

Οι δόσεις απορρόφησης στο έμβρυο κατά τις διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας. Οι δυνητικοί κίνδυνοι και οδηγίες ακτινοπροστασίας

Περίληψη

Αν και η εγκυμοσύνη πρέπει να αποτελεί σοβαρή αιτία για αποφυγή διαγνωστικών εξετάσεων της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας, σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν ισχυρές κλινικές ενδείξεις η διενέργεια των εξετάσεων αυτών δε θα πρέπει να αποφεύγεται. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ενημέρωση των ασθενών πρέπει να είναι ακριβής και πλήρως κατανοητή ως προς τους κινδύνους έκθεσης του έμβρυου στις ακτινοβολίες. Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζονται μέθοδοι εκτίμησης των απορροφούμενων δόσεων ακτινοβολιών σε κυάματα και έμβρυα κατά τις διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας. Τα πιθανά στοχαστικά και καθορισμένα αποτελέσματα, καθώς και ο κίνδυνος τους για το έμβρυο, εξετάζονται σε σχέση με άλλους παράγοντες κινδύνου μιας εγκυμοσύνης, την απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας και τη φάση ανάπτυξης του έμβρυου μετά τη σύλληψη. Με αυτά τα δεδομένα δίνονται ειδικές οδηγίες ακτινοπροστασίας για τη διαχείριση της έκθεσης στις ακτινοβολίες σε περιπτώσεις πιθανής, επιβεβαιωμένης ή άγνωστης εγκυμοσύνης εξεταζομένων και για τις ενδείξεις διακοπής μιας κύοντος. Συμπερασματικά, οι διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας, σπάνια αποτελούν ένδειξη διακοπής μιας εγκυμοσύνης, καθώς η απορροφούμενη δόση στο έμβρυο είναι χαμηλή και συνήθως κάτω από 100 mSv, που είναι το κατώφλι της δόσης για τα καθορισμένα αποτελέσματα των ακτινοβολιών. Επομένως ο κίνδυνος για το έμβρυο εξαιτίας αυτών των διαγνωστικών εξετάσεων είναι χαμηλός. Ο κίνδυνος των στοχαστικών αποτελεσμάτων δεν εξαλείφεται, αλλά η πιθανότητα τους για να συμβούν μειώνεται, όταν η δόση στο έμβρυο είναι όσο το δυνατό μικρότερη.

Hell J Nucl Med 2007; 10(1): 48-55

Εισαγωγή

Πιαύλος Μάρκου
Φυσικός - Ακτινοφυσικός Ιατρικής,
MSc Διοίκηση Μονάδων Υγείας

★ ★ ★

Λέξεις ευρετηρίου: Έμβρυο –
Δόση ακτινοβολίας – Έκθεση
ακτινοβολίας – Κίνδυνος – Επι-
πτώσεις ακτινοβολίας – Ακτινο-
προστασία

Διεύθυνση αλληλογραφίας:

Πιαύλος Μάρκου,
Ακτινοφυσικός Ιατρικής,
Μελενίκου 9, 582 00
Έδεσσα, Μακεδονία, Ελλάς.
Τηλ. & Fax: +30 23810 28205,
E-mail: markp@otenet.gr

Υποβλήθηκε:

5 Απριλίου, 2006

Εγκρίθηκε τροποποιημένη:
10 Νοεμβρίου, 2006

Η έκθεση εξεταζομένων εγκύων σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες, όπως συμβαίνει κατά τις διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας είναι γενικά σπάνια, αλλά είναι πιθανή όταν η εγκυμοσύνη δεν έχει γίνει αντιληπτή ή όταν συντέχουν ιατρικοί λόγοι διενέργειας τέτοιου είδους εξετάσεων. Κατά τη διάρκεια μιας κύοντος, η έκθεση σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες απαιτεί ειδικές οδηγίες και μέτρα ακτινοπροστασίας, γιατί αποτελεί σοβαρή αιτία ανησυχίας για τη μέλλουσα μπτέρα και τον ιατρό της, όχι αδικαιολόγητα αφού το έμβρυο είναι ευαίσθητο στις ακτινοβολίες [1, 2]. Η ανησυχία αυτή αφορά στις πιθανές επιπτώσεις των ακτινοβολιών στο κύμα ή το έμβρυο και ενίστεται ερωτήματα διακοπής ή όχι μιας εγκυμοσύνης [3]. Λανθασμένες αντιλήψεις για τις επιδράσεις των ιοντίζουσών ακτινοβολιών σε έγκυες γυναίκες και στο έμβρυο πέρα από την αυξημένη ανησυχία, μπορεί να οδηγήσουν σε μη δικαιολογημένο τερματισμό μιας επιθυμητής κατά τα άλλα εγκυμοσύνης. Ακόμη μπορεί να οδηγήσουν και σε καθυστερήσεις παροχής φροντίδας υγείας σε εγκυμονούσες, αν αναβληθεί μια εξέταση πυρηνικής ιατρικής ή ακτινολογίας για μετά τον τοκετό. Παλαιότερη σχετική μελέτη έχει δείξει ότι άνω του 25% των γυναικών, που εκτέθηκαν σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες, πίστευαν ότι το έμβρυο έχει υψηλό κίνδυνο για δυσπλασίες εξαιτίας της τερατογενούς δράσης τους και ταυτόχρονα πίστευαν ότι η σωστή σχετική ενημέρωση τους θα μπορούσε να αναθεωρήσει τέτοιες λανθασμένες αντιλήψεις [4]. Πρόσφατες μελέτες έχουν συνχρόνα αναδείξει την ανεπάρκεια της γνώσης των ιατρών ως προς την έκθεση σε ακτινοβολίες των εγκύων γυναικών. Μια σχετική έρευνα, που διενεργήθηκε στο Καναδά με ερωτηματολόγια καταγράφης των αντιλήψεων 218 οικογενειακών ιατρών και 69 ιατρών-γυναικολόγων, έδειξε ότι υπάρχουν σε σημαντικό ποσοστό ιατρών υπερεκτιμήσεις για

την τερατογενή δράση των ιοντιζουσών ακτινοβολιών από ακτινογραφίες και κυρίως από αξονικές τομογραφίες [5]. Στην ίδια μελέτη φαίνεται ότι ποσοστά ως 1% των ιατρών συστήνουν διακοπή της κύνστης εξαιτίας της έκθεσης της εγκυμονούσας μπτέρας σε ακτινοβολίες κατά την τέλεση ακτινογραφιών, αλλά τα ποσοστά αυτά αυξάνονται σε 5% ως 6% για τις αξονικές τομογραφίες κοιλίας. Σε άλλη μελέτη διαπιστώθηκε ότι μόλις 7% των εξεταζομένων πληροφορούνται από τους ιατρούς τους για τα οφέλη, τους κινδύνους και τις δόσεις από τις διαγνωστικές εξετάσεις της αξονικής τομογραφίας, αν και 22% των ιατρών αναφέρει ότι έδωσε τέτοιου είδους πληροφορίες [6]. Επιπλέον σημαντικό ποσοστό ιατρών-ακτινολόγων και ιατρών (47% και 22% αντίστοιχα) και μόλις 3% των ασθενών, θεωρεί ότι υπάρχει αυξημένος κίνδυνος καρκίνου εξαιτίας της έκθεσης σε ακτινοβολίες κατά την αξονική τομογραφία, αλλά οι περισσότεροι δεν μπορούσαν να εκτιμήσουν τα επίπεδα της απορροφούμενης δόσης από μια τέτοια εξέταση. Σε μια άλλη μελέτη διερεύνησης της γνώσης 130 ιατρών σε δύο νοσοκομεία της Μεγάλης Βρετανίας με ερωτηματολόγια για τα επίπεδα της απορροφούμενης δόσης από τους εξεταζόμενους κατά την ακτινογραφία του θώρακα και άλλων συνήθων ακτινολογικών εξετάσεων, αναφέρονται υπερεκτιμήσεις των δόσεων απορρόφησης σε ποσοστό 97% [7]. Στη μελέτη αυτή εντύπωση προκαλεί η άγνοια των ιατρών σε ποσοστά 5% και 8% αντίστοιχα για το ενδεχόμενο επικινδυνότητας των ιοντιζουσών ακτινοβολιών και για τη μπδενική ακτινική επιβάρυνση από άλλες διαγνωστικές εξετάσεις, όπως είναι οι υπέρρχοι και η μαγνητική απεικόνιση [7].

