

Η ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ ΤΗΣ ΣΠΟΝΔΥΛΙΚΗΣ ΣΤΗΛΗΣ

Χ. Κ. ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ
Ε. ΣΤΥΛΙΑΝΕΣΗ
Ε. ΑΝΤΩΝΟΓΙΑΝΝΑΚΗΣ

Α. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλοι οι άνθρωποι εκτίθενται καθημερινά σε διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως η θερμότητα, το ηλιακό φως, η υπεριώδης ακτινοβολία, τα μικροκύματα και η ιονίζουσα ακτινοβολία. Η ιονίζουσα ακτινοβολία και κυρίως οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γάμμα χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς. Η ιονίζουσα ακτινοβολία αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τη δημόσια υγεία και συνιστά, επίσης, και σημαντικό επαγγελματικό κίνδυνο^{1,8,16}. Η ακτινοβολία που δεχόμαστε από το περιβάλλον προέρχεται από το έδαφος και τα πετρώματα, αλλά και από το διάστημα, όπως η κοσμική ακτινοβολία. Είμαστε εκτεθειμένοι περίπου σε 125 mrem ακτινοβολίας ανά έτος από φυσικές πηγές, που ευθύνονται για το 2% της μέγιστης επιτρεπόμενης ετήσιας δόσης (διάγραμμα 1). Η ακτινοβολία από τις διαγνωστικές και τις θεραπευτικές ιατρικές παρεμβάσεις ευθύνεται για το 4 -11% της μέγιστης επιτρεπόμενης ετήσιας δόσης (πίνακας 1). Για την προστασία των εργαζομένων και των εκτιθέμενων σε ιονίζουσα ακτινοβολία έχουν θεσπιστεί σαφή όρια ασφαλούς έκθεσης^{7,10,14,15}. Η χρήση ακτίνων Χ για ιατρικούς λόγους αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή έκθεσης σε ιονίζουσα ακτινοβολία που δεν οφείλεται σε φυσικά αίτια^{4,8,14,15}.

Στην Ορθοπαιδική, η χρήση της ακτινοβολίας γίνεται όλο και περισσότερο αναγκαία με την εισαγωγή νέων, ελάχιστα παρεμβατικών τεχνικών, όπως η ενδομυελική ήλωση, η ενδοσκοπική χειρουργική της σπονδυλικής στήλης, οι κλειστές ανατάξεις καταγμάτων, αλλά και η χειρουργική συνδεσμοπλαστική του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου του γόνατος^{2,13,19,21,38,40,43,45}. Η πραγματοποίηση διαφόρων επεμβάσεων με ακτινοσκοπικό έλεγχο μειώνει τη βαρύτητα της επέμβασης και τον τραυματισμό των μαλακών μορίων, όπως επίσης και το χειρουργικό χρόνο.

Η πρόσληψη ιονίζουσας ακτινοβολίας για διαγνωστικούς λόγους έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία 20 χρόνια. Σημαντική ευθύνη για την αύξηση της προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας φέρει η ευρεία χρήση της αξονικής τομογραφίας, παρά το γεγονός ότι ο αριθμός των αξονικών τομογραφιών αποτελεί μικρό μόνο ποσοστό του συνολικού αριθμού των διενεργούμενων ακτινολογικών εξετάσεων. Στο Ηνωμένο Βασίλειο και στη Νέα Ζηλανδία οι αξονικές τομογραφίες αποτελούν μόνο το 2-4% των ακτινολογικών εξετάσεων, η συνολική όμως δόση ακτινοβολίας στον πληθυσμό από την αξονική τομογραφία κυμαίνεται μεταξύ 20% και 40%²⁵.

Η έκθεση του ορθοπαιδικού χειρουργού στην ιονίζουσα ακτινοβολία έχει γίνει αντικείμενο μελέτης, κυρίως, όμως, σε ό,τι αφορά την ασφαλιζόμενη ενδομυελική ήλωση των μακρών οστών, κυρίως του μηριαίου και της κνήμης^{35,58,59,63,65,66}. Η έκθεση

Πίνακας 1.

Τυπικές δόσεις ακτινοβολίας σε συνήθεις ακτινογραφίες. Ένα milligray(mGy) είναι μονάδα απορροφούμενης ακτινοβολίας. Αντιστοιχεί σε 1/1.000 joule ενέργειας που απορροφάται ανά χιλιόγραμμο ιστού.

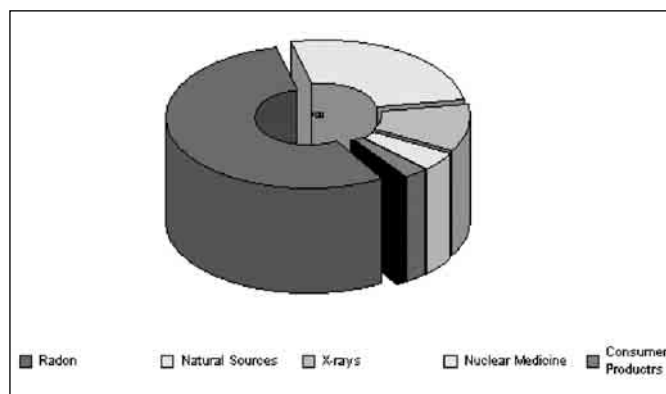
Εξέταση	Δόση ανά λήψη σε milligray (mGy)
Ακτινογραφία Χ	
Θώρακα	0.4-10
Κοιλίας	10
Άκρων	2.5-10
Ακτινοσκόπηση	100-200 ανά λεπτό
Ακτινοσκόπηση με ακτίνες Χ	250 ανά εξέταση
Αξονική τομογραφία	50-100 ανά εξέταση

των χειρουργών της σπονδυλικής στήλης σε ιονίζουσα ακτινοβολία δεν έχει μελετηθεί επαρκώς και μόλις τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί αντίστοιχες μελέτες στη βιβλιογραφία^{35,52,67}.

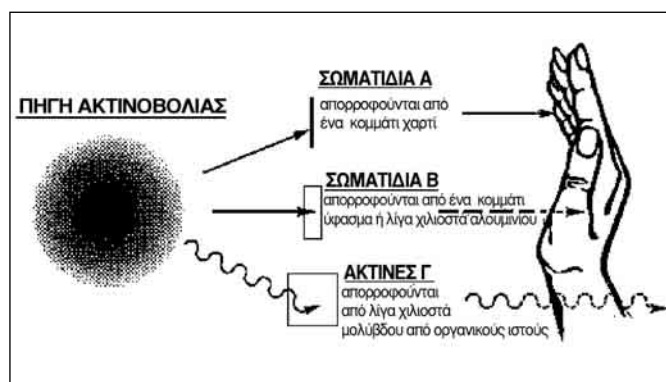
Β. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΗΣ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Όταν στις 8 Νοεμβρίου 1895 στο Wirzburg της Γερμανίας ο Wilhelm Conrad Roentgen ανακάλυψε τις ακτίνες Χ ακτινοβολώντας το χέρι της γυναίκας του για 15 λεπτά, προκειμένου να καταστεί εμφανής ο σκελετός του χεριού της, δεν είχε αντιληφθεί πόσο σοβαρές επιπλοκές θα είχε αυτή η μεγάλη ανακάλυψη. Ήδη ένα χρόνο αργότερα, το 1896, οι ακτίνες Χ είχαν χρησιμοποιηθεί στην κλινική πράξη, οδηγώντας σε μία σειρά παρενεργειών, όπως εγκαύματα που δεν επουλώνονταν και οδηγούσαν σε ακρωτηριασμούς των χεριών των ακτινολόγων και στην εμφάνιση θανατηφόρων καρκίνων. Από το 1907, διαπιστώθηκε η σχέση μεταξύ της ιονίζουσας ακτινοβολίας και της καρκινογένεσης, όταν περιγράφηκαν 12 περιπτώσεις καρκίνου του δέρματος, τέσσερις από τις οποίες σε ιατρούς⁴⁸. Το 1965 αναφέρθηκαν καρκινώματα του δέρματος σε 59 ασθενείς, 20 από τους οποίους ήταν ιατροί ή οδοντίατροι⁴⁶.

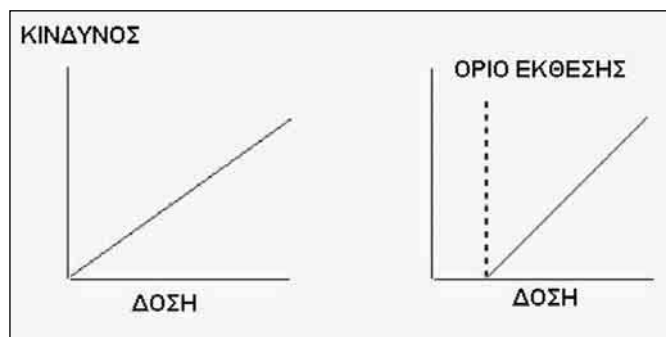
Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι μία μορφή ακτινοβολίας, η οποία προσπίπτουσα σε ένα υλικό αφαιρεί αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια από άτομα ή μόρια, τα οποία φορτίζονται με θετικό φορτίο. Η διαδικασία αυτή καλείται ιονισμός. Το υλικό αυτό καθίσταται πηγή δευτερογενούς εκπομπής ακτίνων Χ και ηλεκτρονίων. Η ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να είναι διαφόρων τύπων: ακτίνες γ, ακτίνες Χ, νετρόνια, σωματίδια άλφα και σωματίδια βήτα



Διάγραμμα 1. Η ακτινοβολία που δέχεται κάθε άτομο προέρχεται από πολλές πηγές.



Εικόνα 1. Η πηγή της ακτινοβολίας εκπέμπει διάφορα είδη ακτινοβολίας, η αλληλεπίδραση της οποίας με τους βιολογικούς ιστούς έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ανεπιθύμητων αντιδράσεων.



Διάγραμμα 2. Το φάσμα των παρατηρούμενων ακτινοβολιών σε σχέση με το μήκος κύματος και τη συχνότητά τους.

(εικόνα 1). Με τον όρο ακτίνες Χ χαρακτηρίζεται η μορφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία έχει πολύ υψηλή συχνότητα, 0.3 έως 30 Ehz (exahertz ή εκατομμύρια gigahertz). Οι σταθμοί του ραδιοφώνου στα FM εκπέμπουν σε συχνότητες γύρω στα 100 MHz (megahertz)

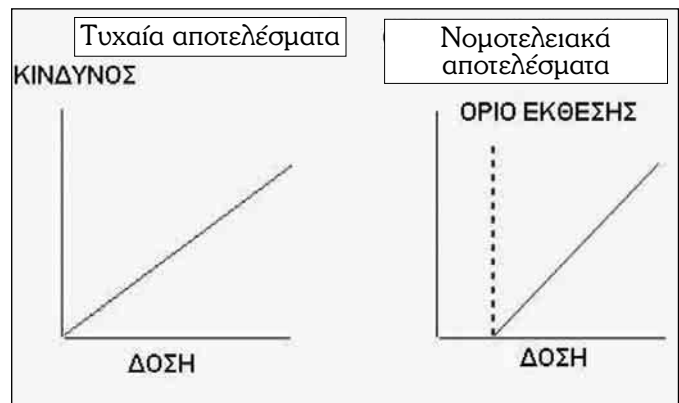
ή 0.1 Ghz (gigahertz). Οι ακτίνες X έχουν μήκος κύματος βραχύτερο αυτού του ορατού φωτός (διάγραμμα 2).

