



ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3

Η ΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
ΣΤΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ



Η ΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Συνοπτικά περιεχόμενα

Εισαγωγή

3.1 Το κύτταρο

3.2 Ραδιόλυση του νερού

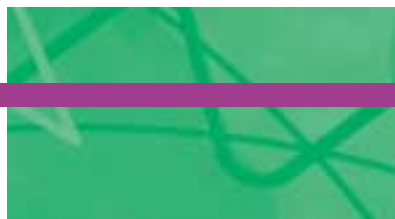
3.3 Στάδια βιολογικής βλάβης

3.4 Βλαπτικές επιδράσεις στο κύτταρο

3.5 Βλαπτικές επιδράσεις στους ιστούς και τα όργανα

3.6 Πηγές πληροφοριών που αφορούν την ακτινοβολήση
ανθρώπου

Περίληψη



Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

1. Να περιγράφεις τη δομή του κυττάρου
2. Να περιγράφεις τη ραδιόλυση του νερού
3. Να αναφέρεις και να περιγράφεις τα στάδια βιολογικής βλάβης
4. Να εξηγείς τις διαφορές μεταξύ της άμεσης και της έμμεσης δράσης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας
5. Να εξηγείς τις καρπύλες επιβίωσης των κυττάρων
6. Να αναφέρεις τις βλαπτικές επιδράσεις της ακτινοβολίας στο κύτταρο
7. Να αναφέρεις τα διάφορα είδη των χρωμοσωματικών διασπάσεων
8. Να περιγράφεις τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας στους ιστούς και τα όργανα
9. Να αναφέρεις το νόμο Bergonie και Tribondeau
10. Να γνωρίζεις τις διάφορες πηγές πληροφοριών που αφορούν την ακτινοβόληση ανθρώπου

Ορολογία

Άμεση δράση
Ατυπία
Γονίδιο
Ελεύθερη ρίζα
Έμμεση δράση
Θεωρία του στόχου
Καρπύλη επιβίωσης

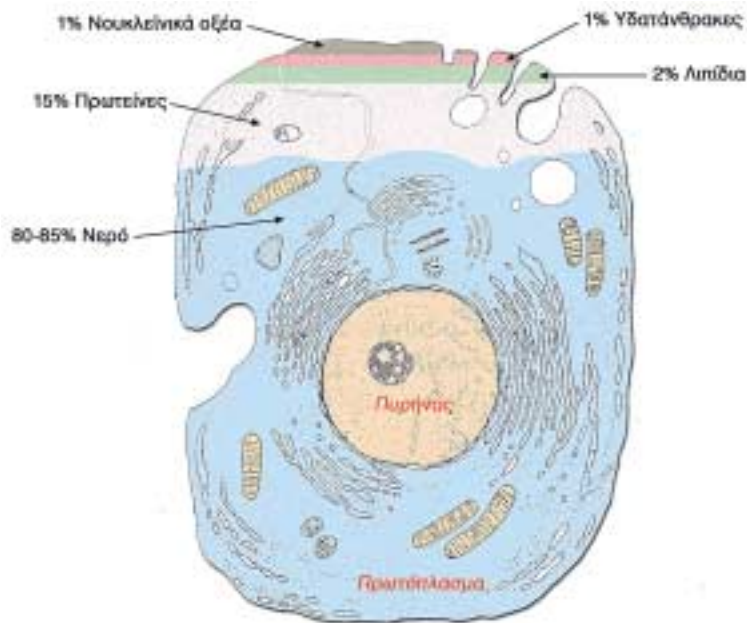
Μετάλλαξη
Νόμος Bergonie και Tribondeau
Πρωτόπλασμα
Πυρήνας
Ραδιόλυση του νερού
Χάσμα
Χρωμοσωματική διάσπαση

Εισαγωγή

Ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από μεγάλο αριθμό κυττάρων, τα περισσότερα από τα οποία μπορούν να υποστούν βλάβη από την ακτινοβολία. Επειδή τα αποτελέσματα της δράσης της ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς συμβαίνουν κυρίως στο κυτταρικό επίπεδο, όλοι οι επαγγελματίες που χρησιμοποιούν ακτινοβολίες για ιατρικούς σκοπούς θα πρέπει να έχουν τις στοιχειώδεις έστω γνώσεις για τη δομή και λειτουργία του κυττάρου καθώς και για την ανεπιθύμητη δράση της ακτινοβολίας πάνω στα κύτταρα.

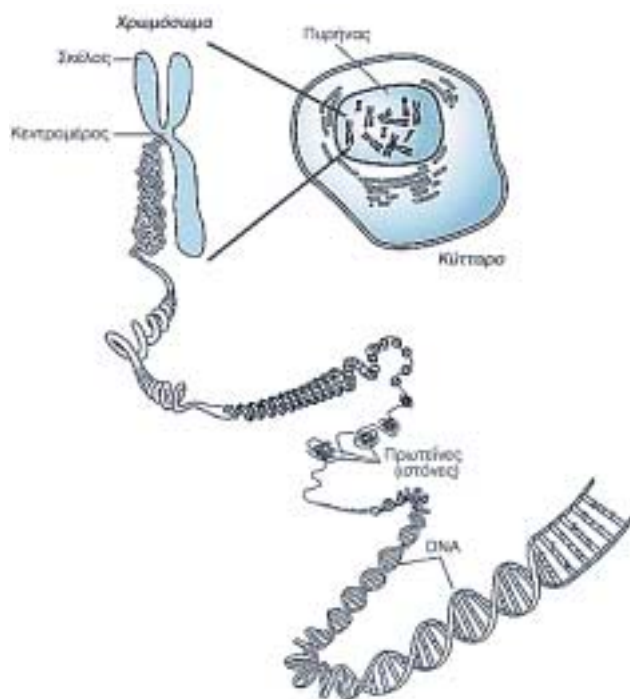
3.1. Το κύτταρο

Το κύτταρο περιβάλλεται από την κυτταρική μεμβράνη και αποτελείται από το πρωτόπλασμα και τον πυρήνα (εικ.3.1). Το *πρωτόπλασμα* περιέχει σε ποσοστό περίπου 80% νερό, διάφορα οργανίδια που εκτελούν ξεχωριστές λειτουργίες, μακρομόρια (πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα, πολυσακχαρίτες) και μικρομόρια (αμινοξέα, σάκχαρα, άλατα, ιόντα).