Σκοπός αυτού του άρθρου είναι να περιγράψει τις μεθόδους εκτίμησης της απορροφούμενης δόσης στο έμβρυο και να επισημάνει τις επιπτώσεις και τον κίνδυνο των ιοντιζουσών ακτινοβολιών κατά τη διάρκεια μας εγκυμοσύνης. Με την αξιολόγηση αυτών των κινδύνων δίνονται δεδομένα για τις ενδείξεις λήψης της απόφασης τερματισμού μιας εγκυμοσύνης, όπως και ειδικές οδηγίες ακτινοπροστασίας για την έκθεση εγκύων, που υποβάλλονται σε διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας.

Η εκτίμηση της απορροφούμενης δόσης ακτινοβολιών στο έμβρυο

Γενικά η εκτίμηση, η μέτρηση και ο υπολογισμός των δόσεων κατά την έκθεση σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες καθίστανται εφικτά με την εισαγωγή των φυσικών μεγεθών: της απορροφούμενης δόσης, της ισοδύναμης δόσης και των μονάδων μέτρησης αυτών [8, 9]. Ως απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας ορίζεται η μέσην ενέργεια (*Joule, J*) που έχει αποτελθεί στους ιστούς, που εκτίθενται σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες ανά μονάδα (χιλιόγραμμο, *kg*) μάζας ιστών. Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων - system international-(SI), η μονάδα της απορροφούμενης δόσης ακτινοβολίας είναι το 1 Gray (1 Gy = 1 J/kg), που με την παλαιότερη μονάδα μέτρησης συνδέεται με τη σχέση $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gray}$. Επειδή οι βιολογικές επιπτώσεις των ιοντιζουσών ακτινοβολιών εξαρτώνται όχι μόνο από την απορροφούμενη δόση, αλλά και από το είδος του ακτινοβολούμενου ιστού και το είδος της ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται επίσης το

μέγεθος της *ισοδύναμης δόσης* με μονάδα μέτρησης SI το 1 Sv (Sievert). Για τη μετατροπή της παλαιότερης μονάδας μέτρησης της ισοδύναμης δόσης, που ήταν το rem, ισχύει η σχέση $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$. Η ισοδύναμη δόση ($H_{T,R}$) σε Sv στον ιστό T από την ακτινοβολία R, εκφράζεται ως το παράγωγο της απορροφούμενης δόσης ($D_{T,R}$) σε Gy στον ιστό T από την ακτινοβολία R, επί ένα συντελεστή στάθμισης της ακτινοβολίας, w_R , δηλαδή από τη σχέση: $H_{T,R} = w_R D_{T,R}$. Για τις β, γ ακτινοβολίες καθώς και για τις ακτίνες X, η ισοδύναμη δόση ταυτίζεται με την απορροφούμενη δόση, καθώς ο συντελεστής στάθμισης ακτινοβολίας είναι $w_R = 1$, οπότε για αυτές τις ακτινοβολίες λαμβάνεται ισοδύναμη ότι $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} = 1 \text{ mSv} = 10^{-3} \text{ Sv} = 1 \text{ mGy} = 10^{-3} \text{ Gy}$. Στην συνέχεια του παρόντος θα αναφέρονται με την αυτή σημασία τα Gy ή Sv και mGy ή mSv. Σύμφωνα με την ισχύουσα Ευρωπαϊκή και Εθνική μας νομοθεσία, ειδικά η ισοδύναμη δόση στο έμβρυο καθ' όλη τη διάρκεια της εγκυμοσύνης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1 mSv [1]. Το όριο αυτό αφορά την έκθεση του εμβρύου καθ' όλη τη διάρκεια της κύνσης, ανεξάρτητα αν πραγματοποιείται μία ή περισσότερες εκθέσεις της εγκυμονούσας, ακόμη και σε διαφορετικού είδους ακτινοβολίες. Επίσης το ειδικό αυτό όριο ισχύει για την περίπτωση επαγγελματικά εκτιθέμενων σε ακτινοβολίες εγκύων αλλά και για έγκυες του γενικού (κοινού) πληθυσμού. Στις ΗΠΑ, πρόσφατες οδηγίες θέτουν ως μέγιστο επιτρεπτό όριο δόσης εμβρύου τα $5 \text{ mSv} = 0,5 \text{ rem} = 500 \text{ mrem}$ από τη δήλωση της εγκυμοσύνης [10].

Στις διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας, κατά τις οποίες εκτίθεται σε ιοντίζουσα ακτινοβολία η εγκυμονούσα και το έμβρυο, υπάρχουν διαφορές στον τρόπο, στο είδος της έκθεσης και στις μεθόδους εκτίμησης της απορροφούμενης δόσης, παρ' όλο που όπως αναφέραμε η δόση αυτή προσδιορίζεται με την ίδια μονάδα μέτρησης.

Οι απορροφούμενες δόσεις ακτινοβολιών στο έμβρυο από ακτινολογικές εξετάσεις

Κατά τη διενέργεια ακτινολογικών εξετάσεων, η πρωτογενής ή κύρια δέσμη ακτινοβολίας των ακτίνων X περιορίζεται σε ένα πεδίο απεικόνισης της ανατομικής περιοχής ενδιαφέροντος και εισέρχεται στο σώμα μας, τις περισσότερες φορές με πολλαπλές λήψεις - προβολές και εκθέσεις. Η απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας στο έμβρυο όταν η μάτρα βρίσκεται εντός της κύριας δέσμης ακτινοβολίας οφείλεται σε εξωτερική έκθεση της μάτρας στην πρωτογενή και στη σκεδαζόμενη ακτινοβολία, όταν όμως η μάτρα βρίσκεται εκτός της κύριας δέσμης ακτινοβολίας, τότε οφείλεται μόνο στη σκεδαζόμενη ακτινοβολία. Στις περιπτώσεις, όπου το έμβρυο δε βρίσκεται εντός της κύριας δέσμης ακτινοβολίας, όπως στις ακτινολογικές εξετάσεις των άκρων ή της κεφαλής, η έκθεση του αναφέρεται ως έμμεση, καθώς οφείλεται σε σκεδαζόμενη μόνο ακτινοβολία από τους ιστούς της μπτέρας και βέβαια η απορροφούμενη δόση είναι μικρότερη. Στις περιπτώσεις, όπου η μάτρα, το κύνημα ή το έμβρυο βρίσκονται εντός της κύριας δέσμης, όπως κατά τις ακτινολογικές εξετάσεις της κοιλίας, της πυέλου και της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, υπάρχει άμεση έκθεση, και η απορροφούμενη δόση είναι μεγαλύτερη. Οι μέθοδοι υπο-

