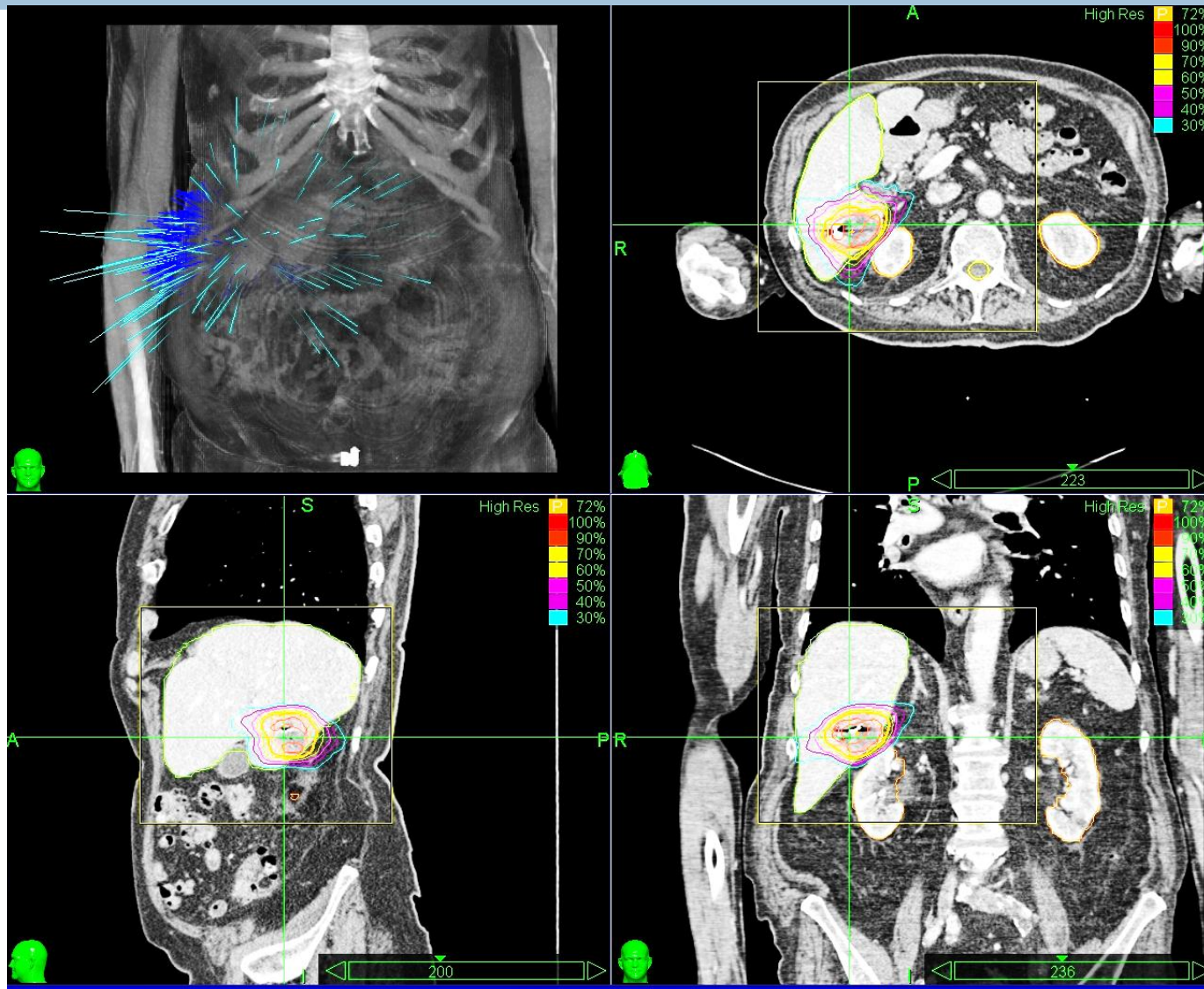
# Σύστημα CyberKnife

- Ρομποτικό σύστημα στερεοτακτικής ακτινοχειρουργικής για την ακτινοβολήση ενδοκρανιακών και εξωκρανιακών βλαβών
- Ο ρομποτικός βραχίονας συνεργάζεται με το σύστημα απεικόνισης ώστε να διορθώσει για τις κινήσεις του όγκου-στόχου και του ασθενούς καθ' όλη τη διάρκεια της θεραπείας.
- Δεν απαιτείται πλαίσιο ακινητοποίησης επομένως η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιοχές εκτός κρανίου.
- Κλινική ακρίβεια  $\sim 1\text{mm}$  για βλάβες σε ολόκληρο το σώμα

