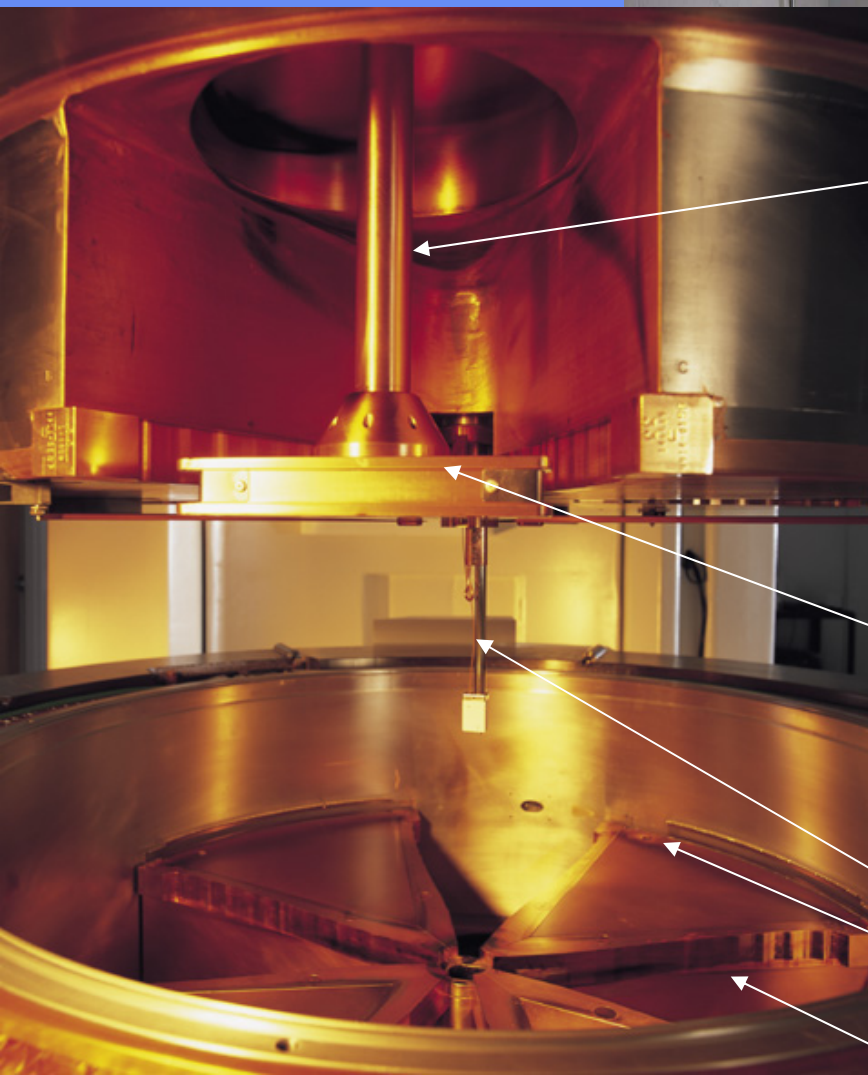


ΘΕΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑ
ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ
ΠΟΖΙΤΡΟΝΙΩΝ
ΡΕΤ ή ΡΕΤ/CT

Λύρα Μ, Γώγος Κ Φιλιππόπουλος Κ, Ιορδάνου Ι, Βλάχος Λ.

Α΄ Εργαστήριο Ακτινολογίας Πανεπιστημίου Αθηνών,
Αρεταίειο Νοσοκομείο, Ιατρική Σχολή