Η ένταση της δευτερογενούς εκπομπής είναι σχετικά ασθενής σε σχέση με την πρωτογενή δέσμη. Όταν μία δέσμη ακτίνων X προσπίπτει σε ένα υλικό παράγονται δύο τύποι δευτερογενών ακτίνων X. Ως σκεδαζόμενη χαρακτηρίζεται η ακτινοβολία η οποία κατά τη διάρκεια της διόδου της δια μίας ουσίας έχει μεταβάλλει την κατεύθυνσή της ή και την ενέργειά της. Είναι μία μορφή δευτερογενούς ακτινοβολίας. Οι σκεδαζόμενες ακτίνες X έχουν αλλάξει την αρχική τους κατεύθυνση και χαρακτηρίζονται από ενέργεια παραπλήσια της πρωτογενούς δέσμης. Οι ακτίνες X φθορισμού έχουν μικρότερη ενέργεια, είναι χαρακτηριστικές του υλικού μέσου και δε μεταβάλλονται με τη μεταβολή του μήκους κύματος της πρωτογενούς δέσμης. Παράγονται όταν απωθούνται ηλεκτρόνια από ορισμένα άτομα του υλικού μέσου, τα οποία και ionίζονται. Όταν τα άτομα αυτά επανέρχονται στη φυσιολογική τους ενεργειακή κατάσταση, τότε εκπέμπεται ενέργεια με τη μορφή των ακτίνων X φθορισμού.

Η ionίζουσα ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από την ένταση της ραδιενέργειας της ραδιενεργού πηγής, από την ενέργεια της ακτινοβολίας, από την ακτινοβολία του περιβάλλοντος και από τη δόση ή την ποσότητα της ενέργειας της ακτινοβολίας που απορροφάται από το ανθρώπινο σώμα. Η δόση της ακτινοβολίας είναι η σημαντικότερη παράμετρος. Η επαγγελματική έκθεση στην ακτινοβολία εκφράζεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη δόση. Ο κίνδυνος για την πρόκληση νόσων οφειλόμενων στην ακτινοβολία εξαρτάται από τη συνολική δόση που δέχεται ένα άτομο το χρόνο. Η μονάδα μέτρησης της ραδιενέργειας είναι το becquerel (Bq), που ισοδυναμεί με ένα γεγονός εκπομπής ραδιενέργειας το δευτερόλεπτο. Παλαιότερη μονάδα μέτρησης ήταν το curie (Ci). Το becquerel (Bq) και το curie (Ci) είναι, επομένως, μέτρα του ρυθμού εκπομπής ραδιενέργειας από μια ραδιενεργό πηγή και όχι της ενέργειας της ακτινοβολίας.

Η ενέργεια της ionίζουσας ακτινοβολίας μετράται με electronvolts (eV). Η έκθεση στις ακτίνες X και γ μετράται με τη μονάδα roentgen (R), η οποία αναφέρεται σε ionισμό στον αέρα. Ένα roentgen ισοδυναμεί με ιστική δόση 1 rad (0.01 gray).

Όταν η ionίζουσα ακτινοβολία αλληλεπιδρά με το ανθρώπινο σώμα, τότε διοχετεύεται ενέργεια στους ιστούς. Ως δόση χαρακτηρίζεται η εναποτιθέμενη σε ένα σώμα ενέργεια ανά μονάδα βάρους του οργάνου ή του ιστού από την ionίζουσα ακτινοβολία και εκφράζεται αριθμητικά με rads ή grays (Gy). Ένα Gy ισοδυναμεί με 100 rads. Δόση ενός gray ισοδυναμεί με ενέργεια ακτινοβολίας ενός joule που απορροφάται ανά χιλιόγραμμο βάρους του οργάνου. Ένα gray ισοδυναμεί με 100 rads, μια παλιότερη μονάδα μέτρησης. Ίσες δόσεις των διαφόρων τύ-



Διάγραμμα 3. Η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων επιδράσεως της ionίζουσας ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς.

πων ionίζουσας ακτινοβολίας δεν προκαλούν το ίδιο βλαπτικό αποτέλεσμα στους ιστούς. Τα σωματίδια άλφα προκαλούν μεγαλύτερη βλάβη από τα σωματίδια βήτα, τις ακτίνες X και τις ακτίνες γάμμα για την ίδια απορροφούμενη δόση. Για να εκφραστεί αυτή η διαφορά χρησιμοποιείται ο όρος ισοδύναμη δόση (equivalent dose) με μονάδα το sievert (Sv). Η δόση σε Sv είναι ίση με το γινόμενο της απορροφούμενης δόσης με ένα ειδικό για κάθε όργανο συντελεστή. Επομένως, η βιολογική δόση ή ισοδύναμο δόσης εκφράζεται με rem ή sievert και είναι μέτρο της βιολογικής ζημίας που υφίσταται ένας ιστός από την έκθεση σε ακτινοβολία. Κλινικά, έχει σημασία και η εναποτιθέμενη ανά μονάδα χρόνου δόση ionίζουσας ακτινοβολίας, η οποία αποκαλείται ρυθμός ακτινοβολίας.

Τα αποτελέσματα της επίδρασης της ionίζουσας ακτινοβολίας στον άνθρωπο διακρίνονται σε τυχαία (stochastic effects) και σε νομοτελειακά (deterministic effects) (διάγραμμα 3). Τα τυχαία αποτελέσματα είναι δυνατόν να εκδηλωθούν μετά από έκθεση σε οποιαδήποτε δόση ionίζουσας ακτινοβολίας, συμβαίνουν τυχαία, χωρίς να υπάρχει κάποιος ουδός έκθεσης (exposure threshold) κάτω από τον οποίο δεν παρουσιάζονται, και τέλος, η πιθανότητα εμφάνισης είναι ανάλογη της δόσης. Η βαρύτητα της νόσου δεν εξαρτάται από τη δόση της ακτινοβολίας. Τα κύρια τέτοιου είδους αποτελέσματα είναι ο καρκίνος και οι γενετικές μεταλλάξεις. Δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί ποια άτομα θα εκδηλώσουν τη δυσμενή επίδραση μετά από την έκθεση στην ακτινοβολία. Αύξηση, όμως, της έκθεσης στην ακτινοβολία αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων.

Για την εμφάνιση των νομοτελειακών αποτελεσμάτων απαιτείται έκθεση σε ορισμένη ποσότητα ακτινοβολίας, υπάρχει δηλαδή ουδός πρόκλησης ή εμφάνισης: έκθεση δηλαδή μικρότερη από τον ουδό δεν προκαλεί εκδήλωση της δυσμενούς επίδρασης. Παράδειγμα τέτοιου εί-

δους επίδρασης είναι ο καταρράκτης, η καταστολή της παραγωγής έμμορφων στοιχείων του αίματος, η μείωση της αναπαραγωγικής ικανότητας, η απώλεια των μαλλιών και το ερύθημα του τριχωτού της κεφαλής μετά από την ακτινοβολήση του εγκεφάλου^{51,52}. Εάν η έκθεση στην ακτινοβολία δεν υπερβεί ένα υψηλό όριο πρόσληψης ακτινοβολίας, δεν εκδηλώνεται έγκαυμα, και η βαρύτητα του εγκαύματος είναι ανάλογη της δόσης της ακτινοβολίας. Όσον αφορά τον καταρράκτη, η ελάχιστη καταρρακτογόνος δόση είναι 200 rads (200.000 mrems)⁴⁴. Εάν η έκθεση πραγματοποιηθεί εντός ενός τριμήνου, η ελάχιστη καταρρακτογόνος δόση είναι 550 rads (550.000 mrems)³⁹.

Όσον αφορά τα στοχαστικά αποτελέσματα ο κίνδυνος στον εκτιθέμενο πληθυσμό είναι ανάλογος της δόσης, ενώ η βαρύτητά τους δεν είναι. Στα νομοτελειακά αποτελέσματα ο κίνδυνος και η σοβαρότητα του αποτελέσματος σε κάθε άτομο είναι ανάλογος της δόσης πάνω από την ουδό εμφάνισης.

Η επίδραση της ιονίζουσας ακτινοβολίας έχει αθροιστική δράση και τα όρια που έχουν θεσπιστεί αναφέρονται στη δεύτερη κατηγορία αποτελεσμάτων. Όρια έκθεσης έχουν θεσπιστεί από τους οργανισμούς ICRP, NRPB^{31,32}, αλλά και από τις κυβερνήσεις διαφόρων χωρών^{1,7}. Οι μεγαλύτερες δόσεις ακτινοβολίας για θεραπευτικούς σκοπούς χρησιμοποιούνται στην ογκολογική ακτινοθεραπεία. Υψηλές δόσεις ακτινοβολίας δέχονται, επίσης, το προσωπικό και οι ασθενείς που υποβάλλονται σε επεμβατικές ακτινολογικές επεμβάσεις^{20,34,47,54}. Η υπολογιζόμενη μέση ετήσια ενεργός δόση σε 28 επεμβατικούς ακτινολόγους των ΗΠΑ ήταν 3.16 mSv (εύρος 0.37 - 10.1 mSv). Σε ορισμένες περιπτώσεις η ακτινοβολία που δέχεται ο ασθενής είναι τόσο μεγάλη, ώστε να προκαλέσει προσωρινή τριχόπτωση ή δερματικές βλάβες.

Η πρόκληση καρκίνου είναι το πιο σημαντικό αποτέλεσμα της έκθεσης σε χαμηλής δόσης ιονίζουσα ακτινοβολία. Όμως, η πρόκληση καρκίνου από την ακτινοβολία ανιχνεύεται μόνο με στατιστική μεθοδολογία. Η καρκινική νόσος ενός ατόμου δεν είναι δυνατό να αποδοθεί αποκλειστικά στην έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία, επειδή ο καρκίνος αυτής της αιτιολογίας δε διαφέρει από τους καρκίνους που οφείλονται σε άλλα αίτια. Ως γενική αρχή ισχύει το ότι όσο μικρότερη είναι η έκθεση στην ιονίζουσα ακτινοβολία, τόσο μικρότερη είναι και η πιθανότητα πρόκλησης καρκίνου. Ενώ υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες για την καρκινογόνο δράση σε ανθρώπους που εκτέθηκαν σε υψηλή δόση ιονίζουσας ακτινοβολίας, όπως π.χ. στις περιπτώσεις της Χιροσίμα και του Τσερνομπίλ, δεν υπάρχουν αρκετές άμεσες ενδείξεις για τη δράση δόσεων λίγων mSv που όμως επιδρούν για μακρύ χρονικό διάστημα.

Ο υπολογισμός του κινδύνου από την έκθεση σε μι-

κρές δόσεις ακτινοβολίας στηρίζεται, συνήθως, στις παρατηρήσεις που έχουν γίνει μετά από έκθεση πληθυσμών σε υψηλές δόσεις. Επομένως, δεν υπάρχει άμεση γνώση για τον κίνδυνο της έκθεσης σε μικρές δόσεις. Η δυσκολία στον υπολογισμό της βαρύτητας της έκθεσης οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή η επίδραση είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη φυσιολογική επίπτωση του καρκίνου. Για την κατανόηση της δυσκολίας εξαγωγής συμπερασμάτων θα παραθέσουμε το παρακάτω παράδειγμα. Είναι γνωστό ότι η επίπτωση ενός θανατηφόρου καρκίνου μετά από έκθεση σε υψηλή δόση είναι περίπου 1/10.000 ανά 10 mSv. Για να μελετηθούν, επομένως, με αξιοπιστία τα αποτελέσματα της έκθεσης σε ακτινοβολία χαμηλής δόσης, θα έπρεπε να εντοπίσουμε 1.000.000 άτομα που θα είχαν εκτεθεί το καθένα σε ακτινοβολία 10 mSv. Παραβλέποντας τη δυσκολία ανεύρεσης ενός τόσο μεγάλου δείγματος πληθυσμού, καθώς και μίας παρόμοιας ομάδας ελέγχου που θα ήταν όμοια σε όλους τους παράγοντες εκτός από την έκθεση σε ακτινοβολία, θα αναμέναμε την ανεύρεση 100 περισσότερων περιπτώσεων καρκίνων στην ομάδα που θα είχε εκτεθεί στην ακτινοβολία. Η φυσιολογική επίπτωση καρκίνου θα ήταν 170.000 περιπτώσεις.

