



EANM Highlights

Εξελίξεις τόσο στη μικρή (Voxel based) όσο
και στη μικρότερης κλίμακας δοσιμετρία

Νταλιάνης Κωνσταντίνος MSc, PhD

Ακτινοφυσικός

Hygeia Hospital

Σεμινάριο Συνεχιζόμενης Ιατρικής Εκπαίδευσης ΕΕΠΙ&ΜΑ
«Ενδιαφέρουσες Εξελίξεις στην Πυρηνική Ιατρική από τα
Διεθνή Συνέδρια (EANM, SNMMI, RSNA) – Highlights 2020»



Ένα εκπαιδευτικό ταξίδι με αφετηρία την εσωτερική δοσιμετρία Οργάνων, στη δοσιμετρία στο επίπεδο του Ογκοστοιχείου Voxel και τερματισμό στην μικρής κλίμακας δοσιμετρία σε επίπεδο κυττάρου.

An Educational Trip from Organ to Voxel-Based to Small Scale Dosimetry

- **Organ Level Dosimetry** : Jonathan Gear από Royal Marsden NHS Foundation Trust, Joint Department of Physics and internal dosimetry group U.K
- **Voxel Level Dosimetry**: Nicolas Chouin από Institute of Health and Medical Research, Nantes, FRANCE
- **Small Scale Dosimetry** : Peter Bernhardt από Department of Radiation Physics University of Gothenburg SWEDEN



Not so Appealing, but...It's just Dosimetry

CME Session 1 Dosimetry Committee

Κατανόηση της κλινικής σημασίας της Εσωτερικής δοσιμετρίας στις εφαρμογές της Πυρηνικής Ιατρικής (διαγνωστικές–θεραπευτικές & theranostics) επιχειρώντας μια εισαγωγική επισκόπηση στις μεθόδους υπολογισμού των απορροφούμενων δόσεων στη βάση:

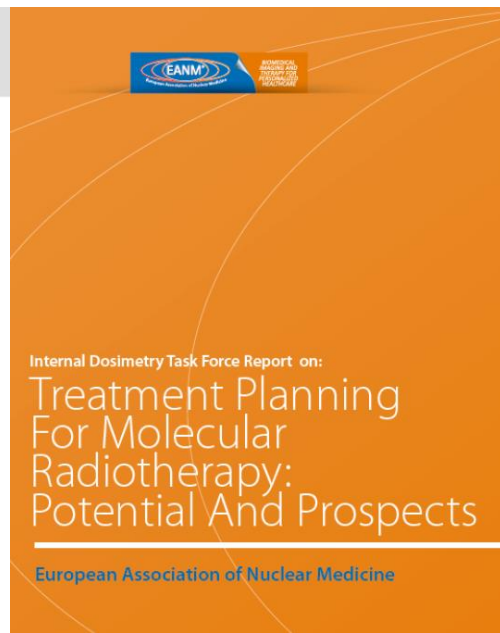
- της δοσιμετρίας σε επίπεδο οργάνων/ιστών,
 - της δοσιμετρίας σε επίπεδο voxel και
 - της μικροδοσιμετρίας σε κυτταρικό επίπεδο
-
- Ο υπολογισμός του συνολικού αριθμού ραδιενεργών διασπάσεων εντός ενός οργάνου πηγής απαιτεί την λήψη διαδοχικών ποσοτικών εικόνων σε χρόνους κατάλληλους οι οποίοι θα χαρακτηρίζουν την ραδιοφαρμακευτική βιοκινητική του χορηγημένου σκευάσματος.
-
- Η πρόοδος της τεχνολογίας των απεικονιστικών συστημάτων και η ανάπτυξη πολλών νέων αλγορίθμων επέτρεψαν σήμερα να έχουμε στη διάθεση μας αρκετές τυποποιημένες προσεγγίσεις και μεθοδολογίες για την ποσοτική απεικόνιση και τη εσωτερική δοσιμετρία

CME Session 1 Dosimetry Comitee

Η θεραπεία του καρκίνου με χρήση ραδιοϊσοτόπων τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει ταχεία ανάπτυξη με την εισαγωγή πολλών νέων ραδιοθεραπευτικών φαρμάκων στην κλινική πράξη και στις εφαρμογές της πυρηνικής ιατρικής.

Absorbed Dose Limits for Organs-at-Risk

Bone Marrow:	2 Gy
Kidneys (Emami 1991):	23 Gy
Kidneys (Threshold, MIRD 20):	33 Gy BED
Salivary Glands (Buchali 1991):	20 Gy
Lacrimal Glands (Parsons 1996):	40 Gy
Nasal Mucuous Membrane (Yin 2010):	37 Gy

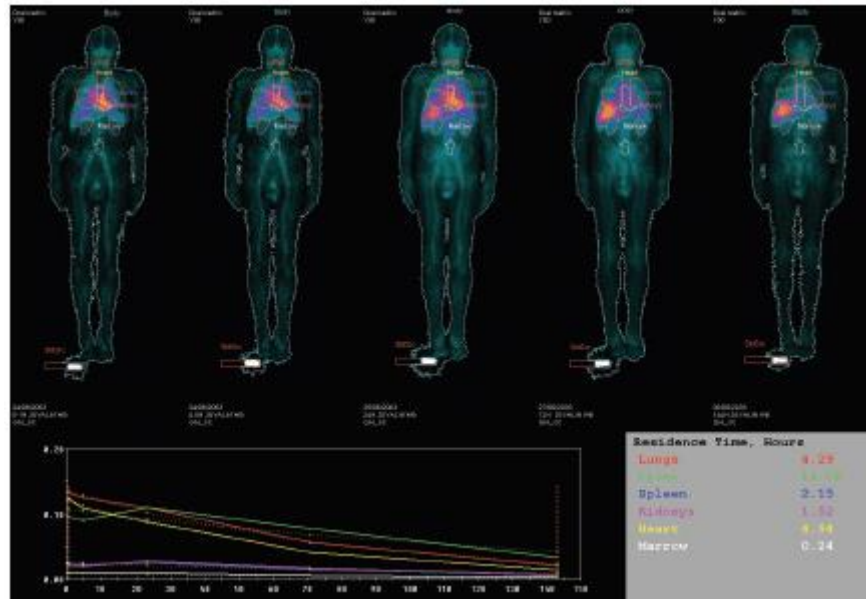


Δοσιμετρία σε επίπεδο οργάνων

Organ Level Dosimetry

Organ Level Dosimetry

- Στη παρουσίαση αναφέρθηκαν οι σπινθηρογραφικές τεχνικές για την ποσοτική απεικόνιση σε επίπεδο οργάνου/ιστού με αναφορά στα guidelines της Ευρωπαϊκής Εταιρείας Πυρηνικής Ιατρικής EANM και σε άλλη σχετική βιβλιογραφία.
- Παρουσιάστηκαν τα πλεονεκτήματα των διαφόρων πρωτοκόλλων λήψης δεδομένων SPECT /CT(αναφέρθηκαν σχετικά κλινικά παραδείγματα).



