

ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ

ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ & ΜΟΝΑΔΕΣ

ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παντελής Καραΐσκος

Καθηγητής

Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή, Παν. Αθηνών

ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

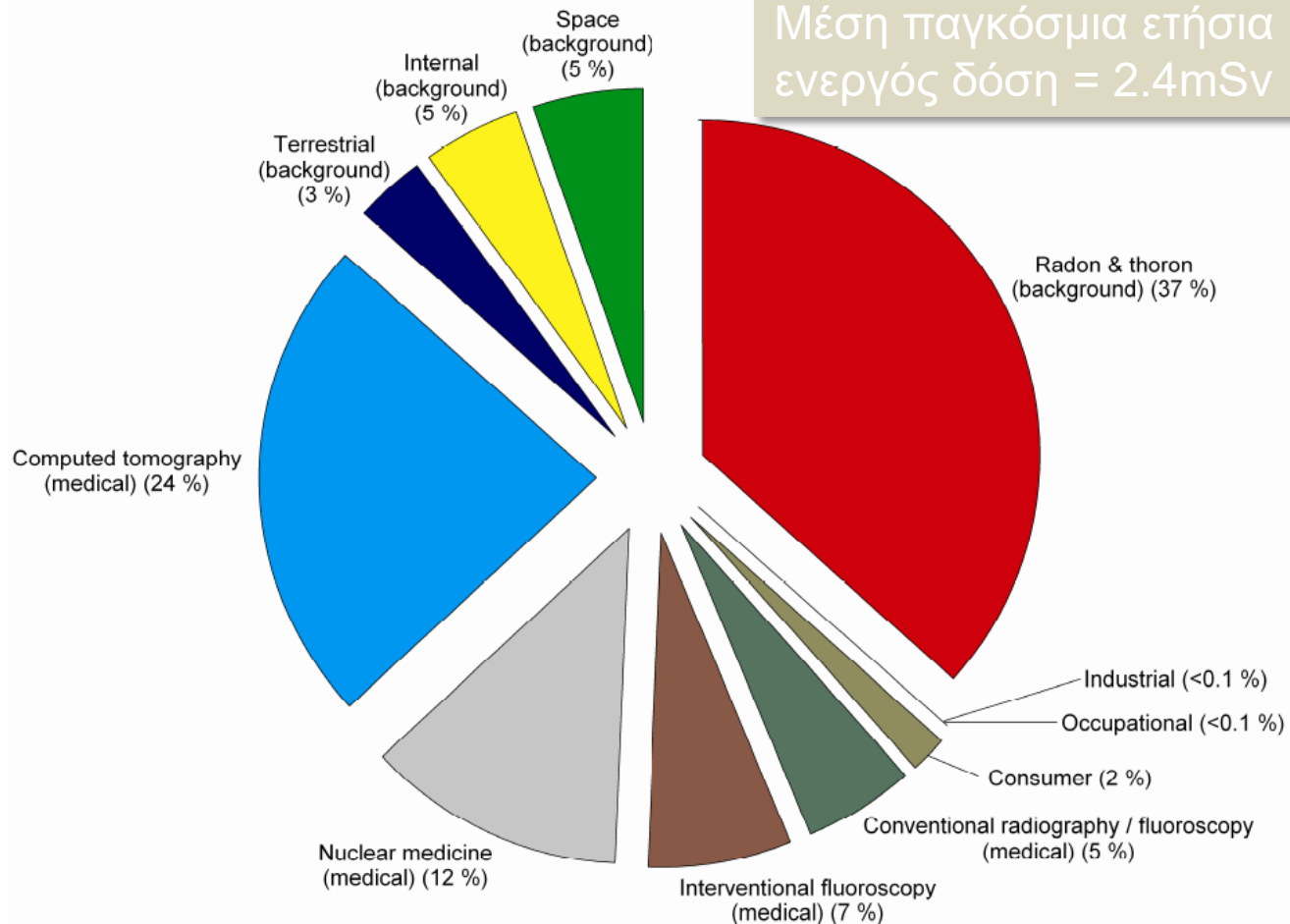
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΕΣ

- Οι ακτινοβολίες ανάλογα με το αν προκαλούν ιοντισμό (ή ιονισμό) ή όχι στην ύλη διακρίνονται σε ιοντίζουσες και μη ιοντίζουσες αντίστοιχα.
- Αν η ενέργεια της ακτινοβολίας είναι ικανή να αφαιρέσει ηλεκτρόνια από το άτομο του υλικού τότε είναι ιοντίζουσα
- Η ενέργεια και ο τρόπος αλληλεπίδρασης είναι οι παράγοντες που κατατάσσουν τις ακτινοβολίες σε ιοντίζουσες και μη
- Τα ραδιοκύματα και γενικά οι ακτινοβολίες χαμηλής ενέργειας (έως και οι υπεριώδεις) δεν μπορούν να προκαλέσουν ιοντισμό
- Οι ακτίνες-Χ, οι ακτίνες-γ, τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια και τα νετρόνια είναι ιοντίζουσες ακτινοβολίες

ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΕΣ

All Exposure Categories
Collective Effective Dose (percent), 2006



ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

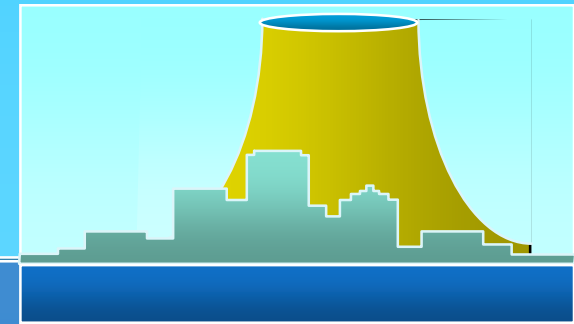


Ανθρωπογενείς Πηγές Ακτινοβόλησης

Βιομηχανικές
Εφαρμογές



Πυρηνική ενέργεια



Καταναλωτικά αγαθά



Πυρηνικές δοκιμές



ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

➤ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ

- ❖ κοσμική ακτινοβολία
- ❖ ακτινογραφίες
- ❖ πετρώματα

Σειρά επικινδυνότητας: Φωτόνια – Ηλεκτρόνια – Σωματία α

➤ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ

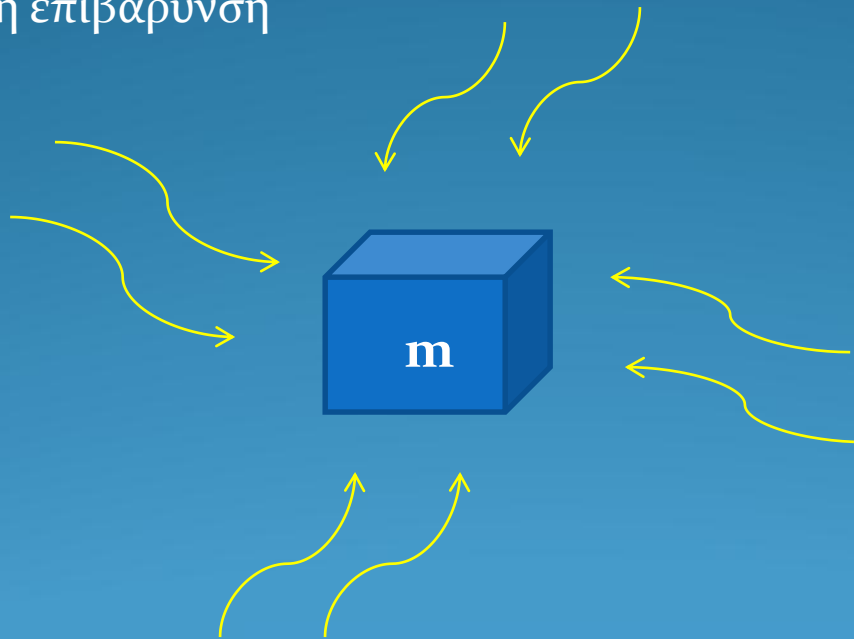
- ❖ ραδιοϊσότοπα στο νερό
- ❖ στην τροφή
- ❖ στον αέρα
- ❖ στα ραδιοφάρμακα

Σειρά επικινδυνότητας: Σωματία α – Ηλεκτρόνια – Φωτόνια

ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ & ΜΟΝΑΔΕΣ

ΑΠΟΡΡΟΦΗΜΕΝΗ ΔΟΣΗ

- Οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες προκαλούν βιολογικά αποτελέσματα στους έμβιους οργανισμούς
- Η έννοια της δόσης μας βοηθάει να συσχετίσουμε την «ποσότητα» της ακτινοβολίας με την ακτινική επιβάρυνση



Αν ένα υλικό μάζας m , ακτινοβοληθεί και απορροφήσει ενέργεια E τότε η απορροφημένη δόση D είναι:

$$D = E/m$$

ΑΠΟΡΡΟΦΗΜΕΝΗ ΔΟΣΗ

Μονάδα μέτρησης : Gy (Gray)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule /Kg}$$

Επειδή σαν μονάδα μέτρησης το Gy είναι πολύ μεγάλο στις διαγνωστικές εφαρμογές χρησιμοποιούμε υποπολλαπλάσια του:

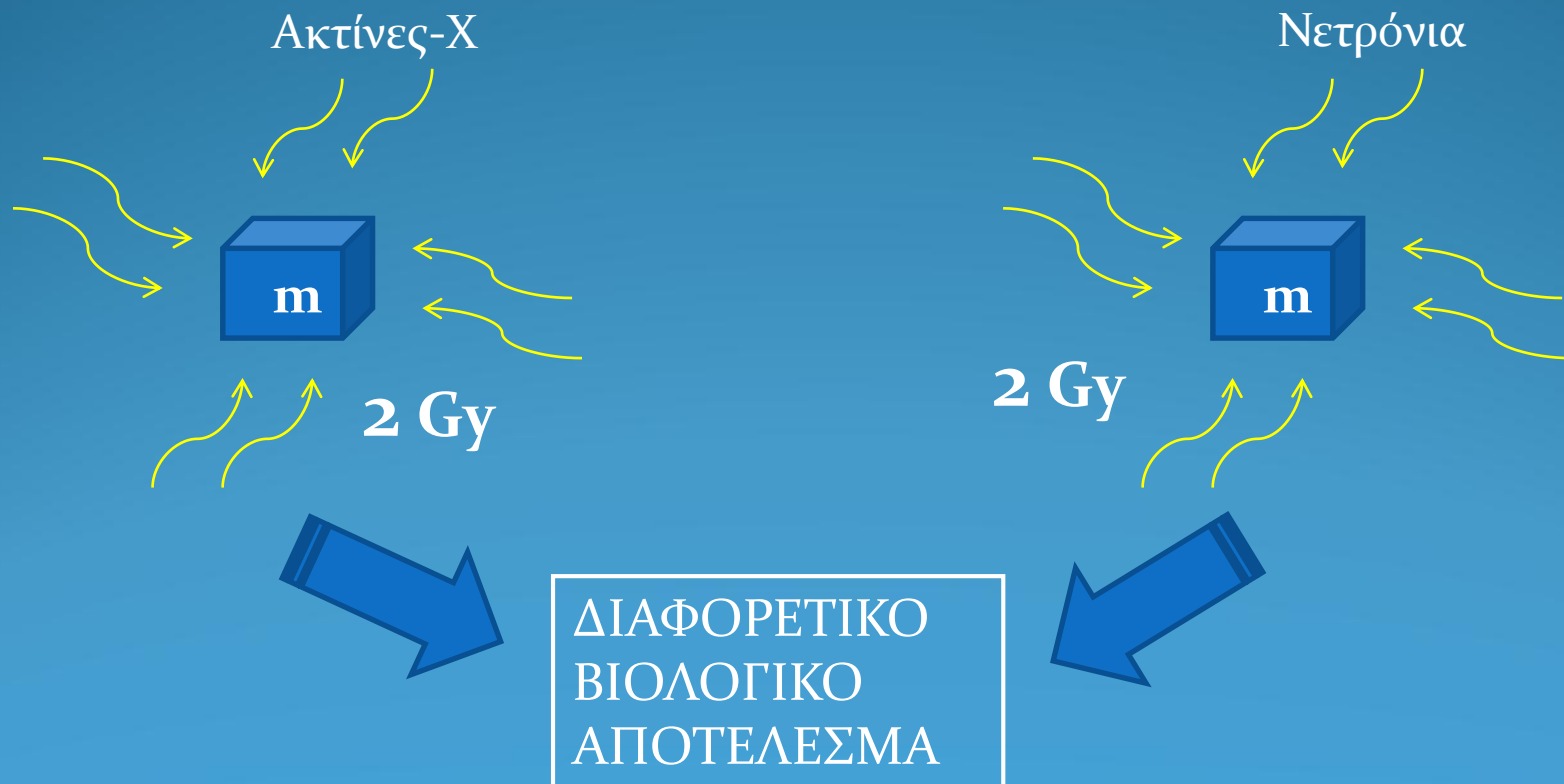
$$\text{cGy} (=0,01 \text{ Gy})$$

$$\text{mGy} (=0,001 \text{ Gy})$$

ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ

Σαν έννοια, η απορροφημένη δόση εξαρτάται μόνο από την ενέργεια που απορρόφησε το υλικό