Για τη διαπίστωση της βλαπτικότητας της χαμηλής δόσης ιονίζουσας ακτινοβολίας συγκρίθηκαν πληθυσμοί με διαφορετική έκθεση στη φυσιολογική ακτινοβολία του περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα, όμως, ήταν ασαφή εξαιτίας των εγγενών διαφορών μεταξύ των διαφόρων πληθυσμών. Οι μελέτες αυτές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η επίδραση της χαμηλούς δόσης ιονίζουσας ακτινοβολίας ήταν λιγότερο σημαντική στην καρκινογένεση από τους υπόλοιπους ενοχοποιητικούς παράγοντες. Η Διεθνής Επιτροπή για την Ακτινοπροστασία (International Commission on Radiological Protection, ICRP) εμπλέκεται στη μελέτη των κινδύνων της ιονίζουσας ακτινοβολίας από το 1928. Η έκδοση της ICRP υπ. αριθμ. 26 (1977) προβλέπει ότι ο κίνδυνος θανατηφόρου καρκίνου από την έκθεση σε ακτινοβολία είναι 10^{-2} ανά sievert. Επομένως, υπάρχει μία πιθανότητα στις 100 ανάπτυξης θανατηφόρου καρκίνου από μία δόση 1 Sv.

Την τελευταία δεκαετία έγινε γνωστό ότι οι δόσεις ακτινοβολίας στις οποίες εκτέθηκε ο πληθυσμός της Χιροσίμα και του Ναγκαασάκι ήταν πολύ μικρότερες από τις υπολογιζόμενες, με αποτέλεσμα την ανάγκη επαναπροσδιορισμού του κινδύνου (ICRP έκδοση 60, 1991)^{31,32}. Υπολογίστηκε ένας συνολικός συντελεστής κινδύνου από την ακτινοβολία, ο οποίος συνυπολόγιζε και άλλους μη θανατηφόρους καρκίνους, όπως του θυρεοειδή αδένου και τις γενετικές νόσους παιδιών γονέων που είχαν ακτινοβληθεί. Ο συνολικός κίνδυνος αποκαλείται TM Aggregated Health Detriment και θεωρείται ότι είναι 5.6×10^{-2} ανά sievert. Μετά από αυτήν τη σημαντική αύξηση του κινδύ-

νου κατά 6 φορές, η ICRP μείωσε τα αποδεκτά όρια από 50 mSv/έτος σε 20 mSv/έτος, και πρότεινε η προστασία από την ακτινοβολία να περιλαμβάνει τρεις αρχές: τη βελτιστοποίηση της ακτινοπροστασίας, την απιολόγηση κάθε ακτινολογικής εξέτασης και τη θέσπιση ατομικών ορίων έκθεσης. Η Ε.Ε. έχει ενσωματώσει στη νομοθεσία της τις παραπάνω οδηγίες (Euratom 1980, 1984; SI 43 1991)^{14,15,62}.

Γ. Η ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗ

Η ορθοπαιδική είναι μία ειδικότητα στην οποία γίνεται συχνή χρήση της ακτινοσκόπησης εκτός των ειδικών χώρων του ακτινολογικού εργαστηρίου ή της αίθουσας επεμβατικής ακτινολογίας, με φορητά μηχανήματα, από προσωπικό που συχνά δεν είναι απόλυτα εξειδικευμένο ή επαρκώς εκπαιδευμένο^{24,27,34,37}. Στην περίπτωση της τραυματολογίας, σε αντίθεση με την καρδιολογία ή την επεμβατική ακτινολογία, η ακτινοσκόπηση χρησιμοποιείται για την απεικόνιση στατικών δομών και συνήθως αρκεί η λήψη δύο προβολών με γωνία 90° μεταξύ τους. Σε μία μελέτη από την Αγγλία⁶⁸, κατά την οποία συμμετείχαν ορθοπαιδικοί και γυναικολόγοι, αποκαλύφθηκε ότι και οι δύο ομάδες παρουσίαζαν παιδιά με συγγενείς ανωμαλίες συχνότερα από το γενικό πληθυσμό, χωρίς όμως να υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων ιατρών. Επίσης, οι άρρενες χειρουργοί παρουσίαζαν μεγαλύτερη επίπτωση θηλέων τέκνων. Αυτή η μελέτη συμπέρανε ότι δεν υπάρχει σχέση μεταξύ της επαγγελματικής έκθεσης στην ακτινοβολία και της εμφάνισης συγγενών ανωμαλιών, ο αριθμός όμως του δείγματος, 334 και 986 ιατροί αντίστοιχα, ήταν πολύ μικρός για να καταδειχθεί τέτοια διαφορά. Σε μία ομάδα 145 ιατρών εκτεθειμένων σε χαμηλής δόσης ιονίζουσα ακτινοβολία κάτω των 5 rem/έτος μελετήθηκε η μικροκυκλοφορία του δέρματος και διαπιστώθηκαν σημαντικές μορφολογικές και λειτουργικές αλλαγές⁶⁵. Ο κίνδυνος για ορισμένες ευπαθείς ομάδες πληθυσμού, όπως τα παιδιά και οι έγκυες γυναίκες, είναι ιδιαίτερα σημαντικός^{33,34,36,47,53}. Η μακρόχρονη έκθεση στη χαμηλής έντασης ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι δυνατό να έχει καρκινογενετικό αποτέλεσμα, ιδίως στο θυρεοειδή⁴¹. Έχει αποδειχθεί ότι εξωτερική ακτινοβολία στο θυρεοειδή μόνο 6.5 rad (65 μSv) οδηγεί σε στατιστικά σημαντική αύξηση του καρκίνου μετά από πολλά έτη. Σύμφωνα με το Γερμανικό Υπουργείο Περιβάλλοντος, δόση 10 μSv ανά έτος αυξάνει την επίπτωση αυτού του όγκου κατά 2.2 περιπτώσεις ανά εκατομμύριο⁷. Η μακρόχρονη έκθεση σε χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας υπολογίζεται ότι συνοδεύεται από απόλυτο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του θυρεοειδούς, με επίπτωση 4.2 περιπτώσεις ανά εκατομμύριο ατόμων ανά rem

και έτος³⁹. Σε μεγαλύτερο κίνδυνο από την έκθεση στην ακτινοβολία βρίσκονται η κεφαλή, ο τράχηλος και τα χέρια. Όσον αφορά την ακτινοβιολογική επίδραση της ιονίζουσας ακτινοβολίας, υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας καταρράκτη, νεοπλασίας του θυρεοειδούς και καρκίνου του δέρματος. Με εξαίρεση τον καταρράκτη δεν υπάρχουν ασφαλή όρια έκθεσης στην ακτινοβολία.

Σε μία μελέτη από τη Νέα Ζηλανδία, μετρήθηκε η δόση που δέχεται ο θυρεοειδής αδένας σε μία ομάδα ορθοπαιδικών χειρουργών¹². Από τους 19 χειρουργούς που μελετήθηκαν, σε 13 η δόση της ακτινοβολίας ήταν εντός των αποδεκτών ορίων για το γενικό πληθυσμό. Δύο χειρουργοί δέχτηκαν περισσότερη ακτινοβολία, αλλά εντός των αποδεκτών ορίων για επαγγελματική έκθεση. Η χρήση ασπίδας από μόλυβδο μείωσε την ακτινοβολία κατά 13 φορές. Σε αυτήν τη μελέτη όμως, τέθηκε θέμα συμμόρφωσης των χειρουργών στην ακτινοβολία, αφού μόνο 7 από τους χειρουργούς χρησιμοποιούσαν την ασπίδα. Ο Finkelstein¹⁷ από τον Καναδά χαρακτήρισε την ανεύρεση δύο όγκων του εγκεφάλου σε καρδιολόγους το 1997 ως στατιστικά ασύνηθες γεγονός, ενοχοποιώντας την ιονίζουσα ακτινοβολία στο μηχανισμό της καρκινογένεσης. Η ιονίζουσα ακτινοβολία για διαγνωστικούς, χειρουργικούς και θεραπευτικούς σκοπούς δε χρησιμοποιείται μόνο από τους ακτινοθεραπευτές και τους ορθοπαιδικούς, αλλά και από άλλες ειδικότητες, όπως από τους επεμβατικούς ακτινολόγους, τους καρδιολόγους, τους ουρολόγους, τους γαστρεντερολόγους κ.λπ., οι οποίοι συχνά δέχονται περισσότερη ακτινοβολία από τους ορθοπαιδικούς^{5,6,8,9,52,58}. Χωρίς τη χρήση ασπίδας μολύβδου η δόση της ακτινοβολίας στο θυρεοειδή είναι 70 φορές μεγαλύτερη⁴⁴. Στην ίδια μελέτη, ο μέσος χρόνος ακτινοσκόπησης σε επεμβάσεις ασφαλιζόμενης ενδομυελικής ήλωσης ήταν 4.6 λεπτά. Επομένως, ακόμα και αν δε γινόταν χρήση ασπίδας μολύβδου, μετά από 1000 ενδομυελικές ηλώσεις ο θυρεοειδής θα είχε δεχθεί μόνο το 13% της μέγιστης επιτρεπόμενης δόσης, ενώ με τη χρήση ασπίδας το μέγεθος αυτό θα είχε μειωθεί στο 0.2%. Με την αύξηση της εμπειρίας της χειρουργικής ομάδας και με τη βελτίωση της τεχνικής μειώνεται σημαντικά η δεχόμενη ακτινοβολία. Το 1985, για την πραγματοποίηση της ασφαλιζόμενης ενδομυελικής ήλωσης του μηριαίου στην ομάδα των Kempf και συν.³³, ήταν αναγκαία η ακτινοσκόπηση για 6 λεπτά και 52 δευτερά κατά μέσο όρο, και στην ομάδα των Sugarman και συν.⁶⁴ για 12 λεπτά και 8 δευτερά, χρόνος ο οποίος σε άλλες ομάδες ανέρχεται πλέον στο 1 λεπτό και 4 δευτερά³⁶.

Η έκθεση του χειρουργού στην ιονίζουσα ακτινοβολία προέρχεται από τρεις πηγές: α) από την έκθεση στην πρωτογενή δέσμη ακτινοβολίας, β) από τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία, και γ) από τη διαχεόμενη ακτινοβολία, η οποία διαπερνά τη συσκευή και δεν είναι μέρος της πρω-

τογενούς δέσμης^{26,22,60}. Μεγάλη σημασία στην ποσότητα της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας έχει η θέση του ακτινοσκοπικού μηχανήματος. Όταν ο ασθενής έχει τοποθετηθεί ύπια και η πηγή της ακτινοβολίας βρίσκεται κάτω από το πάσχον άκρο, η σκεδαζόμενη ακτινοβολία κατευθύνεται προς το πόδι του ασθενούς, μακριά από το χειρουργό. Όταν η πηγή έχει τοποθετηθεί οριζόντια και παράλληλα με τον ασθενή στην έσω επιφάνεια του άκρου, η ποσότητα της ακτινοβολίας προς την κατεύθυνση του χειρουργού μειώνεται.

Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας οφείλεται στις επεμβάσεις ασφαλιζόμενης ενδομυελικής ήλωσης⁵⁵. Στις υπόλοιπες επεμβάσεις, πλην της σπονδυλικής στήλης, ο χειρουργός προσλαμβάνει ελάχιστη ακτινοβολία. Ο μέσος χρόνος ακτινοσκόπησης ήταν για την ενδομυελική ήλωση 3.6 λεπτά και για τις άλλες επεμβάσεις 2.1 λεπτά, παρά το γεγονός ότι ο χειρουργικός χρόνος της ήλωσης ήταν βραχύτερος από τις άλλες επεμβάσεις (107 λεπτά έναντι 128 λεπτά, αντίστοιχα). Το επιτρεπτό όριο έκθεσης των χεριών είναι 18.750 mrem ανά τρίμηνο ή 75 mrem ανά έτος. Επομένως, βασιζόμενοι στα στοιχεία της παραπάνω μελέτης, ένας ορθοπαιδικός χειρουργός θα ήταν δυνατό να πραγματοποιήσει 7614 επεμβάσεις με ακτινοσκοπική υποβοήθηση το έτος, προκειμένου να φθάσει το μέγιστο επιτρεπτό όριο ετήσιας έκθεσης. Εάν εξαιρεθούν οι ασφαλιζόμενες ενδομυελικές ηλώσεις, ο αριθμός των επεμβάσεων ανέρχεται σε 65.790. Εάν ο χειρουργός πραγματοποιούσε μόνο ενδομυελικές ηλώσεις, θα έπρεπε να πραγματοποιήσει 750 ηλώσεις για να υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο.

Στη βιβλιογραφία, ο συνολικός χρόνος ακτινοσκόπησης ποικίλλει εξαιρετικά. Επίσης, πολλές μελέτες πραγματοποιήθηκαν με ιδανικές συνθήκες. Ο χειρουργός ήταν έμπειρος και γνώστης του αντικειμένου της μελέτης, οι χειριστές ήταν έμπειροι και συνεργάζονταν καλά με τους χειρουργούς, και το ακτινοσκοπικό μηχάνημα ήταν ελεγχμένο όσον αφορά την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Είναι, επομένως, αναμενόμενο ότι η συνολική έκθεση στην ακτινοβολία θα είναι ακόμα μεγαλύτερη σε πραγματικές συνθήκες, ιδίως όταν ο χειρουργός δεν είναι έμπειρος, όταν ο τεχνικός του ακτινολογικού μηχανήματος είναι άπειρος και όχι ιδιαίτερα συνεργάσιμος και οι ακτινοσκοπικές συσκευές δεν είναι επαρκώς ελεγχμένες, όπως συμβαίνει συχνά στην ελληνική πραγματικότητα.

Σε μία μελέτη μετρήθηκε η ακτινοβολία που δεχόταν ο χειρουργός κατά τη διάρκεια της ήλωσης καταγμάτων του ισχίου²¹. Διαπιστώθηκε ότι όταν ο χειρουργός βρισκόταν σε απόσταση 46 εκ. από το μείζονα τροχαντήρα, η ακτινοβολία ήταν ελάχιστη. Επίσης, κατά τη λήψη προφίλ ακτινογραφίας του ισχίου η σκεδαζόμενη ακτινοβολία μειωνόταν εάν η κατεύθυνση της ακτινοβολίας ήταν από τα έσω προς τα έξω, δηλαδή εάν η πηγή της ακτινο-

βολίας ήταν ανάμεσα στα πόδια του ασθενούς.

Σε μία άλλη μελέτη, ως όριο ασφαλείας βρέθηκε η απόσταση των 80 εκ. από την πηγή της ακτινοβολίας⁶². Ο Skedjal⁵⁹, μελετώντας τη δόση της ακτινοβολίας κατά την ενδομυελική ήλωση, διαπίστωσε ότι απομακρυνόμενος ο χειρουργός από την πηγή της ακτινοβολίας κατά 30 εκ. αύξανε το μέγιστο αριθμό επιτρεπόμενων επεμβάσεων από 25/έτος σε 16.000/έτος. Εκτός της χειρουργικής αίθουσας, η έκθεση στην ακτινοβολία δεν είναι ανιχνεύσιμη. Οι Levin και συν.³⁸ μέτρησαν την έκθεση στην ακτινοβολία της κεφαλής, του αυχένα και των χεριών του χειρουργού κατά τη διάρκεια 30 ασφαλιζόμενων ενδομυελικών ηλώσεων. Σε μία περίοδο 3 μηνών η κεφαλή και ο αυχένας είχαν εκτεθεί σε δόση 210 mrem. Το κυρίαρχο χέρι είχε εκτεθεί σε 13 mrem ακτινοβολίας ανά επέμβαση, όταν είχε γίνει μόνο τοποθέτηση του ήλου και κεντρική ασφάλιση, και σε 12 mrem όταν έγινε τοποθέτηση και των περιφερικών κοχλιών. Μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας δέχεται το χέρι του κυρίαρχου άκρου, λόγω εγγύτητας στη δέσμη της ακτινοβολίας. Η επιτρεπόμενη δόση ακτινοβολίας στα χέρια, το αντιβράχιο, τα πόδια και την ποδοκνημική είναι 18.750 mrem ανά τρίμηνο, ενώ η ολόσωμη δόση και η δόση της κεφαλής, του κορμού, των αιματοποιητικών ιστών, των φακών του οφθαλμού και των γονάδων είναι 1250 mrem ανά τρίμηνο^{10,35}.

Ο Barry⁴ βρήκε ότι η δόση που δέχτηκε για ένα έτος ήταν 227 mrem, ενώ η διακύμανση από μήνα σε μήνα κυμαινόταν μεταξύ 4 και 69 mrem.

Η ένταση κάθε μορφής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανόμενης της ιονίζουσας ακτινοβολίας των ακτίνων Χ, είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης μεταξύ της πηγής της ακτινοβολίας και του στόχου. Έτσι π.χ. για την ίδια δόση ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα ακτινοσκοπικό μηχάνημα στον ίδιο χρόνο, εάν ακτινοβολείται το περιφερικό άκρο του μηριαίου, η έκθεση των γονάδων θα είναι τέσσερις φορές μικρότερη απ' ό,τι εάν ακτινοβολούσαν η μεσότητα του μηρού, λόγω της διαφορετικής απόστασης των γονάδων από τη δέσμη της ακτινοβολίας. Όταν απεικονίζεται όμως το ισχίο, η έκθεση των γονάδων είναι ακόμα μεγαλύτερη. Επομένως, η έκθεση μιας περιοχής του σώματος όπως οι γονάδες, δεν εξαρτάται μόνο από το συνολικό χρόνο της ακτινοσκόπησης, αλλά και από τη σχετική θέση της δέσμης της ακτινοβολίας σε αυτήν τη χρονική περίοδο. Έτσι, η μακράς διάρκειας ακτινοσκόπηση στην εστία του κατάγματος οδηγεί σε μεγαλύτερη έκθεση των γονάδων σε σχέση με την τοποθέτηση των περιφερικών κοχλιών.

Έχει μελετηθεί και η ποσότητα της ακτινοβολίας στα διάφορα μέλη μιας ορθοπαιδικής χειρουργικής ομάδας σε σχέση με τη θέση τους κατά τη διάρκεια της ακτινο-

σκόπησης. Μετρήθηκε με δοσίμετρα η έκθεση του οφθαλμού, η επιφανειακή έκθεση των χεριών και του δέρματος και η εν τω βάθει, ολόσωμη έκθεση. Τα δοσίμετρα είχαν τοποθετηθεί σε προκαθορισμένες αποστάσεις από τη δέση της ακτινοβολίας. Η άμεση έκθεση στην ακτινοβολία οδηγούσε σε έκθεση 4000 mrem/min (40 mSv/min). Η εν τω βάθει έκθεση στο χειρουργό και στον πρώτο βοηθό ήταν 20 mrem/min (0.2 mSv/min) και 6 mrem/min (0.06 mSv/min), αντίστοιχα. Η επιπολής έκθεση ήταν 29 mrem/min (0.29 mSv/min) και 10 mrem/min (0.1 mSv/min), αντίστοιχα. Η έκθεση του οφθαλμού ήταν 10 mrem/min (0.1 mSv/min) για το χειρουργό και 6 mrem/min (0.06 mSv/min) για το βοηθό. Στην εργαλειοδότρια δε μετρήθηκε καμία οφθαλμική και εν τω βάθει έκθεση. Σε ένα μόνο δοσίμετρο διαπιστώθηκε επιπολής έκθεση 2 mrem/min (0.02 mSv/min). Όσον αφορά τους αναισθησιολόγους, μετά από 10 λεπτά συνεχούς ακτινοσκόπησης δε διαπιστώθηκε καμία έκθεση. Η μελέτη αυτή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα μέλη της χειρουργικής ομάδας που δε λαμβάνουν καμία προστασία και βρίσκονται εντός ακτίνας 70 εκ. από την πηγή της ακτινοβολίας, δέχονται σημαντική ποσότητα ακτινοβολίας, ενώ εάν βρίσκονται σε απόσταση άνω των 91.4 εκ. δέχονται ελάχιστη δόση ακτινοβολίας^{34,41,66}.

Τα επίπεδα της ακτινοβολίας στους ορθοπαιδικούς είναι γενικά κάτω από τα επιτρεπόμενα από την Ε.Ε. όρια (European Economic Communities EURATOM directives, πίνακας 2). Ειδικότερα, η δόση είναι ελάχιστη κατά τις επεμβάσεις ήλωσης του ισχίου^{47,55}. Σε μία άλλη μελέτη⁴⁰ μετρήθηκε η έκθεση του κορμού, των οφθαλμών και των άκρων ενός ορθοπαιδικού σε συνολικό χρόνο ακτινοσκόπησης 100 λεπτών κατά τη διάρκεια 60 επεμβάσεων και υπολογίστηκε ότι η ετήσια δόση ολόσωμης ακτινοβολίας ήταν 1.6 mSv και ο συνολικός κίνδυνος ένας προς 11.000.

Η δόση της ακτινοβολίας στους αναισθησιολόγους που εργάζονται σε ορθοπαιδικά χειρουργεία δεν είναι ανιχνεύσιμη³⁹. Σε αναισθησιολόγους που εργάζονται σε αγ-

γειοδυναμικά εργαστήρια, τα δοσίμετρά τους κατέγραφαν 20-180 mrem/μήνα, αλλά ακτινοβολία δεν ανιχνευόταν στους αναισθησιολόγους που εργάζονταν στα άλλα χειρουργεία²⁵. Όλοι όσοι εργάζονται σε περιοχές με ακτινοβολία, θα πρέπει να προστατεύονται κατάλληλα και, εφ' όσον είναι δυνατό, να απομακρύνονται όσο το δυνατό περισσότερο από την πηγή της ακτινοβολίας.

Δεν είναι, όμως, μόνο ο χειρουργός που δέχεται την ιονίζουσα ακτινοβολία, αλλά και ο ασθενής για τον οποίο επίσης, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα. Σε ιδιαίτερο κίνδυνο βρίσκονται οι γονάδες των ασθενών, ιδίως κατά την ενδομελική ήλωση του μηριαίου και την ήλωση των καταγμάτων του ισχίου. Έχει αναφερθεί ότι, χωρίς να ληφθεί προφύλαξη, η συνολική έκθεση των γονάδων σε άνδρες ήταν 35 ± 34 mrems και σε γυναίκες $17 \pm$ mrems. Αντίθετα, μετά από την κάλυψη των γονάδων με μόλυβδο δεν παρατηρούταν έκθεση στην ακτινοβολία στους 13 από τους 15 ασθενείς³. Η διαφορά αυτή ήταν στατιστικά λίαν σημαντική. Όταν οι γονάδες μίας γυναίκας εκτίθενται σε ιονίζουσα ακτινοβολία, μειώνεται ο πληθυσμός των ωοκυττάρων. Μία δόση 150 rems οδηγεί σε μόνιμη στειρότητα σε μία γυναίκα 40 ετών. Στους άνδρες μία δόση περίπου 250 rems οδηγεί σε προσωρινή αναστολή της παραγωγής σπέρματος, ενώ δόση περίπου 500 rems προκαλεί στειρώση³⁵. Βέβαια, οι δόσεις που μετρήθηκαν σε αυτήν τη μελέτη είναι πολύ μικρότερες, όμως η πιθανότητα πρόκλησης γενετικής μετάλλαξης δεν μπορεί να αποκλειστεί.