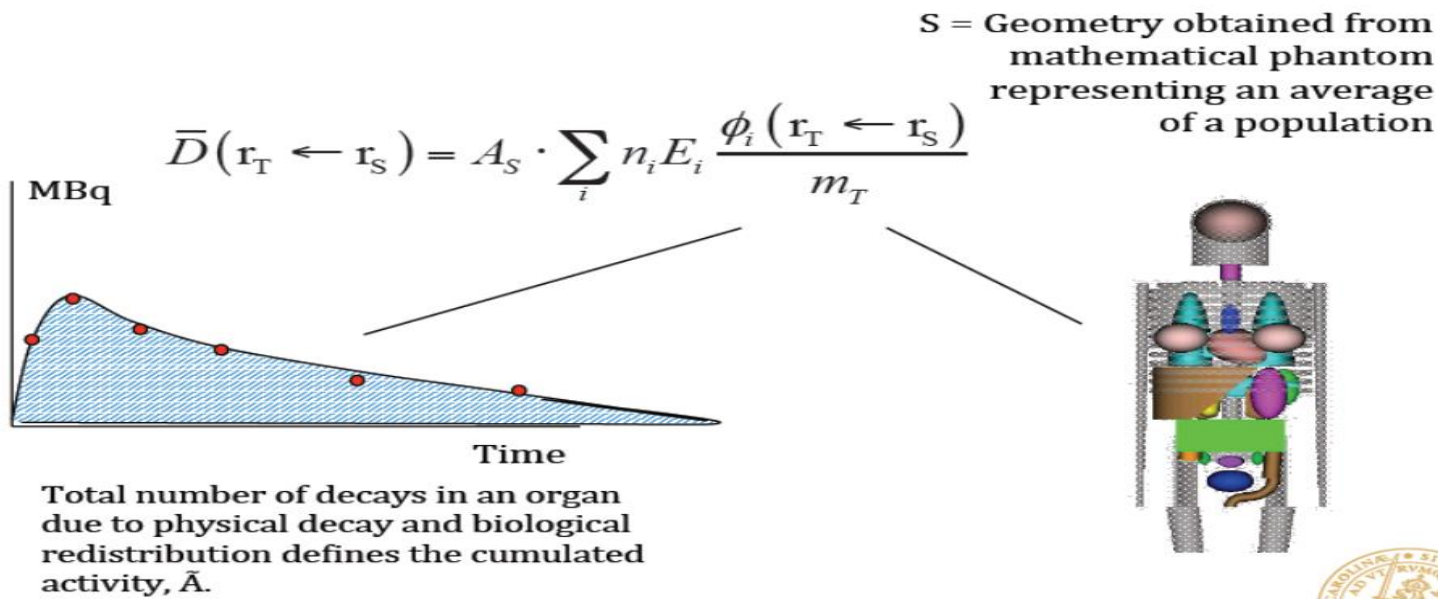
Organ Level Dosimetry

- Οι συντελεστές απορροφούμενης δόσης (ή αλλιώς οι S-τιμές) για τα όργανα πηγές και στόχους είναι καταγεγραμμένοι και δημοσιευμένοι από οργανισμούς και επιτροπές όπως το MIRD, το ICRP και το RADAR για μια σειρά ανθρωπομορφικών ομοιωμάτων.

Organ Level Dosimetry

- Έγιναν αναφορές στα δεδομένα των τιμών του παράγοντα S για τα διαφορά όργανα/ιστούς και την εξειδίκευση του σε ποικίλους σωματότυπους ασθενών
- Δόθηκαν κλινικά παραδείγματα της εφαρμογής της δοσιμετρίας σε επιπέδου οργάνου που αποδεικνύουν τις σχέσεις απορροφούμενης δόσης και απόκρισης - τοξικότητας δόσης.

Dosimetry for risk assessment



Organ Level Dosimetry

Βασική σχέση εσωτερικής δοσιμετρίας (MIRD formalization)

$$D = \tilde{A}S$$

$$D(r_k \leftarrow r_h) = \tilde{A}_h S(r_k \leftarrow r_h)$$

$$D(r_k) = \sum_h \tilde{A}_h S(r_k \leftarrow r_h)$$

MIRD pamphlet 21: ένα γενικευμένο σχήμα για τη δοσιμετρία ραδιοφαρμάκων

$$D(r_T, T_D) = \sum_{r_S} \boxed{\tilde{A}(r_S, T_D) S(r_T \leftarrow r_S)}$$

Step 1 Step 2

Organ Level Dosimetry

- Οι μεθοδολογίες για **εκτιμήσεις** του ποσού της απορροφούμενης δόσης χρησιμοποιούν γενικά το σχήμα MIRD (Medical Internal Radiation Dose).
- Η μέση απορροφούμενη δόση σε οποιαδήποτε περιοχή-όργανο/ιστό στόχο από οποιονδήποτε οργανο/ιστό πηγή είναι το **αποτέλεσμα** του συνολικού αριθμού των ραδιοϊσοτοπικών διασπάσεων του ραδιονουκλιδίου και της απορροφούμενης δόσης που παρέχεται από εκπομπές (σωματιδίων ή και φωτονίων), λαμβάνοντας όμως υπόψη τη σχετική γεωμετρία/θέση/απόσταση μεταξύ πηγής και στόχου.

Organ Level Dosimetry

Χορήγηση 3700MBq (100mCi) I-131

Υπολογισμός της αποροφούμενης δόσης στο θυρεοειδή ανά MBq χορηγούμενης ενεργότητας

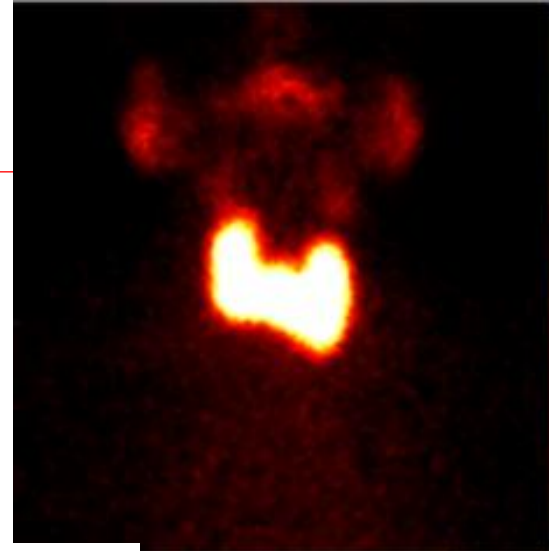
Υπολογισμό της απαιτούμενης χορηγούμενης ενεργότητας προκειμένου ο θυρεοειδής να λάβει 60Gy

$$D(r_T, T_D) = \sum_{r_S} \tilde{A}(r_S, T_D) S(r_T \leftarrow r_S)$$

r_T = thyroid

r_S = thyroid

T_D = infinity



Eur J Nucl Med Mol Imaging (2019) 37:2216–2228
DOI: 10.1007/s00279-019-0336-8

GUIDELINES

EANM procedure guidelines for therapy of benign thyroid disease

Marcel P. M. Stikkel • Dariusz Handkiewicz-Junak •
Michael Lassmann • Markus Dietlein • Markus Luster

Eur J Nucl Med Mol Imaging
DOI: 10.1007/s00279-019-0337-4

GUIDELINES

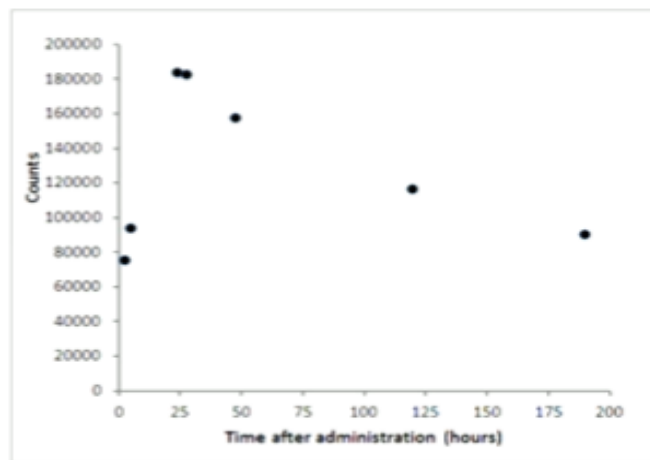
EANM Dosimetry Committee Series on Standard Operational Procedures for Pre-Therapeutic Dosimetry II. Dosimetry prior to radioiodine therapy of benign thyroid diseases

Berthbert Hirschfeld • Cebelia Canal •
Wolfgang Eichner • Glenn Flux • Markus Luster •
Lidia Strigari • Michael Lassmann

Organ Level Dosimetry

Συλλογή δεδομένων

- Το πλήθος και το είδος των απεικονίσεων εξαρτάται από τον εξοπλισμό που διαθέτει το εργαστήριο
- Τα χρονικά διαστήματα των λήψεων θα πρέπει να επιλέγονται ώστε να σχετίζονται επαρκώς με τους αναμενόμενους ενεργούς χρόνους ημίσεας ζωής T_{ef}
- Ιδεατά τρία (3) σημεία είναι αρκετά για να χαρακτηρίσουν μια εκθετική συνάρτηση
- Σύμφωνα με τις συστάσεις της EANM , συλλογή δεδομένων στις 4-6 ώρες, 1-2 ημέρες και 6-8 ημέρες δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα



Organ Level Dosimetry

MIRD Pamphlet 11

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION & WELFARE
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 NBS MONOGRAPH NO. 11
 (1972)

ORGAN	ORGAN WEIGHT (g)		ORGAN VOLUME (cm ³)		ORGAN MASS (g)		ORGAN RADIATION ABSORBED DOSE (rad)		ORGAN RADIATION ABSORBED DOSE (Gy)	
	W	V	W	V	W	V	D	V	D	V
ADRENALS	1.0E-04	2.0E-05	4.0E-04	4.0E-04	4.0E-04	4.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04
BLOOD VESSEL	1.0E-04	1.0E-04	2.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
BONE (TOTAL)	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04
GI (STOM. WALL)	2.0E-04	1.0E-04	2.0E-04	1.0E-04	2.0E-04	1.0E-04	2.0E-04	1.0E-04	2.0E-04	1.0E-04
GI (TT)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
GI (BLD. WALL)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
GI (BLD. WALL)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
ESOPHAGUS	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
HEART (L. VENT.)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
HEART (R. VENT.)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
HEART (TOTAL)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
SPLEEN	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
TESTES	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
THYROID	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
UTERUS	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
BLADDER	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
PROSTATE	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
RECTUM	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
SPLEEN	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
TESTES	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
THYROID	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
UTERUS (NON-PREGNANT)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
UTERUS (PREGNANT)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
BLADDER	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
PROSTATE	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
RECTUM	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04