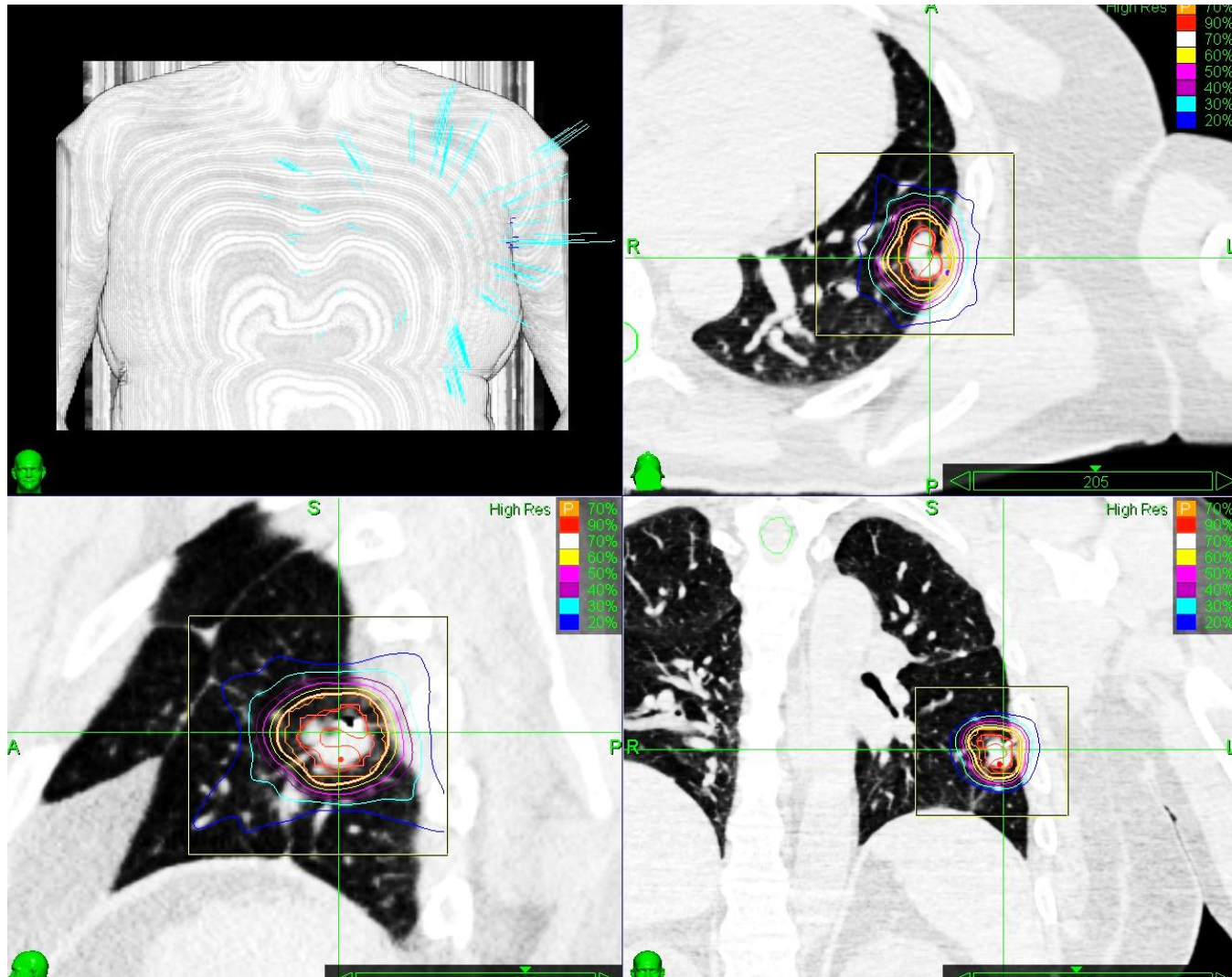
# Θεραπεία αδενώματος υπόφυσης



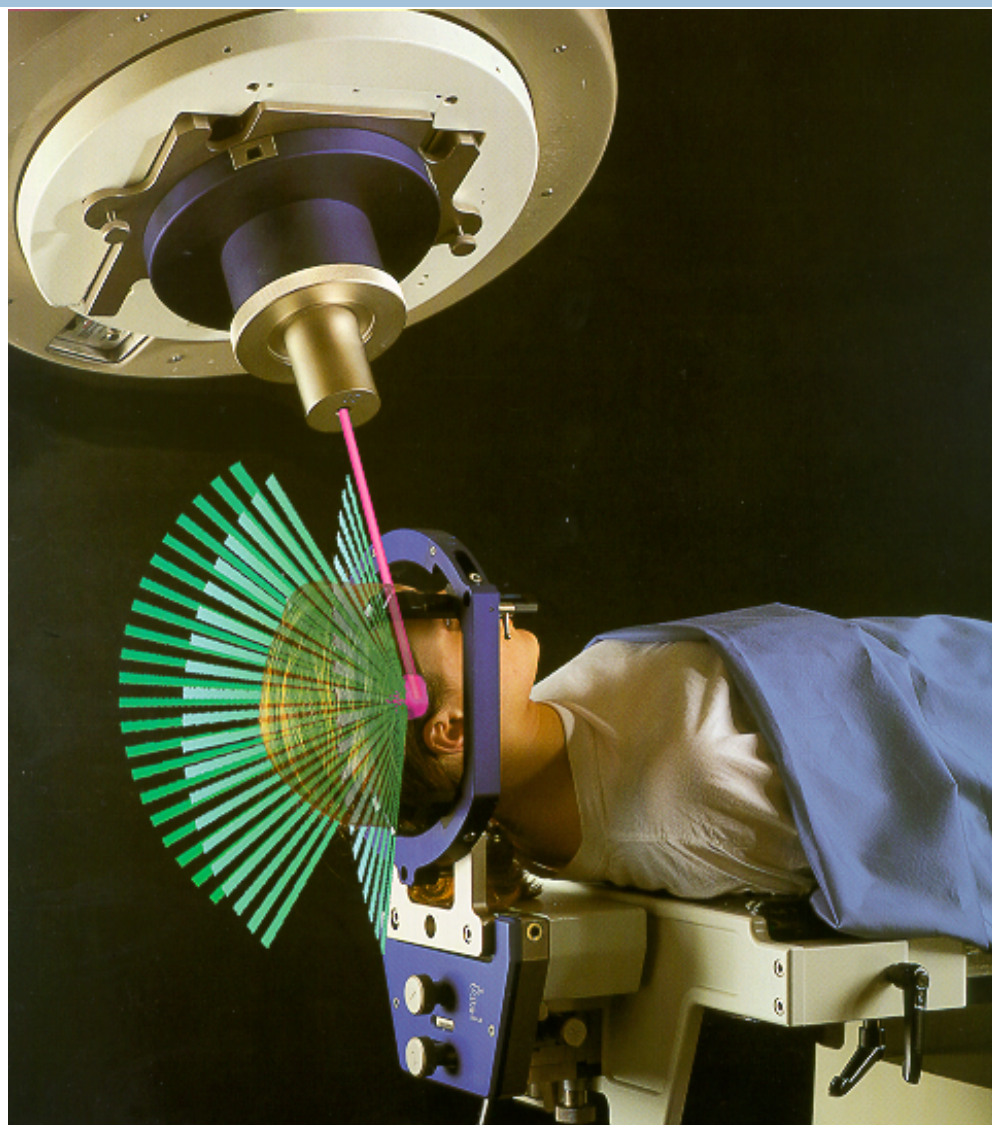
# Θεραπεία Ca επινεφριδίου



# Θεραπεία πνευμονικής μετάστασης

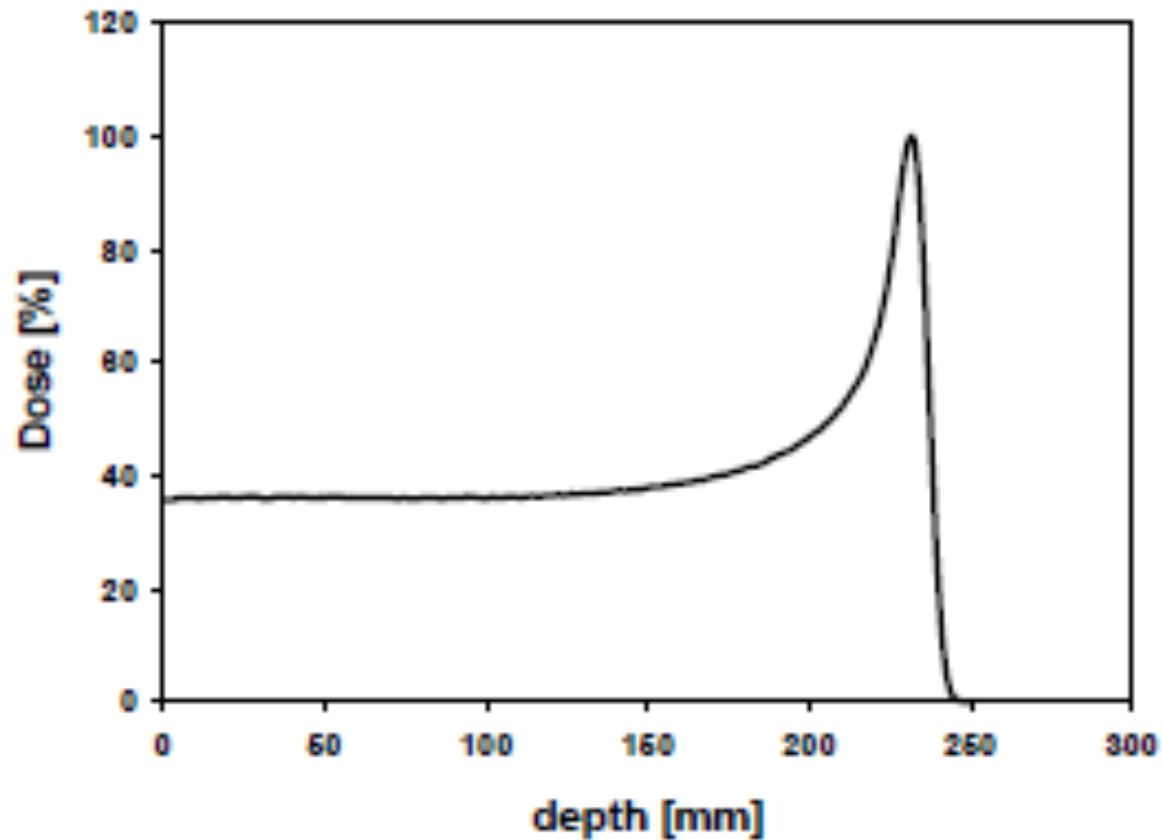


# Σύστημα χ-knife

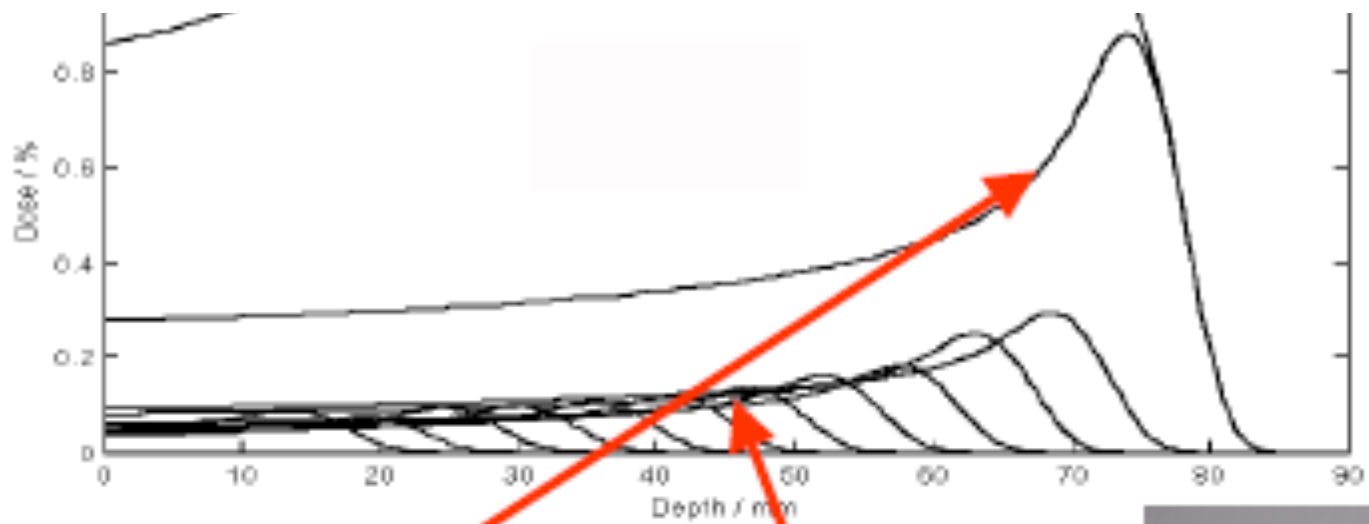


# Ακτινοθεραπεία με πρωτόνια

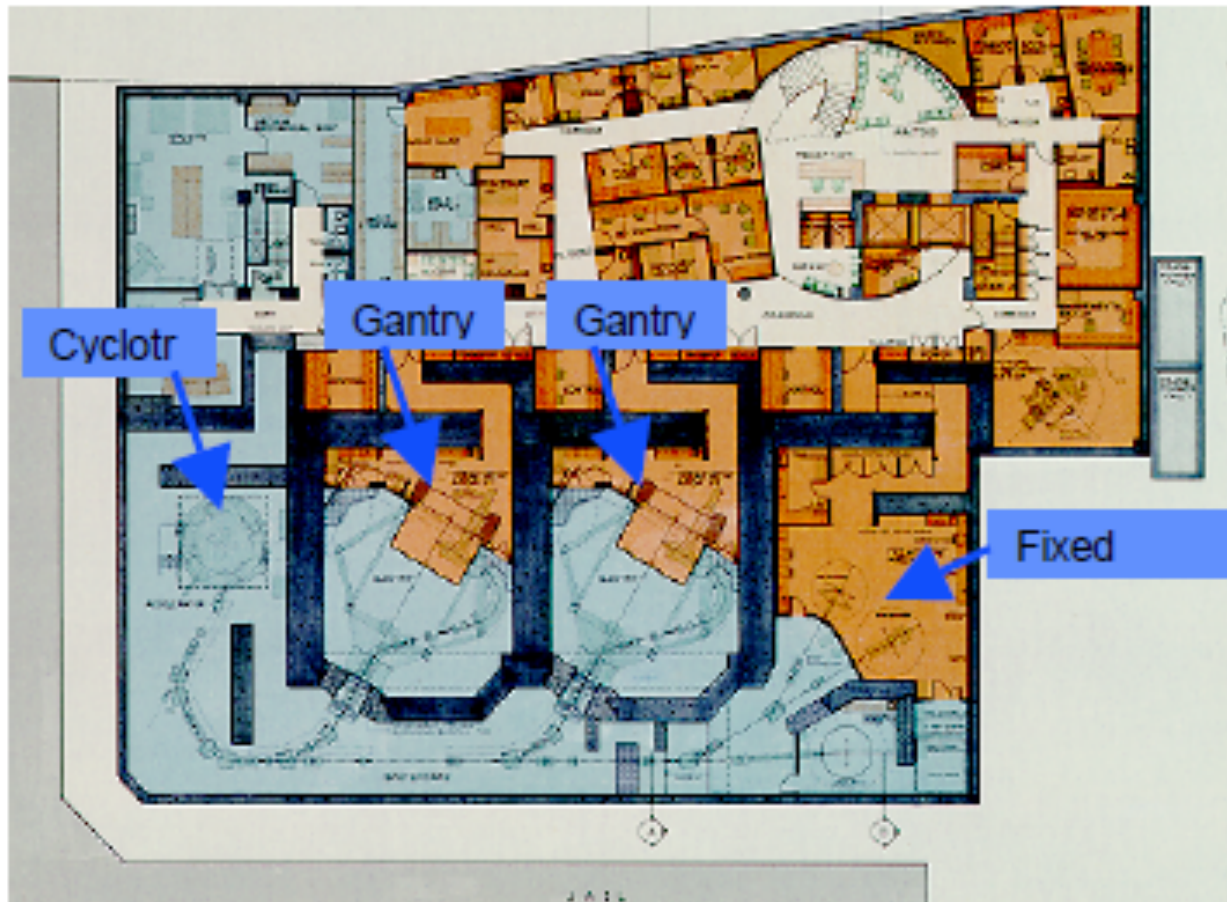
- Καμπύλες δόσης βάθους



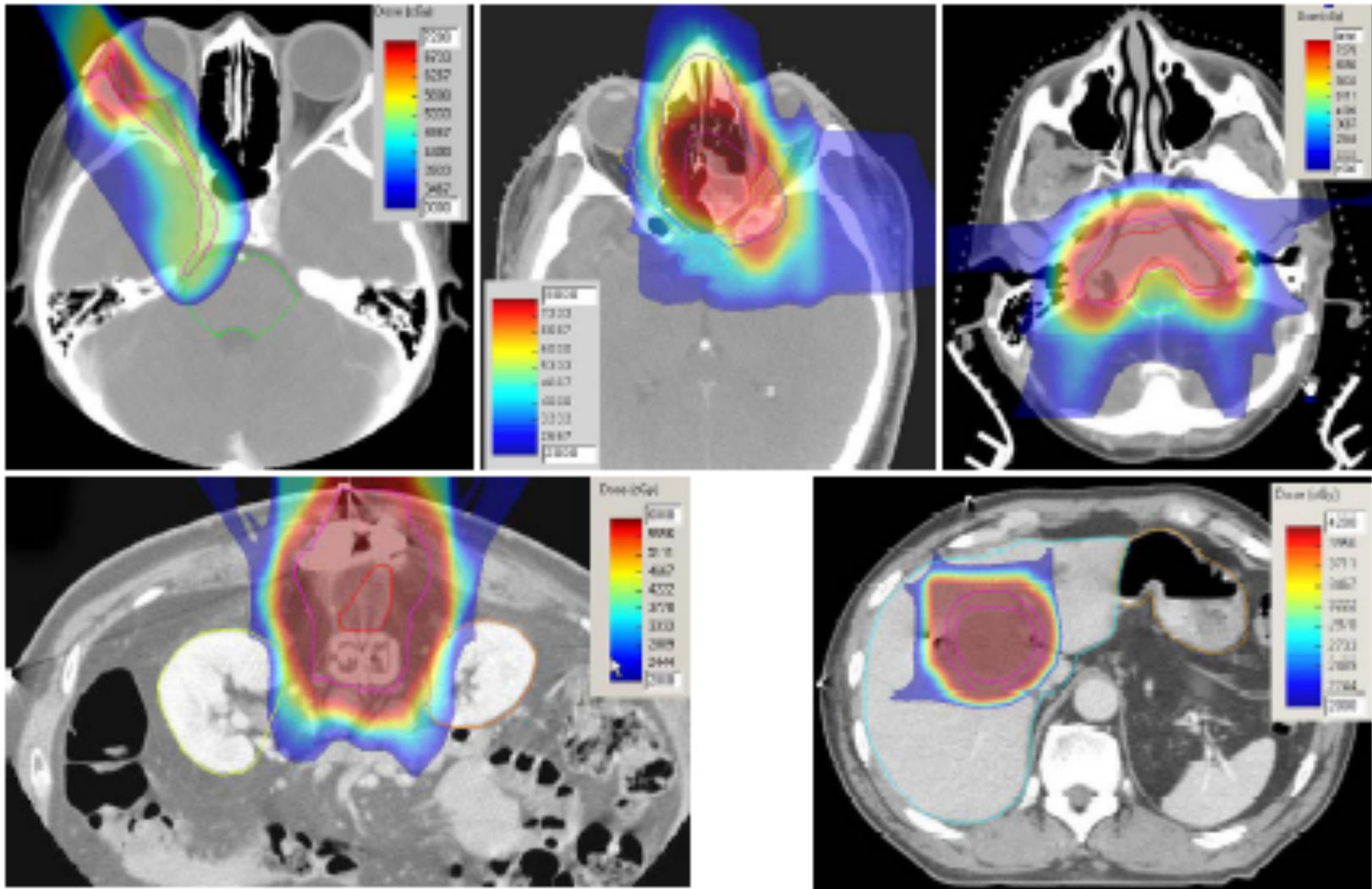




# Ακτινοθεραπεία με πρωτόνια



# Ακτινοθεραπεία με πρωτόνια



# Βραχυθεραπεία

- Η βραχυθεραπεία είναι μία μέθοδος ακτινοθεραπείας κατά την