Η χρήση της ακτινοσκόπησης είναι συχνή. Οι Jones και συν.³¹ ανέφεραν χρήση του ακτινοσκοπικού μηχανήματος για 0.48 λεπτά ανά επέμβαση. Μπλούζες μολύβδου χρησιμοποιήθηκαν στο 99% των περιπτώσεων και ασπίδες θυρεοειδή στο 32%. Όλα τα δοσίμετρα που ήταν κάτω από τις μπλούζες δεν είχαν ανιχνεύσει ακτινοβολία. Το χέρι του χειρουργού είχε εκτεθεί στην πρωτογενή δέση στο 15% των επεμβάσεων. Η μέση έκθεση σε ακτινοβολία στις επεμβάσεις ορθοπαιδικού τραύματος ήταν πολύ μεγαλύτερη και η έκθεση της χειρός ανερχόταν στο 1/3 της επιτρεπόμενης δόσης, ενώ στις γενικές ορθοπαιδικές επεμβάσεις ήταν 5%. Εάν είχε χρησιμοποιηθεί εκτυπώτης των εικόνων του ακτινοσκοπικού, το 58% των ακτινογραφιών εντός της χειρουργικής αίθουσας θα είχε αποφευχθεί.

Σε μία μελέτη σχετικά με τους κινδύνους από την ακτινοβολία στη χειρουργική της χειρός, διαπιστώθηκε ότι ένας χειρουργός θα έπρεπε να χρησιμοποιήσει ακτινοβολία σε 19.000 ασθενείς (61 μέρες συνεχούς ακτινοσκόπησης) για να υπερβεί τα όρια έκθεσης των δακτύλων και σε 21.000 ασθενείς (69 ημέρες συνεχούς ακτινοσκόπησης) για να υπερβεί τα όρια έκθεσης των οφθαλμών. Εάν, όμως, τα χέρια του χειρουργού εκτίθενται στην πρωτογενή δέση ακτινοβολίας, η δόση αυξά-

Πίνακας 2. Συνιστώμενη από τον NCRP επιτρεπόμενη ετήσια ισοδύναμη δόση για επαγγελματική έκθεση στην ακτινοβολία.

Θέση	Ετήσια ισοδύναμη δόση (rem)
Ολόσωμη ακτινοβολία	5
Άκρα	50
Δέρμα	50
Οφθαλμοί	15
Υπόλοιπα σημεία του σώματος	50

νει 100 φορές. Επομένως, ο χειρουργός θα ξεπερνούσε το επίσιο όριο μετά από 13 ώρες εργασίας².

Σε μία μελέτη με ασφαλιζόμενες ενδομυελικές πλώσεις¹³ μετά από ακτινοσκόπηση διάρκειας επτά λεπτών, όταν η απόσταση από την πηγή της ακτινοβολίας ήταν 40 εκ., η δόση της ακτινοβολίας ήταν 17 mrem, και όταν ήταν 80 εκ., η δόση ανερχόταν στα 2 mrem. Όταν γινόταν χρήση μπλούζας μολύβδου, δεν ανιχνευόταν ακτινοβολία. Σε πλώσεις μηριαίου ο μέσος χρόνος έκθεσης ήταν 3 λεπτά και 43 δευτέρα και σε πλώσεις κνήμης 3 λεπτά και 8 δευτέρα. Η χρήση μνήμης στη συσκευή ακτινοσκόπησης οδηγεί στη μείωση της ακτινοβολίας, σε μία μελέτη, κατά 60%. Η προστασία του χειρουργού και του ασθενούς με μπλούζες μολύβδου μειώνει σημαντικά την απορροφούμενη ακτινοβολία³⁶. Επίσης, σε μία μελέτη στην οποία μετρήθηκε η δόση της ακτινοβολίας σε 7 διαφορετικές επεμβάσεις⁴¹, όταν γινόταν χρήση μπλουζών μολύβδου, η δόση της ακτινοβολίας ήταν ελάχιστη. Πρέπει, όμως, να σημειωθεί ότι το στρώμα του μολύβδου θα πρέπει να είναι ανέπαφο και να μην έχει ρωγμές ή οπές, δια των οποίων είναι δυνατή η δίοδος της ακτινοβολίας. Η μπλούζα μολύβδου καλύπτει το 82% του μεταβολικά ενεργού μυελού των οστών. Η χρήση μολύβδινης μπλούζας προστατεύει, επομένως, ικανοποιητικά τον χειρουργό. Οι δόσεις ακτινοβολίας που έχουν μετρηθεί κυμαίνονται μεταξύ 0 και 5 mrem. Η διαφορά αυτή είναι δυνατό να οφείλεται στο ότι ο χειρουργός συχνά στέκεται με την πλάγια πλευρά του σώματός του προς το ασθενή.

Επίσης, έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση του ακτινοσκοπικού μηχανήματος από το χειρουργό, όσον αφορά την απόφαση λήψης των προβολών, οδηγεί σε μείωση του χρόνου ακτινοσκόπησης. Όταν ο χειρουργός χειρίζεται το πεντάλ του ακτινοσκοπικού μηχανήματος, μειώνεται σημαντικά ο χρόνος ακτινοβολίας, καθώς και η δόση της ακτινοβολίας και στα δύο χέρια και επομένως και η ολόσωμη ακτινοβολία⁴⁶. Επίσης, η εισαγωγή της χρήσης ακουστικών σημάτων στις συσκευές ακτινοσκόπησης, οδήγησε σε μείωση του χρόνου ακτινοσκόπησης και σε αποφυγή της εκούσιας λήψης ακτινογραφιών²⁹. Η εμπειρία των χειρουργών έχει μεγάλη σημασία. Οι λιγότερο έμπειροι χειρουργοί δέχονται περισσότερη ακτινοβολία, ενώ οι πολύ έμπειροι χειρουργοί, οι οποίοι όμως δεν πραγματοποιούν συχνά την επέμβαση που χρειάζεται ακτινοσκόπηση, εκτίθενται συχνά στην ακτινοβολία^{24,47,44,57}. Σημασία έχει και η βαρύτητα του χειρουργείου. Η δόση και ο χρόνος της ακτινοβολίας αυξάνονταν σημαντικά όταν αντιμετωπιζόταν ένα συντριπτικό κάταγμα του ισχίου²². Η ακτινοσκόπηση κατά παλμούς και όχι η συνεχής ακτινοσκόπηση μείωσε σημαντικά την πρόσληψη της ακτινοβολίας, τόσο στους ιατρούς, όσο και στο τεχνικό προσωπικό²⁸. Η πλημμελής συντήρηση των ακτινολογικών συσκευών αυξάνει την έκθεση στην ιονίζουσα ακτινοβο-

λία^{5,16}. Η χρήση εργαλείων με μακριές λαβές έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση των χεριών του χειρουργού από το κέντρο της δέσμης της ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της δεχόμενης ακτινοβολίας. Σε μία μελέτη με διαδερμική τοποθέτηση διαυχενικών κοχλιών⁴⁷, η έκθεση των χεριών του χειρουργού ήταν 1.67 mrad/min με φυσιολογικό πεδίο δέσμης. Εάν το εύρος της δέσμης μειωνόταν, τότε η δόση ήταν μόνο 0.42 mrad/min. Σε αυτή την περίπτωση θα ήταν επιτρεπτή η πραγματοποίηση περισσότερων από 22.000 επεμβάσεις, με χρόνο έκθεσης 30 δευτερολέπων η καθεμία, εντός ενός τριμήνου, πριν ξεπεραστούν τα όρια ασφαλούς έκθεσης της χειρός.

Ορισμένες τεχνικές λεπτομέρειες μπορεί να έχουν τεράστια σημασία όσον αφορά το μέγεθος της προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας. Έτσι, η ενεργής προσλαμβανόμενη δόση από τον ασθενή κατά τη λήψη πλάγιας ακτινογραφίας της οσφυϊκής μοίρας της ΣΣ διαφέρει σημαντικά στην αριστερή σε σχέση με τη δεξιά πλάγια προβολή⁴⁵. Σε έναν ενήλικα στον οποίο πραγματοποιείται πλάγια ακτινογραφία της ΟΜΣΣ, εάν λαμβάνεται η αριστερή προβολή, η ενεργής δόση μειώνεται κατά 38% σε σχέση με τη δεξιά πλάγια προβολή. Αυτό οφείλεται στην ασυμμετρία των οργάνων που παρεμβάλλονται στην πορεία της δέσμης των ακτίνων Χ. Παρομοίως, εάν διενεργείται ακτινογραφία του θώρακα και της κοιλίας με οπισθοπρόσθια και όχι με προσθιοπίσθια κατεύθυνση της δέσμης, τότε η ενεργής δόση μειώνεται κατά 29% και 38%, αντίστοιχα. Η ενεργής δόση κατά τη λήψη μιας ακτινογραφίας της ΟΜΣΣ είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την ακτινογραφία θώρακος. Επομένως, με τη λήψη αριστερής πλάγιας ακτινογραφίας της ΟΜΣΣ μειώνεται σημαντικά η ακτινοβολία που δέχεται ο ασθενής.

Έχει διαπιστωθεί ότι η εκπαίδευση των τεχνικών που χειρίζονται τα ακτινοσκοπικά μηχανήματα είναι πλημμελής. Το American College of Radiology και το FDA (Food and Drug Administration) έχουν καταστήσει σαφές ότι ένας από τους πιο επιτυχημένους τρόπους μείωσης της δόσης της ακτινοβολίας, τόσο στον ασθενή όσο και στο χειρουργό, είναι η επαρκής εκπαίδευση των τεχνικών ακτινοσκόπησης^{1,28,65}.

Όμως, σημαντική είναι και η ανάγκη για εκπαίδευση των ιατρών και του νοσηλευτικού προσωπικού στην ακτινοπροστασία. Η εφαρμογή ενός επιτυχημένου προγράμματος εκπαίδευσης σε μη ακτινολόγους, που περιλάμβανε τις γενικές αρχές ακτινοπροστασίας όσον αφορά το χρόνο, την απόσταση και την ενεργή και παθητική προστασία, οδήγησε σε μείωση του συνολικού χρόνου ακτινοσκόπησης κατά 10% σε σχέση με την έναρξη του προγράμματος³⁹. Σε κάθε νοσοκομείο θα πρέπει να ελέγχεται η έκθεση του προσωπικού σε ακτινοβολία σε τα-

κτικά διαστήματα υπό την εποπτεία του συμβούλου ακτινοπροστασίας (radiation protection adviser).

Η έκθεση στην επικίνδυνη ιονίζουσα ακτινοβολία είναι υπαρκτή και μετρήσιμη^{11,12}. Θα πρέπει να ακολουθείται η αρχή έκθεσης στην ακτινοβολία ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ή ALARP (As Low As Reasonably Practical). Η δόση που προσλαμβάνεται κατά τη διάρκεια των ορθοπαιδικών επεμβάσεων, συμπεριλαμβανομένης της ενδομυελικής ήλωσης, είναι σχετικά μικρή, αυτό όμως δε θα πρέπει να θεωρείται δικαιολογία για την αποφυγή λήψης των απαραίτητων μέτρων προστασίας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει ασφαλές όριο πρόσληψης της ιονίζουσας ακτινοβολίας και ότι κάθε δόση είναι δυνατό να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες παρενέργειες, ιδίως εξαιτίας της μη προβλέψιμης επίδρασης στο γενετικό υλικό. Η συνετή και αιτιολογημένη χρήση της ιονίζουσας ακτινοβολίας σε συνδυασμό με τη γνώση των κανόνων ακτινοπροστασίας από τους χειρουργούς, το νοσηλευτικό και το ακτινολογικό προσωπικό εξασφαλίζουν τη μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια από τη θεραπευτική χρήση της.