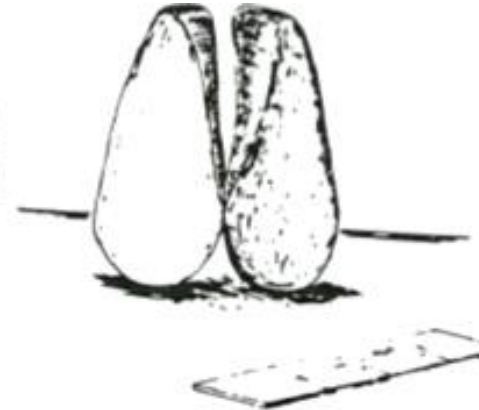


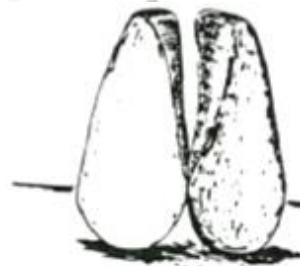
FIGURE 11

S-value

$$S(r_T \leftarrow r_T) = 2.2 \times 10^{-2} \text{ rad}/\mu\text{Ci}\cdot\text{h} \quad r_T = \text{thyroid}$$

$$S(r_T \leftarrow r_T) = 2.2 \times 10^{-4} \text{ Gy}/\mu\text{Ci}\cdot\text{h} \quad 1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$$

$$S(r_T \leftarrow r_T) = 5.95 \times 10^{-3} \text{ Gy}/\text{MBq}\cdot\text{h} \quad 1 \mu\text{Ci} = 0.037 \text{ MBq}$$



Εύρεση της κατάλληλης τιμής S

Δοσιμετρία σε επίπεδο ογκοστοιχείου

Voxel Level Dosimetry

Voxel Level Dosimetry

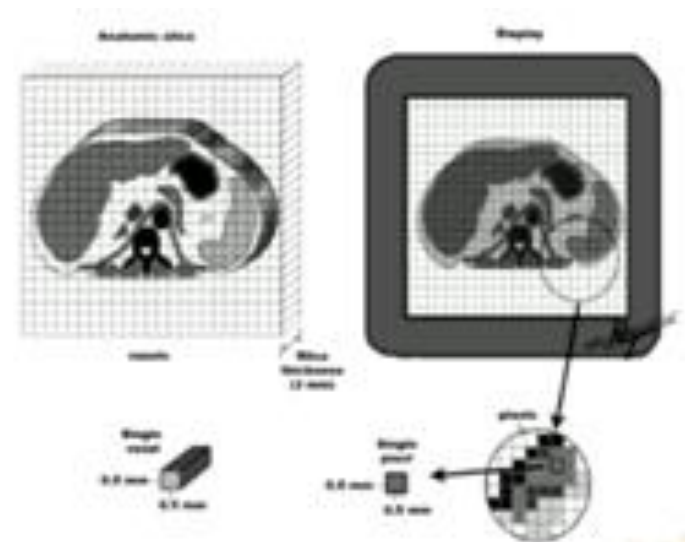
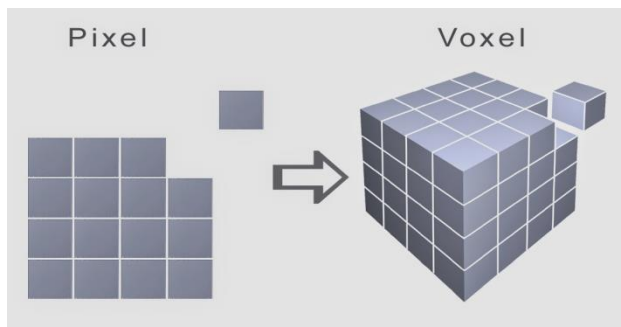
Η παρουσίαση αυτή αναφέρθηκε γενικά στον τρόπο εσωτερικής δοσιμετρίας με βάση το voxel αλλά και στις μεθόδους ποσοτικής απεικόνισης με σκοπό την βελτιστοποίηση της ακρίβειας του παραγόμενου Voxel Volume Histogram.

Ορισμός του Voxel

Voxel: Στοιχειώδης Όγκος
Αυθαίρετη υποδιαίρεση του όγκου

Μέγεθος των voxel
4mmx4mmx4mm (κυρίως για τομές από SPECT ή PET)

Συνήθως ΜΗ ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ στη σύσταση του



Voxel Level Dosimetry

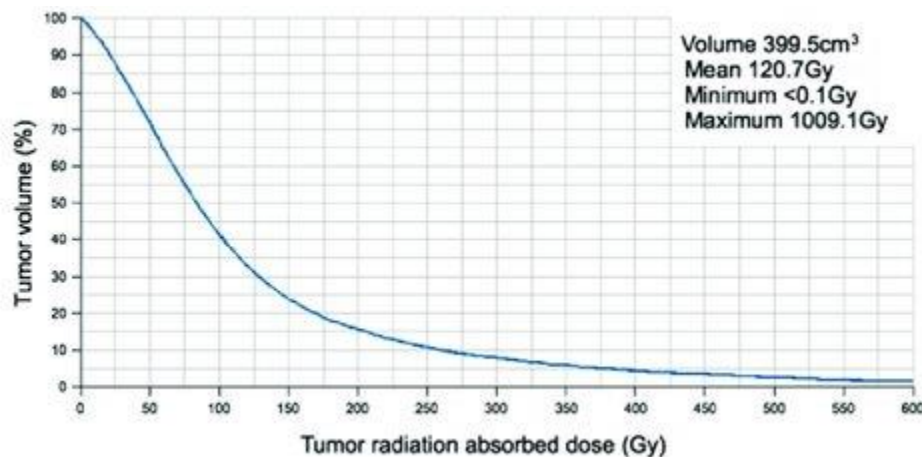
Με την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων συσκευών SPECT / CT και PET / CT σε τμήματα πυρηνικής ιατρικής, δημιουργήθηκε η ανάγκη να πραγματοποιούνται μελέτες εσωτερικής δοσιμετρίας με βάση το voxel κυρίως στις περιπτώσεις ραδιοϊσοτοπικών θεραπειών, αντί για την μέχρι σήμερα συμβατική δοσιμετρία σε επίπεδο οργάνου/ιστού.

Η δοσιμετρία βάσης ογκοστοιχείου στηρίζεται στον προσδιορισμό της απορροφούμενης δόσης για κάθε voxel της εικόνας του ασθενούς. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε τον υπολογισμό/σχεδιασμό ενός ιστογράμματος δόσης-όγκου (DVH) μέσα σε ένα όργανο, παρόμοια με αυτό που εκτελείται σε καθημερινή πρακτική στην ακτινοθεραπεία.

Voxel Level Dosimetry

Αυτό το DVH αναμένεται να χαρακτηρίζει και να ποσοτικοποιεί την ανομοιομορφία της κατανομής της απορροφούμενης δόσης εντός ενός όγκου ενδιαφέροντος.

Κατά συνέπεια θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την βελτιστοποίηση του θεραπευτικού αποτελέσματος

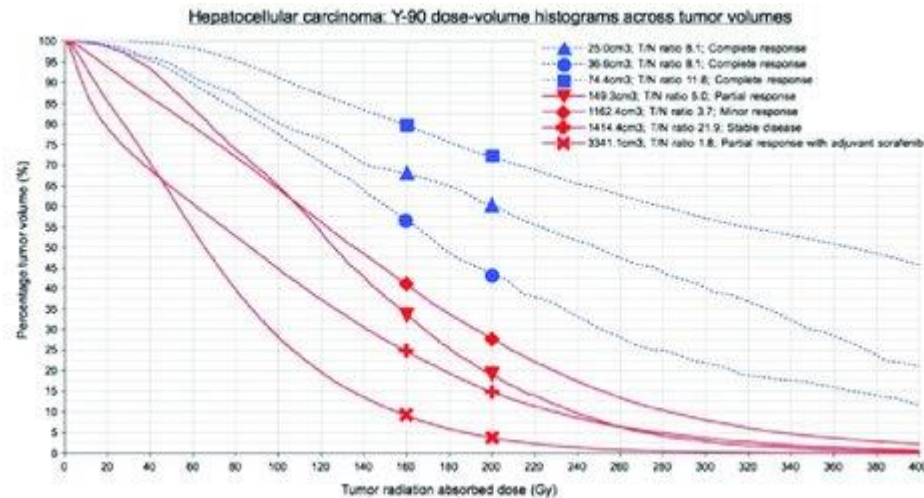


DVH of the right adrenal gland GIST metastasis generated by Y-90 PET voxel dosimetry. A partial response was achieved at D 70 53 Gy.