λογισμού της απορροφούμενης δόσης στο έμβρυο διαφοροποιούνται ως προς την άμεση ή έμμεση έκθεσή του και κατά τις ακτινογραφικές-ακτινοσκοπικές εξετάσεις, και κατά τις εξετάσεις της αξονικής τομογραφίας. Στις ακτινογραφικές-ακτινοσκοπικές εξετάσεις, σε περιπτώσεις άμεσης έκθεσης, η δόση στο έμβρυο υπολογίζεται από τη μετρούμενη δόση απορροφησης του δέρματος στην περιοχή της μήτρας μη εγκυμονούσας γυναίκας, από την ποσοστιαία τιμή της δόσης βάθους και από παράγοντες σκέδασης, ενώ στις περιπτώσεις έμμεσης έκθεσης χρησιμοποιούνται μόνο παράγοντες σκέδασης, ανάλογα με τη θέση του εμβρύου σε σχέση με τη θέση απεικόνισης [11]. Στις εξετάσεις αξονικής τομογραφίας οι απορροφούμενες δόσεις στο έμβρυο προσδιορίζονται από ειδικούς πίνακες με μέτρηση του δοσιμετρικού δείκτη computerized tomography dose index (CTDI), στον αέρα ή σε ειδικό ομοίωμα, λαμβάνοντας υπόψη την άμεση ή την έμμεση έκθεσή του στην ακτινοβολία [11]. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους υπολογισμούς έχουν προσδιορισθεί με τεχνικές Monte Carlo και μετρήσεις με δοσιμετρα θερμοφωταύγειας-thermoluminescence dosimeter (TLD) σε ανθρωπόμορφα ομοιώματα [12-15]. Ωστόσο ακόμη και για το ίδιο είδος ακτινολογικής εξέτασης, η απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας από το έμβρυο, μπορεί να διαφοροποιείται σημαντικά καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τα στοιχεία της έκθεσης (χρόνος έκθεσης, τάση και ένταση ρεύματος της λυχνίας), την επιλογή του πεδίου ακτινοβόλησης, τον αριθμό των εξεταστικών λήψεων, την απόσταση από την εστία, την παροχή (mGy/mAs) και το πάχος του ολικού φίλτρου (εξ αλουμινίου) της λυχνίας ακτίνων X σε mm. Όλοι αυτοί οι παράγοντες λαμβάνονται υπ' όψη στους διάφορους υπολογισμούς, όπως στον υπολογισμό των κανονικοποιημένων δόσεων μήτρας και στον υπολογισμό των σχετικών παραγόντων σκέδασης [12-15]. Για εκθέσεις που αφορούν την πρώτη φάση της εγκυμοσύνης και για μητέρες με τυπικές αναλογίες (σωματότυπο), ο υπολογισμός της απορροφούμενης δόσης στο έμβρυο είναι πιο εύκολος [12]. Προβλήματα ακρίβειας του προσδιορισμού της απορροφούμενης δόσης στο έμβρυο, προκύπτουν από τη χρήση των ανθρωπόμορφων ομοιωμάτων τυπικού σωματότυπου, όπου το βάθος της μήτρας είναι σταθερό, 9 cm και δε λαμβάνεται υπόψη η αλλαγή του μεγέθους του εμβρύου στις διάφορες φάσεις της ανάπτυξής του. Ακριβείς μετρήσεις του βάθους της μήτρας και του εμβρύου μπορεί να διενεργηθούν με υπέρηχους και τέτοιου είδους μετρήσεις έχουν δείξει υπέρ- και υπό-εκτιμήσεις των απορροφούμενων δόσεων στους σχετικούς υπολογισμούς, της τάξης του 90%-100% [16]. Πρόσφατη επικεντρωμένη μελέτη σε 50 εγκυμονούσες γυναίκες που υποβλήθηκαν σε διάφορες τυπικές ακτινολογικές εξετάσεις, ανέφερε μεγάλες διαφοροποίησεις στα επίπεδα της απορροφούμενης δόσης στο έμβρυο από 0,01 μG ως 117 mGy [17]. Οι μελέτες αυτές, ήταν σύμφωνες με άλλες παλαιότερες μελέτες [18, 19]. Από τα δεδομένα αυτά φαίνεται ότι σε ακτινολογικές εξετάσεις κατά τις οποίες έχει υποβληθεί έγκυος και η μήτρα βρίσκεται εκτός της κύριας δέσμης των ακτινοβολιών, όπως σε ακτινογραφίες θώρακος ή άκρων κ.ά, οι απορροφούμενες δόσεις στο κύνημα είναι χαμηλές (μικρότερες του 1 mSv).

Οι απορροφούμενες δόσεις ακτινοβολιών στο έμβρυο από τις εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής

Κατά τη διενέργεια εξετάσεων της πυρηνικής ιατρικής, τα επιμέρους χορηγούμενα ραδιοφάρμακα κατανέμονται σε όργανα του ανθρώπινου σώματος, σύμφωνα με τη φαρμακοκινητική τους σε φυσιολογικές και παθολογικές καταστάσεις. Στις έγκυες γυναίκες η απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας στο έμβρυο οφείλεται σε εσωτερική έκθεση στα ραδιοφάρμακα και θεωρείται παρόμοια με αυτή της μήτρας της εγκύου [20, 21]. Πρόσφατα προτάθηκε από τη Διεθνή Επιτροπή Προστασίας εκ των Ακτινοβολιών – International Committee for Radiation Protection (ICRP), η απορροφούμενη δόση από το έμβρυο, ως την όγδοην εβδομάδα να θεωρείται ότι είναι η δόση της μήτρας της μπτέρας, ενώ αργότερα, εφόσον το ραδιονουκλίδιο διαπερνά το πλακούντα, να λαμβάνονται υπόψη και ειδικοί συντελεστές για κάθε ιστό του εμβρύου [22]. Επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη δεδομένα της φαρμακοκινητικής του ραδιοφαρμάκου [20] και η ραδιοευαισθησία των οργάνων του εμβρύου [23, 24]. Με την πρόταση αυτή της ICRP, η μέθοδος υπολογισμού της απορροφούμενης δόσης στο έμβρυο είναι πολύπλοκη και δε λαμβάνεται υπόψη η ραδιοευαισθησία των οργάνων του εμβρύου κατά τις φάσεις ανάπτυξης αυτού [23]. Παρά ταύτα η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα αξιόλογη, καθώς βελτιώνει παλαιότερες μεθόδους που υπολόγιζαν τη δόση που λαμβάνει το έμβρυο από τυχόν ραδιενέργη ρύπανση ή από κατάποση ραδιονουκλίδιων από τη μπτέρα πριν ή κατά τη διάρκεια της κύνησης [25, 26]. Ανεξάρτητα από τον τρόπο χορήγησης ή λήψης ενός ραδιοφαρμάκου, η απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας στο έμβρυο εξαρτάται από το είδος του ραδιοφαρμάκου, τη χορηγηθείσα ενεργότητά του σε MBq, τη φαρμακοκινητική του ραδιοφαρμάκου και τη φάση ανάπτυξης του κυνήματος. Για τις διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής, η εκτίμηση της απορροφούμενης δόσης στο έμβρυο υποβοηθείται από έτοιμους πίνακες δοσιμετρικών υπολογισμών όπως είναι του σχήματος Medical Internal Radiation Dose (MIRD) ή από σχετικά ειδικά λογισμικά προγράμματα, όπως είναι το MIRDOSE [21, 27]. Τα δεδομένα αυτά αφορούν τις περιπτώσεις κατάποσης, εισπνοής ή ενδοφλέβιας χορήγησης ραδιοφαρμάκων βάσει συγκεκριμένων μοντέλων φαρμακοκινητικής για 80 ραδιοφάρμακα [25]. Οι δοσιμετρικοί παράγοντες είναι ουσιαστικά τιμές απορροφούμενης δόσης ακτινοβολίας στο έμβρυο ανά μονάδα χορηγηθείσας ενεργότητας (mGy/MBq) για την πρώιμη φάση της εγκυμοσύνης (early pregnancy, ως 6 εβδομάδες μετά τη σύλληψη) και για το τέλος του 1^ο, 2^ο και 3^ο τρίμηνου της εγκυμοσύνης [20]. Η ακρίβεια στην εκτίμηση της απορροφούμενης δόσης πέρα από τους παραπάνω περιορισμούς εξαρτάται σημαντικά και από την εμπειρία του ακτινοφυσικού.