Dee stem

Dee

Κυκλοτρόνιο παραγωγής ποζιτρονικών εκπομπών

Πηγή ιόντων

λόφοι

κοιλιάδες

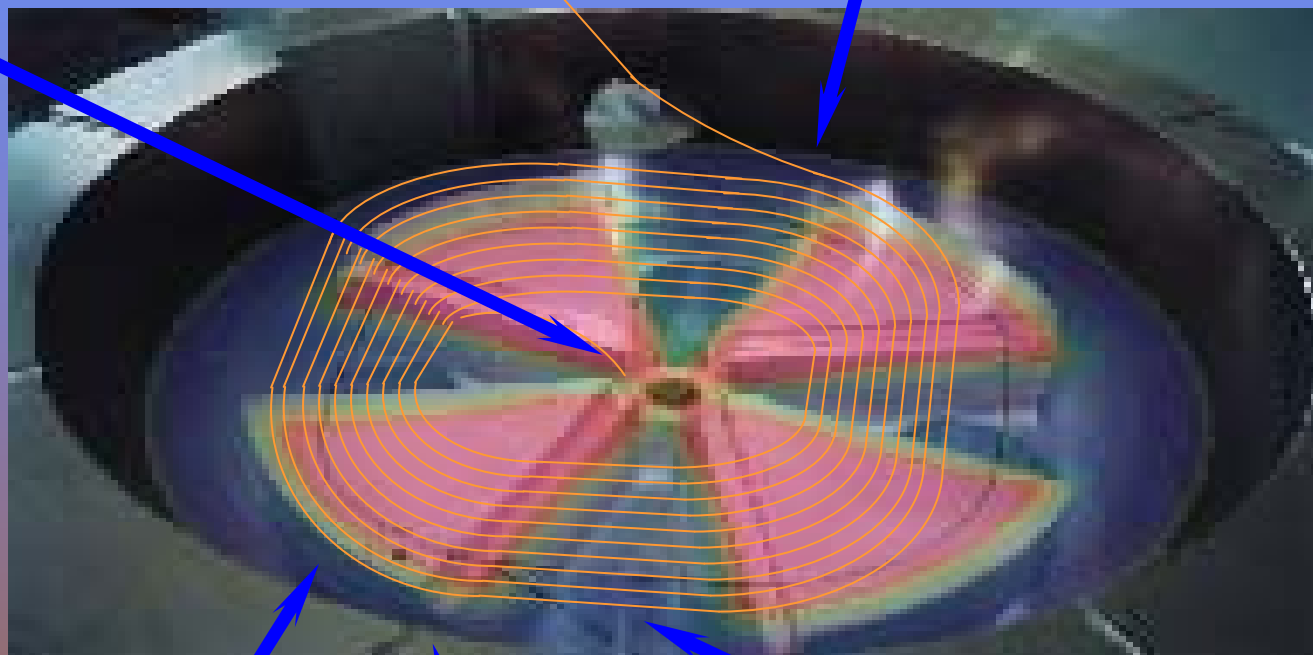


Αρχή λειτουργίας Κυκλοτρονίου

Θύρα στόχου

Έξοδος δέσμης

Πηγή ιόντων

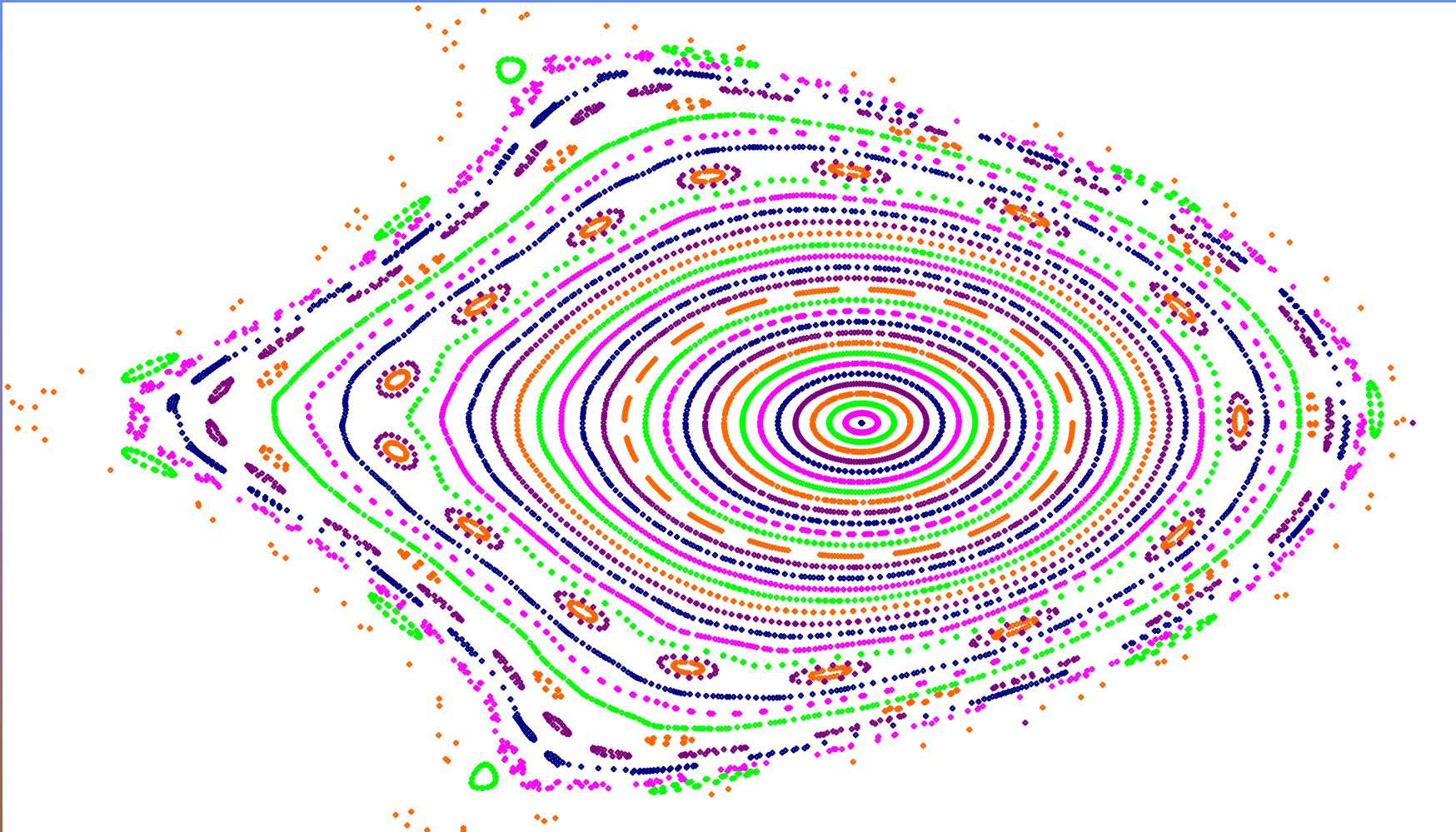


Καμπύλη τροχιά στους “λόφους”
(υψηλό μαγνητικό πεδίο)

“λόφοι”

Ευθεία τροχιά στις “κοιλιάδες”
(χαμηλό μαγνητικό πεδίο)