Η ακτινική επιβάρυνση εξαρτάται και από το είδος της ακτινοβολίας (φωτόνια, ηλεκτρόνια, σωματρία-α, νετρόνια κλπ)



ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η βιολογική επιβάρυνση που προκαλεί η ακτινοβολία σε έναν ιστό, χρησιμοποιείται η έννοια της **ισοδύναμης δόσης**

Η ισοδύναμη δόση (H_T) που έλαβε ένας ιστός T, προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της απορροφημένης δόσης (**D**) με έναν συντελεστή στάθμισης (**W_R**) ο οποίος εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας:

$$H_T = D \cdot W_R$$

Μονάδα μέτρησης: Sv (Sievert)

Επειδή σαν μονάδα μέτρησης είναι μεγάλη στην πράξη χρησιμοποιούμε:

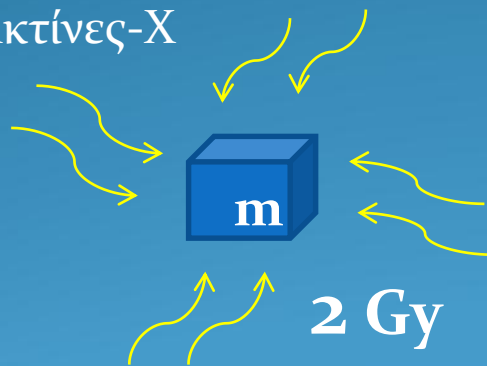
$$mSv (=0,001 Sv)$$

ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ

$$H_T = D \cdot W_R$$

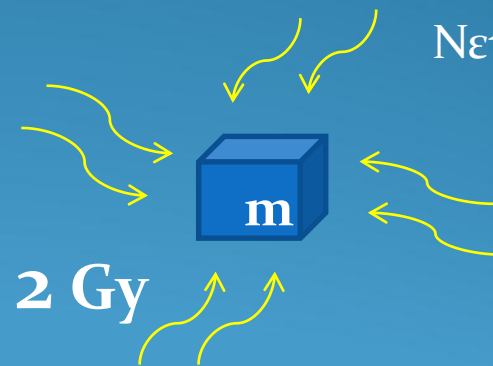
Είδος ακτινοβολίας	Συντελεστής στάθμισης W_R
Φωτόνια (χ και γ) όλων των ενεργειών	1
Ηλεκτρόνια	1
Πρωτόνια	2
Σωματία α , θραύσματα σχάσης, βαρέα ιόντα	20
Νετρόνια	5-20 ανάλογα την ενέργεια τους

Ακτίνες-X



$$H_T = 2 \times 1 = 2 \text{ Sv}$$

Νετρόνια



$$H_T = 2 \times 5 = 10 \text{ Sv}$$



ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΒΛΑΒΗ

ΕΝΕΡΓΟΣ ΔΟΣΗ

- Το βιολογικό αποτέλεσμα δεν εξαρτάται μόνο από το είδος της ακτινοβολίας αλλά και από το είδος του ιστού που ακτινοβολείται
- Η ίδια ισοδύναμη δόση στο ήπαρ και στις γονάδες έχει διαφορετικό βιολογικό αποτέλεσμα για το σύνολο του οργανισμού

Η ενεργός δόση (E_{eff}) περιλαμβάνει την πληροφορία και του είδους της ακτινοβολίας και του είδους του ιστού που ακτινοβολήθηκε

Ενεργός δόση = Ισοδύναμη δόση x Συντελεστής ιστού

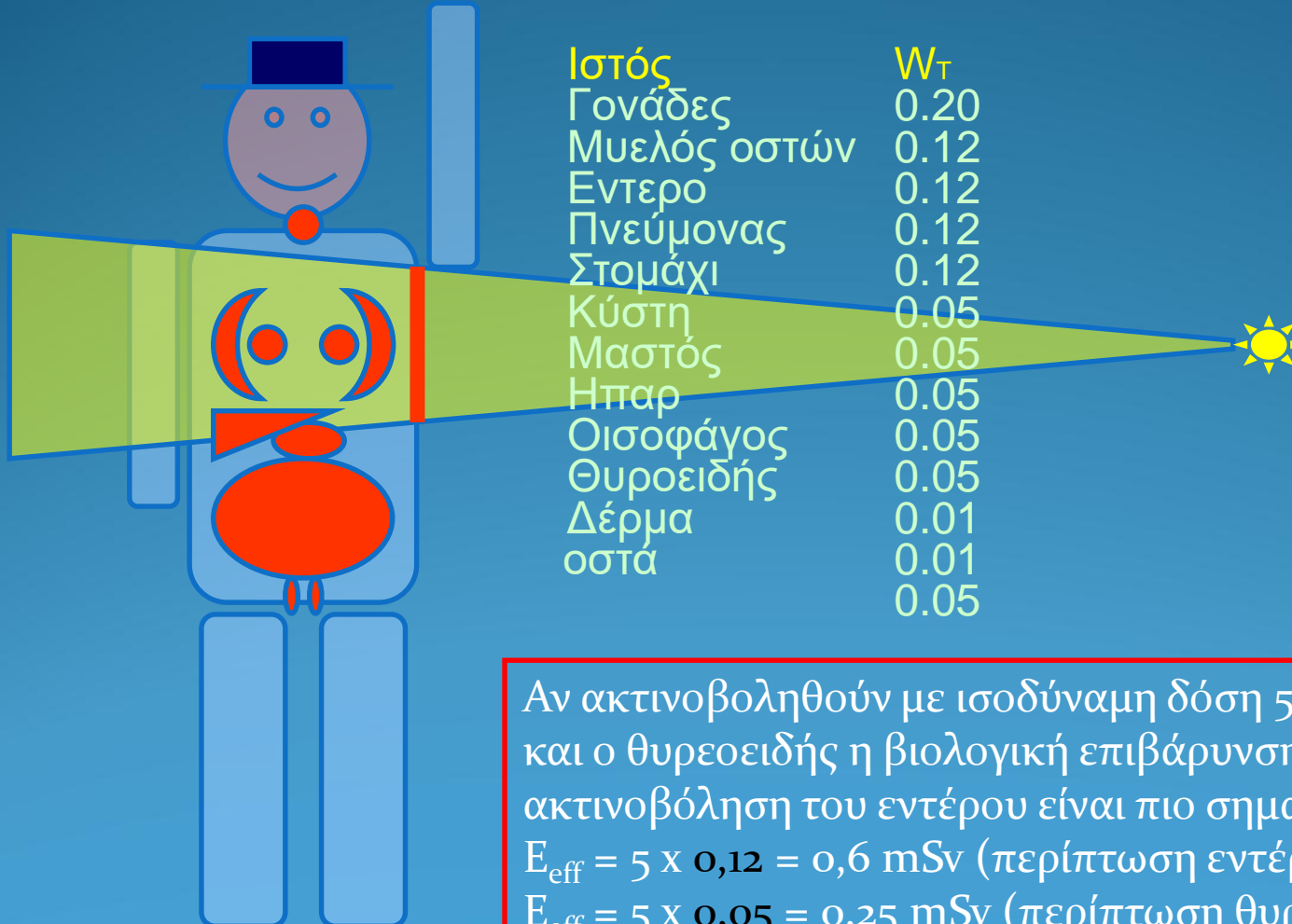
$$E_{\text{eff}} = H_T \times W_T \quad (\text{σε Sv ή mSv})$$

ή

$$E_{\text{eff}} = D \times W_R \times W_T$$

ΕΝΕΡΓΟΣ ΔΟΣΗ

$$E_{\text{eff}} = H_T \times W_T$$



Αν ακτινοβοληθούν με ισοδύναμη δόση 5 mSv το έντερο και ο θυροειδής η βιολογική επιβάρυνση από την ακτινοβολήση του εντέρου είναι πιο σημαντική διότι :

$$E_{\text{eff}} = 5 \times 0,12 = 0,6 \text{ mSv (περίπτωση εντέρου)}$$

$$E_{\text{eff}} = 5 \times 0,05 = 0,25 \text{ mSv (περίπτωση θυροειδή)}$$

ΕΝΕΡΓΟΣ ΔΟΣΗ

- Η ισοδύναμη δόση εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας
- Η ενεργός δόση εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας και το είδος του ιστού που ακτινοβολείται

Η ενεργός δόση που οδηγεί σε θάνατο του ανθρώπου είναι 4-5 Sv

Ακτινογραφία θώρακος	:	0,05 mSv =	0,00005 Sv
Ολόσωμη αξονική τομογραφία	:	15 mSv =	0,015 Sv
Σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς	:	50 mSv =	0,05 Sv

ΔΟΣΗ ΔΕΡΜΑΤΟΣ

Δόση δέρματος ορίζουμε την ενεργό δόση που απορροφάται σε βάθος $0,07 \text{ mm}$ από την επιφάνεια του δέρματος κατά τη διάρκεια της ακτινοβολήσης.

Χρησιμοποιείται σαν δείκτης της επιβάρυνσης του δέρματος αλλά και σαν εργαλείο για τον υπολογισμό, με μαθηματικές μεθόδους, της συνολικής δόσης που έλαβε ο εκτιθέμενος.



ΜΕΓΕΘΟΣ DAP

Τα αρχικά DAP προέρχονται από την πρόταση Dose Area Product που σημαίνει «γινόμενο δόση X επιφάνεια». Σαν μέγεθος ορίζεται ως το γινόμενο της δόσης, D , που απορροφάται σε μια επιφάνεια εμβαδού A επί την επιφάνεια αυτή:

$$DAP = D \times A$$

Μονάδα μέτρησης του DAP είναι το $Gy.cm^2$

Λόγω του ορισμού του, το μέγεθος DAP είναι ανεξάρτητο της απόστασης της επιφάνειας που ακτινοβολείται από την πηγή της ακτινοβολίας.

Για τον λόγο αυτό, οι συσκευές που μετρούν το DAP τοποθετούνται στην κεφαλή του ακτινοσκοπικού συστήματος και παρέχουν ανά πάσα στιγμή ενδείξεις της τιμής του.

Οι τιμές του DAP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της δόσης δέρματος του ασθενούς.