οποία ραδιενεργές πηγές κατανέμονται ενδοκοιλοτικά, ενδοϊστικά ή και σε επαφή με τον όγκο-στόχο, με σκοπό την ακτινοβόληση του στόχου με μεγάλες δόσεις και την παράλληλη ελαχιστοποίηση της ακτινοβόλησης των παρακείμενων υγιών ιστών-οργάνων.
- Επειδή κατά την βραχυθεραπεία οι πηγές της ακτινοβολίας τοποθετούνται είτε πολύ κοντά στους όγκους, είτε και μέσα σε αυτούς, η περιοχή του όγκου απορροφά πολύ μεγαλύτερη δόση ακτινοβολίας σε σχέση με τους παρακείμενους υγιείς ιστούς-όργανα, λόγω της μείωσης της δόσης από την πηγή με το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης ( $1/r^2$ ). Αυτό είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της βραχυθεραπείας σε σύγκριση με την εξωτερική ακτινοβόληση.

# Βραχυθεραπεία


- Οι συνηθέστεροι καρκίνοι που υποβάλλονται σε βραχυθεραπεία, είναι οι γυναικολογικοί όπως ο καρκίνος της μήτρας και του κόλπου, ο καρκίνος του ρινοφάρυγγα, του μαστού, του προστάτη κ.α.
- Επίσης η βραχυθεραπεία συχνά χρησιμοποιείται για την περαιτέρω αύξηση της δόσης σε όγκους που αρχικά ακτινοβολούνται με τεχνικές εξωτερικής ακτινοθεραπείας, για την κλιμάκωση της δόσης και την αποφυγή υποτροπής της νόσου.