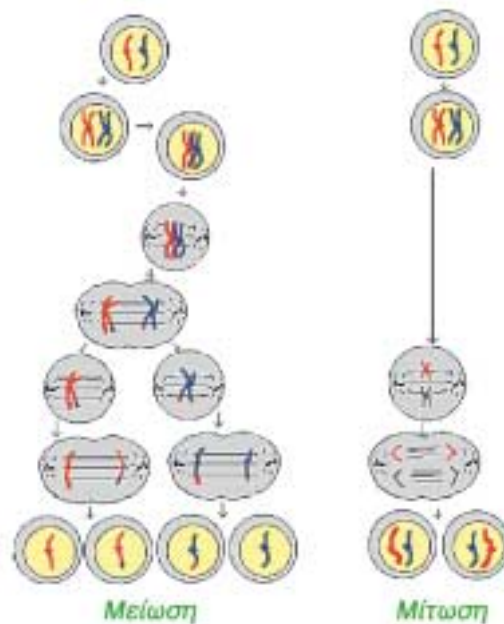
Εικ.3.1. Βασική δομή του κυττάρου.

Στον πυρήνα του κυττάρου βρίσκονται τα χρωμοσώματα που περιέχουν τις γενετικές πληροφορίες του οργανισμού. Κάθε *χρωμόσωμα* σχηματίζεται από μακρές αλυσίδες δεσοξυριβο-νουκλεϊνικού οξέος (DNA) και αποτελείται από μια σφαιρική περίσφιξη, το κεντρομέρος και τα σκέλη του (εικ.3.2). Η πολύ μεγάλη συμπύκνωση του μορίου του DNA γίνεται με πρωτεΐνες, ώστε κάθε μόριο DNA τελικά να είναι περίπου 50.000 φορές κοντύτερο από το ίδιο μόριο σε εκπτύχωση. Η ουσία από την οποία αποτελείται το χρωμόσωμα - DNA και πρωτεΐνες - ονομάζεται *χρωματίνη*. Τα τμήματα του DNA που έχουν καθορισμένη σύνθεση και είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία συγκεκριμένης πρωτεΐνης ονομάζονται γονίδια.



Εικ.3.2. DNA και χρωμοσώματα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κυτταρικής διαίρεσης η *μίτωση* και η *μείωση*. Με τη μίτωση σχηματίζονται δύο όμοια κύτταρα με τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων, με τη μείωση σχηματίζονται 4 νέα κύτταρα με το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων (εικ.3.3). Το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών μιτώσεων ονομάζεται *μεσόφαση*. Με τη μίτωση γίνονται όλα τα σωματικά κύτταρα ενώ με τη μείωση όλα τα γεννητικά κύτταρα (ωάρια και



Εικ.3.3. Είδη κυτταρικής διαίρεσης: μείωση και μίτωση.

σπερματοζώαρια). Τα σωματικά κύτταρα περιέχουν δύο σειρές χρωμοσωμάτων και ονομάζονται διπλοειδικά ενώ τα γεννητικά κύτταρα περιέχουν μια σειρά χρωμοσωμάτων και ονομάζονται απλοειδικά.

Διακρίνονται τρία είδη κυτταρικών πληθυσμών, τα αρχέγονα κύτταρα, τα μεταβατικά κύτταρα και τα ώριμα κύτταρα. Τα *αρχέγονα κύτταρα* είναι οι πρόγονοι των ώριμων διαφοροποιημένων κυττάρων, όπως είναι τα μυϊκά και τα νευρικά κύτταρα. Τα *μεταβατικά κύτταρα* είναι κύτταρα που εμφανίζουν έντονη μιτωτική δραστηριότητα και τροφοδοτούν τους ιστούς με ώριμα κύτταρα. Τα *ώριμα κύτταρα* είναι κύτταρα πλήρως διαφοροποιημένα χωρίς μιτωτική δραστηριότητα.

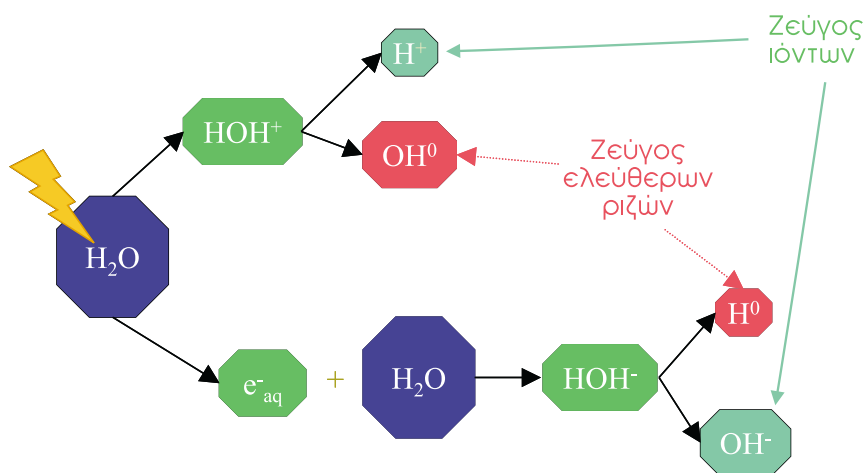
3.2. Ραδιόλυση του νερού

Οι περισσότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ακτινοβολίας και των ανθρώπινων ιστών γίνεται με το νερό, επειδή το μόριο του νερού υπάρχει άφθονο στο σώμα (Πίνακας 3.1). Έτσι η πιθανότητα να “χτυπηθεί” ένα μόριο νερού από την ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη από την πλήξη ενός σημαντικού μορίου στο κύτταρο, όπως το DNA.

Μόρια του σώματος	Ποσοστό
Ύδωρ	80%
Πρωτεΐνες	15%
Λιπίδια	2%
Υδατάνθρακες	1%
Νουκλεϊνικά οξέα	1%
Άλλα στοιχεία	1%

Πίνακας 3.1. Μόρια του σώματος: αφθονία του νερού (ύδατος) στο ανθρώπινο σώμα.

Η αλληλεπίδραση ιοντίζουσας ακτινοβολίας και νερού προκαλεί διεγέρσεις και ιοντισμούς (βλ. Κεφάλαιο 1). Ο ιοντισμός του νερού από την ακτινοβολία ονομάζεται *ραδιόλυση του νερού* και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ζευγαριού από ελεύθερες ρίζες και ενός ζευγαριού από ιόντα (εικ.3.4).