Voxel Level Dosimetry

Θεωρητικά, η δοσιμετρία με βάση το ογκοστοιχείο voxel είναι παρόμοια με τη δοσιμετρία σε επίπεδο οργάνων και ιστών (πηγών- στόχων) και μπορεί να προκύψει ακολουθώντας τον φορμαλισμό της επιτροπής MIRD, όπως περιγράφεται στο MIRD Pamphlet 172.

Η μόνη σημαντική διαφορά είναι το μέγεθος των πηγών και των στόχων που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

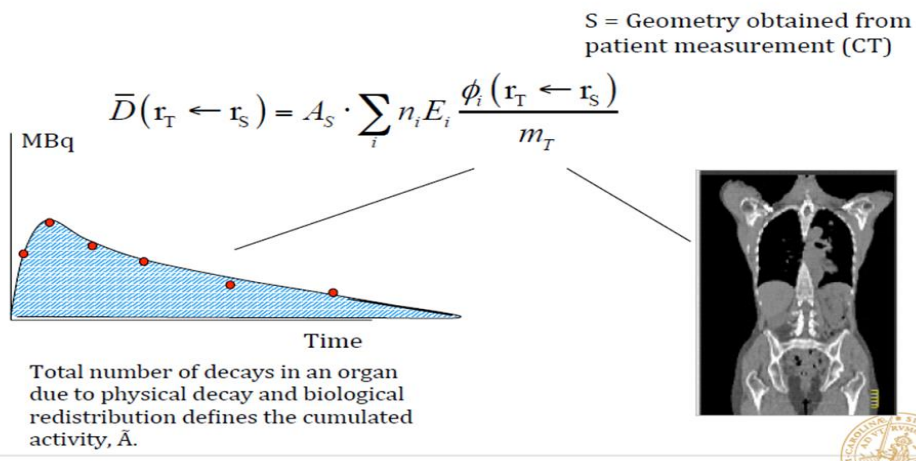


DVH of seven HCC tumors, ranging in size from 25.0 to 3,341.1 cm³

Voxel Level Dosimetry

Ο φορμαλισμός MIRD δηλώνει ότι η μέση απορροφούμενη δόση σε οποιαδήποτε περιοχή στόχο από οποιονδήποτε όγκο πηγής είναι το αποτέλεσμα του συνολικού αριθμού των ραδιενεργών διασπάσεων (δηλ. η σωρευμένη ενεργότητα cumulative activity) και της απορροφούμενης δόσης που προέρχεται από την εναπόθεση ενεργείας από κάθε μια διασπάσεις, λαμβάνοντας υπόψη την γεωμετρία πηγής-στόχου (δηλαδή η τιμή S).

Voxel-Based patient-specific dosimetry



Voxel Level Dosimetry

Στην πράξη, το περιορισμένο μέγεθος των πηγών αποτελεί ένα ζήτημα για τον προσδιορισμό της cumulated Activity μέσα σε κάθε voxel.

Το μέγεθος των voxels είναι πράγματι μικρότερο από τη χωρική Διακριτική Ικανότητα των συστημάτων απεικόνισης, ειδικά στις τομογραφίες SPECT / CT (χωρική $\Delta.l > 10$ mm).

Αυτό οδηγεί σε κάποιες παραδοχές για τους υπολογισμούς του DVH.

Voxel Level Dosimetry

Επιπλέον, ο υπολογισμός του Dose Volume Histogram είναι επίσης πολύ ευαίσθητος:

- στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανακατασκευή των τομών της PET ή στη SPECT,
- στον θόρυβο που εμπεριέχεται στις εικόνες, στην κίνηση των εσωτερικών οργάνων και στην αναπνοή, κλπ

Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι πρέπει να εξαχθεί η καμπύλη χρόνου-ενεργότητας μέσα από κάθε voxel προκειμένου να εκτιμηθεί η δραστηριότητα.

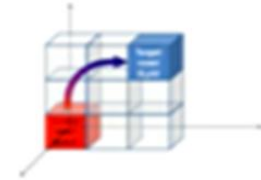
Ο υπολογισμός των ενεργών δόσεων σε διαφορετικά τακτά χρονικά διαστήματα μετά την χορήγηση του ραδιοφαρμάκου πραγματοποιείται από μια σειρά απεικονήσεων/λήψεων.

Η απεικόνιση της περιοχής ενδιαφέροντος πραγματοποιείται ώστε να σχεδιαστεί η καμπύλη χρόνου-ενεργότητας για κάθε ξεχωριστό voxel. Εδώ και πάλι, αναμένονται καποιες διακυμάνσεις στο DVH σύμφωνα με τη μέθοδο απεικόνισης που χρησιμοποιείται.

Voxel Level Dosimetry

Όσον αφορά τον προσδιορισμό των τιμών S , η χρήση των αλγορίθμων/κωδικών Monte Carlo επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό της απορροφούμενης δόσης ακόμη και στην κλίμακα του voxel. Πολλές βάσεις δεδομένων έχουν υπολογιστεί για διαφορετικά μεγέθη voxels και για μια πλειάδα ραδιονουκλεϊδίων οι οποίες είναι διαθέσιμες στην ιατρική και ερευνητική κοινότητα.

Similar formalisms



- Organ-based dosimetry
 - MIRD Pamphlet 21
 - Cumulated activities estimation at the organ level
 - Source -> organs
 - Targets -> organs
 - S-values available
- Voxel-based dosimetry
 - MIRD Pamphlet 17 (1999)
 - Cumulated activities estimation at the voxel level
 - Source -> voxels
 - Target -> voxels
 - VDK available ... but for uniform tissue

Ο χρησιμοποιούμενος φορμαλισμός μέσω των πινάκων MIRD είναι ο ίδιος

$$\bar{D}(\text{voxel}_k) = \sum_{h=0}^N \bar{A}_{\text{voxel}_h} \cdot S(\text{voxel}_k \leftarrow \text{voxel}_h).$$

Παραδοχή : ο υπολογισμός εσωτερικής δόσιμετρίας στο επίπεδο του voxel θεωρεί ομοιογενή σύσταση του ιστού και ομοιογενή κατανομή της ενεργότητας σε κάθε ξεχωριστό voxel

3D Voxel-Based Dosimetry

Multiple registered SPECT/
CT or PET/CT studies

Correction for

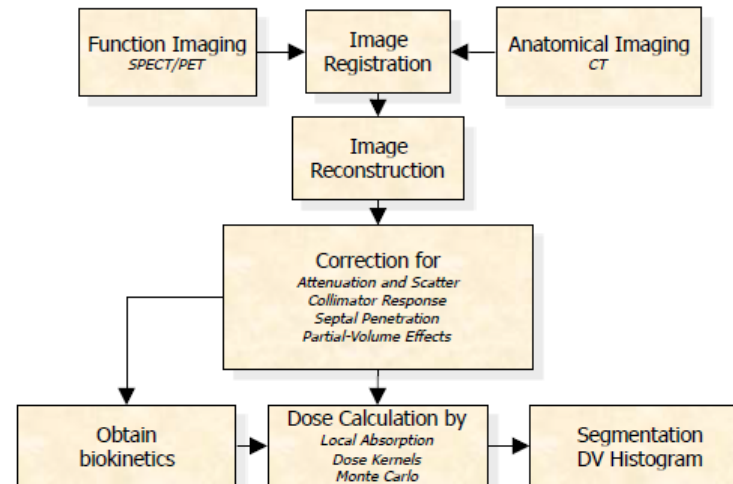
- Photon attenuation
- Scattered radiation
- Collimator resolution
- Septal penetration
- Partial-Volume Effect