# Ραδιοϊσότοπα

Πηγή	Ενέργεια φωτονίων		Χρόνος ημιζωής	HVL (mm Pb)
	E(keV)	Μέση (keV)		
$^{192}\text{Ir}$	136-1060	380	74.2 μέρες	2.5
$^{137}\text{Cs}$	662	662	30 έτη	5.5
$^{125}\text{I}$	27-35	28	60.2 μέρες	0.025
$^{241}\text{Am}$	60	60	432 έτη	0.125
$^{198}\text{Au}$	412	412	2.7 μέρες	2.5
$^{145}\text{Sm}$	38-61	41	340 μέρες	0.06
$^{103}\text{Pd}$	20-23	21	17 μέρες	0.008
$^{169}\text{Yb}$	10-308	93	32 μέρες	0.2

# Χαρακτηριστικά ραδιοϊσοτόπων στην βραχυθεραπεία

- **Ενέργεια:** Η ενέργεια των πηγών βραχυθεραπείας δεν θα πρέπει να είναι μεγάλη (της τάξης των MeV) κυρίως για λόγους ακτινοπροστασίας. Πηγές μέσης ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως σε ενδοκολπικές εφαρμογές ενώ πηγές μικρότερης ενέργειας χρησιμοποιούνται σε ενδοϊστικές ή επιφανειακές εφαρμογές.
- **Ειδική ενεργότητα:** Η βραχυθεραπεία υψηλού ρυθμού δόσης (HDR) μπορεί να επιτευχθεί μόνον με πηγές υψηλής ειδικής ενεργότητας (ενεργότητα ανά μονάδα μάζας πηγής) όπως αυτές του  $^{192}\text{Ir}$ . Ακόμη όμως και στις ενδοϊστικές εφαρμογές χαμηλού ρυθμού δόσης απαιτείται σχετικά υψηλή ειδική ενεργότητα ώστε να κατασκευαστούν πηγές μικρών διαστάσεων.