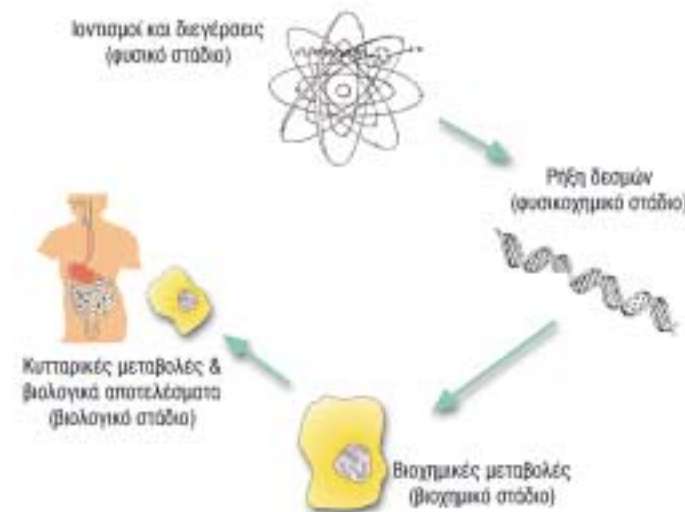
Εικ.3.4. Μηχανισμός ραδιόλυσης του νερού.

Τα ιόντα συνήθως επανασυνδέονται σε μόρια νερού χωρίς να προκαλέσουν καμία βλάβη.

Οι ελεύθερες ρίζες όμως, αν και έχουν χρόνο ζωής μικρότερο από 1ms, είναι χημικά εξαιρετικά δραστικές και μπορεί να διαχυθούν μακριά προκαλώντας σημαντικές βιολογικές βλάβες.

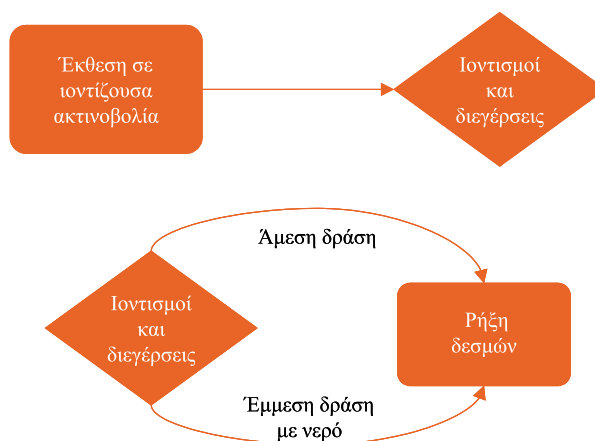
3.3. Στάδια βιολογικής βλάβης

Η βιολογική βλάβη που προκαλεί η ιοντίζουσα ακτινοβολία στα βιολογικά υλικά μπορεί να διαιρεθεί στο φυσικό στάδιο, στο φυσικοχημικό στάδιο, στο βιοχημικό στάδιο και στο βιολογικό στάδιο (εικ.3.5).



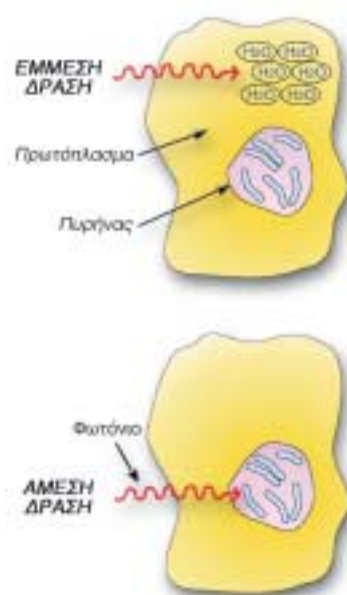
Εικ.3.5. Στάδια βιολογικής βλάβης.

Στο *φυσικό στάδιο* η ιοντίζουσα ακτινοβολία προκαλεί ιοντισμούς και διεγέρσεις οι οποίοι στο *φυσικοχημικό στάδιο* προκαλούν σπάσιμο των χημικών δεσμών στα διάφορα μακρομόρια (πρωτεΐνες, λιπίδια κλπ) (εικ.3.6).



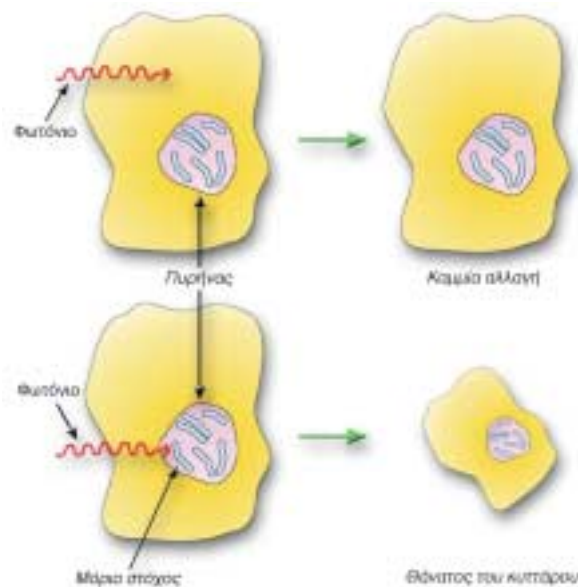
Εικ.3.6. Φυσικό και φυσικοχημικό στάδιο.

Το σπάσιμο των χημικών δεσμών μπορεί να γίνει με άμεσο ή με έμμεσο τρόπο. Την *άμεση δράση* εξηγεί η *θεωρία του στόχου* βάσει της οποίας η ακτινοβολία εναποθέτει ενέργεια στο ίδιο το βιολογικό μόριο που υφίσταται τη μεταβολή (εικ.3.7). Την *έμμεση δράση* εξηγεί η θεωρία των ελεύθερων ριζών και σύμφωνα με αυτήν το βιολογικό μόριο που υφίσταται την μεταβολή δεν απορροφά απευθείας την ενέργεια αλλά η βλάβη προκαλείται έμμεσα από τη δημιουργία ελεύθερων ριζών με τη ραδιόλυση του νερού.



Εικ.3.7. Μηχανισμοί μοριακών μεταβολών: έμμεση και άμεση δράση.

Στην άμεση δράση η μεταβολή εμφανίζεται σε άτομο του μορίου - στόχου, το οποίο τόσο στα σωματικά όσο και στα γενετικά κύτταρα θεωρείται ότι είναι το DNA. Τα μόρια στόχοι είναι λίγα στον αριθμό αλλά έχουν εξαιρετική σημασία για το κύτταρο (εικ.3.8). Επειδή - όπως αναφέρθηκε - το DNA είναι σπάνιο μόριο (Πίνακας 3.1), συμβαίνουν πολύ λίγες μοριακές μεταβολές με άμεση δράση, για παράδειγμα υπολογίζεται ότι μέσα στο κύτταρο, σε κάθε μόριο DNA αντιστοιχούν 7000 μόρια λιπιδίων και 1.200.000 μόρια νερού!