Γραφική παράσταση φάσης κυκλοτρονίου κατά την επιτάχυνση



Εγκατάσταση Κυκλοτρονίου



Συρόμενες Θωρακίσεις

Κυκλοτρόνιο - 12,000 kg

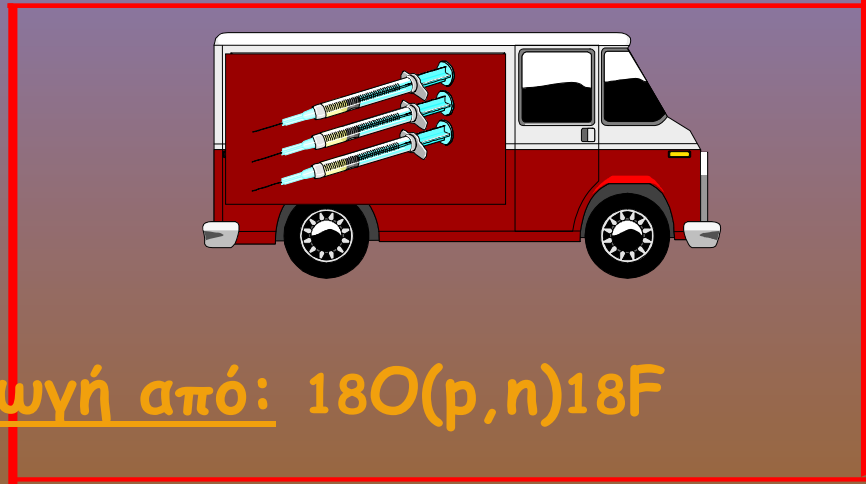
Θωρακίσεις - 35,000 kg

Καμπίνες - 2,000 kg

- 1 Καμπίνα Ηλεκτρικής Ισχύος
- 1 Καμπίνα Ελέγχου
- 1 Καμπίνα συστήματος νερού



Παραγωγή και μεταφορά του ^{18}F FDG



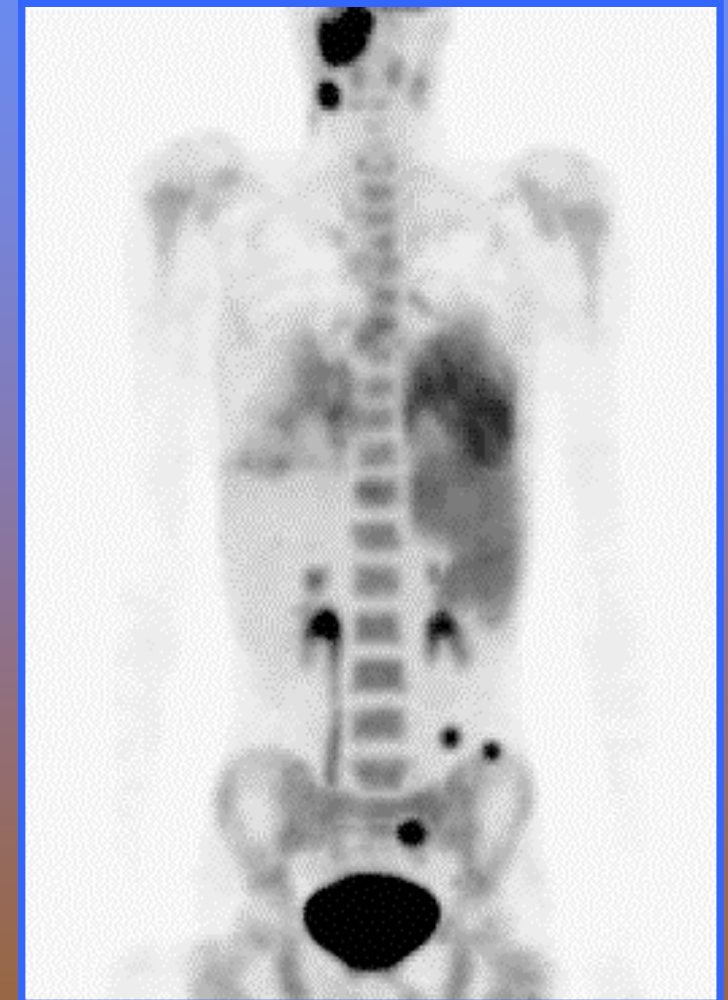
ισότοπο: ^{18}F

παραγωγή από: $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$

PET Κύριες Θεωρήσεις για τον σχεδιασμό του χώρου για PET

- Χώροι
- Ηλεκτρική Ισχύς
- Δυνατότητες φορτίου δαπέδου
- Θωράκιση για την Ακτινοβολία