3D dose calculation from

- Local Absorption
- Dose kernels
- Monte Carlo method

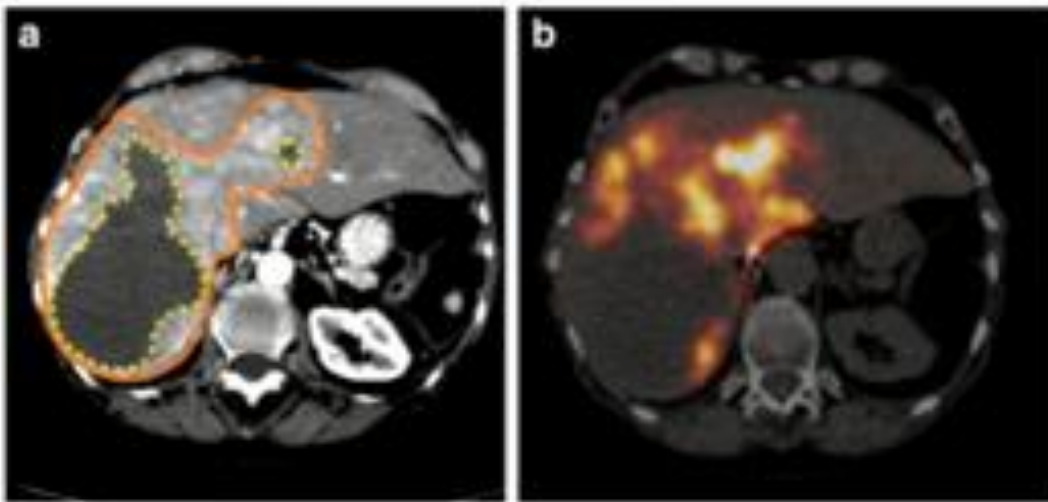
Evaluated as

- Dose/volume histogram
- Relate to biological effect



Voxel Level Dosimetry

Παράδειγμα Ραδιοεμβολισμού Ήπατος Y90



- Ένας μεγάλος νευροενδοκρινής όγκος ήπατος υπό θεραπεία με μικρόσφαιρες Y-90
- Η μέση απορροφούμενη δόση στον όγκο ήταν 150Gy δηλαδή πάνω από την επιθυμητή (120Gy)
- Επίσης παρατηρούμε μια μεγάλη ανομοιογένεια στην απορροφούμενη δόση

Είναι δεδομένο

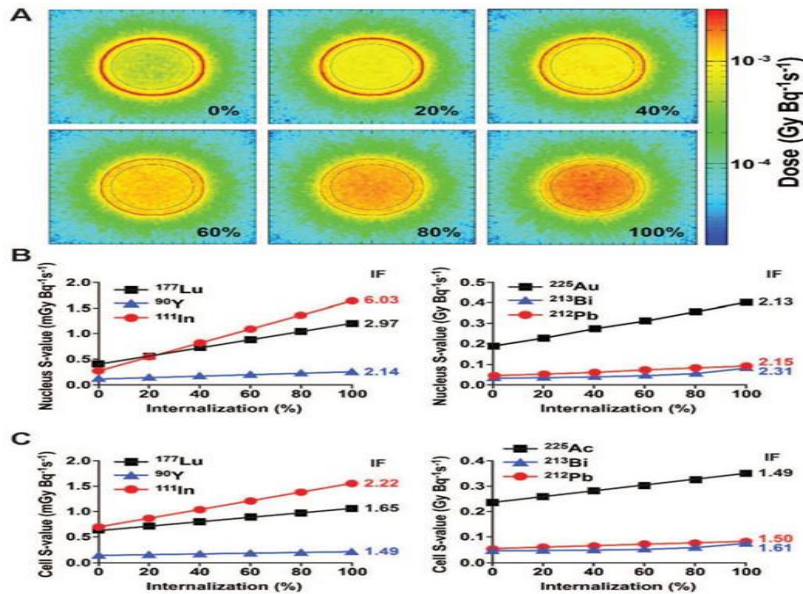
- Οτι η κατανομή της ραδιενέργειας είναι πάντα μη-ομοιογενής ιδιαίτερα μέσα στους όγκους
- Η δοσιμετρία βασιζόμενη στο επίπεδο του voxel παρέχει περισσότερο ικανοποιητική περιγραφή της έκθεσης στην ακτινοβολία
- Και κατά συνέπεια προτείνει μια βελτιωμένη μαθηματική εξίσωση μεταξύ δόσης – αποτελέσματος

Δοσιμετρία μικρής κλίμακας

Small Scale Dosimetry

Small Scale Dosimetry

Στην ομιλία περιγράφηκε τη σημασία της δοσιμετρίας μικρής κλίμακας για διαφορετικά ραδιοφαρμακευτικά προϊόντα και συζητήθηκε το όφελος, η χρησιμότητα και οι περιορισμοί των διαθέσιμων υπολογιστικών μοντέλων



Small Scale Dosimetry

Η δοσιμετρία μικρής κλίμακας, στοχεύει στην εκτίμηση της κατανομής της απορροφούμενης δόσης σε διαστάσεις πέρα από την ανάλυση των συστημάτων και των τεχνικών απεικόνισης της πυρηνικής ιατρικής.

Με επίπεδη απεικόνιση από την γ κάμερα, ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της ενεργότητας και των απορροφούμενων δόσεων περιορίζεται σε όργανα ή όγκους ιστού.

Με τις εικόνες SPECT μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια στη δοσιμετρία οργάνων και κακοηθειών αφού είναι δυνατή και η δοσιμετρία με βάση το voxel.

Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις της ενεργότητας σε ένα voxel μπορεί να είναι εξαιρετικά ανομοιομορφες. Η συγκέντρωση της ενεργότητας μπορεί να ποικίλει εντός δομών του ίδιου ιστού, όπως π.χ υπομονάδες νεφρών, σπειραμάτων, σωληναρίου ή ακόμα εντός των διαφόρων κυτταρικών διαμερισμάτων όπως στη κυτταρική μεμβράνη, στο κυτταρόπλασμα ή στο κυτταρικό πυρήνα.

Small Scale Dosimetry

Η κατανομή της απορροφούμενης δόσης σε ένα στοιχειώδες ογκοστοιχείο με μη ομοιόμορφη κατανομή της ενεργότητας εντός του, εξαρτάται :

- από τον τρόπο ραδιενεργού απομείωσης του ραδιονουκλιδίου και την εκπομπή ακτινοβολίας
- Από την απόσταση μεταξύ του στόχου και της πηγής, π.χ. η απορροφούμενη δόση σε νεφρικά σπειράματα από την συσσωρευμένη ενεργότητα στα **εγγύς εσπειραμένα νεφρικά σωληνάκια**

Small Scale Dosimetry

Το εύρος της περιοχής μετακίνησης για τα εκπεμπόμενα σωματίδια από τις ραδιενεργές διασπάσεις ποικίλει.

Τα ηλεκτρόνια Auger μπορούν να έχουν εξαιρετικά μικρό εύρος μόλις λίγα nm.

Το εύρος μετακίνησης των σωματιδίων άλφα είναι περίπου 40-100 μm ,

Το μήκος κίνησης των ηλεκρ. μετατροπής και τα σωματιδίων βήτα είναι από λίγα μm έως μέγιστη εύρος 11 mm για τα σωματίδια βήτα που εκπέμπονται από το 90Y.

Τα σωματίδια βήτα που εκπέμπονται από το 90Y ενδέχεται να προκαλέσουν ομοιόμορφη κατανομή απορροφούμενης δόσης μέσα σε ένα voxel.

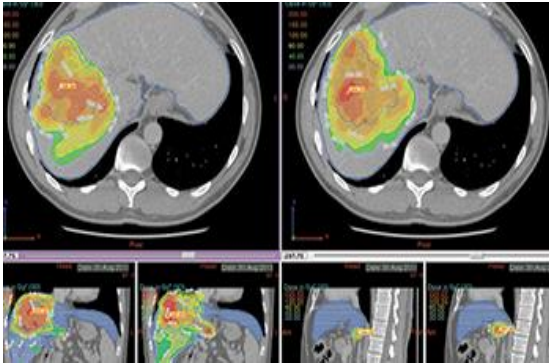
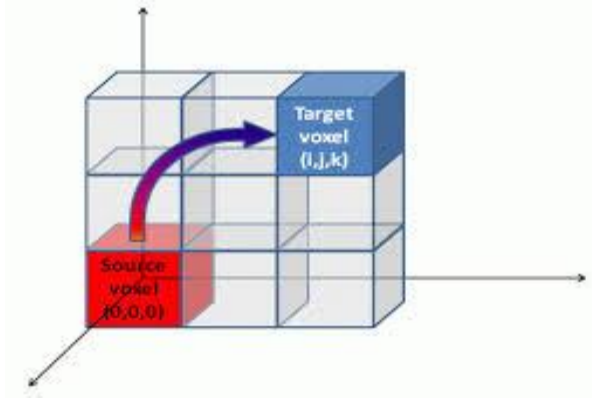
Small Scale Dosimetry

Ωστόσο, η ποσοτικοποίηση της συγκέντρωσης της ενεργότητας αυτού του ραδιονουκλιδίου αποτελεί πρόκληση με τις τεχνικές της σπινθηρογραφικής τομογραφικής απεικόνισης της πυρηνικής ιατρικής. Κατά συνέπεια στη περίπτωση των μικροσφαιρών του Y-90 , έχουν αναπτυχθεί ποικίλα μοντέλα εξομοίωσης της κατανομής της ενεργότητας στους ηπατικούς ιστούς με σκοπό να περιγράψουν την κατανομή της απορροφούμενης δόσης μετά από ραδιοεμβολισμό.