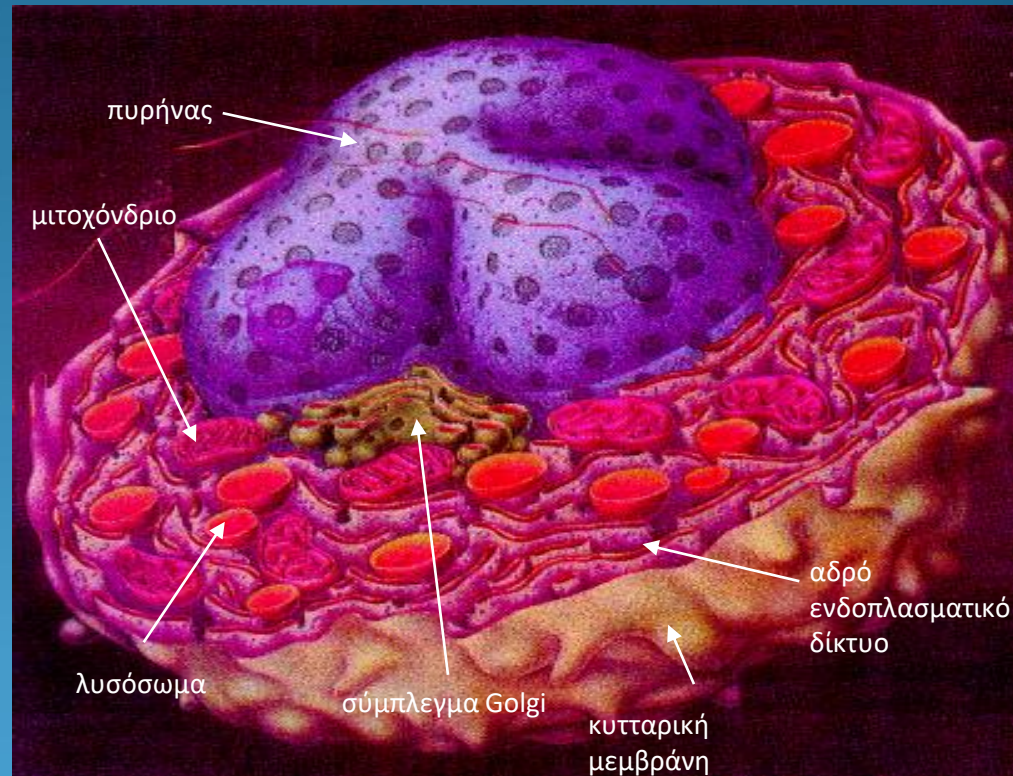
Με τον τρόπο αυτό είναι γνωστή κάθε στιγμή τη δόση δέρματος κατά την εξέταση και αποφεύγεται η δημιουργία ακτινικού εγκαύματος.

ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΙΟΝΤΙΣΘΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ

- Αλληλεπίδραση ιοντίζουσας ακτινοβολίας με τα άτομα της ύλης έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση ενέργειας μέσω ιονισμών και διεγέρσεων ατόμων και μορίων
- Ο ιονισμός μπορεί να οδηγήσει:
 - στη διάσπαση χημικών δεσμών και την παραγωγή άτυπων μορίων
 - στο σχηματισμό δραστικών ελευθέρων ριζών
- Οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να προκαλέσουν περαιτέρω χημικές μεταβολές σε βιολογικά μακρομόρια (DNA)
- Σε κυτταρικό επίπεδο οι σπάνιες περιπτώσεις βλαβών που δεν θα επιδιορθωθούν ορθά, μπορούν να οδηγήσουν σε μια ποικιλία βιολογικών αποτελεσμάτων σε κυτταρικό επίπεδο (γονιδιακές μεταλλάξεις χρωμοσωμικές ανωμαλίες, κυτταρικό θάνατο).
- Η θανάτωση σημαντικού αριθμού κυττάρων, ιδιαίτερα βλαστικών, οδηγεί στα λεγόμενα άμεσα βιολογικά αποτελέσματα από εβδομάδες έως μήνες μετά την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία.
- Η τροποποίηση του γενετικού υλικού των κυττάρων μπορεί να οδηγήσει σε απώτερα βιολογικά αποτελέσματα που θα εκδηλωθούν έτη μετά την έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία

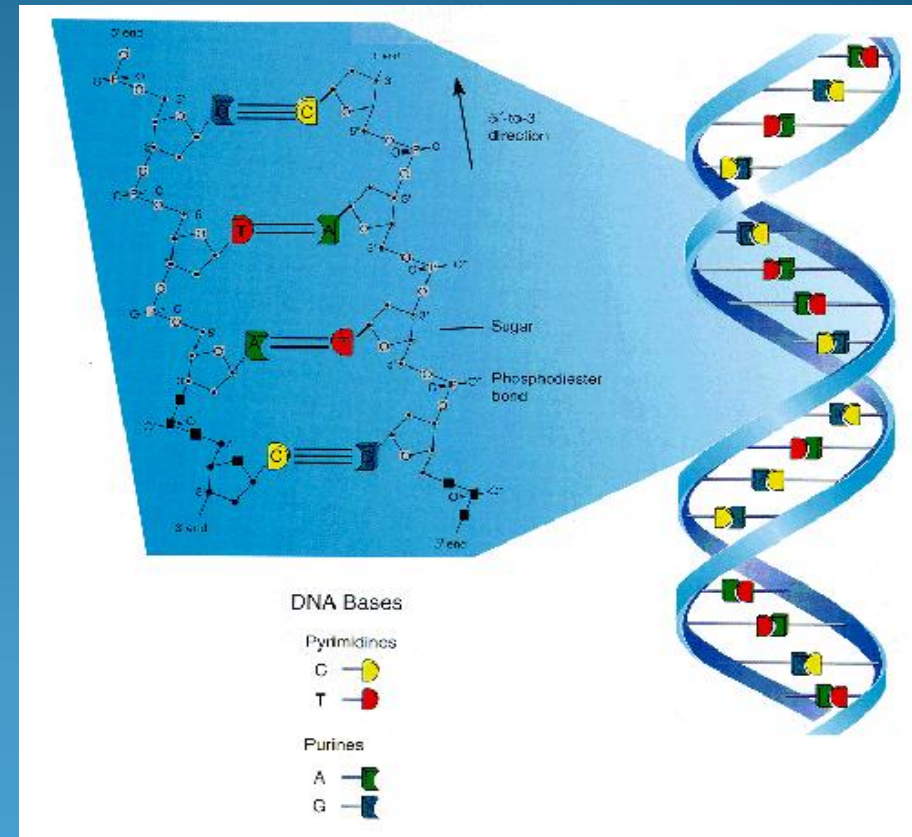
ΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

- Το κύτταρο αποτελείται από οργανικά και ανόργανα συστατικά:
πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, νουκλεϊνικά οξέα (DNA, RNA), ανόργανες ενώσεις (οξέα και βάσεις).
- Η κυριότερη ανόργανη ένωση που περιέχεται στο κύτταρο είναι το νερό. Το 80-85% του βάρους μας είναι νερό.
- Στον πυρήνα του κυττάρου βρίσκεται το DNA και μεγάλα ποσά RNA. Ο πυρήνας ελέγχει την κυτταρική διαίρεση, τον πολλαπλασιασμό και τις βιοχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο κύτταρο.



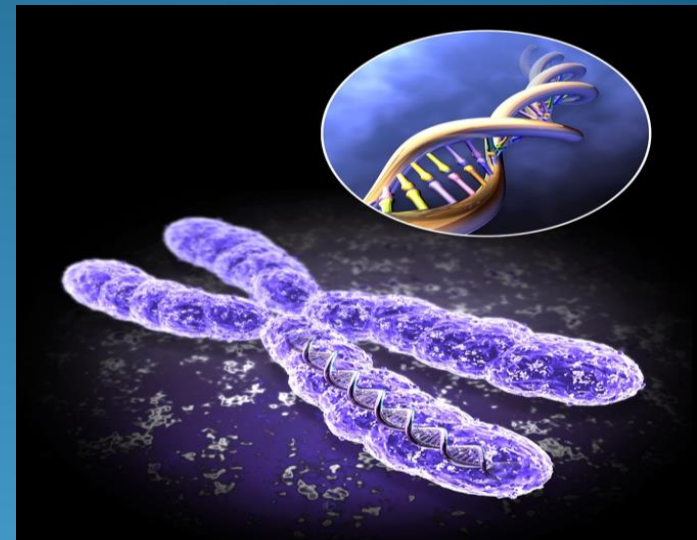
DNA

- Το DNA είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά της γενετικής πληροφορίας και καθοδηγεί τη διαδικασία παραγωγής πρωτεϊνών.
- Είναι το κέντρο πληροφοριών και το βασικότερο συστατικό του κυττάρου.



ΧΡΩΜΟΣΩΜΑΤΑ

- Κατά τη διάρκεια της κυτταρικής διαίρεσης το DNA βρίσκεται πακεταρισμένο στα χρωμοσώματα.
- Στο τέλος της διαίρεσης το μητρικό κύτταρο και το θυγατρικό έχουν τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων: τα ανθρώπινα κύτταρα έχουν 46 χρωμοσώματα.
- Κατά τη διαδικασία της διαίρεσης η γενετική πληροφορία μεταδίδεται από το μητρικό κύτταρο στο θυγατρικό.
- Αν κάτι δεν πάει καλά στη διαδικασία αυτή, το θυγατρικό κύτταρο θα είναι δυσλειτουργικό ή νεκρό.
- Επίσης, αν το μητρικό κύτταρο για κάποιο λόγο είναι μεταλλαγμένο τότε το θυγατρικό του θα είναι και αυτό μεταλλαγμένο αφού είναι πιστό αντίγραφο του.



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΠΙΔΡΑ

- Άμεσα στο DNA και σε άλλα μεγαλομόρια (πρωτεΐνες, RNA, ένζυμα)

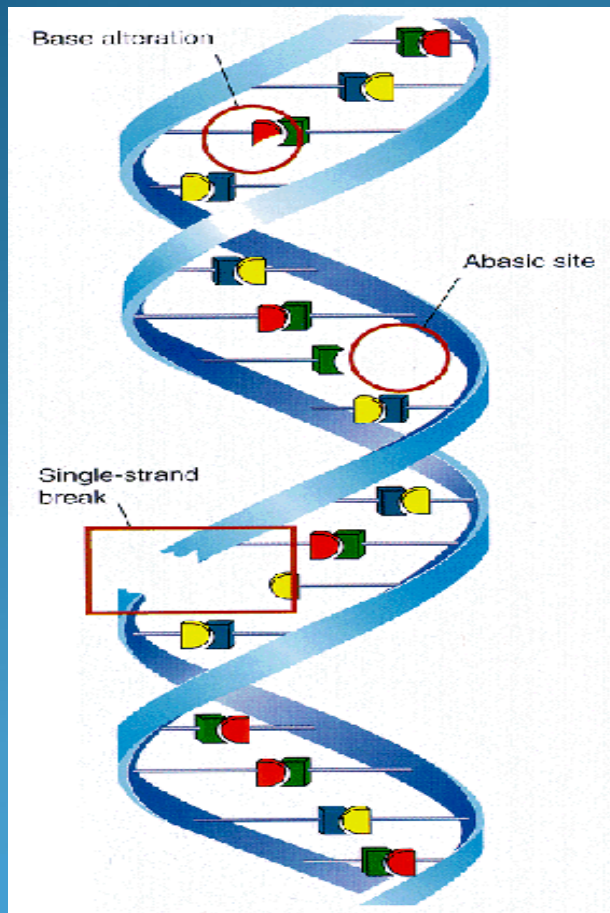
π.χ. Αν «κτυπηθεί» μια πρωτεΐνη τότε είναι πιθανό να μεταβληθεί το σχήμα της και να είναι μη-λειτουργική

- Έμμεσα στο DNA μέσω της ραδιόλυσης του ενδοκυττάρριου νερού

Κατά τη ραδιόλυση του νερού σχηματίζονται πολύ δραστικές ελεύθερες ρίζες οι οποίες προκαλούν θραύσεις στο μόριο του DNA

ΘΡΑΥΣΕΙΣ ΤΟΥ DNA

ΑΠΛΗ ΘΡΑΥΣΗ

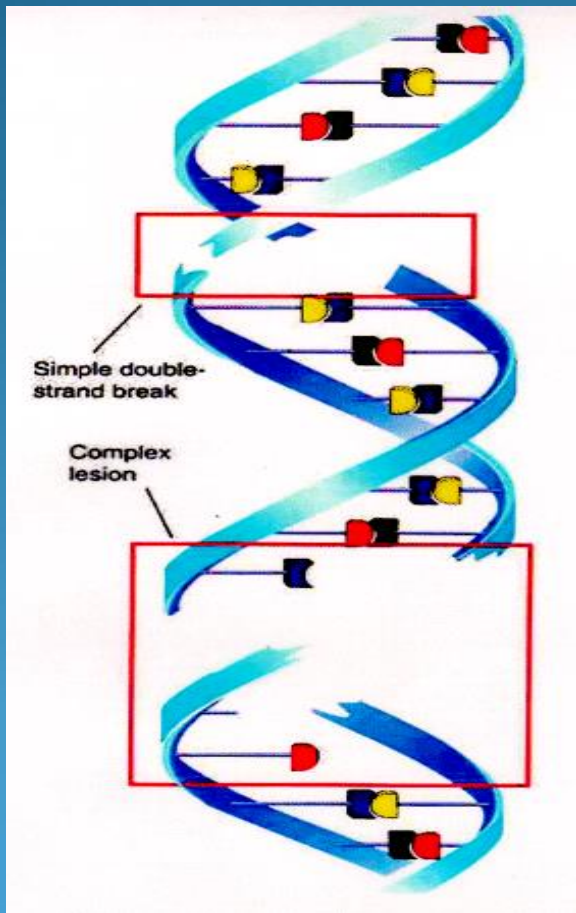


Τα απλά σπασίματα της έλικας του DNA είναι εφικτό να διορθωθούν από τους διορθωτικούς μηχανισμούς που διαθέτει το κύτταρο.