Δ. Η ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ ΤΗΣ ΣΠΟΝΔΥΛΙΚΗΣ ΣΤΗΛΗΣ

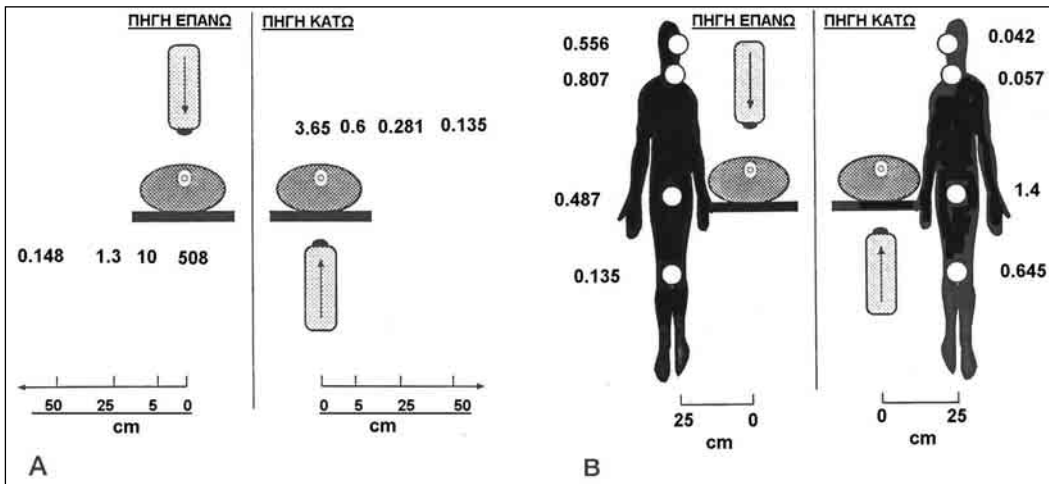
Το μεγαλύτερο μέρος της ορθοπαιδικής βιβλιογραφίας που αναφέρεται στο θέμα της ακτινοπροστασίας προέρχεται από τη μελέτη της έκθεσης σε ακτινοβολία κυρίως σε ασφαλιζόμενες ενδομυελικές ηλώσεις και σε ηλώσεις καταγμάτων ισχίου^{19,46,48,49,57}. Υπάρχουν ελάχιστες αναφορές για τη σπονδυλική στήλη. Στη χειρουργική της σπονδυλικής στήλης, η ακτινοσκόπηση χρησιμοποιείται άμεσα για τον εντοπισμό του επιπέδου της ΣΣ που θα πραγματοποιηθεί η επέμβαση και για την τοποθέτηση των διαυχενικών κοχλιών. Σημαντική ακτινοβολία, όμως, δέχεται και ο ασθενής όταν χρησιμοποιούνται συστήματα στόχευσης που βασίζονται στην αξονική τομογραφία, λόγω της ακτινοβολίας που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η εξέταση αυτή.

Η έκθεση του χειρουργού της σπονδυλικής στήλης στην ιονίζουσα ακτινοβολία είναι σημαντική επειδή: α. οι χειρουργικές τεχνικές και τα διαθέσιμα εργαλεία αναγκάζουν το χειρουργό να εκθέτει τα χέρια του στην πρωτογενή δέσμη ακτινοβολίας ή να εργάζεται πολύ κοντά σε αυτήν, β. υπάρχει ανάγκη πραγματοποίησης πλάγιων ακτινογραφιών, οι οποίες απαιτούν περισσότερη ακτινοβολία από κάθε άλλη περιοχή του μυοσκελετικού συστήματος, γ. οι διαυχενικοί κοχλίες τοποθετούνται σε κάθε επίπεδο ανά ζεύγη, δ. η συχνότητα πραγματοποίησης αυτών των επεμβάσεων αυξάνει τα τελευταία χρόνια.

Η έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία κατά τη χειρουργική

της σπονδυλικής στήλης μπορεί να είναι μεγάλη, ακόμα μεγαλύτερη και από την ασφαλιζόμενη ενδομυελική ήλωση. Οι Fuchs και συν.¹⁹ διαπίστωσαν ότι η μεγαλύτερη έκθεση των χειρουργών στην ακτινοβολία παρατηρούταν κατά τις επεμβάσεις εσωτερικής οστεοσύνθεσης της σπονδυλικής στήλης. Με μέση διάρκεια ακτινοσκόπησης τα 523 δευτερόλεπτα, η μέγιστη έκθεση στην ακτινοβολία στις διάφορες θέσεις μέτρησης ήταν 49.8 μSv έως 117 μSv . Η έκθεση του κυρίαρχου χεριού του χειρουργού κυμαινόταν μεταξύ 24.9 μSv - 259.3 μSv . Αντίστοιχα, στην ασφαλιζόμενη ήλωση του μηριαίου η μέγιστη έκθεση κυμαινόταν στα 19 μSv - 41 μSv και η έκθεση του κυρίαρχου χεριού του χειρουργού κυμαινόταν στα 28.9 μSv - 69.1 μSv . Συγκριτικά, κατά την επέμβαση οστεοσύνθεσης των καταγμάτων του κάτω πέρατος της κερκίδας η μέση έκθεση στην ακτινοβολία κυμαινόταν μεταξύ 1.1 και 3.1 μSv . Σύμφωνα με τη γερμανική νομοθεσία, η οποία επιτρέπει επίσης έκθεση των χεριών 500 mSv και έκθεση του θυρεοειδούς 300 mSv, επιτρέπονται θεωρητικά 4000 και 5000 επεμβάσεις στην ΟΜΣΣ ανά έτος αντίστοιχα, πριν ξεπεραστούν τα όρια “ασφαλείας”.

Οι Crawley και συν.¹¹ μελέτησαν το χρόνο ακτινοσκόπησης και το γινόμενο δόσης-επιφάνειας (dose-area product, DAP) σε μια ποικιλία ορθοπαιδικών επεμβάσεων, μεταξύ των οποίων σε ηλώσεις του ισχίου και σε επεμβάσεις της σπονδυλικής στήλης. Το μέσο DAP σε επεμβάσεις των άκρων ήταν σχετικά μικρό (0.04-1.62 Gy cm^2) και ο χρόνος ακτινοσκόπησης ήταν 0.2-2.0 λεπτά, ενώ σε επεμβάσεις στο ισχίο και στη ΣΣ το μέσο DAP ήταν σημαντικά μεγαλύτερο (0.4-10.2 Gy cm^2), αν και ο χρόνος ακτινοσκόπησης δε διέφερε σημαντικά (0.2-1.4 λεπτά). Για επεμβάσεις στα άκρα η ενεργός δόση (effective dose) ήταν γενικά μικρότερη των 10 μSv και για επεμβάσεις στο ισχίο και τη ΣΣ ανερχόταν έως το 1 μSv . Σε επεμβάσεις ήλωσης του ισχίου η ενεργός δόση στη μέση τιμή της DAP ανερχόταν στα 720 μSv και σε επεμβάσεις σπονδυλοδεσίας της ΟΜΣΣ στα 1370 μSv . Στη χειρουργική του ισχίου πραγματοποιούνταν συνήθως προσθιοπίσθιες και πλάγιες ακτινογραφίες σε αναλογία 1:3 και σε επεμβάσεις της ΣΣ συνήθως πλάγιες ακτινογραφίες. Ο ρυθμός της DAP ποικίλλει περισσότερο στις επεμβάσεις του κορμού παρά στις επεμβάσεις των άκρων, επειδή οι προβολές που χρησιμοποιούνται στη χειρουργική της ΣΣ έχουν μεγαλύτερη επίδραση στη DAP από αυτές που χρησιμοποιούνται στα άκρα, τα οποία έχουν περισσότερο ομοιογενή κατανομή μάζας. Υψηλότερες τιμές DAP παρατηρούνται σε περισσότερο πολύπλοκες επεμβάσεις που πραγματοποιούνται σε παχύτερα μέρη του σώματος. Σε αυτήν τη μελέτη περισσότερο από το 90% της ενεργούς δόσης από όλες τις ορθοπαιδικές επεμβάσεις, εξαιρουμένων των ενδομυελικών ηλώσεων, προέρχεται από τις επεμβάσεις που πραγματοποιούνται στη ΣΣ και στο ισχίο.



Εικόνα 2. Διαγραμματική αναπαράσταση των ενδείξεων του δοσιμέτρου κατά την τοποθέτηση διαυχενικών κοχλιών σε mGy/εικόνα. Στην εικόνα Α ανάλογα με τη θέση της πηγής της ακτινοβολίας (πάνω ή κάτω από τη χειρουργική τράπεζα) και στη Β η ακτινοβολία που δέχονται αντίστοιχα τα διάφορα σημεία του σώματος του χειρουργού.

Οι Gwynne Jones και συν.²⁵ μελέτησαν την έκθεση στην ακτινοβολία κατά τη διάρκεια ακτινοσκοπικά υποβοηθούμενης τοποθέτησης διαυχενικών κοχλιών στη χειρουργική της ΟΜΣΣ. Βασιζόμενοι σε μετρήσεις σε 34 ασθενείς, διαπίστωσαν ότι σε 50 λεπτά ακτινοσκόπησης η μέγιστη δόση σκεδαζόμενης ακτινοβολίας στα χέρια ήταν 31 mSv/έτος, υποθέτοντας ότι τα χέρια βρίσκονταν εντός 5 εκ. από την πρωτογενή δέσμη. Η άμεση έκθεση στην ακτινοβολία θα πρόσθετε 0.5 mSv για κάθε φορά άμεσης έκθεσης. Η δόση ακτινοβολίας στο θυρεοειδή θα ήταν 2.4 mSv/έτος και στους οφθαλμούς 1.67 mSv/έτος, με την προϋπόθεση ότι η πηγή της ακτινοβολίας ήταν πάνω από το σώμα του ασθενούς και επομένως, η κατεύθυνση της δέσμης ήταν οπισθοπρόσθια. Επομένως, σύμφωνα με τις οδηγίες του ICRP, η πραγματοποίηση 50 επεμβάσεων σε ένα έτος θα παρουσίαζε παράγοντα ασφαλείας 11 για τα χέρια, 117 για το θυρεοειδή και 63 για τους οφθαλμούς. Η δόση ακτινοβολίας κατά την εισοδο στο σώμα του ασθενή θα ήταν κατά μέσο όρο 43 mSv/περίπτωση με μέσο όρο ακτινοσκόπησης τα 1.4 λεπτά και η ενεργός δόση ακτινοβολίας θα ήταν κατά μέσο όρο 2.3 mSv. Η έκθεση των χεριών ανέρχεται στο 9% των υποδείξεων του ICRP (εικόνα 2). Ο κίνδυνος υπέρβασης αυτών των ορίων είναι μικρός, εκτός και αν τα χέρια εκτεθούν άμεσα. Τα χέρια του χειρουργού, εάν είναι δυνατό, είναι προτιμότερο να παραμένουν στην άκρη του κορμού του ασθενούς, πράξη που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας κατά 25%. Η τροποποίηση των χρησιμοποιούμενων εργαλείων μπορεί να βοηθήσει προς αυτή την κατεύθυνση. Όταν η πηγή της ακτινοβολίας είναι κάτω από το τραπέζι, και επομένως η φορά της δέσμης είναι προσθιοπίσθια, η ενεργός δόση ανέρχεται στα 6.9 mSv. Για λόγους σύγκρισης, μία απλή προσθιοπίσθια ακτινογραφία της ΟΜΣΣ έχει ενεργό δόση 0.5-1 mSv. Η συνήθως προτιμώμενη θέση του ακτινοσκοπικού είναι με την πηγή πάνω από τη χειρουργική

τράπεζα, επειδή είναι λιγότερο ογκώδης από τον ενισχυτή εικόνας και επιτρέπει τη δημιουργία χώρου εργασίας περίπου 45 εκ. για την τοποθέτηση των εργαλείων. Η δόση εισόδου είναι 2.5 φορές μεγαλύτερη από την οπισθοπρόσθια ακτινοσκόπηση του ισχίου. Η ενεργός δόση στον ασθενή με την πηγή πάνω από τη χειρουργική τράπεζα είναι τριπλάσια ή τετραπλάσια από την προσθιοπίσθια ακτινογραφία της ΟΜΣΣ. Επομένως, από τη σκοπιά της μείωσης της ακτινοβολίας, η τοποθέτηση της συσκευής ακτινοσκόπησης με την πηγή κάτω από τη χειρουργική τράπεζα και τον ενισχυτή εικόνας κοντά στο σώμα του ασθενούς θα ήταν ιδανική, δεν είναι όμως πρακτική. Με την πηγή προς τα κάτω μειώνεται η σκεδαζό-

Πίνακας 3. Ρυθμός ακτινοβολήσης των χεριών στη χειρουργική της σπονδυλικής στήλης σε σχέση με το χρόνο ακτινοσκόπησης και το βάρος του ασθενούς.