Απεικόνιση PET



Σύστημα απεικόνισης PET



■ Ο αριθμός των εξεταζόμενων ασθενών

■ Θέση (χωροταξικά) του εργαστηρίου

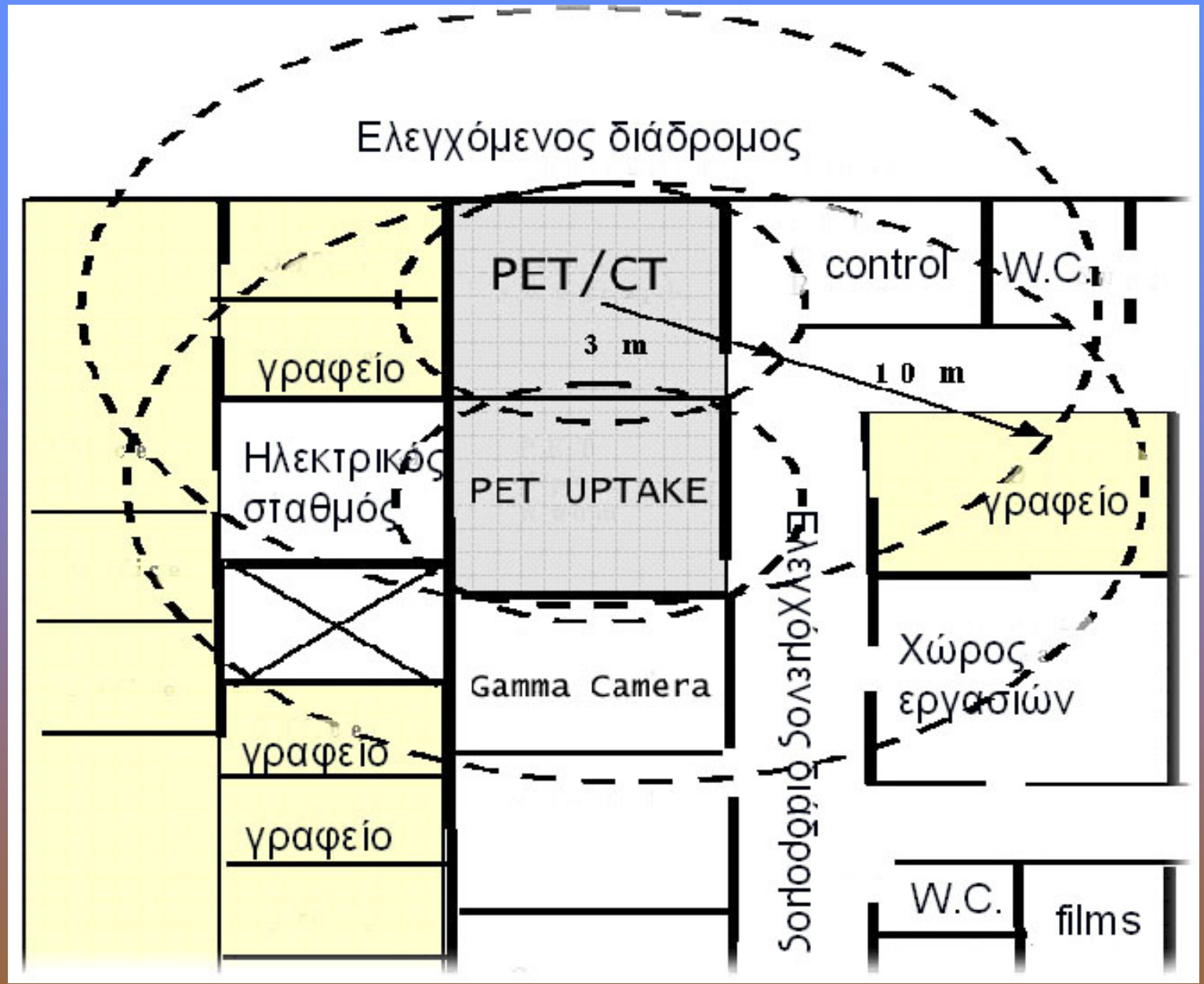
Στοιχεία χρήσιμα στην Ακτινοπροστασία εργαστηρίου PET απεικονίσεων

■ Γενικό Περιβάλλον του εργαστηρίου

■ Ποσότητα χορηγηθέντος ισοτόπου (ενεργότητα) στον ασθενή

■ Ο χρόνος παραμονής του ασθενούς στο εργαστήριο

Τυπικό Εργαστήριο Απεικόνισης με Ποζιτρόνια



F-18 FDG PET μελέτες

- F-18 FDG είναι μη ειδικός ιχνηθέτης για μεταβολική δράση, που φυσιολογικά προσλαμβάνεται από τον εγκέφαλο, την καρδιά, τον μυελό των οστών, το έντερο, τα νεφρά και τους ενεργούς μύες. Συγκεντρώνεται επίσης σε πολλούς μεταβολικά ενεργούς όγκους.
- Για να μειωθεί η πρόσληψη στους σκελετικούς μύες, οι ασθενείς, μετά την χορήγηση του F-18 FDG παραμένουν σε ηρεμία, σε καρέκλα ή κρεβάτι για 30-90 min.

Ο χώρος προετοιμασίας-παραμονής του ασθενούς ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ σε κάθε εργαστήριο απεικόνισης PET και περιλαμβάνεται στον σχεδιασμό ακτινοπροστασίας

PET: Παράγοντες Έκθεσης για F-18

- Χρόνος Ημισείας Ζωής $T_{1/2}$: 110 min
- Μεγίστη Ενέργεια Ακτινοβολίας: 511 KeV φωτόνια
- Πάχος ημισείας τιμής(HVL): 4.1 mm Pb ή 3.4 cm beton σε συνθήκες στενής δέσμης (βιβλιογραφία).

- ✓ Η χρήση αυτών των τιμών δεν δίνει επαρκή θωράκιση αφού παραβλέπονται οι παράγοντες buildup σκέδασης.
- ✓ Πίνακες PET θωράκισης, για διάδοση πλατιάς δέσμης με Pb, beton και ατσάλι, από υπολογισμούς Monte Carlo δίδονται από την AAPM (American Association of Physicists in Medicine)

Άλλοι εκπομποί ποζιτρονίων για απεικόνιση PET

- N-13 (άζωτο 13) : $T_{1/2} = 10 \text{ min}$
- O-15 (Οξυγόνο 15) : $T_{1/2} = 2.07 \text{ min}$
- C-11 (Άνθρακας 11): $T_{1/2} = 20.4 \text{ min}$
- Rb-82 (Ρουβίδιο 82): $T_{1/2} = 1.3 \text{ min}$
- Ga-68 (Γάλλιο 68) : $T_{1/2} = 68.3 \text{ min}$

Οι απαιτήσεις θωράκισης γι αυτά τα ισότοπα συνήθως υπερκαλύπτονται από αυτές για το F-18