Υπάρχουν υπολογιστικά μοντέλα σχετικά με τον υπολογισμό της κατανομής της απορροφούμενης δόσης σε διαφορετικές υπομονάδες ιστών , όπως π.χ. το μοντέλο νεφρικής λειτουργίας και κατανομής ή το μοντέλο μυελού των οστών.

Στο κυτταρικό επίπεδο τα μοντέλα για τον υπολογισμό της μέσης απορροφούμενης δόσης στον κυτταρικό πυρήνα, το κυτταρόπλασμα και η κυτταρική μεμβράνη έχουν κατασκευαστεί για διαφορετικές κυτταρικές διαμορφώσεις,

Personalized Nuclear Medicine



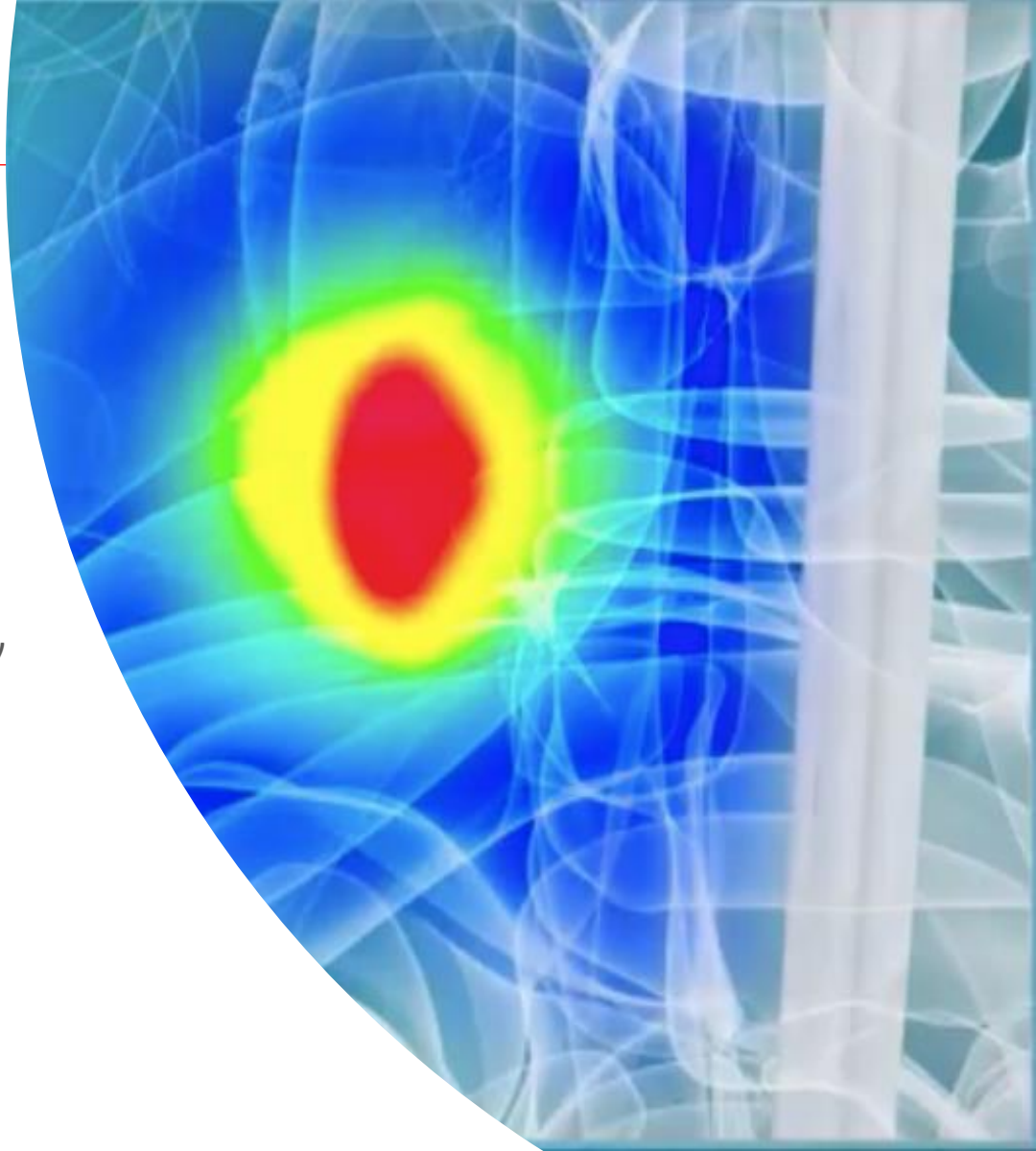
EVOLVE NUCLEAR MEDICINE™

**Standardize your
Workflow.**

**Personalize your
Dosimetry.**

Συμπεράσματα

- Υπολογισμός εξατομικευμένα της απορροφούμενης δόσης του ασθενούς
- Πλάνο θεραπείας με καταγραφή των δόσεων σε κάθε όργανο.
- Αύξηση της δόσης στο όργανο στόχο κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα τις δόσης των παρακείμενων ιστών.
- Έκθεση & στατιστική ανάλυση δόσεων που είναι απαραίτητες για τους θεράποντες Ιατρούς



ATHENS



Candidate City

Hellenic Society
of Nuclear Medicine
& Molecular Imaging

Athens
CANDIDATE CITY
for World Federation Congress
of Nuclear Medicine and Biology
(WFNMB 2026)

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ

15 Πυρηνικής
Ιατρικής

21-24
Μαΐου
2020

ΣΥΝΕΔΡΙΑΚΟ &
ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ
ΠΑΤΡΩΝ

Προ





ATHENS



Candidate City

Hellenic Society
of Nuclear Medicine
& Molecular Imaging

Athens
CANDIDATE CITY
for World Federation Congress
of Nuclear Medicine and Biology
(WFNMB 2026)