Χρόνος ακτινοσκόπησης (min)	Μέσος ρυθμός ακτινοβολήσης χεριών (58 mrem/min)	Μέσος ρυθμός ακτινοβολήσης χεριών ασθενείς > 100 kg ΒΣ (79 mrem/min)
1	869	631
2	429	316
3	286	211
4	215	158
5	172	127
6	143	105
7	123	90
8	107	79
9	95	70
10	86	63

μενη ακτινοβολία στα χέρια, στο θυρεοειδή και στα μάτια, όπως επίσης μειώνεται και η άμεση έκθεση των χεριών στην ακτινοβολία.

Σε μία *in vitro* μελέτη με τοποθέτηση διαυχενικών κοχλιών στη θωρακοσφυϊκή μοίρα της ΣΣ σε πωματικά παρασκευάσματα, οι Rampersaus και συν.⁵² μέτρησαν δόση ακτινοβολίας 58.2 mrem/min στο κυρίαρχο άκρο του χειρουργού (πίνακας 3). Αυτή η έκθεση είναι 10-12 φορές μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες τιμές που παρατηρούνται σε άλλες επεμβάσεις στο μυοσκελετικό σύστημα. Η δόση στο σώμα του χειρουργού αυξανόταν σημαντικά, όταν στεκόταν προς την πλευρά της πηγής της ακτινοβολίας (53.3 mrem/min), παρά όταν στεκόταν στην πλευρά του ενισχυτή εικόνας (2.2 mrem/min). Επίσης, υπήρχε διαφορά στην έκθεση του θυρεοειδούς αδένου. Όταν ο χειρουργός στεκόταν στην πλευρά της πηγής, ο αδένος δεχόταν τρεις έως τέσσερις φορές περισσότερη ακτινοβολία. Η διαφορετική αυτή απορρόφηση οφείλεται στη διαφορετική διαδρομή της ακτινοβολίας. Μέχρι να φθάσει η ακτινοβολία στον ενισχυτή εικόνας έχει εξασθενήσει σημαντικά, λόγω της αύξησης της απόστασης από την πηγή της ακτινοβολίας, λόγω του σκεδασμού κατά την είσοδο στο σώμα, που αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ακτινοβολίας του χειρουργού, και τέλος, λόγω της απορρόφησης της ακτινοβολίας κατά τη διόδό της από το σώμα του ασθενούς. Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία διαχέεται τυχαία προς όλες τις κατευθύνσεις, οδηγώντας σε μία επικίνδυνη ζώνη γύρω από το σημείο εισόδου της ακτινοβολίας, ακτινοβολώντας τους χειρουργούς που συνηθίζουν να τοποθετούν τα χέρια τους στη ράχη του ασθενούς. Η χρήση γαντιών ακτινοπροστασίας οδήγησε σε μείωση της δόσης που δέχονταν τα χέρια κατά 33%. Βεβαίως, η σχέση κόστους-ωφέλειας δεν είναι δυνατό να καθοριστεί, αφού δεν είναι γνωστός ο κίνδυνος ακτινικής νόσου από την έκθεση στην ιονίζουσα ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας. Διατήρηση απόστασης 3-4 ποδιών από τη δέσμη της ακτινοβολίας μειώνει σε αμελητέα επίπεδα τη δόση της ακτινοβολίας. Οι οργανισμοί ICRP και NCRP συνιστούν ότι τα άτομα που εκτίθενται σε μεγαλύτερη του 10% από την ετησίως επιτρεπόμενη επαγγελματικά ολόσωμη δόση θα πρέπει να παρακολουθούνται τακτικά. Εάν υποθεθεί ότι η επιτρεπόμενη ετήσια ολόσωμη δόση είναι 5000 mrem, τα επίπεδα έκθεσης που παρατηρήθηκαν σε αυτήν τη μελέτη θέτουν τους χειρουργούς της σπονδυλικής στήλης πάνω από αυτό το όριο.

Για την τοποθέτηση των διαυχενικών κοχλιών, πλην της κλασικής τεχνικής με τη χρήση της ακτινοσκόπησης, έχουν χρησιμοποιηθεί και συστήματα Η/Υ, που χρησιμοποιούν πληροφορίες οι οποίες έχουν ληφθεί από τη διενέργεια αξονικής τομογραφίας (Computer - Assisted Surgery)⁶³. Η σύγκριση της ακτινοβολίας την οποία δέχεται ο ασθενής και στις δύο τεχνικές, αποκάλυψε ότι η

ενεργής δόση μετά από 378 δεύτερα ακτινοσκόπησης ενός προπλάσματος ήταν 1 mSv. Συγκριτικά, η αντίστοιχη δόση μετά από μία απλή προσθιοπίσθια ακτινογραφία της ΟΜΣΣ είναι 0.5 mSv και μετά από μία απλή ακτινογραφία της πυέλου 0.6 mSv. Η ενεργής δόση από την αξονική τομογραφία κυμαινόταν μεταξύ 3.0 και 4.1 mSv, ανάλογα με το πρωτόκολλο. Για λόγους σύγκρισης, η δόση που παρέχεται από μία αξονική τομογραφία της πυέλου είναι 8.7 mSv. Η ενεργής δόση από την έκθεση στην ακτινοσκόπηση ήταν τέσσερις φορές μικρότερη από ότι στην αξονική τομογραφία. Τροποποιήσεις στο πρωτόκολλο της αξονικής τομογραφίας μείωσαν σημαντικά τη δόση της ακτινοβολίας, η οποία όμως παραμένει μεγαλύτερη από την ακτινοσκόπηση, αν και είναι εντός παραδεκτών ορίων. Επομένως, η χρήση CAS υπερτερεί σε δύσκολες περιπτώσεις, όπως στη σκολίωση, σε επανεπεμβάσεις και σε όγκους. Θα πρέπει, βέβαια, να συνυπολογίζουμε ότι ο κίνδυνος από την ακτινοβολία είναι μόνο ένας από τους κινδύνους που αντιμετωπίζει ο χειρουργός της ΣΣ και ο ασθενής του. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα CAS που χρησιμοποιούν την ακτινοσκόπηση και τη μαγνητική τομογραφία, χωρίς όμως να υπερέχουν της αξονικής τομογραφίας^{18,65}.

Για να μειωθεί η ποσότητα της ακτινοβολίας, τόσο στα μέλη της χειρουργικής ομάδας όσο και στον ασθενή, θα πρέπει να τηρούνται οι κανόνες ALARA ή ALARP. Οι κανόνες αυτοί έχουν ως σκοπό να γίνει αντιληπτό ότι κάθε έκθεση στην ακτινοβολία είναι υπερβολική, αφού δεν υπάρχει απόλυτα σαφές όριο έκθεσης. Η ακτινοβολία είναι δυνατό να μειωθεί επηρεάζοντας τρεις παράγοντες: το χρόνο, την απόσταση και την παθητική και ενεργητική προστασία.

Επομένως, για να μειωθεί η έκθεση στην ακτινοβολία θα πρέπει:

α. Ο χειρουργός να γνωρίζει τη χειρουργική τεχνική και να έχει εκπαιδευτεί σε αυτήν επαρκώς.

β. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται η μνήμη του ακτινοσκοπικού μηχανήματος και η ακτινοσκόπηση να γίνεται κατά παλμούς.

γ. Όλοι οι συμμετέχοντες θα πρέπει να είναι εξοικειωμένοι και να εφαρμόζουν τους κανόνες ακτινοπροστασίας.

δ. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μπλούζες μολύβδου, ασπίδες θυρεοειδούς και, εάν είναι δυνατό, γάντια και γυαλιά ακτινοπροστασίας.

ε. Οι γονάδες του ασθενούς θα πρέπει να καλύπτονται, εάν είναι δυνατόν, προκειμένου να μειωθεί η ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχονται.

στ. Όλοι οι συμμετέχοντες θα πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατό μακρύτερα από τη δέσμη της ακτινοβολίας.

ζ. Η έκθεση στην πρωτογενή δέσμη της ακτινοβολίας θα πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά, αφού είναι η σημα-

ντικότερη πηγή ακτινοβολίας.

η. Κατά την επέμβαση, η πηγή του ακτινοσκοπικού θα πρέπει να βρίσκεται στη μεγαλύτερη απόσταση από τον ασθενή, κοντά στον οποίο θα πρέπει να βρίσκεται ο ενισχυτής εικόνας. Ο χειρουργός είναι προτιμότερο να στέκεται στην πλευρά του ενισχυτή εικόνας. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η σκεδαζόμενη ακτινοβολία.

θ. Το ακτινοσκοπικό μηχάνημα θα πρέπει να ελέγχεται τακτικά, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, όσον αφορά τη λειτουργία του και την ποσότητα της ακτινοβολίας που εκπέμπει.

ι. Η χρήση συστημάτων στόχευσης των περιφερικών κοχλίων, συστημάτων τοποθέτησης των μελών του σώματος και εργαλείων με μακριά λαβή είναι επιθυμητή.

ια. Το εύρος του πεδίου απεικόνισης θα πρέπει να είναι το μικρότερο δυνατό κλείνοντας τα διαφράγματα της συσκευής, αφού με αυτό τον τρόπο μειώνεται η σκεδαζόμενη ακτινοβολία. Μειώνοντας στο μισό το εύρος του πεδίου, μειώθηκε σε μία μελέτη η σκεδαζόμενη ακτινοβολία κατά 52%. Επίσης, η αφαίρεση του αντισκεδαστικού διαφράγματος μείωσε τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία κατά 63%. Σε συνδυασμό τα δύο παραπάνω μέτρα μείωσαν τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία κατά 82%.