Εικ.3.8. Στην έμμεση δράση της ακτινοβολίας η πλήξη του μορίου στόχου οδηγεί στο θάνατο του κυττάρου.

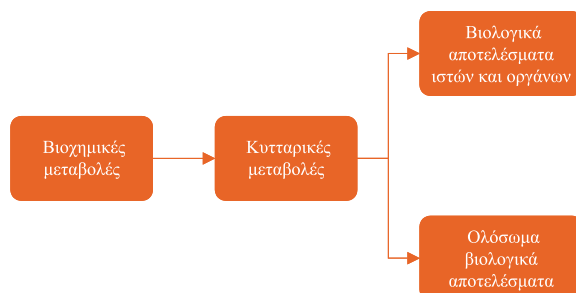
Στην έμμεση δράση σχηματίζονται ελεύθερες ρίζες με τη ραδιόλυση του νερού και τη δράση της ακτινοβολίας στα μακρομόρια. Οι ελεύθερες ρίζες διαχέονται στο κύτταρο και προκαλούν σπάσιμο των χημικών δεσμών σε σημαντικά μόρια-στόχους, όπως λόγω χάρη στις πρωτεΐνες οι ελεύθερες ρίζες αντιδρούν με τα αμινοξέα και σπάνε τους πεπτιδικούς δεσμούς. Οι χημικοί δεσμοί στους ιστούς καταστρέφονται με ενέργειες της τάξης των 5-7 eV π.χ. ένα φωτόνιο X των 100 keV παράγει φωτοηλεκτρόνιο με κινητική ενέργεια περίπου 100 keV που φτάνει για να σπάσει περίπου 17.000 χημικούς δεσμούς! Ευτυχώς στην πράξη σπάζει μικρός αριθμός δεσμών, γιατί το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας ξοδεύεται σε διεγέρσεις.

Στο τρίτο στάδιο, το βιοχημικό στάδιο, η διάσπαση των δεσμών προκαλεί αλλοίωση της βιοχημικής κατάστασης των μορίων που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή κυτταρική βλάβη (εικ.3.9).



Εικ.3.9. Βιοχημικό στάδιο.

Τέλος στο βιολογικό στάδιο οι βιοχημικές μεταβολές προκαλούν κυτταρικές μεταβολές που οδηγούν είτε σε βιολογικά αποτελέσματα στους ιστούς και τα όργανα είτε σε ολόσωμα βιολογικά αποτελέσματα (εικ.3.10).

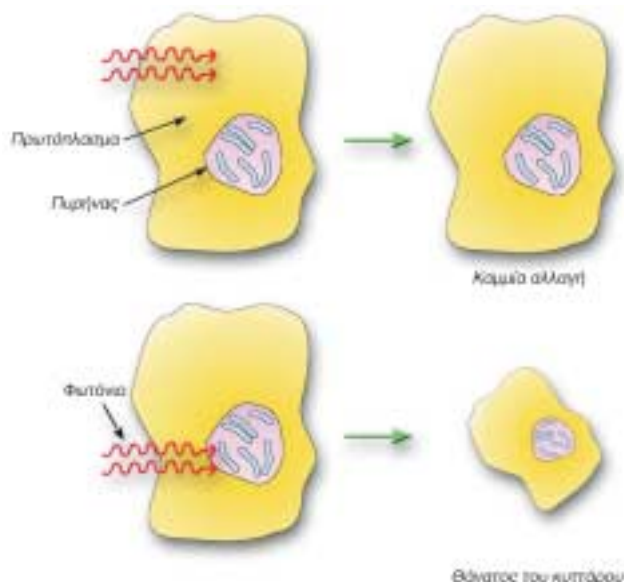


Εικ.3.10. Βιολογικό στάδιο.

Τα βιολογικά αποτελέσματα διακρίνονται σε άμεσα και απώτερα και σε σωματικά και γενετικά. Τα *άμεσα* βιολογικά αποτελέσματα εκδηλώνονται αμέσως, δηλαδή μέχρι μερικές εβδομάδες μετά την ακτινοβολήση ενώ τα *απώτερα* εκδηλώνονται σε μεγαλύτερο χρόνο (μακρά λανθάνουσα περίοδος). Τα *σωματικά* βιολογικά αποτελέσματα αφορούν μόνο τα σωματικά κύτταρα ενώ τα *γενετικά* αφορούν τα γενετικά κύτταρα.

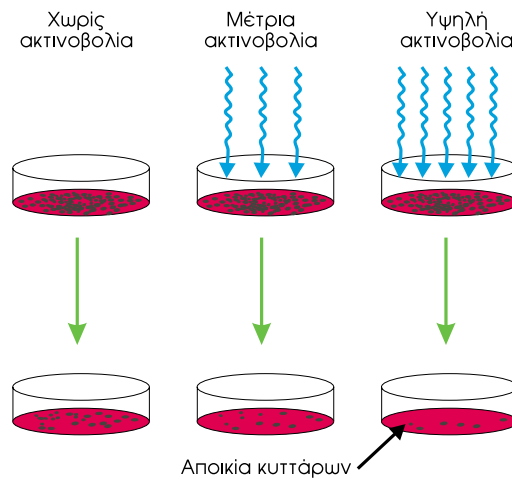
3.4. Βλαπτικές επιδράσεις στο κύτταρο

Το πρωτόπλασμα του κυττάρου δεν περιέχει το μόριο στόχο DNA και δεν είναι πολύ ακτινοευαίσθητο ενώ ο πυρήνας που περιέχει DNA είναι πολύ ακτινοευαίσθητος (εικ. 3.11), για παράδειγμα όταν ακτινοβολείται μόνο το πρωτόπλασμα, απαιτούνται περίπου 10 Gy για να προκληθεί θάνατος του κυττάρου ενώ, όταν ακτινοβολείται μόνο ο πυρήνας, απαιτείται μόλις 1 Gy!