F-18 FDG PET μελέτες

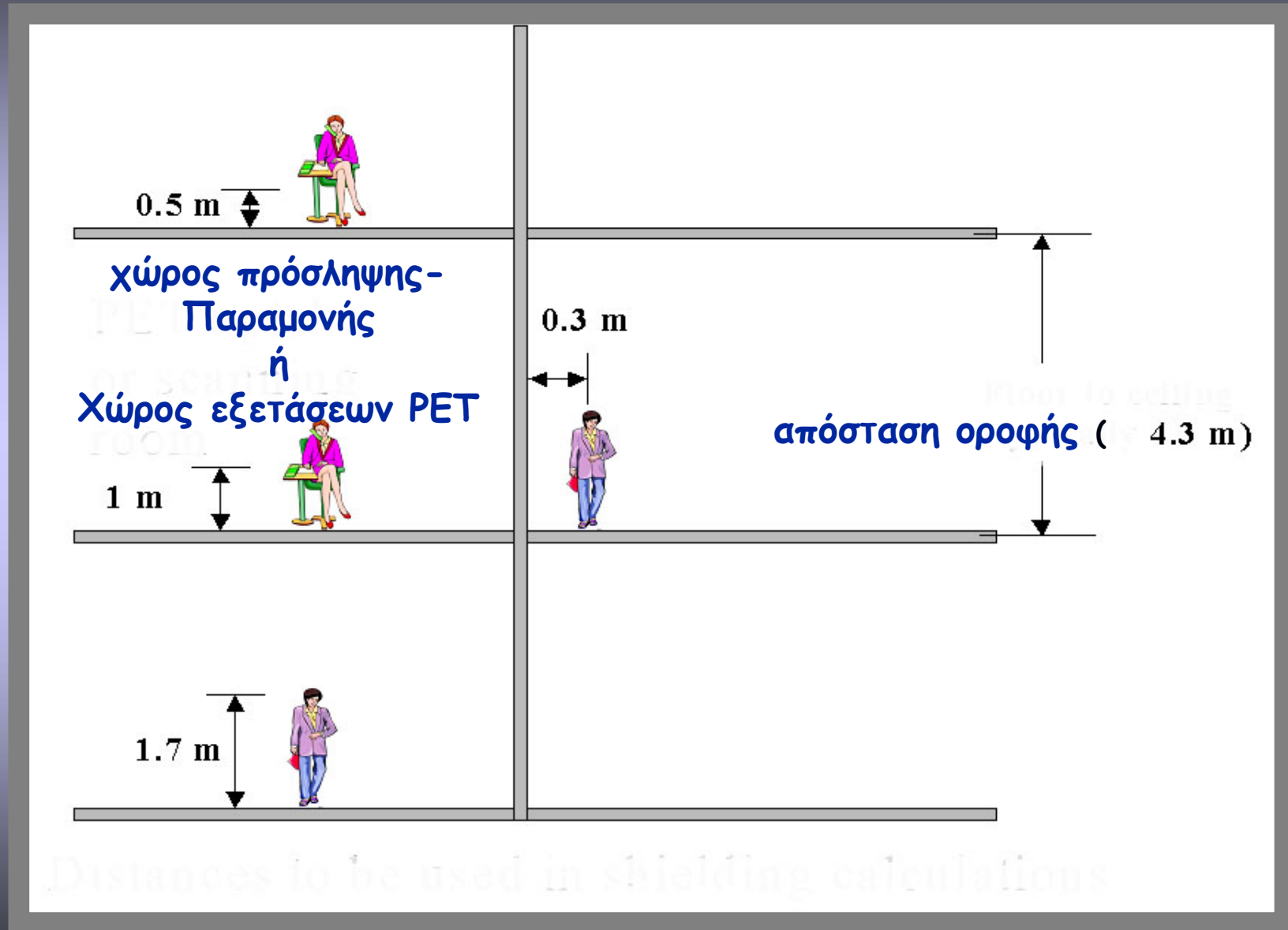
- Ένα εργαστήριο PET έχει περισσότερους από 1 ασθενή στον χώρο προετοιμασίας-πρόσληψης. *Αυτό λαμβάνεται υπ' όψιν κατά τους υπολογισμούς θωράκισης*
- Ιδανικά, το εργαστήριο PET με υψηλό φόρτο θα έχει πλέον του 1 χώρου πρόσληψης.
- Μετά την παραμονή πρόσληψης, ο ασθενής αδειάζει την ουροδόχο κύστη του. *Η ραδιενέργεια που περιέχεται είναι περίπου 15% της χορηγηθείσας.*
- Συνιστάται ιδιαίτερο W.C. για τους ασθενείς του εργαστηρίου PET

Τυπικός χώρος PET/CT απεικόνισης



- ❖ Ο ασθενής παραμένει στον χώρο της απεικόνισης για 30-60 min
- ❖ Αν οι ασθενείς παραμένουν σε χώρο αναμονής μετά την εξέταση για αρκετό χρόνο, *θα γίνουν και εκεί υπολογισμοί ακτινοπροστασίας*
- ❖ Για όλες τις περιοχές γειτονικές προς το PET εργαστήριο γίνονται υπολογισμοί θωρακίσεων. *Σ'αυτές περιλαμβάνονται και χώροι επάνω ή κάτω από το PET εργαστήριο*

Αποστάσεις χρήσιμες στους υπολογισμούς θωράκισης



Δεδομένα διάδοσης για φωτόνια 511 keV

- Παράγων διάδοσης

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$

- Σταθερές Υπολογισμών

<u>Υλικό Θωράκισης</u>	α (cm ⁻¹)	β (cm ⁻¹)	γ
Μόλυβδος (Pb)	1.7772	-0.5228	0.5457
beton	0.1539	-0.1161	2.0752
Ατσάλι	0.5704	-0.3063	0.6326