Παρακάτω αναφέρουμε δύο παραδείγματα υπολογισμού της δόσης απορρόφησης στο έμβρυο και σχετικούς τρόπους μείωσης της.

Παράδειγμα 1: Γυναίκα που υποβλήθηκε σε σπινθηράφημα απεικόνισης μυοκαρδίου σε κόπωση με χορήγηση 1000 MBq ραδιενέργη τεχνητού 99m methyl isobutul

isonitrile (^{99m}Tc -MIBI) διαπιστώθηκε ότι είναι έγκυος μίας εβδομάδας. Η δόση του εμβρύου υπολογίζεται εύκολα ότι είναι: $1000 \text{ MBq} \times 0,012 \text{ mGy/MBq} = 12 \text{ mGy}$. Για τη χορήγηση 750 MBq ^{99m}Tc -MIBI, με κόστος μεγαλύτερο χρόνο απεικόνισης στην ίδια περίπτωση, η δόση του εμβρύου θα ήταν ίση με $750 \text{ MBq} \times 0,012 \text{ mGy/MBq} = 9 \text{ mGy}$.

Παράδειγμα 2: Χορήγηση 75 MBq ραδιενέργοι τεχνητού ^{99m}Tc diethyl triamine pentacetate acid (^{99m}Tc -DTPA) για σπινθηρογράφημα νεφρών στο 1ο τρίμηνο της εγκυμοσύνης. Αν ληφθεί υπόψη ότι η παραμονή του ραδιοφαρμάκου στους νεφρούς διαρκεί $2,5 \text{ h}$ προκύπτει δόση εμβρύου $9,0 \text{ mGy}$. Εφόσον γίνει καλή ενυδάτωση της εξεταζόμενης, ώστε ο χρόνος παραμονής του ραδιοφαρμάκου στην ουροδόχο κύστη να μειωθεί σε $0,9 \text{ h}$, η δόση του εμβρύου μειώνεται σε $5,8 \text{ mGy}$.

Τυπικές μέσες και μέγιστες τιμές απορροφούμενων δόσεων στο έμβρυο κατά τη διενέργεια διαφόρων κοινών εξετάσεων της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας δίνονται στον Πίνακα 1, προκειμένου να υπάρχει μια σύγκριση μεταξύ τους [28].

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 η μεγαλύτερη δόση στο έμβρυο ($25-79 \text{ mSv}$) δίνεται από την αξονική τομογραφία πυέλου. Στις ακτινολογικές εξετάσεις οι μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται στις μέγιστες απορροφούμενες δόσεις, οφείλονται στις μεγάλες διαφορές των δεδομένων της έκθεσης που αναφέρθηκαν παραπάνω ακόμη και για την ίδια εξέταση [17].

Η εκτίμηση του κινδύνου του εμβρύου και οι εξ αυτού επιπτώσεις κατά την έκθεση του σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Είναι γνωστό ότι οι βιολογικές επιδράσεις των ιοντιζουσών ακτινοβολιών στον άνθρωπο σε πολύ υψηλές δόσεις άνω του 1 Sv περιλαμβάνουν άμεσες σωματικές επιπτώσεις, καθυστερημένες σωματικές επιπτώσεις, που μπορεί να εμφανισθούν μετά από χρόνια από την έκθεση του, αλλά και γενετικές επιπτώσεις, που μπορεί να περάσουν στις επόμενες γενεές [29]. Επιπλέον η έκθεση σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες εμβρύων ή κυνηγάτων μπορεί να έχει τερατογενείς επιδράσεις [30]. Γενικά οι επιδράσεις των ιοντίζουσών ακτινοβολιών μπορεί να διαχωριστούν σε στοχαστικά και σε καθορισμένα αποτελέσματα [29]. Τα καθορισμένα αποτελέσματα (γνωστά παλαιότερα με τον όρο μη-στοχαστικά αποτελέσματα) περιλαμβάνουν όλες τις επιδράσεις των οποίων η σοβαρότητα εξαρτάται από τη δόση της ακτινοβολίας, πάνω από ένα επίπεδο, που είναι γνωστό ως κατώφλι δόσης (threshold dose). Τέτοιες επιπτώσεις περιλαμβάνουν το θάνατο του εμβρύου, καθυστέρησης της σωματικής ανάπτυξης του, νοντικές καθυστέρησης και δυσπλασίες [20]. Στα στοχαστικά αποτελέσματα, η βαρύτητα του αποτελέσματος δεν εξαρτάται από την απορροφούμενη δόση, αλλά από την απορροφούμενη δόση εξαρτάται η πιθανότητα να συμβεί το κάθε αποτέλεσμα. Επίσης θεωρείται ότι το αποτέλεσμα αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της δόσης χωρίς να υπάρχει ένα κατώφλι δόσης. Στοχαστικά αποτελέσματα είναι οι καρκινογένεση και οι γενετικές επιπτώσεις [20]. Για τα στοχαστικά αποτελέσματα των ακτινοβολιών, υψηλές δόσεις ακτινοβολιών έχουν σχετισθεί με εμφάνιση λευχαιμίας και διάφορες νεοπλασίες σε ενήλικες και παιδιά, που εμφανίζονται μετά από

Πίνακας 1. Ενδεικτικές μέσες και μέγιστες απορροφούμενες δόσεις σε έμβρυο για τυπικές διαγνωστικές εξετάσεις πυρηνικής ιατρικής και ακτινολογίας [28]

Εξέταση	Μέγιστες δόσεις στο έμβρυο (mSv)	Δόση στο έμβρυο (τυπική τιμή) (mSv)
Τυπική Ακτινογραφία		
Θώρακα	< 0,01	< 0,01
Πυέλου	1,1	4
Σπονδυλικής στήλης	1,7	10
Θωρακικής μοίρας σπονδυλικής στήλης	< 0,01	< 0,01
Κοιλιακής χώρας	1,4	4,2
Τυπική Ακτινοσκόπηση		
Ανώτερου γαστρεντερολογικού	1,1	5,8
Κλύσμα βαρίου	6,8	24
Αξονική τομογραφία		
Κοιλίας	8	49
Θώρακα	0,06	0,96
Κεφαλής	< 0,01	< 0,01
Πυέλου	25	79
Σπινθηρογράφημα		
Οστών ^{99m}Tc -MDP	3,3	4,6
Νεφρών ^{99m}Tc -DTPA	1,5	4,0
Αιμάτωσης μυοκαρδίου $^{201}\text{TlCl}$	3,7	4,0
Θυρεοειδύς με ^{99m}Tc O_4^-	0,7	1,6

κάποια λανθάνουσα περίοδο χρόνων. Τα έμβρυα θεωρούνται ότι έχουν τον ίδιο κίνδυνο για καρκινογένεσης εξαιτίας της ακτινοβολίας με τα παιδιά και ο κίνδυνος αυτός είναι 2-3 φορές υψηλότερος απ' ότι στους ενήλικες [1]. Ωστόσο θα πρέπει να επισημανθεί ότι δεν είναι ως σήμερα γνωστό αν οι επιπτώσεις καρκινογένεσης εξαιτίας μιας συγκεκριμένης δόσης ακτινοβολίας μεταβάλλονται ανάλογα με τις φάσεις ανάπτυξης του έμβρυου και έτσι ο κίνδυνος αυτός θεωρείται ότι παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της κύνησης. Επίσης όταν ένα έμβρυο έχει εκτεθεί σε διάφορες δόσεις ακτινοβολίας, ο κίνδυνος για την ανάπτυξη καρκίνου στην μετέπειτα ζωή του, αφορά μόνο την παιδική του ηλικία [20]. Αυτές οι εκτιμήσεις κινδύνου για την εμφάνιση καρκίνου κατά την παιδική ηλικία είναι: 0,3% για έκθεση του έμβρυου σε ακτινοβολίες υποστρώματος-background, δηλαδή για τις φυσικές ακτινοβολίες του περιβάλλοντος χώρου, 0,3%-1% για έκθεση σε δόσεις 0-0,05 Gy, 1% - 6% για δόσεις 0,05-0,50 Gy και πάνω από 6% για δόσεις μεγαλύτερες των 0,5 Gy [28]. Με δεδομένη την εμφάνιση καρκίνων στην παιδική ηλικία σε μη εκτεθειμένα σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες έμβρυα, που είναι περίπου 0,2%-0,3%, μια απορροφούμενη δόση από το έμβρυο της τάξης των 10 mGy θα αυξήσει αυτή την εμφάνιση σε περίπου 0,35% [31]. Για επίπεδα δόσης της τάξης των 10 mGy στο έμβρυο, αναφέρεται ότι υπάρχει πιθανότητα της τάξης του 99,75% να μην εμφανισθεί καρκίνος κατά την παιδική ηλικία, όταν λαμβάνεται υπόψη ότι η επίπτωση καρκίνου κατά την παιδική ηλικία είναι 0,07%, δηλαδή 1 περίπτωση σε 1500 έμβρυα, που δεν έχουν εκτεθεί σε ακτινοβολία [11]. Για επίπεδα δόσης της τάξης των