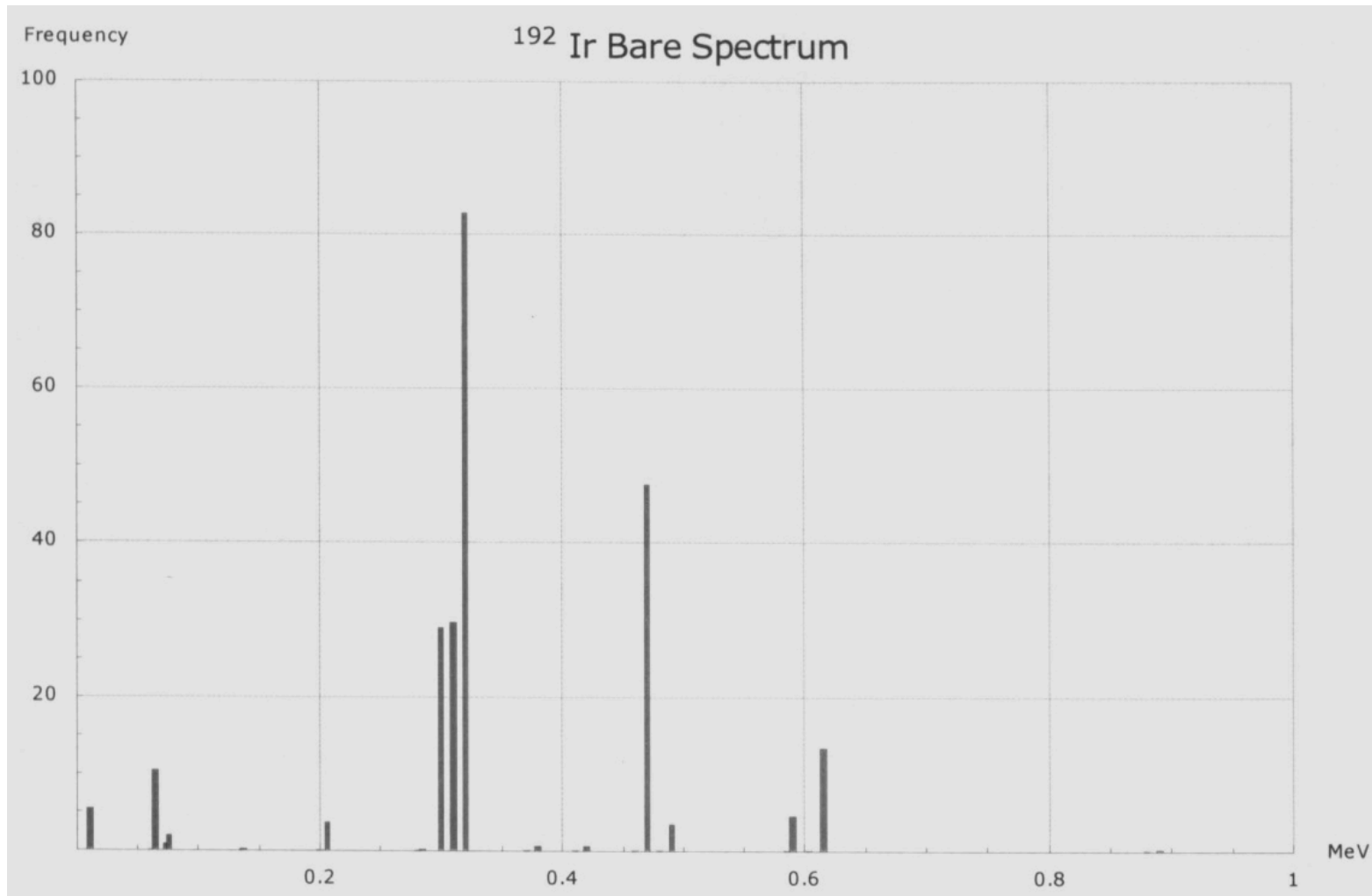


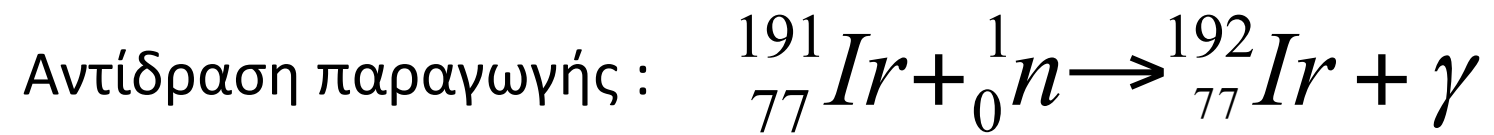
□ **Χρόνος ημιζωής:** Οι πηγές με υψηλό χρόνο ημιζωής είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για “παροδικές” εφαρμογές. Προκειμένου όμως για μόνιμα εμφυτεύματα, χρησιμοποιούνται πηγές με βραχύ χρόνο ημιζωής, όπως το  $^{125}\text{I}$ , που οδηγούν σε μείωση της ραδιενέργειας σε ανεκτά επίπεδα εντός ενός εύλογου χρονικού διαστήματος (της τάξης των μερικών μηνών).