Αν δεν διορθωθούν τότε το κύτταρο επιζεί αλλά είναι μεταλλαγμένο και δεν μπορεί να υλοποιήσει κάποιες από τις λειτουργίες του.

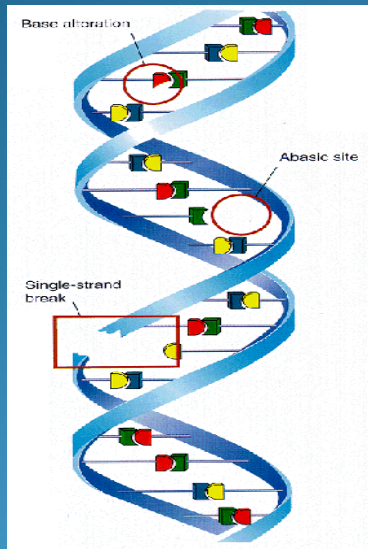
ΘΡΑΥΣΕΙΣ ΤΟΥ DNA

ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΘΡΑΥΣΗ



Τα πολλαπλά σπασίματα είναι πολύ δύσκολο να διορθωθούν και οδηγούν σε μετάλλαξη ή θάνατο του κυττάρου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



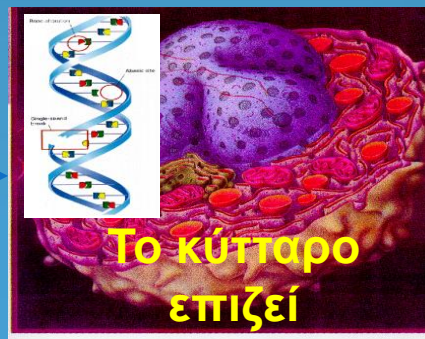
Μετάλλαξη DNA



Επιζόν κύτταρο



Άμεσα αποτελέσματα

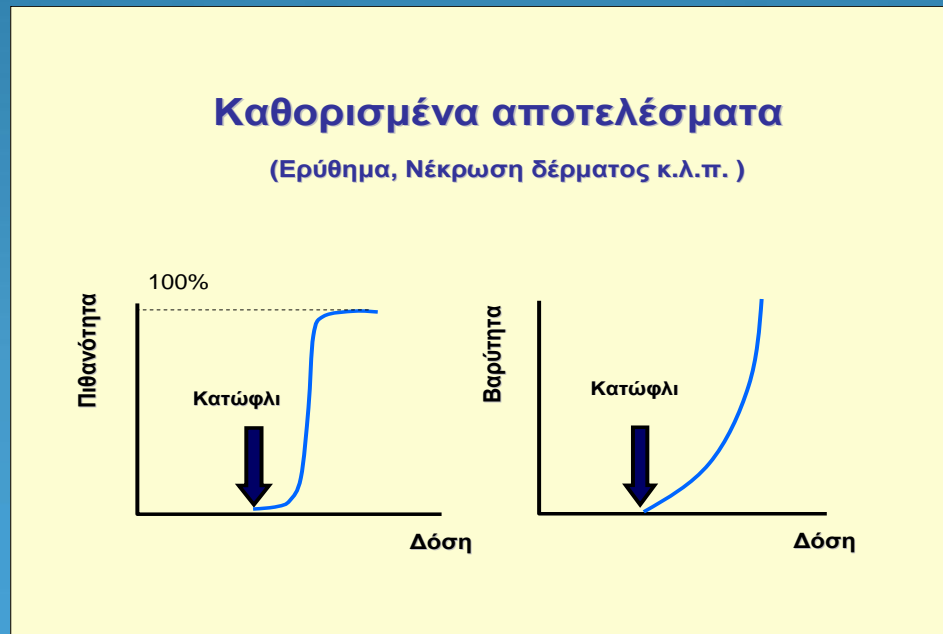


Απώτερα αποτελέσματα

ΑΜΕΣΑ (ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΑ) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα άμεσα ή καθορισμένα αποτελέσματα προέρχονται από τη θανάτωση των κυττάρων και εμφανίζονται σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα μετά την ακτινοβολήση.

Από μελέτες έχει βρεθεί ότι τα άμεσα αποτελέσματα συμβαίνουν μετά την υπέρβαση μιας συγκεκριμένης τιμής δόσης η οποία ονομάζεται κατώφλι



ΑΜΕΣΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βλάβη	Συμπτώματα	Δόση κατωφλίου	Χρόνος εκδήλωσης
Σύνδρομο αιμοποιητικού συστήματος	Λεμφομενία, αιμοραγία, αναιμία	2 Gy	24 ώρες
Σύνδρομο γαστρεντερικού συστήματος	Ναυτία, εμετός, διάρροια, έλκη, εντερική αιμορραγία	7 Gy	7 εβδομάδες
Σύνδρομο κεντρικού νευρικού συστήματος	Εγκεφαλικό οίδημα, μείωση του ενδοαγγειακού όγκου αίματος	50 Gy	Θάνατος σε 1-4 ημέρες

Η δόση από μια τυπική ακτινογραφία θώρακος είναι 0,0005 Gy ενώ από μια ολόσωμη αξονική τομογραφία 0,015 Gy. Δηλαδή οι δόσεις από κοινές διαγνωστικές εξετάσεις είναι τουλάχιστον 1000 φορές μικρότερες από τις δόσεις κατωφλίου.

ΑΠΩΤΕΡΑ (ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αντίθεση με τα άμεσα αποτελέσματα, τα στοχαστικά ή απώτερα δεν παρουσιάζουν κατώφλι εμφάνισης και η πιθανότητα εμφάνισης τους ξεκινά από πολύ μικρές δόσεις.

Τα απώτερα αποτελέσματα προέρχονται από μεταλλάξεις των κυττάρων οι οποίες προκαλούν βλάβες που εμφανίζονται μετά από αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα (20-30 χρόνια) στο άτομο ή στους απογόνους του ή δεν εμφανίζονται καθόλου. Στα αποτελέσματα αυτά μιλάμε αποκλειστικά για πιθανότητα εμφάνισης.

ΑΠΩΤΕΡΑ (ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται η ανάπτυξη καρκίνου, λευχαιμίας και μετάδοσης γενετικών ανωμαλιών στους απογόνους.

Η δόση από ακτινοβολία στην ουσία αυξάνει την πιθανότητα, που ήδη υπάρχει λόγω άλλων παραγόντων (π.χ. κληρονομικότητα), να εμφανιστεί η βλάβη.



ΑΠΩΤΕΡΑ (ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βλάβη	Χρόνος	Αύξηση πιθανότητας εμφάνισης	Φυσιολογική πιθανότητα εμφάνισης
Θανατηφόρος καρκίνος	20-30 χρόνια	5% ανά Sv	25%
Μη θανατηφόρος καρκίνος	20-30 χρόνια	1% ανά Sv	
Λευχαιμία	8-10 χρόνια	5% ανά Sv	0,015%
Γενετικά αποτελέσματα	Επόμενες γενεές	1,3% ανά Sv	3-6%

ΑΠΩΤΕΡΑ (ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Η πιθανότητα εμφάνισης θανατηφόρου καρκίνου κατά τη διάρκεια ζωής του ανθρώπου είναι 25%.

Αν κάποιος υποβληθεί σε εξέταση ολόσωμης αξονικής τομογραφίας η δόση που δέχεται είναι 0,015 Sv.

Η δόση αυτή αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου στα επόμενα 20 έτη κατά 0,075% (= 5% ανά Sv X 0,015 Sv).

Παρατηρούμε ότι η αύξηση της πιθανότητας είναι σχεδόν αμελητέα σε σχέση με την ίδια την πιθανότητα (25%).

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Η δόση από ακτινοβολία θεωρείται **αθροιστική**.

Δηλαδή κάθε δόση που λαμβάνουμε προστίθεται στις προηγούμενες.

Αυτή η ιδιότητα λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των συστημάτων ακτινοπροστασίας και στη θέσπιση των **ορίων δόσεων** για τα άτομα του **κοινού πληθυσμού** και τους **εργαζόμενους** με ακτινοβολίες.

Σκοπός των ορίων δόσεων είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης στοχαστικών και μη αποτελεσμάτων.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

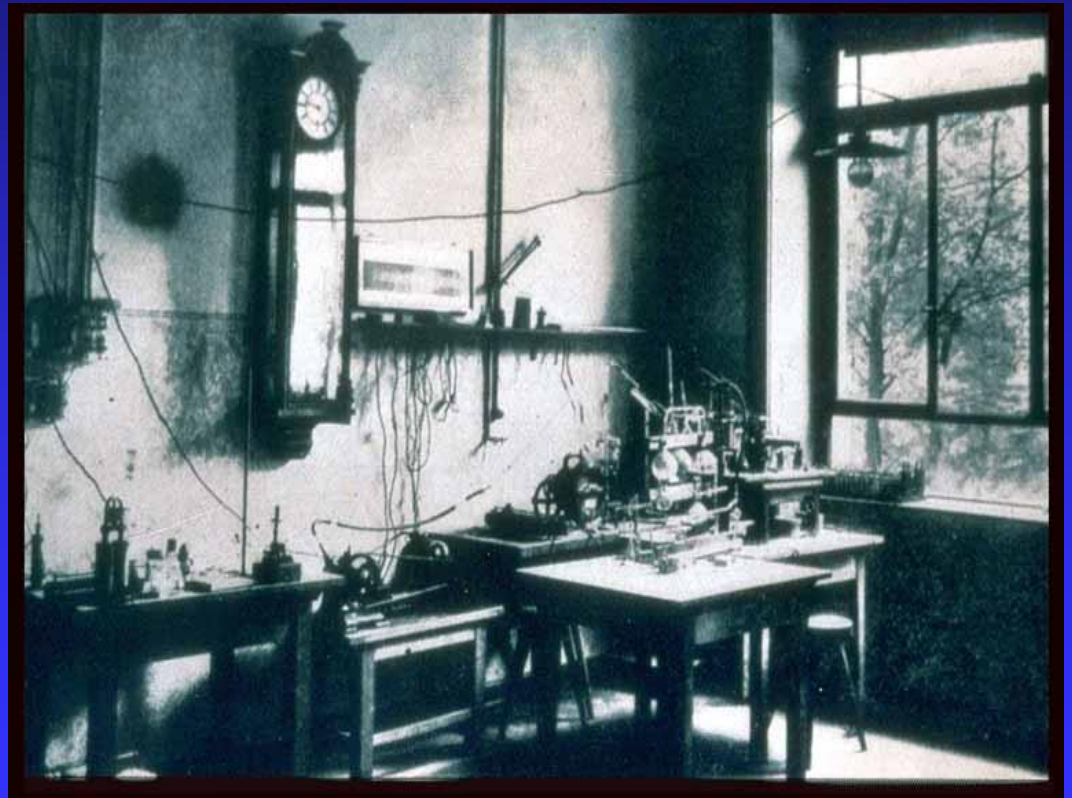
Τα άμεσα (καθορισμένα) αποτελέσματα εμφανίζονται σε σύντομο χρονικό διάστημα και προκαλούνται από πολύ υψηλές δόσεις ακτινοβολίες (ατυχήματα, πυρηνική έκρηξη κλπ). Η πιθανότητα εμφάνισης τους εξαρτάται από την υπέρβαση μιας τιμής δόσης που ονομάζεται κατώφλι.