Συμπερασματικά, ο ορθοπαιδικός και ο χειρουργός της σπονδυλικής στήλης, όπως επίσης και ο ορθοπαιδικός ασθενής βρίσκονται εκτεθειμένοι στην επιβλαβή, και εν πολλοίς άγνωστη επίδραση της ιονίζουσας ακτινοβολίας. Η γνώση και η επιμελής εφαρμογή των κανόνων ακτινοπροστασίας είναι απαραίτητη για τη μείωση της έκθεσης στην ιονίζουσα ακτινοβολία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. American College of Radiology. Proceedings of the ACR/FDA workshop on fluoroscopy strategies for improvement in performance, radiation safety and control. American College of Radiology, 1992.
2. Arnstein PM, Richards AM, Putney R. The risk from radiation exposure during operative X-ray screening in hand surgery. *J Hand Surg (Br)* 1994, 19(3):393-396.
3. Ash P. The influence of radiation on fertility in Man. *British J Radiology* 1980, 53:271-278.
4. Barry TP. Radiation exposure to an orthopaedic surgeon. *Clin Orthop* 1984, 182:160-164.
5. Blanchette J, Renaud L. Radioexposure levels observed with sub-optimal fluoroscopic systems. *Can J Med Radiat Technol* 1992 Oct, 23(4):187-492.
6. Braun BJ, Skindzielewski JJ. Radiation exposure of emergency physicians. *Ann Emerg Med* 1982 Oct, 11(10):535-540.
7. Bundesminister Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit der Bundesrepublik Deutschland. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission (SSD). Fischer, Stuttgart, Band 20, 1992, :66.
8. Carpenter ML, Singer PR, Jain A, Dehmer GJ. Reduction in radiation exposure during coronary angiography. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1990, 21(3):195-197.
9. Chen MY, Van Swearingen FL, Mitchell R, Ott DJ. Radiation exposure during ERCP: effect of a protective shield: *Gastrointest Endosc* 1996, 43(1):1-5.
10. Code of Federal Regulations: Title 10, Section 20.101(a), pp. 236-239. Washington D.C., United States Government Printing Office, 1984.
11. Crawley MT, Rogers AT. Dose-area product measurements in a range of common orthopaedic procedures and their possible use in establishing local diagnostic reference levels. *Br J Radiol* 2000, 73:740-744.
12. Dewey P, Incoll I. Evaluation of thyroid shields for reduction of radiation exposure to orthopaedic surgeons. *Aust N Z J Surg* 1998, 68(9):635-636.
13. Dosch JC, Dupuis M, Beck G. Strahlungsmessungen bei Verriegelungsnagelungen. *Hefte Unfallheilk* 1983, 161:36-38.
14. Euratom. 80/836/Euratom. Official Journal of the European Community 1980, L246:1-72.
15. Euratom. 84/467/Euratom. Official Journal of the European Community 1984, L265:4-156.
16. Faulkner K, Moores BM. An assessment of the radiation dose received by staff using fluoroscopic equipment. *Br J Radiol* 1982, 55(652):272-276.
17. Finkelstein MM. Is brain cancer an occupational disease of cardiologists? *Can J Cardiol* 1998, 14(11):1385-1388.
18. Foley KT, Simon DA, Rampersaud YR. Virtual Fluoroscopy: Computer-Assisted Fluoroscopic Navigation. *Spine* 2001 15, 26(4):347-351.
19. Fuchs M, Schmid A, Eiteljoerge T, Modler M, Stuermer KM. Exposure of the surgeon to radiation during surgery. *Int Orthop* 1998, 22:153-156.
20. Fuchs M, Schmid A, Eiteljorge T, Modler H, Sturmer KM. Radiation dosage of the surgery from intraoperative roentgen procedures: risks and dose management in the operating room. *Langenbecks Arch Chir Suppl Kongressbd* 1998, 115:1111-1113.
21. Giachino AA, Cheng M. Irradiation of the Surgeon during Pinning of Femoral Fractures. *J Bone and Joint Surg* 1980, 62-B(2):227-229.
22. Giannoudis PV, McGuigan H, Shaw DL. Ionizing radiation during internal fixation of extracapsular neck of femur fractures. *Injury* 1998, 29:469-472.
23. Giblin JG, Rubenstein J, Taylor A, Pahira J. Radiation risk to the urologist during endourologic procedures, and a new shield that reduces exposure. *Urology* 1996, 48(4):624.
24. Goldstone KE, Wright IH, Cohen B. Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons during procedures under fluoroscopic X-ray control. *Br J Radiol* 1993 Oct, 66(790):899-901.
25. Goodard CC, Al-Farsi A. Radiation doses from CT in the Sultanate of Oman. *Br J Radiology* 1999, 72:1073-1077.
26. Gwyne Jones D, Robertson P, Lunt B, Jackson S. Radiation exposure during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion in the lumbar spine. *Spine* 2000, 25,12:1538-1541.
27. Henderson KH, Lu JK, Strauss KJ, Treves ST, Rockoff MA. Radiation exposure of anesthesiologists. *J Clin Anesth* 1994, 6(1):37-41.

28. Holmes DR Jr, Wondrow MA, Gray JE, Vetter RJ, Fellows JL, Julsrud PR. Effect of pulsed progressive fluoroscopy on reduction of radiation dose in the cardiac catheterization laboratory. *J Am Coll Cardiol* 1990, 15(1):159-162.
29. Hough DM, Brady A, Stevenson GW. Audible radiation monitors: the value in reducing radiation exposure to fluoroscopy personnel. *AJR Am J Roentgenol* 1993 Feb, 160(2):407-8.
30. Hynes DE, Conere T, Mee MB, Cashman WF. Ionizing radiation and the orthopaedic surgeon. *J Bone Joint Surg (Br)* 1992, 74B:332-334.
31. ICRP Publication 26. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP* 1977, 1:3.
32. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP* 1991, 21:1-3.
33. Jones DP, Robertson PA, Lunt B, Jackson SA. Radiation exposure during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion in the lumbar spine. *Spine* 2000, 25(12):1538-1541.
34. Jones DG, Stoddart J. Radiation use in the orthopaedic theatre: a prospective audit. *Aust N Z J Surg* 1998, 68(11):782-784.
35. Kempf I, Grosse A, Beck G. Closed locked intramedullary nailing. Its application to comminuted fractures of the femur. *J Bone Joint Surg* 1987, 67A:709.
36. Krueger KJ, Hoffman BJ. Radiation exposure during gastroenterologic fluoroscopy: risk assessment for pregnant workers. *Am J Gastroenterol* 1992 Apr, 87(4):429-31.
37. Kwong LN, Johanson PH, Zinar DM, Lenihan MR, Herman MW. Shielding of the patient's gonads during intramedullary interlocking femoral nailing. *J Bone Joint Surg* 1993, 72A,10:1523-1526.
38. Levin PE, Schoen RW, Browner BD. Radiation exposure to the surgeon during closed interlocking intramedullary nailing. *J Bone Joint Surg* 1987, 69A:761-766.
39. Lewall, DB, Riley P, Al Hassoon A, McParland BJ. A fluoroscopy credentialing program for orthopaedic surgeons. *JBJS* 1995, 77B(3):442-444.
40. Mahaisavariya, B, Suibnugarn, C, Laupattarakasem, W, Kowsuwon W. A lead apron for closed femoral nailing. *J Bone Joint Surg (Am)* 1990, 72-B(5):922.
41. Maxon HR, Thomas SR, Saenger EL, Buncher CR, Kereiakes JG. Ionizing radiation and the induction of clinically significant disease in the human thyroid gland. *Am J Med* 62:967-978.
42. McGowan C, Heaton B, Stephenson RN. Occupational x-ray exposure of anaesthetists. *Br J Anaesth* 1996, 76(6):868-869.
43. Mehlman CT, DiPasquale TG. Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: "how far away is far enough?" *J Orthop Trauma* 1997, 11(6):392-398.
44. Merriam GR, Focht EF. A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose. *Am J Roentgenol* 1957, 77:759-785.
45. Miller ME, Davis ML, MacClean CR, Davis JG, Smith BL, Humphries JR. Radiation exposure and associated risks to operating-room personnel during use of fluoroscopic guidance for selected orthopaedic surgical procedures. *J Bone Joint Surg* 1983, 65-A(1):1-4.
46. Miller LP, Suffner J, Wenda K, Mohr W, Rommens PM. Radiation exposure to the hands and the thyroid of the surgeon during intramedullary nailing. *Injury* 1998, 29:461-468.
47. Nicholson RA, Thornton A, Sukumar VP. Awareness by radiology staff of the difference in radiation risk from two opposing lateral lumbar spine examinations. *Br J Radiology* 1999, 72:221.
48. Noordeen MH, Shergill N, Twyman RS, Cobb JP, Briggs T. Hazard of ionizing radiation to trauma surgeons: reducing the risk. *Injury* 1993, 24:562-564.
49. O'Rourke PJ, Crerand S, Harrington P, Casey M, Quinlan W. Risks of radiation exposure to orthopaedic surgeons. *J R Coll Surg Edinb* 1996, 41(1):40-43.
50. Osei EK, Faulkner K. Fetal doses from radiological examinations. *British J Radiology* 1999, 72:773-780.
51. Pack GT, Davis J. Radiation cancer of the skin. *Radiology* 1965, 84:436.
52. Pennig D, Brug E. A target device for placement of implants in the thoracolumbar pedicles. *J Bone Joint Surg* 1990, 72-B(5):886-888.
53. Porter CA, White CJ. Multiple carcinoma following chronic X-ray dermatitis. *Ann Surg* 1907, 46:649.
54. Ramalanjaona GR, Pearce WH, Ritenour ER. Radiation exposure risk to the surgeon during operative angiography. *J Vasc Surg* 1986, 4(3):224-228.
55. Rampersaud YR, Foley KT, Shen AC, Williams S, Solomito M. Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion. *Spine* 2000, 25(20):2637-2645.
56. Rassow J, Schmaltz AA, Hentrich F, Streffer C. Effective doses to patients from paediatric cardiac catheterization. *British J Radiology* 2000, 73:172-183.
57. Riley SA. Radiation exposure from fluoroscopy during orthopedic surgical procedures. *Clin Orthop* 1989, 248:257-60.
58. Sanders R, Koval KJ, DiPasquale T, et al. Exposure of the orthopaedic surgeon to radiation. *J Bone Joint Surg (Am)* 1993, 75-A:326-330.
59. Schneider M. Radiation exposure from fluoroscopy during orthopedic surgical procedures. *Clin Orthop* 1990, 257:311-312.
60. Schwend RM, Dewire PJ, Kowalski TM. Accuracy of fluoroscopically assisted laser targeting of the cadaveric thoracic and lumbar spine to place transpedicular screws. *J Spinal Disord* 2000, 13(5):412-418.
61. Sheikh HH, Yussman MA. Radiation exposure of ovaries during hysterosalpingography. *Am J Obstet Gynecol* 1976, 124(3):307-310.
62. SI:43. European Communities (Ionizing Radiation) Regulations. Statutory Instrument 43. Dublin: Government Publications, 1991.
63. Skedjal S, Backe S. Interlocking medullary nails-radiation doses in distal targeting. *Arch Orthop Trauma Surg* 1987,106:179.
64. Slomczykowski M, Roberto M, Schneeberger P, Ozdoba C, Vock P. Radiation dose for pedicle screw insertion. Fluoroscopic method versus computer-assisted surgery. *Spine* 1999 ;24(10):975-982; discussion 983.
65. Stoker DJ. Correspondence: Ionising radiation and the orthopaedic surgeon. *JBJS* 1992, 74-B(6):934.
66. Sugarman ID, Adam I, Bunker TD. Radiation dosage during AO locking femoral nailing. *Injury* 1988, 19:336-338.
67. Schwend RM, Dewire PJ, Kowalski TM. Accuracy of fluoroscopically

- assisted laser targeting of the cadaveric thoracic and lumbar spine to place transpedicular screws. *J Spinal Disord* 2000, 13(5):412-418.
68. Swayne LC, Lam SC, Phillipone AL, Ambrose RB. Credentialing of crossover privileges in fluoroscopy for nonradiologists. *Radiology* 1994, 190:281-282.
69. Tomei F, Papaleo B, Fantini S, Iavicoli S, Baccolo TP, Rosati MV. Vascular effects of occupational exposure to low-dose ionizing radiation. *Am J Ind Med* 1996, 30(1):72-77.
70. Vehmas T. Radiation exposure during standard and complex interventional procedures. *Br J Radiol* 1997, 70:296-298.
71. Weatherburn GC, Bryan S. The effect of a picture archiving and communication system (PACS) on patient radiation doses for examination of the lateral lumbar spine. *Br J Radiol* 1999, 72(858):534-545.
72. Zadeh HG, Briggs TW. Ionising radiation: are orthopaedic surgeons' offspring at risk? *Ann R Coll Surg Engl* 1997, 79(3):214-220.