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
15 Πυρηνικής
Ιατρικής

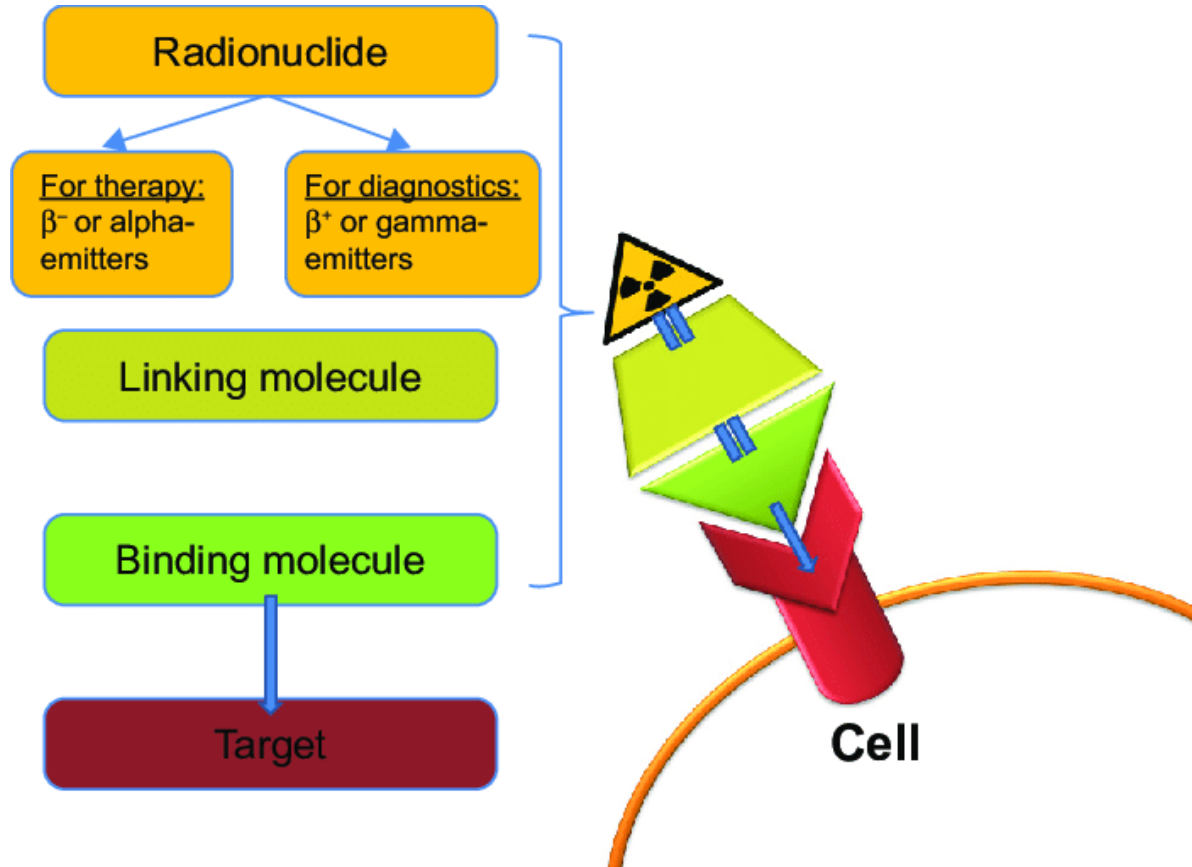
21-24
Μαΐου
2020

ΣΥΝΕΔΡΙΑΚΟ &
ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ
ΠΑΤΡΩΝ

Προκαταβολή

Ο υπολογισμός του συνολικού αριθμού ραδιενεργών διασπάσεων εντός ενός οργάνου πηγής απαιτεί την λήψη διαδοχικών ποσοτικών εικόνων σε χρόνους κατάλληλους οι οποίοι θα χαρακτηρίζουν την ραδιοφαρμακευτική βιοκινητική του χορηγημένου σκευάσματος.

Η πρόοδος της τεχνολογίας των απεικονιστικών συστημάτων και η ανάπτυξη πολλών νέων επαναληπτικών αλγορίθμων επέτρεψαν σήμερα να έχουμε στη διάθεση μας αρκετές τυποποιημένες προσεγγίσεις και μεθοδολογίες για την ποσοτική απεικόνιση και τη εσωτερική δοσιμετρία



EVOLVE NUCLEAR MEDICINE™

**Standardize your
Workflow.**

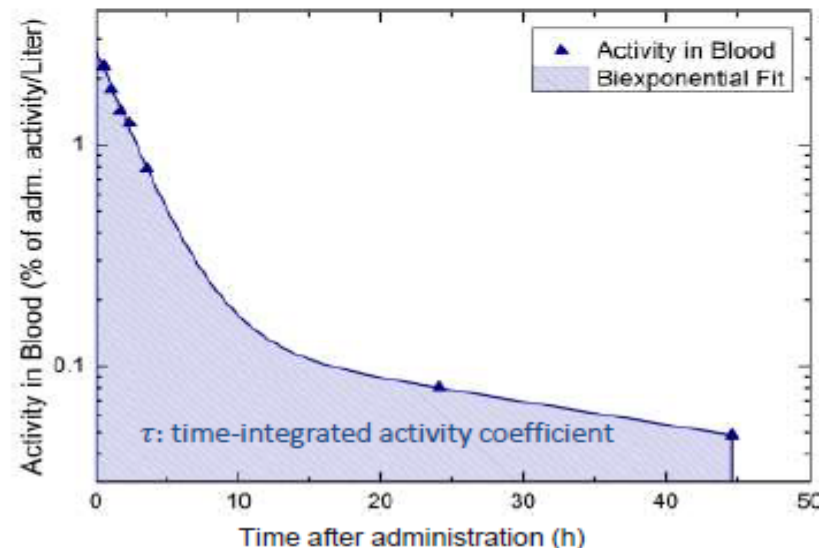
**Personalize your
Dosimetry.**

MIRD Formalism*

- ▶ The mean absorbed dose D_T in the individual target organ T
- ▶ Assumption: activity is distributed uniformly in the organs

$$\text{▶ } D_T = A_0 \cdot \sum_s \int_0^\infty A_s(t') dt' \cdot S_{T \leftarrow s} = A_0 \cdot \sum_s \tau_s \cdot S_{T \leftarrow s}$$

- ▶ A_0 : administered activity
- ▶ $A_s(t')$: time activity curve of the source organ
- ▶ τ : time-integrated activity coefficient
- ▶ $S_{T \leftarrow s}$: mean absorbed dose per nuclear disintegration in the target organ
 - ▶ Nuclide specific
 - ▶ Geometry dependent



Absorbed Dose Limits for Organs-at-Risk

Bone Marrow:	2 Gy
Kidneys (Emami 1991):	23 Gy
Kidneys (Threshold, MIRD 20):	33 Gy BED
Salivary Glands (Buchali 1991):	20 Gy
Lacrimal Glands (Parsons 1996):	40 Gy
Nasal Mucuous Membrane (Yin 2010):	37 Gy

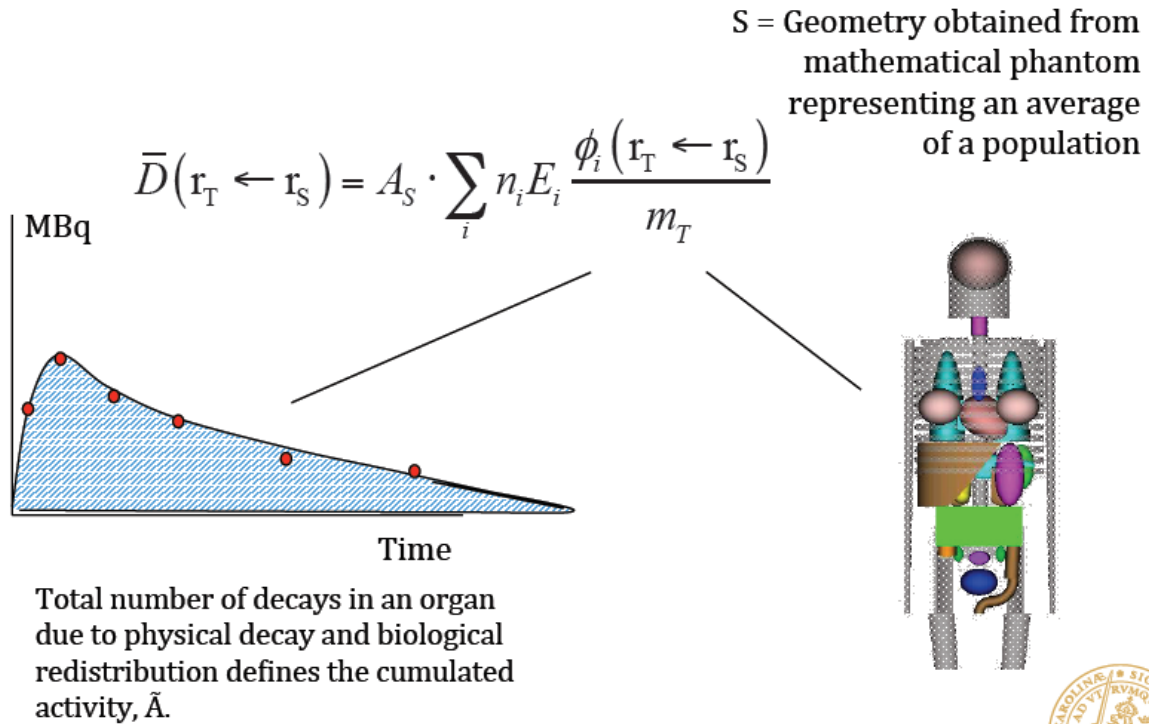


Internal Dosimetry Task Force Report on:

Treatment Planning For Molecular Radiotherapy: Potential And Prospects

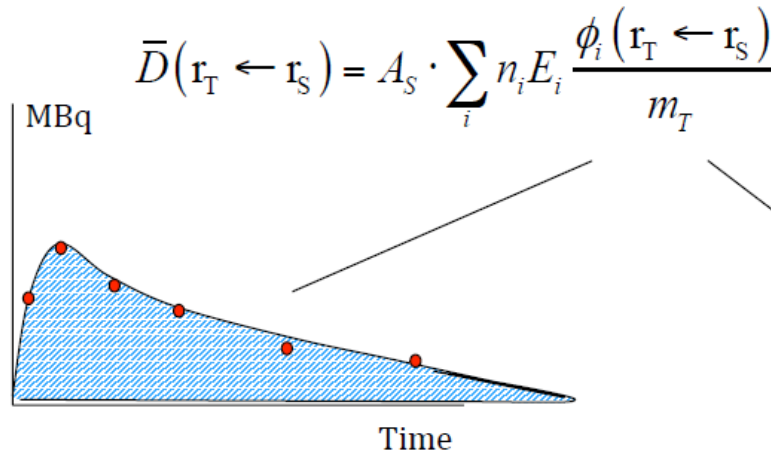
European Association of Nuclear Medicine

Dosimetry for risk assessment



Voxel-Based patient-specific dosimetry

S = Geometry obtained from patient measurement (CT)



Total number of decays in an organ due to physical decay and biological redistribution defines the cumulated activity, $\bar{A}$.