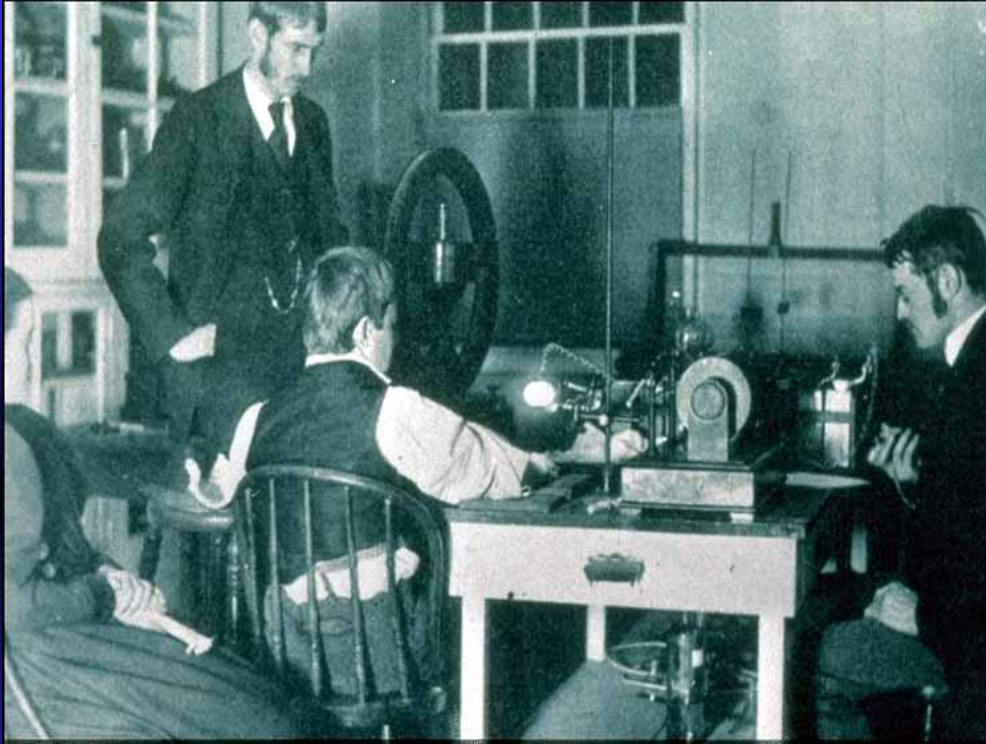
Τα αψότερα (στοχαστικά) αποτελέσματα εμφανίζονται μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα (χρόνια). Δεν υπάρχει κατώφλι δόσης και η πιθανότητα να συμβούν ξεκινά από τη μηδενική δόση.

Οι **δόσεις** από τυπικές διαγνωστικές εξετάσεις και επεμβατικές εφαρμογές είναι **μικρότερες από τις δόσεις κατωφλίου** για τα άμεσα αποτελέσματα.



Wilhelm Conrad ROENTGEN (1845-1923) in 1896

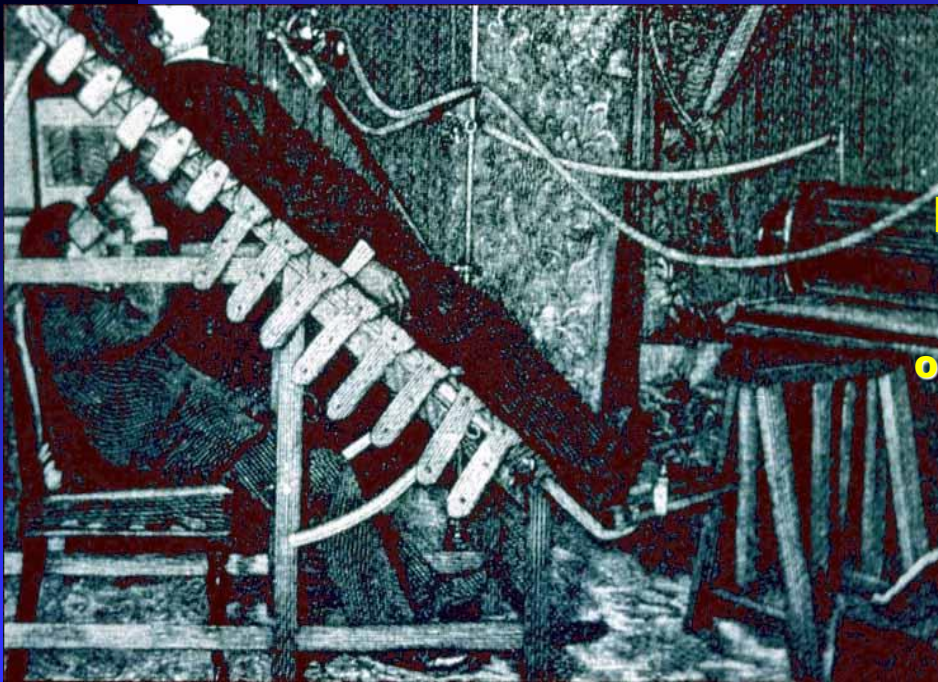




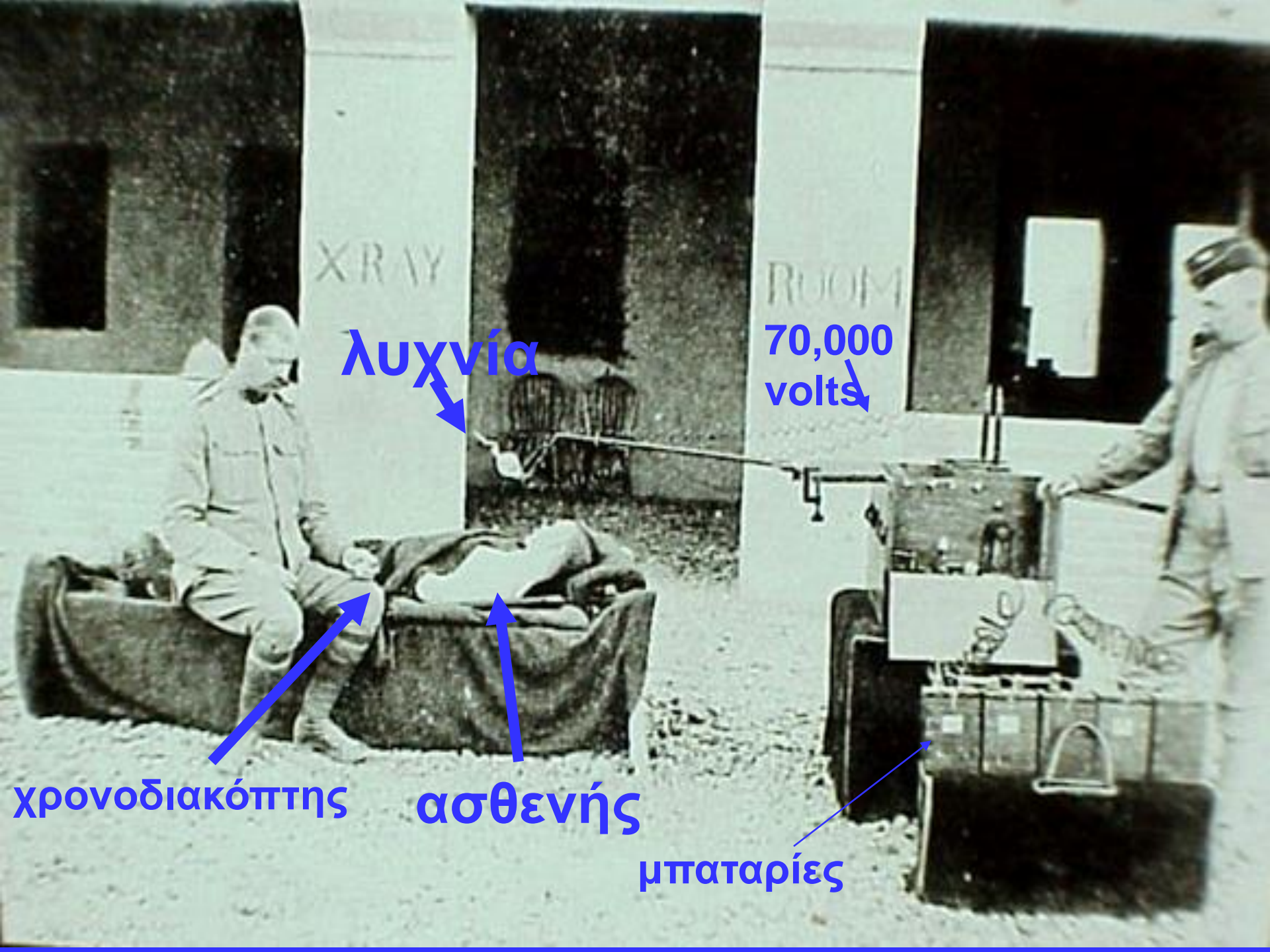
**Ακτινογραφία χεριού
Albert von Kolliker,
Wurzburg Physical-Medical
Society, 23 Ιαν. 1896.**

↪ Ιστορία

Ο ακτινολόγος Mihran Kassabian (1870-1910) εξασκεί το επάγγελμά του στο Philadelphia Roentgen Lab



**Η πρώτη ... κατακλινώμενη τράπεζα
(λίγο άβολη για τον ακτινολόγο,
ο οποίος έπαιξε το ρόλο του ενισχυτή εικόνας !)
(1898)**



XRAY

ROOM

70,000
volts

λυχνία

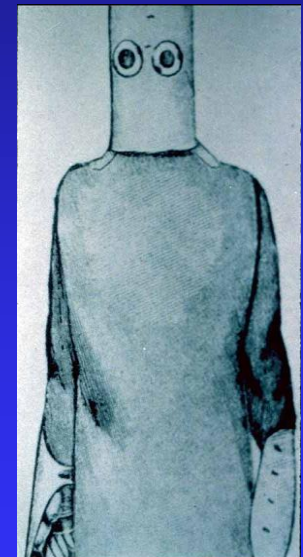
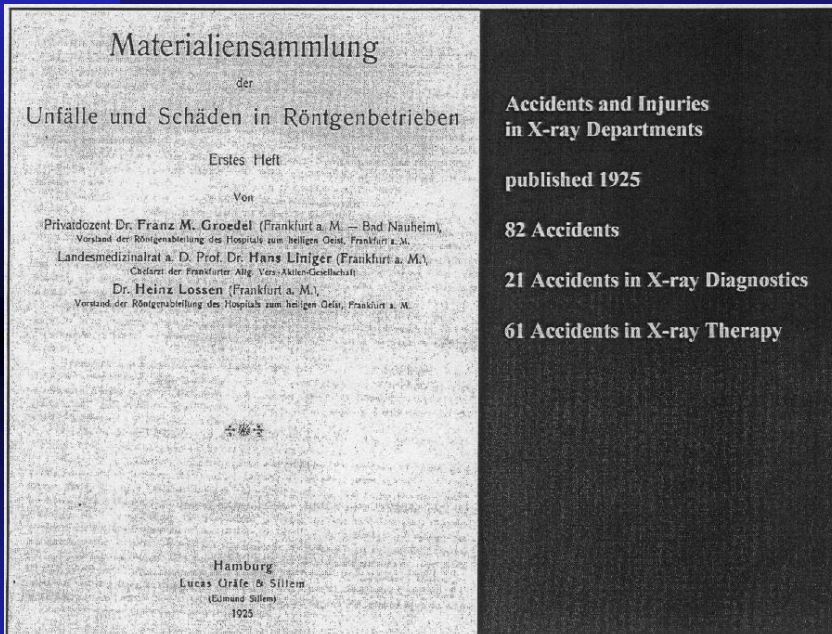
χρονοδιακόπτης

ασθενής

μπαταρίες



**Mihran Kassabian -
Ακτινολόγος (1870-
1910)**



↪ International Commission of Radiation Protection (ICRP)

Ίδρυση : 1928

Έκδοση συστάσεων: 1966, 1973, 1977,



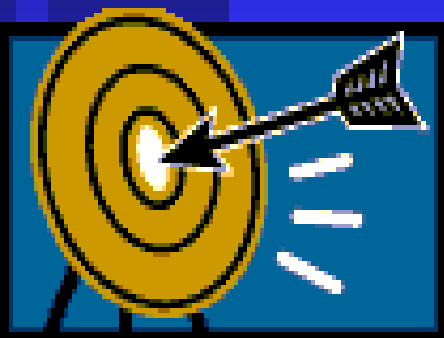
... από τότε μέχρι σήμερα ...