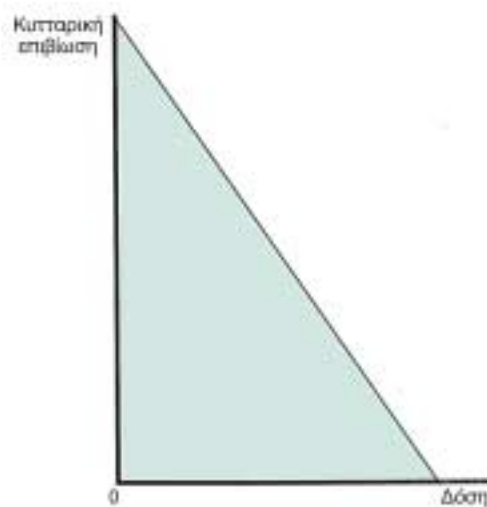
Εικ.3.11. Ακτινοευαισθησία πυρήνα και πρωτοπλάσματος.

Οι Puck και Marcus το 1956 καλλιέργησαν κύτταρα από καρκίνο του τραχήλου της μήτρας και στη συνέχεια τα εξέθεταν σε διάφορες δόσεις ακτινοβολίας. Κατόπιν μετρούσαν τον αριθμό αποικιών που σχημάτιζαν τα κύτταρα που επιβίωναν (εικ.3.12).



Εικ.3.12. Πείραμα των Puck και Marcus.

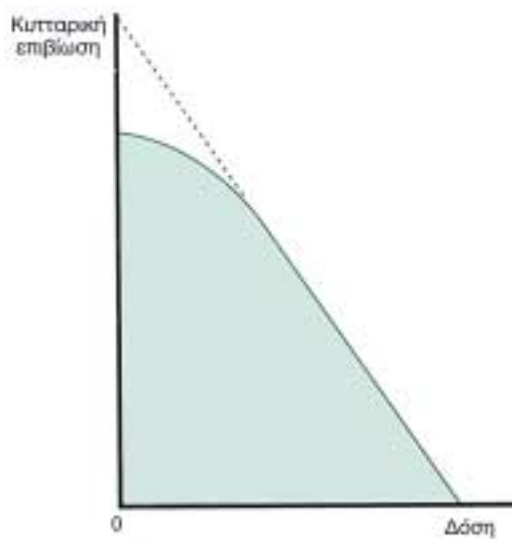
Μελετώντας απλά κύτταρα όπως ιούς και βακτηρίδια ή χρησιμοποιώντας ακτινοβολίες που προκαλούν πυκνούς ιοντισμούς (υψηλής LET) τα αποτελέσματά τους έδειξαν μια γραμμική σχέση μεταξύ των κυττάρων που επιβίωσαν και της δόσης. Η γραφική παράσταση της δόσης και της κυτταρικής επιβίωσης ονομάζεται *καμπύλη επιβίωσης* (εικ.3.13). Στα κύτταρα αυτά λοιπόν ένα χτύπημα της ακτινοβολίας σε μια ευαίσθητη θέση - στόχο οδηγεί αμέσως σε κυτταρικό θάνατο (μοντέλο του ενός στόχου-ενός χτυπήματος).



Εικ. 3.13. Η καμπύλη επιβίωσης σε απλά κύτταρα είναι γραμμική.

Η καμπύλη επιβίωσης σε πολύπλοκα κύτταρα όπως είναι τα κύτταρα του ανθρώπου ή για ακτινοβολίες που προκαλούν αραιούς ιοντισμούς (χαμηλής LET) παρουσιάζει μια αρχική περιοχή ελαττωμένης ακτινοευαισθησίας που ονομάζεται *ώμος* (εικ.3.14). Στα πλαίσια της θεωρίας του στόχου κάθε τέτοιο κύτταρο έχει έναν ειδικό αριθμό στόχων, οι οποίοι πρέπει να αδρανοποιηθούν από ένα ή περισσότερα χτυπήματα. Μόνο η αδρανοποίηση όλων των στόχων οδηγεί σε θάνατο του κυττάρου. Αυτή η βλάβη περιγράφεται δηλαδή από το μοντέλο των πολλαπλών στόχων - ενός χτυπήματος.

Εικ.3.14. Η καμπύλη επιβίωσης σε πολύπλοκα κύτταρα παρουσιάζει ώμο.



Οι βλαπτικές επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας στο κύτταρο μπορεί να αφορούν:

- καθυστέρηση στη μίτωση,
- μεσοφασικό θάνατο,
- αναπαραγωγικό θάνατο και
- χρωμοσωματικές μεταβολές.

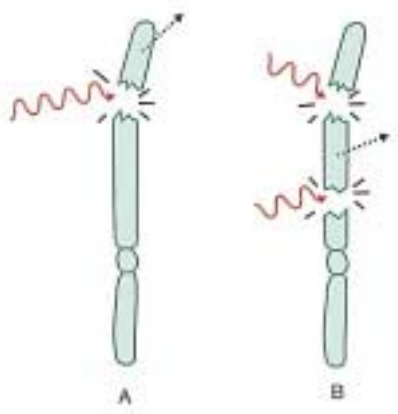
Στην *καθυστέρηση της μίτωσης* αναστέλλεται η κυτταρική διαίρεση χωρίς να επηρεάζεται η μετέπειτα αναπαραγωγική ικανότητα και η επιβίωση του κυττάρου.

Μεσοφασικός θάνατος (ή απόπτωση) ονομάζεται ο κυτταρικός θάνατος που συμβαίνει κατά τη μεσόφαση ενώ το κύτταρο σταματά να αναπαράγεται με σκοπό να επιδιορθώσει τη βλάβη. Η δόση για μεσοφασικό θάνατο εξαρτάται από το είδος του κυττάρου. Γενικά τα αδιαφοροποίητα διαιρούμενα κύτταρα είναι πιο ακτινοευαίσθητα από τα διαφοροποιημένα και μη διαιρούμενα κύτταρα.

Ο αναπαραγωγικός θάνατος έχει ως αποτέλεσμα την ανικανότητα του κυττάρου να αναπαραχθεί με το φυσιολογικό του ρυθμό αλλά με διατήρηση του μεταβολισμού του.