F-18 FDG PET μελέτες: PET Παράγοντες Έκθεσης

Βάσει της αναφοράς του AAPM δεχόμεθα τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- γ- σταθερά: $0.57 \text{ R m}^2/\text{mCi hr}$
- ❖ Σταθερά ρυθμού δόσης: $0.55 \text{ rem m}^2/\text{mCi hr}$
ή: $0.147 \text{ mSv} / \text{MBq hr σε } 1 \text{ m}$

- Φόρτος εργασίας: 8-16 ασθενείς/ ημέρα x 5 ημέρες/εβδομάδα
- Φόρτος Ισοτόπου: Χορηγούνται 15 mCi (555 MBq)/ ασθενή με χρόνο πρόσληψης 60 min
- Εργάσιμες ώρες : 40 ώρες / εβδομάδα

Χορήγηση ραδιοφαρμάκου PET

- Ο ασθενής είναι η πρωτογενής πηγή ακτινοβολίας
- Το σώμα του ασθενούς απορροφά κάποια από την ακτινοβολία εξαΰλωσης ο ρυθμός δόσης από τον ασθενή μειώνεται κατά ένα παράγοντα 2 ή και περισσότερο
- η μέση μέγιστη τιμή στο 1 m από τον ασθενή αμέσως μετά την χορήγηση είναι 3.0 $\mu\text{Gy/h}/37\text{MBq}$



Χορήγηση ραδιοφαρμάκου PET

Προστασία προσωπικού
κατά την χορήγηση

- Ραδιενεργός διάσπαση: Οι PET ιχνηθέτες έχουν μικρό $T_{1/2}$. Επομένως
- Η απορροφούμενη δόση/ώρα είναι μικρότερη από το γινόμενο του ρυθμού δόσεως επί τον χρόνο
- η ολική δόση ακτινοβολίας που δέχεται το προσωπικό από τον ασθενή-πηγή σε χρόνο T , $D(T)$, είναι μικρότερη κατά ένα υπολογιζόμενο παράγοντα:



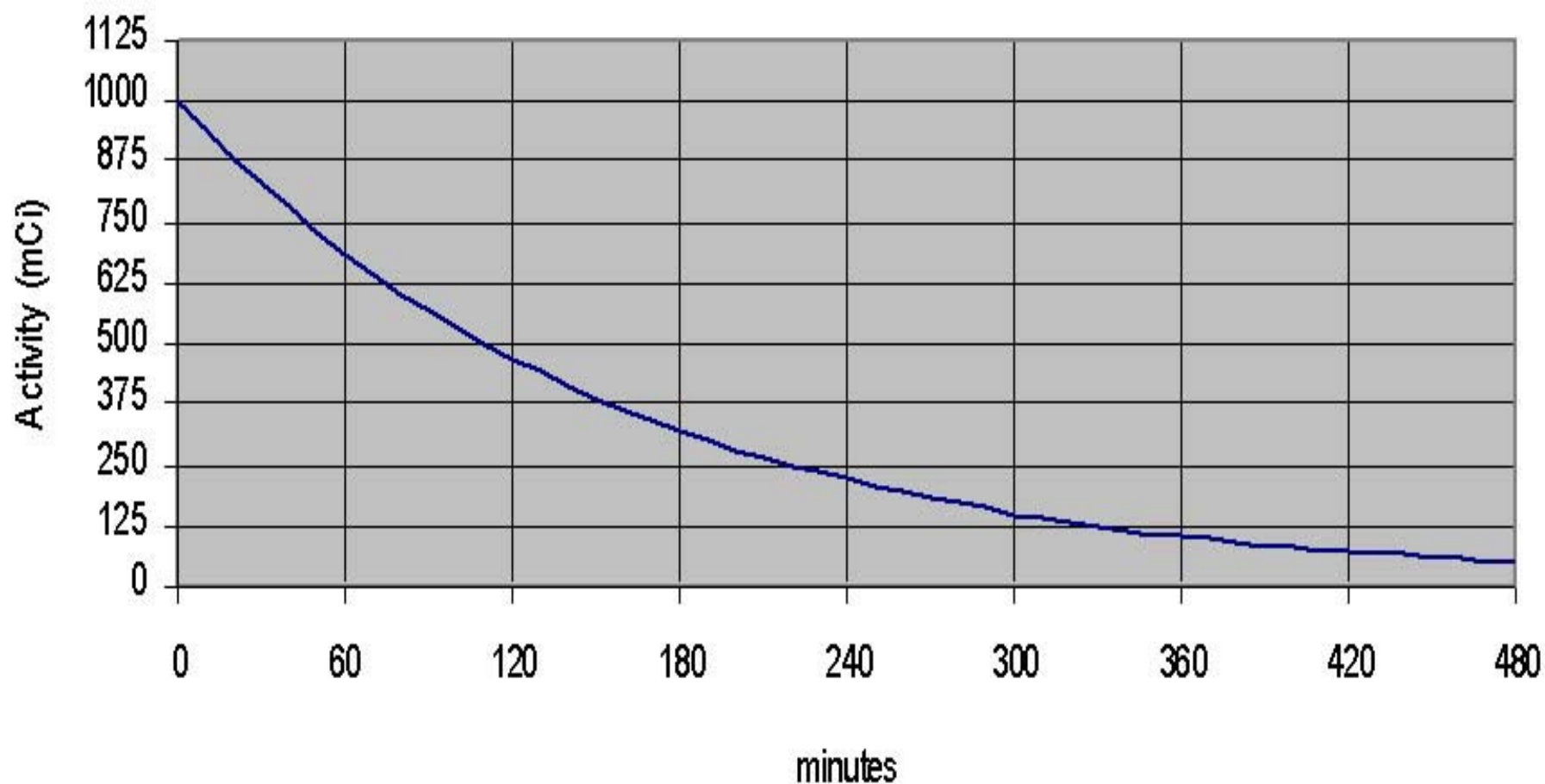
για το F-18: αντιστοιχεί:

30 minutes = 0.91

60 minutes = 0.85

90 minutes = 0.76

Εξασθένηση 1Ci F-18 εντός 8 ωρών

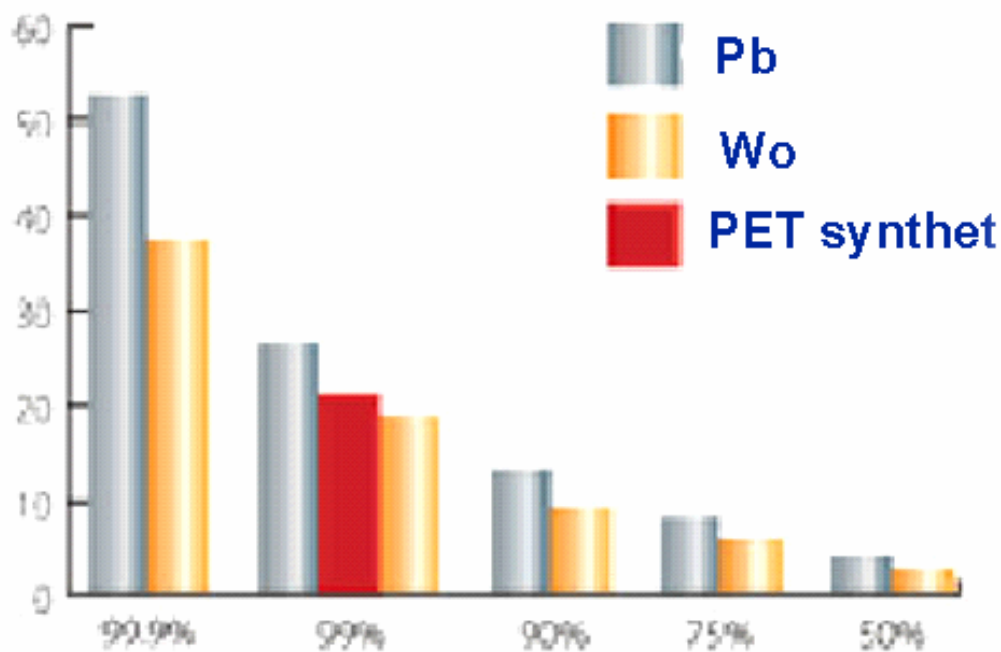


Πλεονέκτημα Βολφραμίου ως υλικό θωράκισης PET

Βολφράμιο / Μόλυβδος

Θωράκιση (mm)

Φωτόνια 511keV

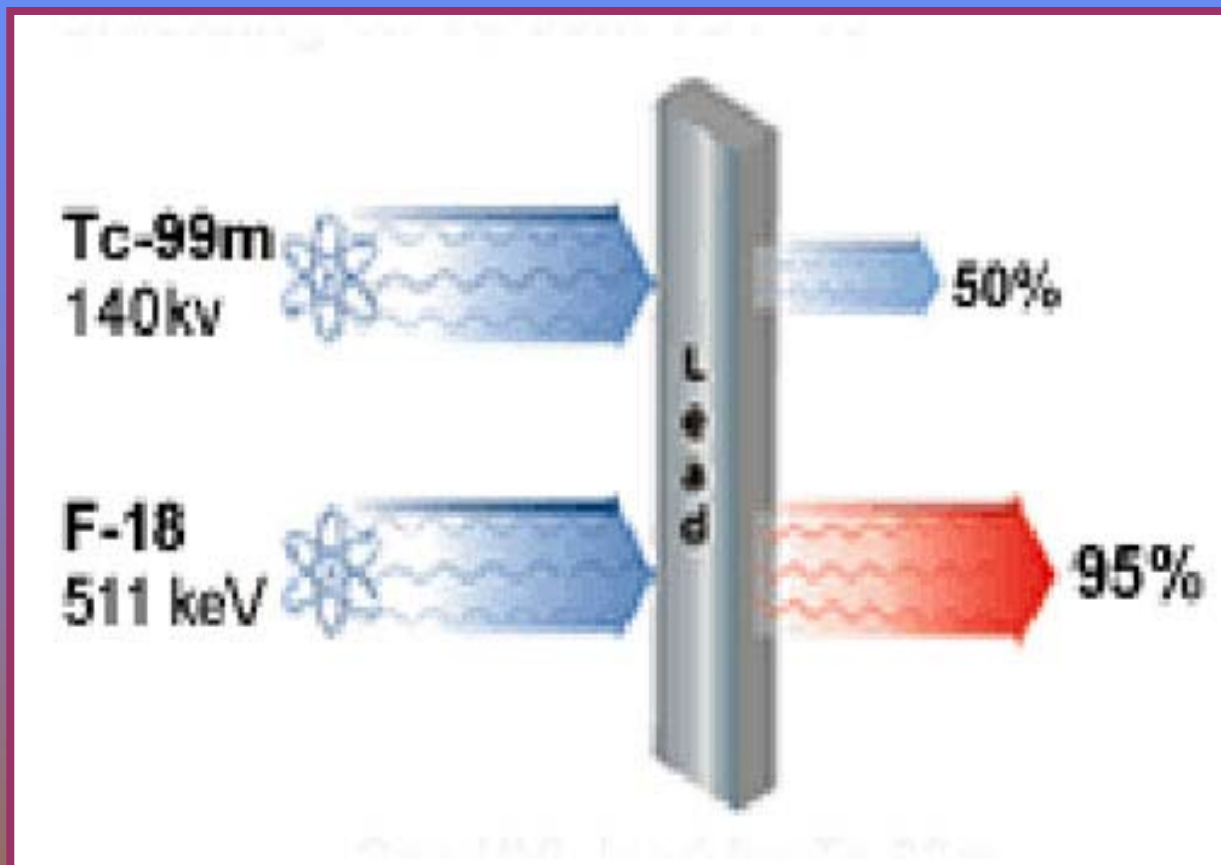


% Ικανότητα εξασθένησης

Υλικό θωράκισης
 πυκνότητας g/cm³
 511 keV Half Value
 Layer (mm)