- τεχνολογική εξέλιξη .

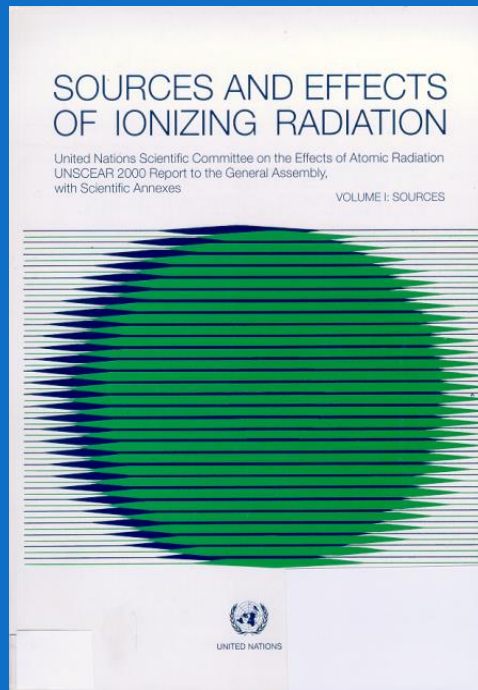


- εξέλιξη της ακτινοπροστασίας σε «επιστήμη»

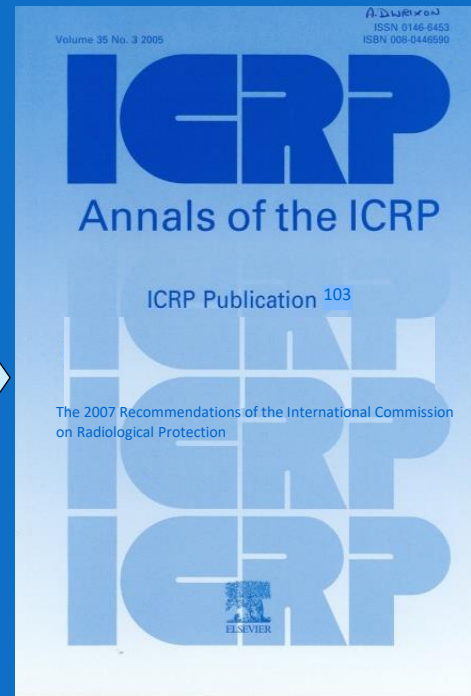
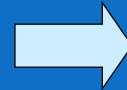
- Η προστασία των ατόμων και του περιβάλλοντος
- Η ελαχιστοποίηση των κινδύνων από τις συνέπειες των ακτινοβολιών
- Η παράλληλη απολαβή του οφέλους



Επιστημονική βάση της ακτινοπροστασίας Υπάρχουσα γνώση (2007)



Αποτελέσματα
ακτινοβολίας



Συστάσεις
ακτινοπροστασίας

Ρυθμιστικό πλαίσιο Ακτινοπροστασίας,



Διεθνές Επίπεδο

International Atomic Energy Agency (IAEA)

2014 Basic Safety Standards

Ευρωπαϊκή Ένωση

Council Directive 2013/59/EURATOM, 5 Dec. 2013

Εθνικό Επίπεδο

ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Υ.Α. 1014 / ΦΕΚ 216 τ.β / 6.3.2001



Έχει την ευθύνη για τη σύνταξη και την εφαρμογή των κανονισμών ακτινοπροστασίας.

Ελέγχει τις εφαρμογές των ακτινοβολιών

Δοσιμετρεί τους εργαζομένους με ακτινοβολίες.

Παρέχει εκπαίδευση, πληροφορίες, συμβουλές.

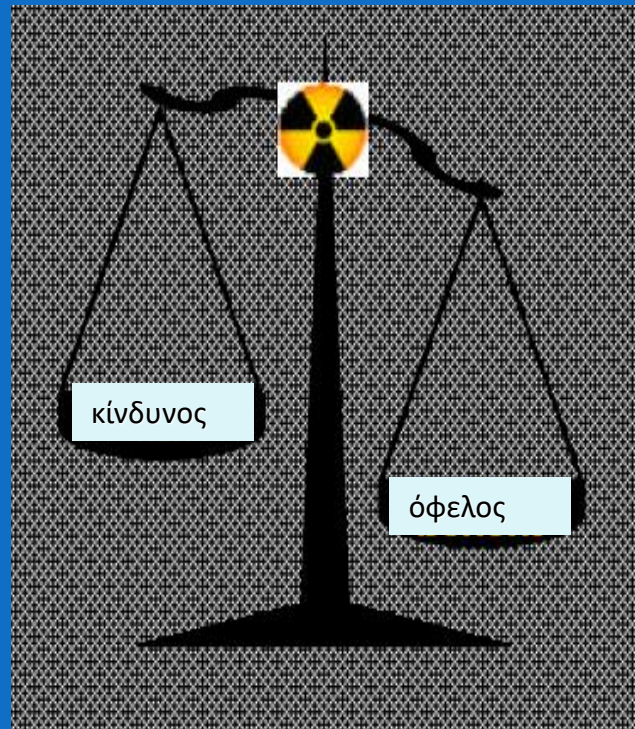
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αιτιολόγηση
Βελτιστοποίηση
Όρια Δόσεων

Αιτιολόγηση
Βελτιστοποίηση
Όρια Δόσεων

Αιτιολόγηση

Για να εφαρμοστεί μια πρακτική που προϋποθέτει έκθεση σε ακτινοβολία, πρέπει αυτή να προσφέρει καθαρό όφελος στον εκτιθέμενο ή στο κοινωνικό σύνολο.



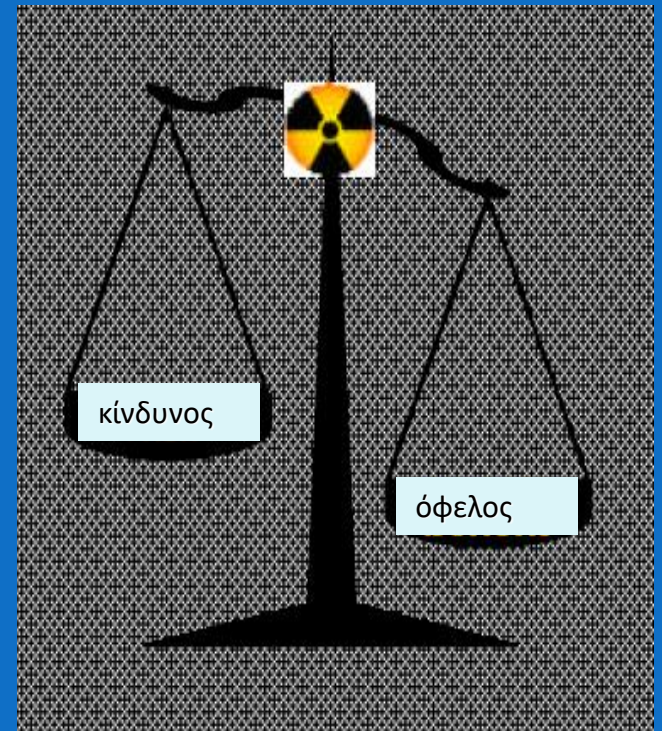
Αιτιολόγηση Ιατρικές εφαρμογές

Κρατικό Επίπεδο

Ειδική Επιτροπή του Υ.Υ.Π.

Ατομικό Επίπεδο

η έκθεση αιτιολογείται με τη συνεργασία παραπέμποντος και θεράποντος ιατρού, με βάση τα ατομικά γνωρίσματα του εκτιθεμένου.





Ευρωπαϊκή Επιτροπή

ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ 118

Οδηγίες για την παραπομπή ασθενών για ακτινολογικές εξετάσεις



ΚΛΙΝΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΕΞΕΤΑΣΗ [ΔΟΣΗ]	ΣΥΣΤΑΣΗ [ΒΑΘΜΟΣ]	ΣΧΟΛΙΟ
Συμπτώματα από το μέσο ή έσω ους (συμπεριλαμβανόμενου αίτηρου) A11	CT (II)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η αξιολόγηση αυτών των συμπτωμάτων απαιτεί ΩΡΛ, νευρολογική ή νευροχειρουργική ειδικότητα.
Αιθητηριακή νευρογενής κώφωση (για τα παιδιά βλέπε το τμήμα II) A12	MR (0)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η MR είναι πολύ καλύτερη από την CT, ιδίως για ακουστικά νεurinώματα. Για την κώφωση σε παιδιά βλέπε II4.
Νόσος των παραρινικών κόλπων	XR κόλπου (I)	Δεν ενδείκνυται ως συνήθης διαδικασία (B)	Η πάχυνση του βλεννογόνου είναι μη ειδικό εύρημα και μπορεί να συμβεί σε ασυμπτωματικούς ασθενείς.
(για τα παιδιά βλέπε το τμήμα II) A13	CT (II)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η CT είναι πιο ικανοποιητική και παρέχει μοναδικές πληροφορίες για την ανατομία των στομίων. Τεχνικές χαμηλής δόσης είναι επιθυμητές. Ενδείκνυται όταν αποτύχει η μέγιστη ιατρική θεραπεία, όταν εμφανίζονται επιπλοκές ή εάν υπάρχει υποψία κακοήθειας.
Άνοια και ανωμαλίες μνήμης, πρώτη εκδήλωση ψύχωσης	Ακτινογραφία κρανίου (I)	Δεν ενδείκνυται ως συνήθης διαδικασία (B)	Να εξετάζεται η περίπτωση της εξέτασης εάν η κλινική πορεία είναι ασυνήθιστη ή στους νεότερους ασθενείς.

A. Κεφαλή

Κριτήρια Παραπομπής Ασθενών

ΟΔ.ΕΕ 97/43 K.A.