50 mGy ο κίνδυνος καρκινογένεσης αναφέρεται να είναι 0,015%-0,025% ή υψηλότερος κίνδυνος για 1,5-2,5 επιπρόσθετες περιπτώσεις λευχαιμίας σε 10.000 έμβρυα [20, 31].

Η επιπτώση γενετικών ανωμαλιών σε έμβρυα, που κωρίς έκθεση σε ακτινοβολίες είναι τυπικά της τάξης του 1,6%, υπολογίζεται να είναι επιπρόσθετα 0,01%-0,09% ανά απορροφούμενο Gy που σημαίνει ότι μια απορροφούμενη δόση στο έμβρυο της τάξης των 500 mGy θα έχει ένα κίνδυνο της τάξης του 0,005%-0,05%, δηλαδή 0,5-5 περιπτώσεις γενετικών ανωμαλιών σε 10.000 έμβρυα [20]. Επιπλέον οι συνέπειες της ακτινοβολίας σε έμβρυα συσχετίζονται και με άλλες μη-καρκινικές παθολογικές καταστάσεις, όπως δυσπλασίες, καθυστερίσεις της ανάπτυξης, νευρολογικές και κινητικές διαταραχές, νοντικές καθυστερήσεις και μείωση του δείκτη νοημοσύνης [28, 32-34]. Οι επιπτώσεις αυτές θεωρούνται ως άμεσες σωματικές επιπτώσεις στο έμβρυο και ως καθορισμένα αποτελέσματα και έχουν αυξημένη πιθανότητα να συμβούν μόνο με δόσεις άνω των 100-600 mGy [28, 34].

Γενικά, ο κίνδυνος που εκφράζει την πιθανότητα να συμβεί ένα ανεπιθύμητο γεγονός κατά την έκθεση ενός ατόμου σε διάφορους παράγοντες μπορεί να εκτιμηθεί ως προς τη σοβαρότητα του και την πιθανότητα εμφάνισης του. Κίνδυνοι με πιθανότητα μικρότερη από 1:1.000.000 θεωρούνται αμελητέοι, με πιθανότητα από 1:1.000.000 ως 1:100.000 θεωρούνται ελάχιστοι, με πιθανότητα 1:100.000 ως 1:1.000 θεωρούνται χαμπλοί, με πιθανότητα 1:1.000 ως 1:100 θεωρούνται μέτριοι και με πιθανότητα μεγαλύτερη από 1:100 θεωρούνται υψηλοί ή σοβαροί [35]. Ειδικά ο κίνδυνος που σχετίζεται με την έκθεση ενός κυνήματος ή έμβρυου σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες, όπως στις ακτινολογικές εξετάσεις και τις εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής, εκφράζεται ως κίνδυνος για επιπτώσεις στην υγεία του έμβρυου, που μπορεί να οδηγήσει σε μια αποβολή [36, 37]. Όμως αποβολές μπορεί να συμβούν και εξαιτίας άλλων παραγόντων, όπως από τη λήψη τοξικών φαρμάκων, αλκοόλ, ή και αναίτια (τυχαία), σε ποσοστό 3%-6% [1, 32]. Για απορροφούμενη δόση στο έμβρυο κάτω από 100 mGy, ο κίνδυνος μιας αποβολής του έμβρυου εξαιτίας των ακτινοβολίων είναι μικρότερος από ότι ο κίνδυνος μιας αποβολής κωρίς την έκθεση του έμβρυου σε ακτινοβολίες [1, 17, 28, 32]. Συνολικά ο κίνδυνος μιας αποβολής εξαιτίας και της έκθεσης σε ακτινοβολίες σε δόσεις κάτω από 100 mGy, αναφέρεται να αυξάνει επιπρόσθετα κατά έναν παράγοντα έως 1, 5 [38].

Ο κίνδυνος λόγω της έκθεσης σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες ενός κυνήματος ή έμβρυου για την εμφάνιση καθορισμένων αποτελεσμάτων εξαρτάται από τη συνολική (αθροιστική) απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια της κύνησης και από τις φάσεις ανάπτυξης του έμβρυου. Για απορροφούμενη δόση έμβρυου μικρότερη από 100 mGy ο κίνδυνος αυτός είναι αμελητέος σε όλες τις φάσεις ανάπτυξης του έμβρυου [1, 11, 17, 32]. Για απορροφούμενη δόση άνω από 100 mGy, οι επιπτώσεις είναι διαφορετικές στις διάφορες φάσεις ανάπτυξης του έμβρυου.

Στην 1η φάση (1ⁿ-2ⁿ εβδομάδα μετά τη σύλληψη), που είναι η περίοδος από τη σύλληψη μέχρι την εμφύτευση του κυνήματος στο βλεννογόνο της μήτρας, η επίδραση των ακτινοβολιών μπορεί να έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την αποτυπω-

μένη εμφύτευση του γονιμοποιημένου ωαρίου στο βλεννογόνο ή το θάνατο του κυνήματος, οπότε μια εγκυμοσύνη μπορεί να μην γίνει αντιληπτή. Εφόσον όμως η εγκυμοσύνη συνεχισθεί, τότε θεωρείται ότι το παιδί που θα γεννηθεί δε θα εμφανίζει βλάβες εξαιτίας της ακτινοβολίας που δέχτηκε, ανέξαρτη της δόσης, κωρίς όμως να μπορεί να αποκλεισθούν τελείως απότελέσματα εξαιτίας των στοχαστικών κινδύνων των ιοντίζουσών ακτινοβολιών, αν και τέτοιου είδους αποτελέσματα όπως και καθορισμένα αποτελέσματα θεωρείται ότι δε συμβαίνουν σε αυτή τη φάση [11, 20]. Σε αυτή τη φάση σε έμβρυα που δεν έχουν εκτεθεί σε ακτινοβολία τα ποσοστά αποτυπημένης εμφύτευσης του γονιμοποιημένου ωαρίου στο βλεννογόνο ανέρχονται σε ποσοστά 25%-50% και ο μετέπειτα θάνατος του κυνήματος είναι πιθανός σε ποσοστό 15% [32, 36].

Στη 2η φάση (3ⁿ-8ⁿ εβδομάδα μετά τη σύλληψη), που είναι η περίοδος της μείζονος οργανογένεσης, υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης δυσπλασίας για δόσεις στο κύνημα μεγαλύτερες από 100 mGy. Η πιθανότητα αυτή αυξάνεται κατά τη διάρκεια του πολλαπλασιασμού των κυττάρων και της διαφοροποίησης των αναπτυσσόμενων οργάνων για δόσεις άνω των 150 mGy [20]. Επιπλέον η πιθανότητα στοχαστικών κινδύνων σε αυτή τη φάση είναι της τάξης του 0, 015% ανά mSv [1].