Στις *χρωμοσωματικές μεταβολές* ανήκουν οι εστιακές ή γονιδιακές μεταλλάξεις και οι χρωμοσωματικές διασπάσεις. Οι χρωμοσωματικές μεταβολές μπορεί να ανήκουν στα άμεσα ή στα απώτερα αποτελέσματα. Μετάλλαξη ονομάζουμε την απότομη αλλαγή του γενετικού υλικού η οποία δεν υπήρχε πριν και που κληρονομείται στον επόμενο οργανισμό (μεταλλαγμένο γαμετοκύτταρο) ή στα θυγατρικά κύτταρα (μεταλλαγμένο σωματικό κύτταρο). Μεταλλάξεις μπορεί να προκαλέσουν διάφορες χημικές ουσίες, ιοί, μυκοπλάσματα, οι μεταβολές της θερμοκρασίας και η υπερϊώδης και ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η ακτινοβολία δεν προκαλεί νέο τύπο μεταλλάξεων διαφορετικό από αυτές που συναντάμε στη φύση. Δεν υπάρχουν μοναδιαία αποτελέσματα από τη δράση της ακτινοβολίας: οτιδήποτε αποδίδεται στην ακτινοβολία μπορεί να έχει άλλη αιτία. Η ακτινοβολία απλά αυξάνει τη συχνότητα των μεταλλάξεων και ο αριθμός των μεταλλάξεων είναι ανάλογος με τη δόση και την LET. Η σχέση αυτή δεν ισχύει σε υψηλές δόσεις, διότι επέρχεται ένα είδος κορεσμού και σε χαμηλές δόσεις, διότι οι βλάβες μπορούν να επιδιορθωθούν.

Στις *εστιακές ή γονιδιακές μεταλλάξεις* συμβαίνει μεταβολή της σύνθεσης ενός γονιδίου, η οποία δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα με το μικροσκόπιο αλλά μόνο έμμεσα. Οι *χρωμοσωματικές διασπάσεις* διακρίνονται σε *χάσματα* και σε *ατυπίες*. Στα *χάσματα* η χρωματίνη δε θραύεται πλήρως ενώ στις *ατυπίες* συμβαίνει πλήρης θραύση ενός ή δύο χρωματισμάτων με ανώμαλη ανασυγκόλληση των άκρων τους και πιθανή ύπαρξη θραυσμάτων (εικ.3.15).



Εικ.3.15. Ατυπίες μιας θραύσης (Α) και δύο θραύσεων (Β).

3.5. Βλαπτικές επιδράσεις στους ιστούς και τα όργανα

Η ακτινοευαισθησία ενός ιστού ή ενός οργάνου εξαρτάται κυρίως από την ακτινοευαισθησία των κυττάρων που το αποτελούν. Ορισμένα όργανα εξαρτώνται πολύ από κύτταρα που διαιρούνται συχνά. Σ' αυτά τα όργανα τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας εκδηλώνονται σύντομα όπως λόγου χάριν στο επιθήλιο του γαστρεντερικού και το δέρμα. Σύμφωνα με τον νόμο Bergonie και Tribondeau η ακτινοευαισθησία ενός κυττάρου είναι ανάλογη της μεταβολικής κατάστασης του ακτινοβολούμενου κυττάρου. Σύμφωνα λοιπόν με αυτόν το νόμο,

- Τα νεότερα κύτταρα και οι ιστοί είναι πιο ακτινοευαίσθητα,
- Τα αδιαφοροποίητα κύτταρα είναι πιο ακτινοευαίσθητα και
- Όσο αυξάνει ο ρυθμός διαίρεσης του κυττάρου και ο ρυθμός αύξησης των ιστών τόσο αυξάνει και η ακτινοευαισθησία.

Τη μεγαλύτερη ακτινοευαισθησία έχουν ο λεμφικός και ο αιμοποιητικός ιστός ενώ τη μεγαλύτερη ακτινοευαισθησία στα όργανα έχουν το λεπτό έντερο και τα νεφρά. Τη μικρότερη ακτινοευαισθησία έχουν ο οστικός και ο νευρικός ιστός ενώ τη μικρότερη ακτινοευαισθησία στα όργανα έχουν ο εγκέφαλος και η καρδιά.

Η ευαισθησία όμως κάθε ιστού ή οργάνου δεν μπορεί να εξετασθεί αποκομμένη από τους ιστούς ή τα όργανα που το περιβάλλουν - χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η διατομή του νωτιαίου μυελού. Ο νωτιαίος μυελός είναι ο περισσότερο διαφοροποιημένος ιστός και αποτελείται από κύτταρα που δεν έχουν μιτωτική δραστηριότητα, άρα αναμένεται να έχει μικρή ακτινοευαισθησία. Ο νωτιαίος μυελός όμως έχει συνεχή ανάγκη από οξυγόνο και αίμα και έτσι μεγάλη δόση στα τοιχώματα των μικρών αγγείων του θα προκαλέσει οίδημα, το οποίο θα οδηγήσει σε μείωση της μεταβίβασης των νευρικών ώσεων που ανάλογα με τη θέση της βλάβης μπορεί να εκδηλωθεί ως αδυναμία στα κάτω άκρα, αναλγησία κλπ.

3.6. Πηγές πληροφοριών που αφορούν την ακτινοβόληση ανθρώπου

Οι γνώσεις μας για τα αποτελέσματα στον άνθρωπο της ολόσωμης ή τοπικής έκθεσης είναι περιορισμένες και είναι έμμεσου τύπου προερχόμενες από πειράματα σε άλλους ζωντανούς οργανισμούς και άμεσου τύπου από ανθρώπους. Οι γνώσεις άμεσου τύπου προέρχονται από την θεραπευτική ή διαγνωστική χρήση ακτίνων X και γ σε ανθρώπους, από επαγ-

γεωγραφική έκθεση, από κατοίκους περιοχών με υψηλή φυσική ακτινοβολία και από τους επιβιώσαντες των ατομικών εκρήξεων.

Στις περιπτώσεις με *θεραπευτική χρήση* ακτίνων Χ και γ ανήκουν ασθενείς που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία για τη θεραπεία αγγειοποιητικής σπονδυλίτιδας, πάθησης του τριχωτού της κεφαλής, υπερτροφίας του θύμου σε παιδιά, μαστίτιδας σε γυναίκες και παθήσεων του θυρεοειδούς με ιώδιο 131.

Πηγή πληροφοριών αποτελούν και οι ασθενείς, στους οποίους έγινε *διαγνωστική χρήση* της ουσίας Thorotrast που περιείχε ραδιενεργό θόριο, οι ασθενείς με πολλαπλές ακτινοσκοπήσεις για ψυματίωση, έμβρυα ακτινοβολημένα στη μήτρα και εθελοντές.

Χρήσιμες πληροφορίες παίρνουμε ακόμη από την *επαγγελματική έκθεση* Αμερικανών Ακτινολόγων πριν το 1930, εργαζόμενων σε ορυχεία ουρανίου, σε πυρηνικούς σταθμούς, σε κύκλοτρο, ή εργαζόμενων με ραδιονουκλίδια.