Άρθρο 6

Μέρος 1

Βελτιστοποίηση

(**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable)

- ✓ **Διάγνωση:** οι δόσεις στις ιατρικές εκθέσεις θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερες δίνοντας ταυτόχρονα την επιθυμητή διαγνωστική πληροφορία, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες



Ευρωπαϊκή Επιτροπή

ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ 118

Οδηγίες για την παραπομπή ασθενών για ακτινολογικές εξετάσεις



ΚΛΙΝΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΕΞΕΤΑΣΗ [ΔΟΣΗ]	ΣΥΣΤΑΣΗ [ΒΑΘΜΟΣ]	ΣΧΟΛΙΟ
Συμπτώματα από το μέσο ή έσω ους (συμπεριλαμβανόμενου αίτηρου) A11	CT (II)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η αξιολόγηση αυτών των συμπτωμάτων απαιτεί ΩΡΛ, νευρολογική ή νευροχειρουργική ειδικότητα.
Αιθητηριακή νευρογενής κώφωση (για τα παιδιά βλέπε το τμήμα II) A12	MR (0)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η MR είναι πολύ καλύτερη από την CT, ιδίως για ακουστικά νευρίνωματα. Για την κώφωση σε παιδιά βλέπε II4.
Νόσος των παραρρινικών κόλπων	XR κόλπου (I)	Δεν ενδείκνυται ως συνήθης διαδικασία (B)	Η πάχυνση του βλεννογόνου είναι μη ειδικό εύρημα και μπορεί να συμβεί σε ασυμπτωματικούς ασθενείς.
(για τα παιδιά βλέπε το τμήμα II) A13	CT (II)	Ειδικές εξετάσεις (B)	Η CT είναι πιο ικανοποιητική και παρέχει μοναδικές πληροφορίες για την ανατομία των στομίων. Τεχνικές χαμηλής δόσης είναι επιθυμητές. Ενδείκνυται όταν αποτύχει η μέγιστη ιατρική θεραπεία, όταν εμφανίζονται επιπλοκές ή εάν υπάρχει υποψία κακοήθειας.
Άνοια και ανωμαλίες μνήμης, πρώτη εκδήλωση ψύχωσης	Ακτινογραφία κρανίου (I)	Δεν ενδείκνυται ως συνήθης διαδικασία (B)	Να εξετάζεται η περίπτωση της εξέτασης εάν η κλινική πορεία είναι ασυνήθιστη ή στους νεότερους ασθενείς.

A. Κεφαλή

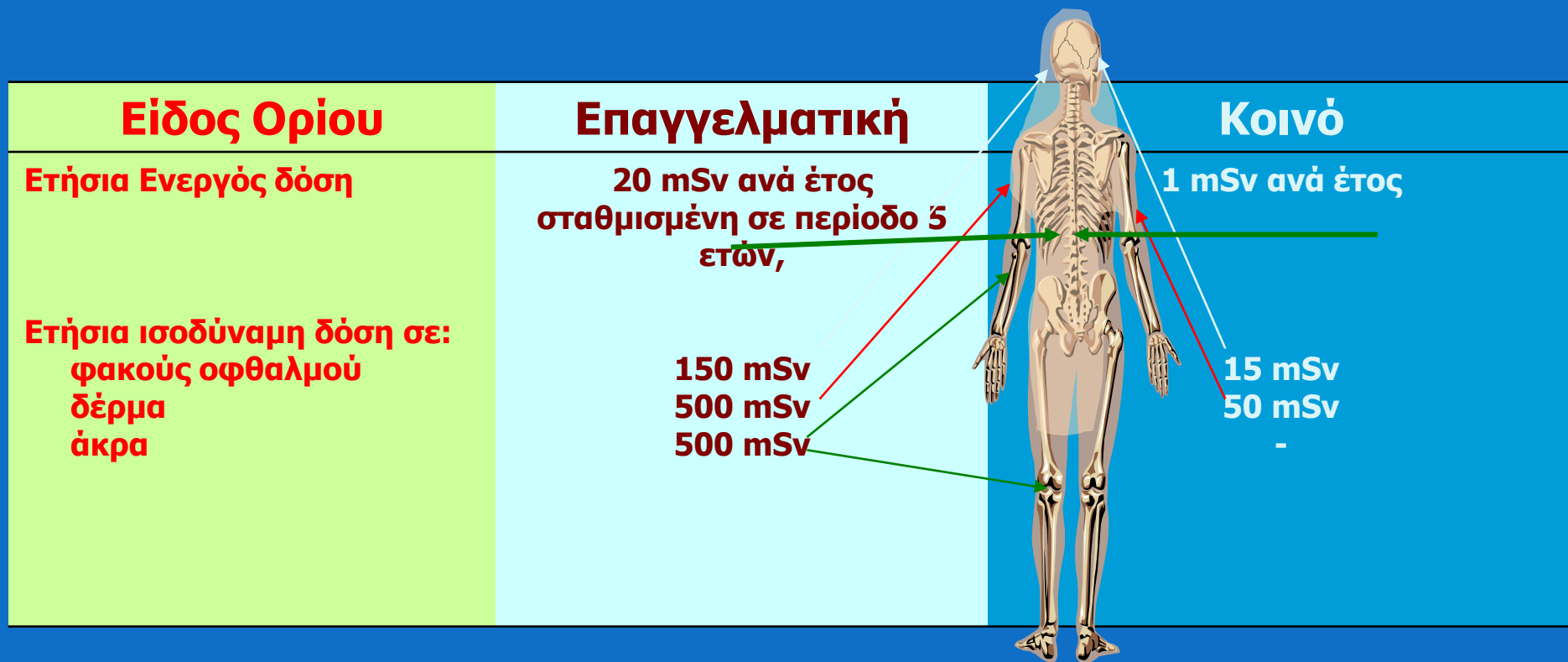
Κριτήρια Παραπομπής Ασθενών

ΟΔ.ΕΕ 97/43 K.A.

Άρθρο 6

Μέρος 1

Όρια δόσεων για σχεδιασμένες καταστάσεις έκθεσης



Επαγγελματικός κίνδυνος

	θάνατοι / έτος
Βιομηχανία πετρελαίου-αερίου	1 / 600
Λατομεία	1 / 3,000
Ανθρακορυχεία	1 / 5,000
Σιδηρόδρομοι	1 / 6,000
Οικοδομή	1 / 7,000
Γεωργία	1 / 9,000
Χημική Βιομηχανία	1 / 12,000
Αυτοκινητοβιομηχανία	1 / 70,000
Βιομηχανία ρούχων	1 / 200,000





 **1 / 1000**

Επαγγελματικός κίνδυνος στην Ελλάδα

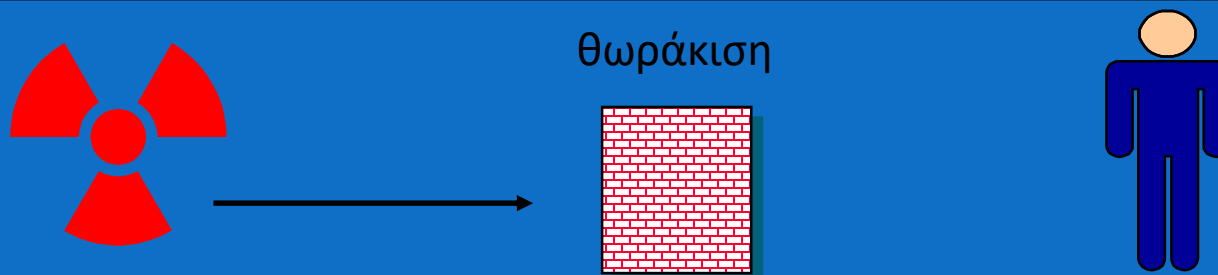
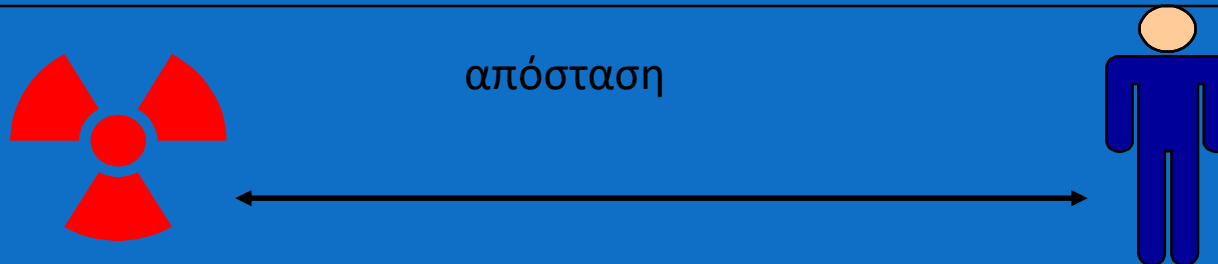
	Ετήσια Δόση mSv	Αναμενόμενοι θάνατοι / έτος
Επιτρεπόμενα όρια δόσεων	20.0	1/ 1,000
Επεμβατική καρδιολογία	4.0*	1/ 5,000
Έλληνες εργαζόμενοι	0.6*	1/ 30,000
Ακτινολόγοι	0.6*	1/ 30,000

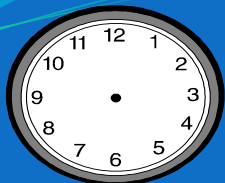
* Καταγραφείσα Μέση Ετήσια Δόση, στοιχεία ΕΕΑΕ

Επαγγελματικός κίνδυνος στην Ελλάδα

	Θάνατοι / έτος	
Βιομηχανία πετρελαίου-αερίου	1 / 600	
Λατομεία	1 / 3,000	 ΟΡΙΑ (1/1000)
Ανθρακορυχεία	1 / 5,000	
Σιδηρόδρομοι	1 / 6,000	 ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΟΙ (1 / 5,000)
Οικοδομή	1 / 7,000	
Γεωργία	1 / 9,000	
Χημική Βιομηχανία	1 / 12,000	
Αυτοκινητοβιομηχανία	1 / 70,000	 ΝΟΣΗΛΕΥΤΕΣ - ΤΕΧΝΟΛΟΓΟΙ (1/10,000)
Βιομηχανία ρούχων	1 / 200,000	 ΠΥΡ. ΙΑΤΡΟΙ (1 / 14,500)

Βασικοί κανόνες ακτινοπροστασίας

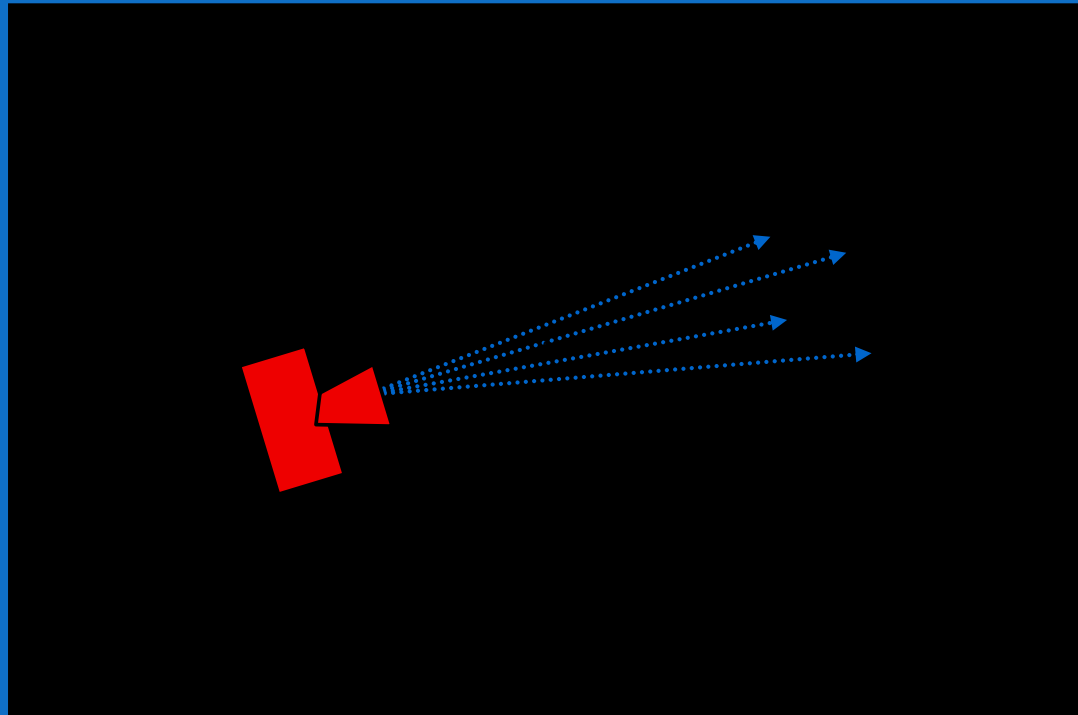
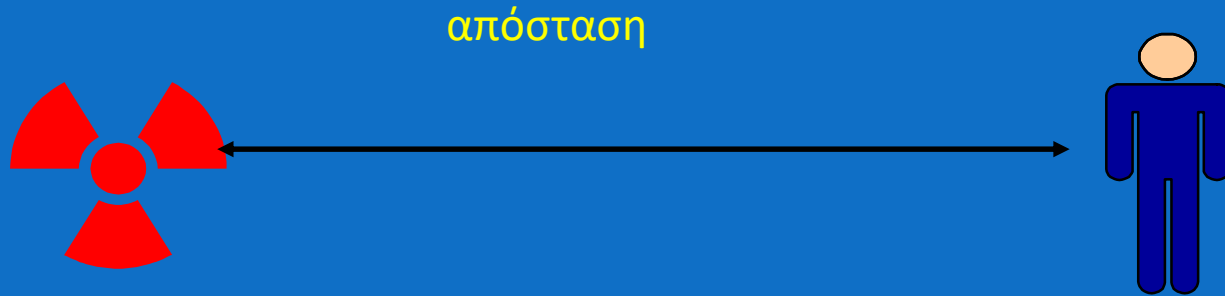