Στη 3η φάση (8ⁿ εβδομάδα ως τον τοκετό), που είναι η περίοδος της ανάπτυξης του έμβρυου, οι επιπτώσεις της ακτινοβολίας διαφοροποιούνται κατά διαστήματα. Στη φάση αυτή και ειδικά στο πρώτο της διάστημα, που είναι από την 8ⁿ ως τη 15ⁿ εβδομάδα, κατά το οποίο συντελείται η διάπλαση του κεντρικού νευρικού συστήματος, η έκθεση του έμβρυου σε υψηλές δόσεις άνω των 100 mGy μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του δείκτη νοημοσύνης. Δεδομένα από μελέτες δείχνουν μείωση του δείκτη νοημοσύνης-intelligence quotient (IQ) περίπου κατά 25-31 βαθμούς ανά Gy για έκθεση πάνω από 100 mSv, που είναι η δόση κατωφλιού για τέτοιου είδους αποτελέσματα αλλά η δόση αυτή είναι πρακτικά πολύ υψηλή για τις συνήθεις διαγνωστικές εξετάσεις [33, 34]. Αναλογικά, στα παιδιά θεωρείται ότι επέρχεται μείωση του δείκτη νοημοσύνης κατά 3 μονάδες ανά 100 mSv [32]. Διαταραχές ανάπτυξης του έμβρυου είναι πιθανές για υψηλού βαθμού έκθεση κατά τη 13ⁿ εβδομάδα μετά τη σύλληψη. Σχετικά δεδομένα που έδειχναν 3%-4% μείωση του ύψους στην πλικά των 18 ετών για υψηλές δόσεις άνω των 1000 mSv [34]. Για το διάστημα από τη 16ⁿ ως τη 25ⁿ εβδομάδα μετά τη σύλληψη, το κεντρικό νευρικό σύστημα του έμβρυου είναι λιγότερο ευαίσθητο είναι όμως πιθανό αν δοθούν μεγαλύτερες δόσεις να έχουμε αποτελέσματα όπως αυτά της 2nd φάσης [20, 34]. Σε αυτό το διάστημα η μείωση του δείκτη IQ είναι 13-21 μονάδες ανά Gy για δόσεις άνω των 700 mGy και ο κίνδυνος για σοβαρές νοντικές διαταραχές είναι περίπου 15% ανά Gy για δόσεις άνω των 700 mGy, που είναι ιδιαίτερα υψηλές δόσεις για διαγνωστικές εξετάσεις [20, 33, 34]. Για το διάστημα μετά τη 25ⁿ εβδομάδα από τη σύλληψη, το έμβρυο είναι λιγότερο ευαίσθητο από κάθε άλλη φάση ανάπτυξης και ο θάνατος του έμβρυου είναι πιθανός μόνο για δόσεις άνω των 1.000 mGy [28]. Επιπλέον, η πιθανότητα στοχαστικών κινδύνων σε αυτή τη φάση είναι της τάξης του 0,015% ανά mSv.

Μελέτη εκτίμησης του κινδύνου σε 50 εγκυμονούσες που υποβλήθηκαν σε διάφορες τυπικές ακτινολογικές εξετάσεις, με επίπεδα απορροφούμενης δόσης στο έμβρυο από 0,01 μGy ως 117 mGy, έδειξε ότι δεν υπήρχε λόγος ανησυχίας για τη μπτέρα και δεν απαιτείται διακοπή της κύνησης, καθώς ο κίνδυνος ήταν μικρότερος από άλλους κινδύνους [17]. Ο κίνδυνος αυτός θα πρέπει να αξιολογείται σε συνδυασμό με τον ενδεχόμενο κίνδυνο για τη μπτέρα, αν αναβληθεί η διαγνωστική εξέταση, με τον κίνδυνο από άλλους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω και με τον αναπόφευκτο τυχαίο κίνδυνο γέννησης ενός παιδιού με δυσπλασίες ή άλλες παθολογικές καταστάσεις από μία καθ' άλλα κανονική εγκυμοσύνη κατά την οποία δεν είχε υπάρξει έκθεση σε ακτινοβολίες. Επομένως η απορροφούμενη δόση από την έκθεση ενός εμβρύου σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την απόφαση διακοπής ή όχι μιας κύνησης [1, 3, 28, 32], αλλά πάντα σε συνδυασμό με την επίδραση τυχόν άλλων παραγόντων κινδύνων που πρέπει να αξιολογούνται προσθετικά. Στον Πίνακα 2 δίνονται συγκεντρωτικά συστάσεις για το πότε πρέπει να αξιολογείται η διακοπή μιας κύνησης, για τυπικές τιμές απορροφούμενων δόσεων στο έμβρυο, ανάλογα με την ημέρα που ακτινοβολήθηκε το έμβρυο μετά τη σύλληψη [11].

Οδηγίες και μέτρα ακτινοπροστασίας

Οι οδηγίες και τα μέτρα ακτινοπροστασίας στην έκθεση εγκύων σε διαγνωστικές εξετάσεις με ιοντίζουσες ακτινοβολίες, περιλαμβάνονται σε διεθνείς συστάσεις [28] και σε οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης [1]. Οι οδηγίες αυτές διαχωρίζουν την πραγματοποίηση της εξέτασης σε περιπτώσεις ενδεχόμενης, επιβεβαιωμένης ή άγνωστης εγκυμοσύνης. Επιπλέον απαιτούν την ύπαρξη σχετικών γραπτών οδηγιών στα εργαστήρια ιοντιζουσών ακτινοβολιών, που να προτρέπουν τις προς εξέταση γυναίκες να ενημερώνουν το προσωπικό του εργαστηρίου για την ενδεχόμενη ή για την υπόνοια εγκυμοσύνης πριν την εξέτασή τους. Επιπρόσθετα όμως και πριν την πραγματοποίηση οποιασδήποτε εξέτασης με τη χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών, κάθε γυναίκα σε αναπαραγωγική ηλικία πρέπει να ερωτάται από τον ιατρό ή το προσωπικό του εργαστηρίου, αν υπάρχει πιθανότητα να εγκυμονεί. Σε περίπτωση υπόνοιας για πιθανή εγκυμοσύνη, η έκθεση στις ακτινοβο-

λίες πρέπει να αναβάλλεται μέχρι την επόμενη έμμηνο ρύση ή να πραγματοποιείται εφόσον έχει προηγηθεί αρνητικό test εγκυμοσύνης και αφού υπάρχει σαφής ένδειξη από το θεράποντα ιατρό για την αναγκαιότητα της εξέτασης. Η χρήση μεθόδων αντισύλληψης όπως το αντισύλληπτικό κάπι ή το αντισύλληπτικό σπείραμα, δεν πρέπει να θεωρούνται ότι διασφαλίζουν απόλυτα τη μη ύπαρξη εγκυμοσύνης. Εάν η εξέταση δεν έχει παρατηρήσει κάποια καθυστέρηση στον κύκλο της, η εξέταση μπορεί να πραγματοποιηθεί κανονικά. Ο πρακτικός κανόνας κατά τον οποίο συνιστάται η έκθεση σε ακτινοβολίες, μόνον εντός 10 ημέρων από την έναρξη της τελευταίας εμμήνου ρύσεως, μπορεί να εφαρμόζεται, χωρίς όμως να είναι απαραίτητη η εφαρμογή του όταν πρόκειται για εξετάσεις που αποδίδουν χαμηλή δόση στο κύημα.