Κάτοικοι περιοχών με *υψηλή φυσική ακτινοβολία* είναι οι κάτοικοι στο Μάνδρας και την Κεράλα των Ινδιών, στον Αμαζόνιο, και στο Aberdeen της Σκωτίας, όπου υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα ραδιενεργών ουσιών.

Η σπουδαιότερη βέβαια πηγή πληροφοριών είναι οι επιβιώσαντες των *ατομικών εκρήξεων*. Από τους 350.000 κατοίκους της Χιροσίμα και τους 270.000 του Ναγκασάκι επιβίωσαν 82.000. Η μέση δόση αέρος για τους επιβιώσαντες ήταν 0.27Gy.

Το πιο γνωστό ατύχημα είναι το ατύχημα του Chernobyl το 1986 που οφειλόταν σε πολλαπλά ανθρώπινα λάθη και επεμβάσεις στην ασφαλή και αυτοματοποιημένη λειτουργία του αντιδραστήρα. Η εκτίναξη των ραδιονουκλιδίων στον αέρα προκάλεσε ένα ραδιενεργό νέφος κυρίως με καίσιο 137 και ιώδιο 131 που απλώθηκε σε όλη σχεδόν την Ευρώπη. Στο ατύχημα αυτό 444 εργάτες έλαβαν δόσεις από 1-2 Sv ενώ 135.000 άτομα σε μια ακτίνα 30 km έλαβαν δόσεις από 0.06 έως 0.45 Sv.

Περίληψη

Η δράση της ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς μπορεί να παρατηρηθεί στο μοριακό, στο κυτταρικό και στο οργανικό επίπεδο. Το κύτταρο αποτελείται κυρίως από νερό, γεγονός που έχει πολύ μεγάλη σημασία στη μελέτη των αποτελεσμάτων της ακτινοβολίας. Ο ιοντισμός του νερού από την ακτινοβολία ονομάζεται ραδιόλυση του νερού και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των χημικά, εξαιρετικά δραστικών ελεύθερων ριζών.

Η δράση της ακτινοβολίας στο κύτταρο μπορεί να γίνει με άμεσο ή με έμμεσο τρόπο. Την άμεση δράση εξηγεί η θεωρία του στόχου βάσει της οποίας η ακτινοβολία εναποθέτει ενέργεια στο ίδιο το βιολογικό μόριο που υφίσταται τη μεταβολή. Την έμμεση δράση εξηγεί η θεωρία των ελεύθερων ριζών βάσει της οποίας το βιολογικό μόριο που υφίσταται τη μεταβολή, δεν απορροφά απευθείας την ενέργεια αλλά η βλάβη προκαλείται έμμεσα από τη δημιουργία ελεύθερων ριζών με τη ραδιόλυση του νερού.

Η βιολογική βλάβη την οποία προκαλεί η ιοντίζουσα ακτινοβολία, μπορεί να διαιρεθεί σε 4 στάδια - στο φυσικό στάδιο, στο φυσικοχημικό στάδιο, στο βιοχημικό στάδιο και στο βιολογικό στάδιο. Οι βλαπτικές επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας στο κύτταρο μπορεί να αφορούν καθυστέρηση στη μίτωση, μεσοφασικό θάνατο, αναπαραγωγικό θάνατο και χρωμοσωματικές μεταβολές. Στις χρωμοσωματικές μεταβολές ανήκουν οι εστιάκες ή γονιδιακές μεταλλάξεις και οι χρωμοσωματικές διασπάσεις. Η ακτινοβολία δεν προκαλεί νέο τύπο μεταλλάξεων διαφορετικό από αυτές που συναντάμε στη φύση. Δεν υπάρχουν μοναδιαία αποτελέσματα από τη δράση της ακτινοβολίας: οτιδήποτε αποδίδεται στην ακτινοβολία μπορεί να έχει άλλη αιτία. Οι χρωμοσωματικές διασπάσεις διακρίνονται σε χάσματα και σε ατυπίες μίας ή δύο θραύσεων.

Οι καμπύλες επιβίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη της ακτινοευαισθησίας ενός τύπου κυττάρου. Σύμφωνα με το νόμο Bergonie και Tribondeau η ακτινοευαισθησία ενός κυττάρου είναι ανάλογη της μεταβολικής κατάστασης του ακτινοβολούμενου κυττάρου.

Οι γνώσεις μας για τα αποτελέσματα στον άνθρωπο της ολόσωμης ή τοπικής έκθεσης είναι περιορισμένες και είναι έμμεσου τύπου από πειράματα σε άλλους ζωντανούς οργανισμούς και άμεσου τύπου σε ανθρώπους από θεραπευτική ή διαγνωστική χρήση με X και γ, από επαγγελματική έκθεση, από κατοίκους περιοχών με υψηλή φυσική ακτινοβολία και από τους επιβιώσαντες των ατομικών εκρήξεων.

Ερωτήσεις

1. Ποιο από τα παρακάτω έχει τη μεγαλύτερη ακτινοευαισθησία στις ακτίνες X;
 - A. Δέρμα
 - B. Γονάδες
 - Γ. Θυρεοειδής
 - Δ. Οφθαλμός

2. Η αλληλεπίδραση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και του DNA ονομάζεται
 - A. άμεση δράση
 - B. έμμεση δράση
 - Γ. ρήξη δεσμών
 - Δ. ραδιόλυση
3. Οι περισσότερες αλληλεπιδράσεις ακτινοβολίας και ιστών γίνονται με
 - A. το νερό
 - B. τους υδρογονάνθρακες
 - Γ. τις πρωτεΐνες
 - Δ. τα νουκλεϊνικά οξέα
4. Οι περισσότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ ακτινοβολίας και ύλης εμφανίζονται μέσω
 - A. της άμεσης δράσης
 - B. της έμμεσης δράσης
 - Γ. των γενετικών κυττάρων
 - Δ. των πεπτιδικών δεσμών
5. Η ραδιόλυση του νερού προκαλεί
 - A. αυξημένη ακτινευαισθησία των ιστών που ακτινοβολούνται
 - B. μειωμένη ακτινευαισθησία των ιστών που ακτινοβολούνται
 - Γ. δημιουργία ελεύθερων ριζών
 - Δ. λύση του ραδίου
6. Κατά την άμεση δράση της ακτινοβολίας
 - A. προκαλείται αμέσως θάνατος του κυττάρου
 - B. υφίστανται μεταβολή βιολογικά μόρια μακριά από τα ακτινοβοληθέντα βιολογικά μόρια
 - Γ. υφίσταται μεταβολή το βιολογικό μόριο που ακτινοβολείται
 - Δ. προκαλούνται τα μικρότερα βιολογικά αποτελέσματα
7. Ποια είναι η βασική αρχή της θεωρίας του στόχου;
 - A. Ο πυρήνας είναι η πιο ακτινευαίσθητη δομή στο κύτταρο
 - B. Η επιβίωση του κυττάρου καθορίζεται από ένα μόριο κλειδί
 - Γ. Η άμεση είναι πιο επιβλαβής από την έμμεση δράση της ακτινοβολίας
 - Δ. Οι ελεύθερες ρίζες μέσα στο κύτταρο είναι πιο ακτινευαίσθητες