1. Βασικός κανόνας ελαχιστοποίησης του χρόνου έκθεσης σε ακτινοβολία

- Η δόση είναι ανάλογη της διάρκειας της έκθεσης, άρα χρόνος εργασίας πρέπει να ελαχιστοποιείται.
- Ο εργαζόμενος πρέπει να είναι ενήμερος για τα χαρακτηριστικά της πηγής.
- Η αλόγιστη επίσπευση της εργασίας ενδέχεται να οδηγήσει σε λάθη.
- Η εξάσκηση του εργαζομένου είναι προϋπόθεση για τον προγραμματισμό βελτιστοποίησης της έκθεσής του.

2. Βασικός κανόνας της απόστασης μεταξύ εκτιθεμένου ατόμου και πηγής



3. Βασικός κανόνας παρεμβολής θωράκισης μεταξύ εκτιθεμένου και πηγής

Χαρτί

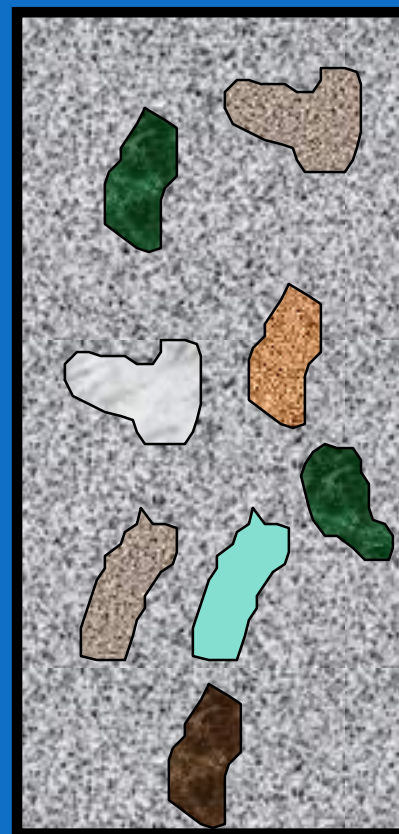
Plexiglass

Σκυρόδεμα

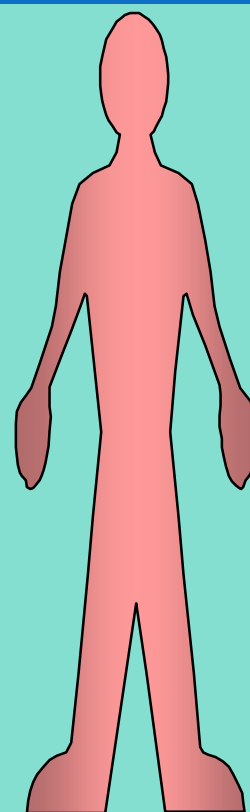
α



β



γ



Επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας στο κυοφορούμενο παιδί

Συναρτώνται με:

- Την ηλικία και το μέγεθος του εμβρύου
- Τη δόση στο έμβρυο

μέγιστος



μικρότερος

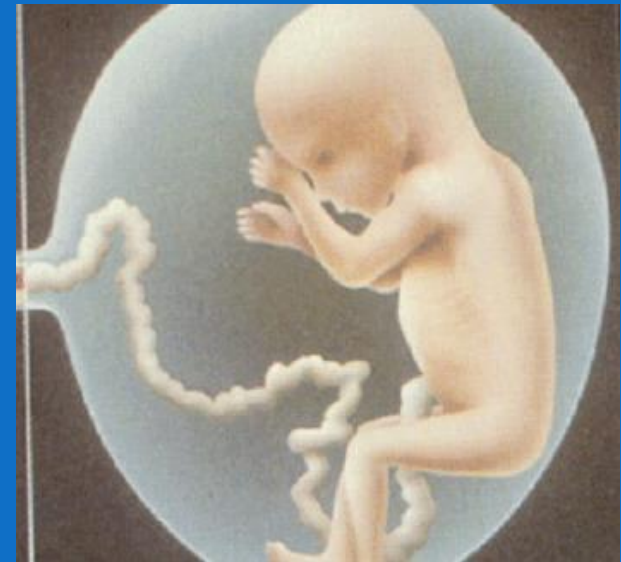


ελάχιστος





Ακτινοπροστασία του αγέννητου παιδιού σύμφωνα με τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Είδη αποτελεσμάτων στο έμβρυο μετά από ακτινοβόληση της μήτρας

1. Στοχαστικά αποτελέσματα:

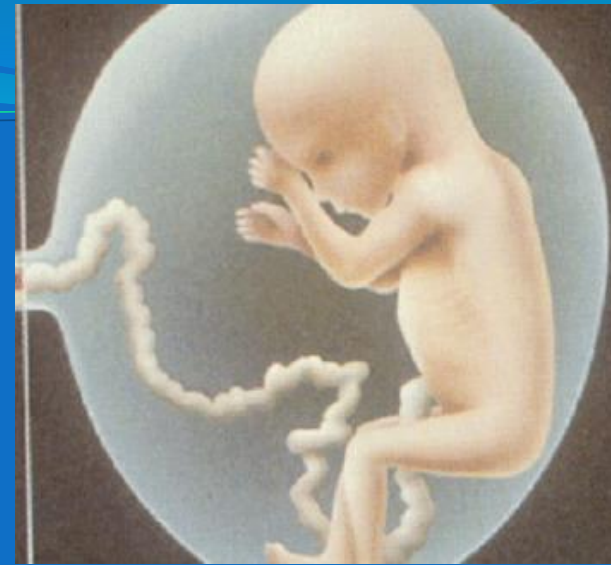
Μεταβολές σε κύτταρο που διατηρεί την ικανότητα πολλαπλασιασμού και οδηγούν στην ανάπτυξη κακοήθους κλώνου. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχει κατώφλι δόσης και ότι η πιθανότητα εμφάνισης είναι ανάλογη της δόσης.

2. Άμεσα αποτελέσματα:

Μείωση ή απώλεια της λειτουργίας οργάνου, οφειλόμενη σε κυτταρική βλάβη ή θάνατο. Θεωρούμε ότι υπάρχει κατώφλι δόσης

Άμεσα αποτελέσματα στο έμβρυο μετά από ακτινοβόληση της μήτρας:

Χρόνος μετά τη σύλληψη (εβδομάδες)	Αποτέλεσμα	Κατώφλι δόσης mSv	Επικινδυνότητα
0-3	---	---	---
3-8	Δυσπλασία οργάνων	100	5×10^{-4} ανά mSv
8-15	Μείωση του δείκτη νοημοσύνης Βαριά διανοητική καθυστέρηση	> 100	Μείωση 30IQ μονάδων/Sv 0.4 - σε 1 Sv
15-25	Μείωση του δείκτη νοημοσύνης Βαρεία διανοητική καθυστέρηση	> 100	Μικρή πιθανότητα

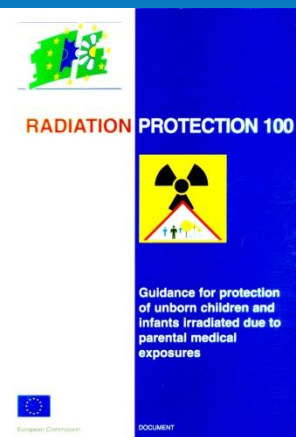


Εάν η εγκυμοσύνη δεν μπορεί να αποκλειστεί τότε ανάλογα με το είδος της ιατρικής έκθεσης, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή :

- στην αιτιολόγηση της έκθεσης σε περιπτώσεις επείγουσας ανάγκης,
- στη βελτιστοποίηση της έκθεσης - μητέρας και κυοφορούμενου παιδιού.

Κανόνας των δέκα ημερών (ten - day rule)

Γυναίκες σε αναπαραγωγική ηλικία μπορούν να εκτίθενται σε ιοντίζουσα ακτινοβολία στην περιοχή της πυέλου ή της κάτω κοιλίας μόνον κατά τη διάρκεια των δέκα πρώτων ημερών μετά την έναρξη της περιόδου.



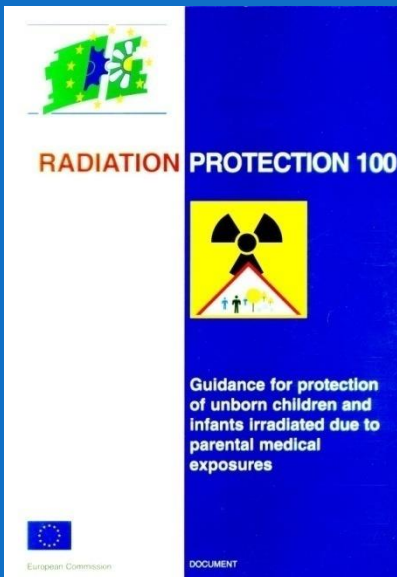
- Η ασθενής πρέπει να ερωτηθεί, γραπτά ή προφορικά, για την πιθανότητα να είναι έγκυος, ή την απώλεια ενός κύκλου. Οι απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο πρέπει να καταγράφονται.

- Εάν η γυναίκα, ο παραπέμπων ιατρός και ο ακτινολόγος ή ο επεμβατικός ιατρός δεν έχουν λόγο υποψίας εγκυμοσύνης, η εξέταση ή η θεραπεία μπορούν να πραγματοποιηθούν .

- Εάν υπάρχει αβεβαιότητα, η έκθεση πρέπει να αναβληθεί μέχρι την εμφάνιση της επόμενης περιόδου ή να γίνει test κυήσεως.

- Εάν οι αμφιβολίες σχετικά με την ύπαρξη εγκυμοσύνης παραμένουν, η ασθενής πρέπει να αντιμετωπιστεί ως έγκυος.

- Εάν η έκθεση ενέχει υψηλή δόση στη μήτρα, τότε εφαρμόζεται ο κανόνας των δέκα ημερών ή πραγματοποιείται test κυήσεως.





RADIATION PROTECTION 100



Guidance for protection
of unborn children and
infants irradiated due to
parental medical
exposures



European Commission

DOCUMENT

Εάν η γυναίκα πρόκειται να αντιμετωπιστεί ως έγκυος,

I. Η εξέταση πραγματοποιείται -προσοχή στην προστασία του κυήματος αλλά και στην υγεία της μητέρας.

II. Η δόση στο κύημα υπολογίζεται πριν την πραγματοποίηση της έκθεσης και αν αυτό είναι εφικτό, επανεκτιμάται μετά από αυτήν

*Σε περιπτώσεις επείγουσας ανάγκης,
προέχει η άμεση διάγνωση.*

Οι απαιτήσεις για την επιβίωση
αντισταθμίζουν οποιεσδήποτε
επιφυλάξεις για πιθανές βλαβερές
επιπτώσεις της ακτινοβολίας.