Σε επιβεβαιωμένη εγκυμοσύνη, η υποβολή των εγκύων σε εξετάσεις με ιοντίζουσες ακτινοβολίες απαιτεί την επιλογή κατάλληλων εναλλακτικών τεχνικών με χαμηλότερη ή διαγνωστικών μεθόδων με μιδενική ακτινική επιβάρυνση του κυνήματος, όπως είναι οι υπέροχοι και η μαγνητική απεικόνιση. Επίσης θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο να αναβληθεί η εξέταση μετά τον τοκετό, αν αυτό είναι από κλινική άποψη αποδεκτό, σταθμίζοντας τον κίνδυνο και το όφελος, τόσο για την έγκυο όσο και για το κύημα. Αν όμως η αναβολή της εξέτασης δεν είναι κλινικά αποδεκτή, τότε η διενέργεια της απαιτεί την εκτίμηση της δόσης, που θα λάβει κύημα και τη λήψη όλων των κατάλληλων μέτρων για την ελαχιστοποίηση της δόσης αυτής. Επιλέγονται μέτρα, ώστε να ελαχιστοποιείται η δόση στη μάτια και στο κύημα, χωρίς να μειώνεται η αποτελεσματικότητα της εξέτασης. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν: α) για τις ακτινολογικές εξετάσεις, τη λήψη λιγότερων εικόνων (φιλμς), τη μείωση του χρόνου ακτινοσκόπησης, την κατάλληλη επιλογή των προβολών, τη θωράκιση της εκπεμπόμενης δέσμης ακτινοβολίας, τον περιορισμό του πεδίου ακτινοβολησης, τη χρήση κατάλληλων πρωτοκόλλων εξέτασης, κλπ και β) για τις εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής, την προσεκτική επιλογή του ραδιοιονουκλίδιου που θα χορηγηθεί για την εξέταση και την εφαρμογή ειδικών πρωτοκόλλων βελτιστοποίησης της ακτινοπροστασίας του κυνήματος, όπως είναι η εφαρμογή πρώτα σπινθηρογραφήματος αιμάτωσης των πνευμόνων, σε υποψία πνευμονικής εμβολίσης, που αν είναι φυσιολογικό δεν απαιτείται σπινθηρογράφημα αερισμού ή όπως είναι η καλή ενυδάτωση της εγκυμονούσας για την ταχύτερη αποβολή του ραδιοφαρμάκου από τους νεφρούς και την ουροδόχο κύστη και τη μείωση της ακτινοβόλησης της μάτιας και του κυνήματος.

Όταν εκτεθεί μία έγκυος σε ακτινοβολίες χωρίς να είναι γνωστή προηγούμενα η εγκυμοσύνη της, απαιτείται από τους ακτινοφυσικούς ιατρικής, η εκ των υστέρων αξιολόγηση των δεδομένων της ακτινοβόλησης (είδος και στοιχεία εξέτασης) και η εκτίμηση της δόσης που έχει δοθεί στο κύημα. Αν κατά την έκθεση σε ακτινοβολίες, η μάτια της εγκύου βρίσκεται εκτός της πρωτεύουσας δέσμης της ακτινοβολίας, ή εκτιμάται ότι η δόση στο κύημα δεν υπερβαίνει το 1mSv, δεν είναι απαραίτητο περαιτέρω δοσιμετρικού υπολογισμού. Επίσης η διακοπή της κύνησης αποκλείεται όπως αναφέρθηκε πιο πάνω για δόσεις στο κύημα μικρότερες των 100 mSv, σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης [1]. Για δόσεις όμως μεγα-

Πίνακας 2. Συστάσεις διακοπής εγκυμοσύνης για έκθεση εμβρύου σε δόσεις μικρότερες από 250 mGy από εφ' άπαξ διαγνωστικές εξετάσεις [11]

Δόση εμβρύου / Ημέρα μετά τη σύλληψη	< 50 mGy	50-150 mGy	150-250 mGy
<14 ημέρες	Όχι	Όχι	Όχι
14-56 ημέρες	Όχι	Πιθανή*	Πιθανή*
57-105 ημέρες	Όχι	Πιθανή*	Υψηλή πιθανότητα*
>105 ημέρες	Όχι	Όχι	Όχι

*Η πιθανή ή η υψηλή πιθανότητα διακοπής μιας κύησης απαιτούν και την συντήμηση της παρουσίας άλλων παραγόντων κινδύνου και δεν υπονοούν απαραίτητα ότι αυτή θα πραγματοποιηθεί

λύτερες των 100 mSv, η απόφαση για διακοπή της κύνησης θα ληφθεί αφού πρώτα γίνει σωστή και αναλυτική ενημέρωση και συζήτηση των ειδικών με τους γονείς ως προς τα ιατρικά και δοσιμετρικά δεδομένα και τις τυχόν επιπτώσεις στο έμβρυο. Ο κύριος παράγοντας για την απόφαση αυτή είναι το οικογενειακό περιβάλλον του κυοφορούμενου παιδιού. Επιπλέον πρέπει να συνεκτιμηθούν οικογενειακοί, κοινωνικοί, ψυχολογικοί και προσωπικοί παράγοντες με την επισήμανση ότι ακόμη και για δόσεις στο κύνημα της τάξης των μερικών εκατοντάδων mSv, δεν συνιστάται σε όλες τις περιπτώσεις διακοπή της κύνησης [11]. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε καμία περίπτωση δεν αναμένονται δόσεις της τάξης των 100 mSv στο έμβρυο από μία συνήθη διαγνωστική εξέταση, ακτινολογική ή της πυρηνικής ιατρικής [15, 33]. Αν όμως γίνουν περισσότερες της μιας εξετάσεις όπως π.χ. εξετάσεις αξονικής τομογραφίας της κοιλιακής χώρας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 οι δόσεις αυτές θα ξεπεραστούν [17, 39]. Οι οδηγίες αυτές δεν αφορούν τις θεραπευτικές χορηγήσεις ραδιοφαρμάκων όπως π.χ. του ιωδίου-131, όπου η εγκυμοσύνη αποτελεί απόλυτη αντένδειξη διενέργειας της θεραπείας, αφού στις περιπτώσεις αυτές οι δόσεις απορρόφησης που δίδονται στο έμβρυο είναι υψηλές [40].

Παρότι η διακοπή μιας κύνησης μπορεί να δικαιολογηθεί από όλες αιτίες, η έκθεση σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες κατά τις διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν αποτελεί αιτία διακοπής της κύνησης. Σε περιπτώσεις εγκυμοσύνης, πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την αποβολή του ραδιοφαρμάκου από το σώμα, ανάλογα με τον ενεργό χρόνο ημιζωής του [39] και συνίσταται να αποφεύγεται η εγκυμοσύνη για κάποιο χρονικό διάστημα μετά την πραγματοποίηση των εξετάσεων της πυρηνικής ιατρικής. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι: ένας μήνας για ραδιοφάρμακα του ^{99m}Tc , δύο μήνες για 20 MBq ^{131}I -MIBG, τέσσερις μήνες για 30 MBq ^{131}I , έξι μήνες για τη χορήγηση 0,4 MBq ^{59}Fe και 12 μήνες για 8 MBq ^{75}Se -cholesterol [1].

Επιπλέον θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την προφύλαξη της έμμεσης άσκοπης ακτινοβόλησης της εγκύου από άτομα, που έχουν λάβει ραδιοφάρμακα, ανάλογα με τον ενεργό χρόνο ημιζωής τους και επίσης μετά τον τοκετό να μην λαμβάνει ραδιοφάρμακα που αποβάλλονται με το μητρικό γάλα διότι τότε θα πρέπει να διακόψει το θηλασμό μερικά ή ολικά [1, 40, 41].