8. Σύμφωνα με τον νόμο Bergonie και Tribondeau ποιο από τα παρακάτω δεν ισχύει;
- A. Τα νεότερα κύτταρα και οι ιστοί είναι πιο ακτινευαίσθητοι
 - B. Τα αδιαφοροποίητα κύτταρα είναι λιγότερο ακτινευαίσθητα
 - Γ. Αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα αυξάνει την ακτινευαίσθησία
 - Δ. Αύξηση του ρυθμού διαίρεσης του κυττάρου αυξάνει την ακτινευαίσθησία
9. Οι γονιδιακές ή εστιακές μεταλλάξεις
- A. Ανήκουν στα γενετικά αποτελέσματα
 - B. Ανήκουν στα άμεσα σωματικά αποτελέσματα
 - Γ. Ανήκουν στα απώτερα σωματικά αποτελέσματα
 - Δ. Δεν έχουν σχέση με την έκθεση στις ακτινοβολίες
10. Ποιος από τους παρακάτω είναι ο περισσότερο ακτινευαίσθητος ιστός;
- A. νευρικός
 - B. χόνδρος
 - Γ. λεμφικός
 - Δ. δέρμα
11. Οι ελεύθερες ρίζες είναι
- A. μόρια με μεγάλη διάρκεια ζωής
 - B. δραστικά μόρια
 - Γ. ακίνδυνα μόρια
 - Δ. βιοχημικοί δεσμοί
12. Περίπου το 15% του κυττάρου είναι
- A. νερό
 - B. λιπίδια
 - Γ. πρωτεΐνες
 - Δ. νουκλεϊνικά οξέα
13. Η εξέλιξη των σταδίων βιολογικής βλάβης μετά από έκθεση σε ακτινοβολία ακολουθεί τη σειρά
- A. φυσικό στάδιο, φυσικοχημικό στάδιο, βιοχημικό στάδιο, βιολογικό στάδιο
 - B. φυσικό στάδιο, βιοχημικό στάδιο, φυσικοχημικό στάδιο, βιολογικό στάδιο
 - Γ. φυσικοχημικό στάδιο, φυσικό στάδιο, βιοχημικό στάδιο, βιολογικό στάδιο
 - Δ. φυσικοχημικό στάδιο, βιοχημικό στάδιο, φυσικό στάδιο, βιολογικό στάδιο

- 14.** Κατά την ακτινοβόληση του ύδατος παράγονται κυρίως μόρια
- A. νουκλεϊνικού οξέος
 - B. διέγερσης
 - Γ. ιονισμού
 - Δ. ελευθέρων ριζών
- 15.** Εξαιτίας της έμμεσης δράσης της ακτινοβολίας παράγονται
- A. ελεύθερες ρίζες
 - B. μόρια νερού
 - Γ. DNA
 - Δ. πρωτεΐνες
- 16.** Το μόριο στόχος ορίζεται σαν το μόριο εκείνο
- A. στο οποίο επιδράει η ακτινοβολία
 - B. το οποίο παράγει ελεύθερες ρίζες
 - Γ. που έχει δεσμούς οι οποίοι μπορούν να σπάσουν
 - Δ. που έχει ζωτική σημασία για τη λειτουργία του κυττάρου
- 17.** Τα κύρια μόρια στόχοι στο σώμα είναι
- A. το νερό
 - B. οι υδρογονάνθρακες
 - Γ. οι πρωτεΐνες
 - Δ. το DNA
- 18.** Η εξέλιξη των σταδίων βιολογικής βλάβης μετά απο έκθεση σε ακτινοβολία ακολουθεί τη σειρά
- A. σπάσιμο δεσμών, βιοχημικές μεταβολές, κυτταρικές μεταβολές, βιολογικές μεταβολές
 - B. σπάσιμο δεσμών, κυτταρικές μεταβολές, βιοχημικές μεταβολές, βιολογικές μεταβολές
 - Γ. βιοχημικές μεταβολές, σπάσιμο δεσμών, κυτταρικές μεταβολές, βιολογικές μεταβολές
 - Δ. βιοχημικές μεταβολές, κυτταρικές μεταβολές, σπάσιμο δεσμών, βιολογικές μεταβολές
- 19.** Ποιο από τα παρακάτω ισχύει για τη μεταλλαξιογόνο δράση της ακτινοβολίας
- A. Η δράση της ακτινοβολίας προκαλεί μοναδιαία αποτελέσματα
 - B. Η ακτινοβολία αυξάνει τη συχνότητα των μεταλλάξεων
 - Γ. Η σχέση μεταξύ δόσης και μεταλλάξεων είναι γραμμική

20. Η έμμεση δράση της ακτινοβολίας
- A. είναι το αποτέλεσμα ακτινοβόλησης των μορίων DNA
 - B. είναι ο κυρίαρχος τύπος δράσης της ακτινοβολίας στους βιολογικούς ιστούς
 - Γ. είναι το αποτέλεσμα της ακτινοβόλησης βιολογικών μακρομορίων
 - Δ. είναι αυτή κατά την οποία προκαλούνται τα λιγότερο βλαβερά αποτελέσματα

Απαντήσεις

- | | | | |
|-----|---|-----|---|
| 1. | B | 11. | B |
| 2. | A | 12. | Γ |
| 3. | A | 13. | A |
| 4. | B | 14. | Δ |
| 5. | Γ | 15. | A |
| 6. | Γ | 16. | Δ |
| 7. | B | 17. | Δ |
| 8. | B | 18. | A |
| 9. | A | 19. | B |
| 10. | Γ | 20. | B |