□ **Ακτινοπροστασία:** Πηγές με μεγάλη μέση ενέργεια που δημιουργούν προβλήματα φύλαξης αλλά και χειρισμού, όπως το Ράδιο, ή ραδιονουκλίδια που η χημεία τους δεν επιτρέπει την κατασκευή πηγών καταλλήλων για χρήση σε συστήματα μεταφόρτισης, βρίσκουν περιορισμένη χρήση στις σύγχρονες εφαρμογές βραχυθεραπείας.

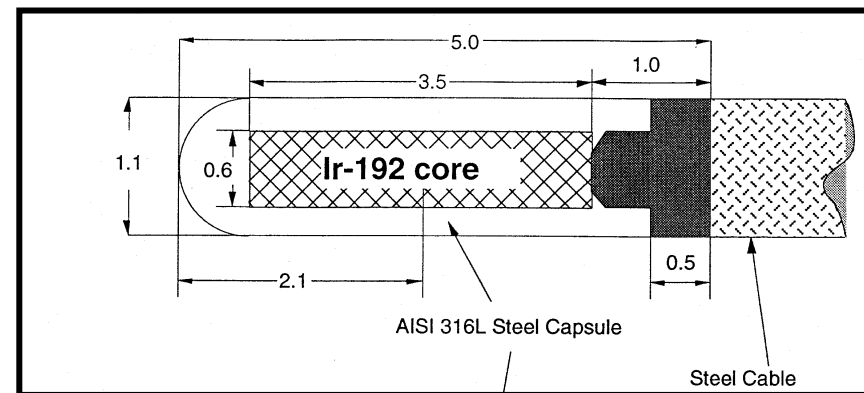
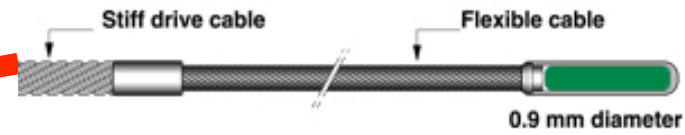


# Το στοιχείο Ir-192





# Τεχνική μεταφόρτισης



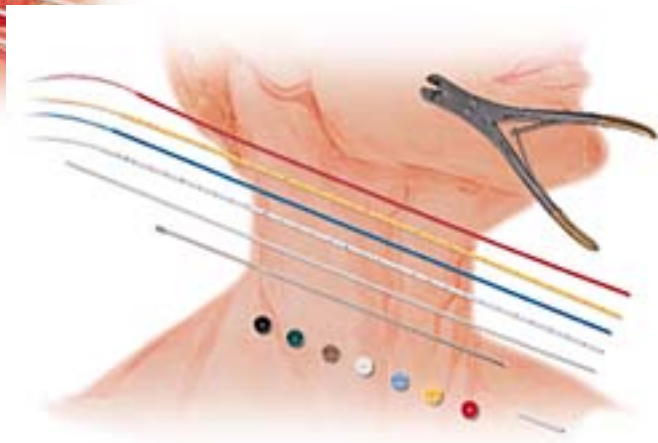
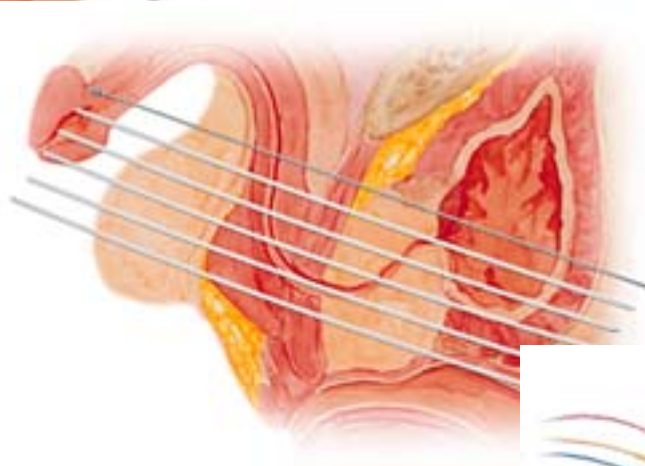


Image # 6  
Position: -28.70 cm