Βολφράμιο (W)	18.0	2.9
Μόλυβδος (Pb)	11.35	4.1

Αποτελεσματικότητα θωράκισης με μόλυβδο



1 HVL Μολύβδου
για θωράκιση Tc99m
αφήνει την διέλευση
του 95% της ακτινοβολίας
από F-18

Υπόκεινται στις
θεωρήσεις του
ALARA

Πιθανή η ανάγκη υψηλότερης
θωράκισης σε κάποιες θέσεις, για την
εξισορρόπηση της αναπόφευκτης
έκθεσης του προσωπικού κοντά στους
ασθενείς

Οι τεχνολόγοι που
είναι κοντά στον
ασθενή δέχονται τις
μεγαλύτερες δόσεις
από έκθεση :

Επίπεδα δόσεων
σε ελεγχόμενες περιοχές

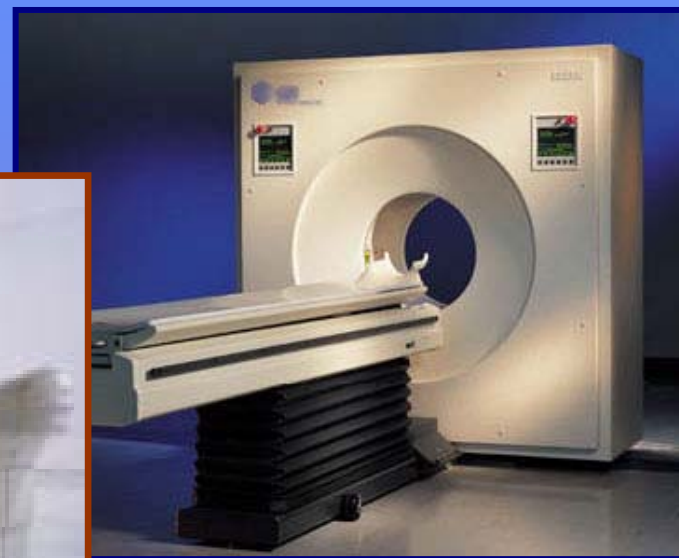
Φορητά μολύβδινα
προστατευτικά
είναι
αποτελεσματικά
στην θωράκιση
των ασθενών στον
χώρο πρόσληψης

- ✓ Ραδιενεργές εγχύσεις
- ✓ Τοποθέτηση του ασθενούς
- ✓ Κατά την εξέταση



Κινούμενη Θωράκιση

Συστήματα PET/CT



Εγκατάσταση PET/CT

- Η θωράκιση για το CT του συστήματος PET/CT είναι σχεδόν η ίδια όπως για κάθε εγκατάσταση CT
- Αν το σύστημα CT χρησιμοποιείται μόνον για απεικόνιση σύντηξης PET/CT, ο φόρτος εργασίας του CT θα είναι σημαντικά μικρότερος από αυτόνομη μονάδα CT
- Το HVL για τις τεχνικές CT που χρησιμοποιούνται είναι πολύ μικρότερο από αυτό για τα φωτόνια 511 keV.

Χώρος θωρακισμένος για PET είναι απίθανο να χρειάζεται πρόσθετη θωράκιση για το ενσωματωμένο CT

ΡΕΤ υπολογισμοί θωράκισης

- Για τους τοίχους θα χρειασθεί 1.2 έως 2.2 cm Pb
- Οι πόρτες θα απαιτήσουν 0.5 έως 1.3 cm Pb.
- Το παράθυρο επικοινωνίας από μολυβδύαλο ή ακρυλικό θα εφαρμόζει στους τοίχους.

ΧΩΡΟΙ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ	
	<i>ενδεικτικά</i>	
	mm Pb	
χειριστήριο	2.80	
Παράθυρο επικοινωνίας	2.80	
W.C.	6.95	
Σύστημα απεικόνισης	6.95	
Διάδρομος	7.54	
Πόρτα στον διάδρομο	5.90	
Χώρος προετοιμασίας	11.5	
Πόρτα στον διάδρομο	6.95	
Θερμό Εργαστήριο	14.21	
Τοίχοι τουαλέτας ΡΕΤ	8.17	

συμπέρασμα

- **Θωρακίσεις για PET υπερκαλύπτουν τις απαιτήσεις θωράκισης του CT σε μονάδες PET/CT**
- Η έκθεση του προσωπικού δεν ξεπερνά τα μέγιστα επιτρεπτά όρια εργαζομένων
- Επιβάλλεται συστηματική Δοσιμέτρηση του προσωπικού
- Τυπικά η θωράκιση θα είναι τουλάχιστον 1.2 cm Pb στους τοίχους με 0.5 to 1.2 cm Pb στις πόρτες.
- Θωράκιση πιθανώς να απαιτείται στην οροφή και το δάπεδο του χώρου πρόσληψης και απεικόνισης
- Το CT και ο ασθενής πρέπει να θεωρηθούν ως οι πηγές έκθεσης προσωπικού και πληθυσμού.