3D Voxel-Based Dosimetry

Multiple registered SPECT/
CT or PET/CT studies

Correction for

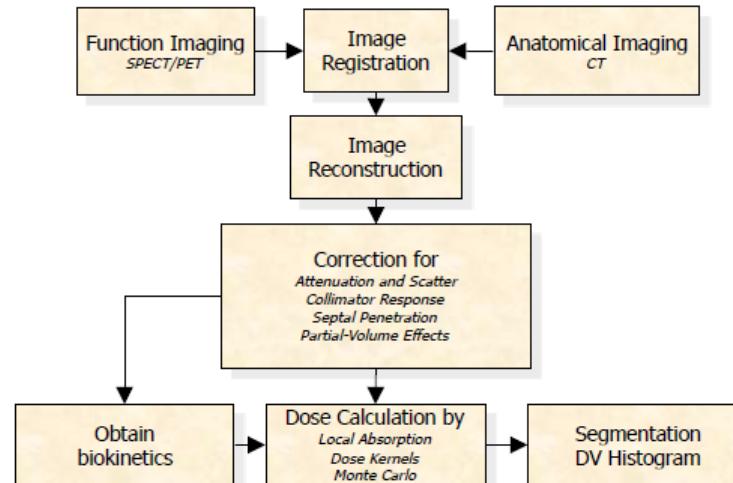
- Photon attenuation
- Scattered radiation
- Collimator resolution
- Septal penetration
- Partial-Volume Effect

3D dose calculation from

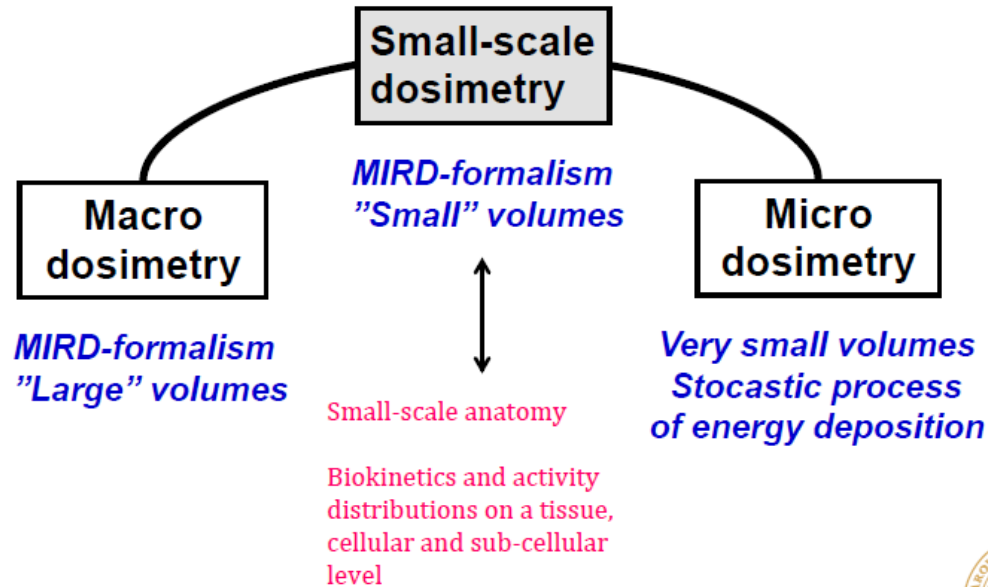
- Local Absorption
- Dose kernels
- Monte Carlo method

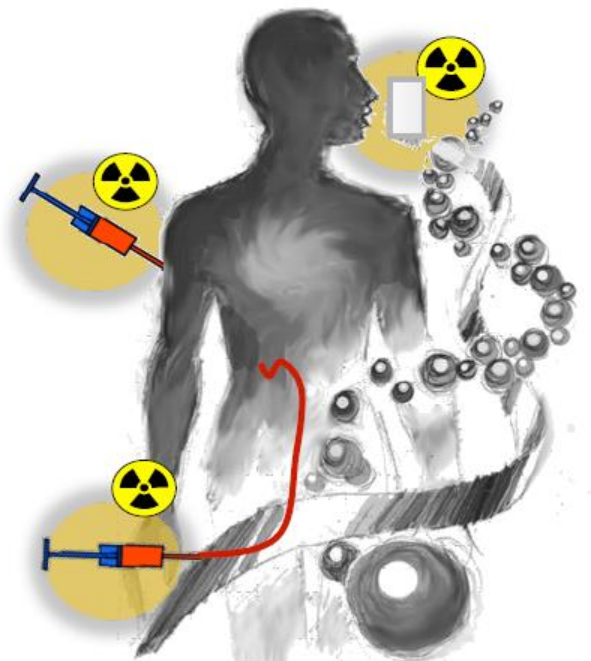
Evaluated as

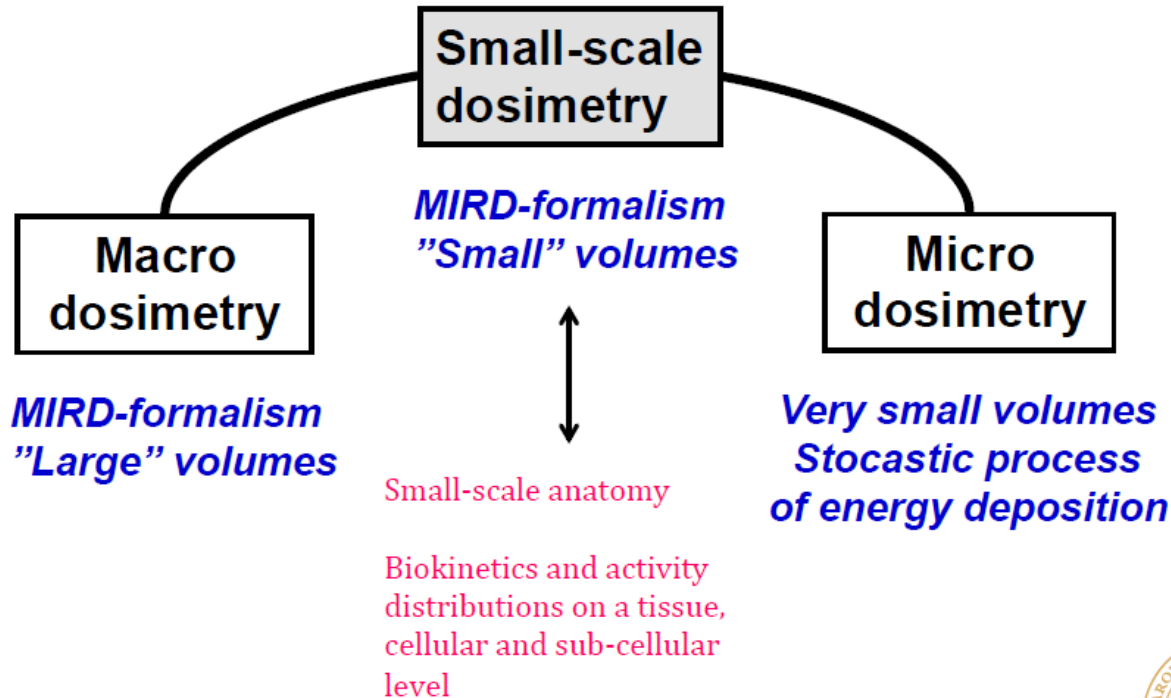
- Dose/volume histogram
- Relate to biological effect



Small-Scale Dosimetry







ATHENS



Candidate City

Hellenic Society
of Nuclear Medicine
& Molecular Imaging

Athens
CANDIDATE CITY
for World Federation Congress
of Nuclear Medicine and Biology
(WFNMB 2026)

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
15 Πυρηνικής
Ιατρικής

21-24
Μαΐου
2020

ΣΥΝΕΔΡΙΑΚΟ &
ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ
ΠΑΤΡΩΝ

Προκαταβολή

Συμπέρασμα

- Υπολογισμός εξατομικευμένα της απορροφούμενης δόσης του ασθενούς
- Πλάνο θεραπείας με καταγραφή των δόσεων σε κάθε όργανο.
- Αύξηση της δόσης στο όργανο στόχο κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα τις δόσεις των παρακείμενων ιστών.
- Έκθεση & στατιστική ανάλυση δόσεων που είναι απαραίτητες για τους θεράποντες Ιατρούς





Thank you!