Συμπερασματικά, οι διαγνωστικές εξετάσεις της πυρηνικής ιατρικής και της ακτινολογίας σπάνια αποτελούν αίτιο τερματισμού μιας εγκυμοσύνης, καθώς η απορροφούμενη δόση στο έμβρυο είναι συνήθως μικρότερη των 100 mSv, που αποτελεί το κατώφλι δόσης για τα καθορισμένα αποτελέσματα. Ο σχετικός κίνδυνος του εμβρύου από τις παραπάνω διαγνωστικές εξετάσεις είναι μικρός σε σύγκριση με άλλους κινδύνους. Η πιθανότητα εμφάνισης στοχαστικών αποτελεσμάτων αν και βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα της τάξης του 0,015%-0,025% ανά mSv, για δόσεις απορρόφησης πάνω από 500 mSv, δεν είναι δυνατό να μηδενιστεί, αλλά μειώνεται όταν η απορροφούμενη δόση στο έμβρυο διατηρείται όσο το δυνατό χαμηλότερο.

Βιβλιογραφία

- European Commission of Radiation Protection Publication 100: Guidance for protection of unborn children and infants irradiated due to parental medical exposures. 1998.
- Brent RL, Beckman DA, Jensch RP. Relative radiosensitivity of fetal tissues. *Adv Radiat Biol* 1987; 16: 106-117.
- Russell JG. Diagnostic radiation, pregnancy and termination. *Br J Radiol* 1989; 62: 92-94.
- Bentur Y, Horlatsch N, Koren G. Exposure to ionizing radiation during pregnancy: perception of teratogenic risk and outcome. *Teratology* 1991; 43: 109-112.
- Ratnapalan S, Bona N, Chandra K, et al. Physician's perceptions of teratogenic risk associated with radiography and CT during early pregnancy. *AJR* 2004; 182: 1107-1109.
- Lee CI, Haims AH, Monico EP, et al. Diagnostic CT scans: Assessment of patient, physician and radiologist awareness of radiation dose and possible risks. *Radiology* 2004; 231: 393-398.
- Shiralkar S, Rennie A, Snow M, et al. Doctor's knowledge of radiation exposure: questionnaire study. *BMJ* 2003; 327: 371-372.
- ICRP Publication 62. Radiological protection in biomedical research. Oxford: Pergamon Press, *Annals of the ICRP*, 1991; 2 No3
- International Commission for Radiation Units and Measurements, ICRU Report 33. Radiation quantities and units. ICRU Washington 1980.
- Nuclear Regulatory Commission, Dose limits. Title 10 CFR Part 20 Standards for protection against radiation, NRC 2005.
- Parry RA, Glaze SA, Archer BR. Typical patient radiation doses in diagnostic radiology. *Radiographics* 1999; 19: 1289-1302.
- National Council on Radiation Protection and Measurements, Report no 54. Medical radiation exposure of pregnant and potentially pregnant. NCRP Bethesda 1977.
- Jones DG, Wall BF. Organ dose from medical X-ray examinations calculated using Monte Carlo techniques. NRPB-R186. Chilton: NRPB, 1985.
- Jones DG, Shrimpton PC. Survey of CT practice in the UK, Part 3: Normalized organ doses calculated using Monte Carlo techniques. NRPB-R250. Chilton: NRPB, 1991.
- Hart D, Jones DG, Wall BF. Normalized organ doses from medical X-ray examinations calculated using Monte Carlo techniques. NRPB-SR262. Chilton: NRPB, 1994.
- Osei EK, Faulkner K. Fetal position and size data for dose estimation. *Br J Radiol* 1999; 72: 363-370.
- Osei EK, Faulkner K. Fetal doses from radiological examinations. *Br J Radiol* 1999; 72: 773-780.
- Shrimpton PC, Wall BF, Jones DG, et al. A national survey of doses to patients undergoing a selection of routine X-ray examinations in English hospitals. NRPB-R200. London: HMSO, 1986.
- Hart D, Hillier MC, Wall BF, et al. Doses to patients from medical X-ray examinations in the UK-1995 review. NRPB-R289. London: HMSO, 1996.
- Steenvoorde P, Pauwels EKJ, Harding LK, et al. Diagnostic nuclear medicine and risk for the fetus. *Eur J Nucl Med* 1998; 25: 193-199.
- ICRP Publication 53. Radiation doses to patients from radiopharmaceuticals. *Annals of the ICRP*, vol 18, no 1-4, Oxford: Pergamon Press, 1987.
- ICRP Publication 88. Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother. *Annals of the ICRP*, vol 31, no 1-3, Oxford: Pergamon Press, 2001.
- Jones S. Foetal dosimetry – is the ICRP dosimetric system for humans now complete? *J Radiol Prot* 2002; 22: 1-4.
- Phipps AW, Harrison JD, Fell TP, et al. Some aspects of the fetal doses given in ICRP publication 88. *Radiation Protection Dosimetry* 2003; 105: 279-284.
- Stather JW, Phipps AW, Harrison JD, et al. Dose coefficients for the embryo and fetus following intakes of radioactivity by the mother. *J Radiol Prot* 2002; 22: 7-24.
- Russell JR, Stabin MG, Sparks RB, et al. Radiation absorbed dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals. *Health Phys* 1997; 73: 756-769.
- Stabin ME. MIRDOSE: personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine. *JNM* 1996; 37: 538-546.

28. ICRP Publication 84. Pregnancy and medical radiation. *Annals of the ICRP*, Tarrytown, New York: Pergamon, Elsevier Science Inc, 2000; 30, No 1.
29. Edwards AA, Lloyd DC. Risks from ionizing radiation: deterministic effects. *J Radial Prot* 1998; 18: 175-183.
30. De Santis M, Di Gianantonio E, Straface G, et al. Ionizing radiations in pregnancy and teratogenesis: a review of the literature. *Reprod Toxicol* 2005; 20: 323-329.
31. Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol* 1997; 70: 130-139.
32. Timins J. Radiation during pregnancy. *New Jersey Medicine*; 2001; 98: 29-33.
33. Otake M, Schull W J. Radiation-related brain damage and growth retardation among the prenatally exposed atomic bomb survivors. *Int J of Rad Biol* 1998; 74: 159-171.
34. Schull W J, Otake M. Cognitive function and prenatal exposure to ionizing radiation. *Teratology* 1999; 59: 222-226.
35. Edwards A, Elwyn G, Mulley A. Explaining risks: Turning numerical data into meaningful pictures. *BMJ* 2002; 324: 827-830.
36. Thompson MA. Maintaining a proper perspective of risk associated with radiation exposure. *J Nucl Med Technol* 2001; 29: 137-142.
37. Mountford PJ. Risk assessment of the nuclear medicine patient. *Br J Radiol* 1997; 70: 671-684.
38. Committee on Environmental Health. Risk of ionizing radiation exposure to children: a subject review. *Pediatrics* 1998; 101: 717-719.
39. Adelstein SJ. Administered radionuclides in pregnancy. *Teratology* 1999; 59: 236-239.
40. Berlin L. Iodine-131 and the pregnant patient. *AJR* 2001; 176: 869-871.
41. Stabin M, Breitz H. Breast milk excretion of radiopharmaceuticals: Mechanisms, findings, and radiation dosimetry. *JNM* 2000; 41: 863-873.

Abstract

Although in pregnancy it is strongly recommended to avoid diagnostic nuclear medicine and radiology procedures, in cases of clinical necessity or when pregnancy is not known to the physician, these diagnostic procedures are to be applied. In such cases, counseling based on accurate information and comprehensive discussion about the risks of radiation exposure to the fetus should follow. In this article, estimations of the absorbed radiation doses due to nuclear medicine and radiology diagnostic procedures during the pregnancy and their possible risk effects to the fetus are examined and then discussed. Stochastic and detrimental effects are evaluated with respect to other risk factors and related to the fetus absorbed radiation dose and to the post-conception age. The possible termination of a pregnancy, due to radiation exposure is discussed. Special radiation protection instructions are given for radiation exposures in cases of possible, confirmed or unknown pregnancies. It is concluded that nuclear medicine and radiology diagnostic procedures, if not repeated during the pregnancy, are rarely an indication for the termination of pregnancy, because the dose received by the fetus is expected to be less than 100 mSv, which indicates the threshold dose for having deterministic effects. Therefore, the risk for the fetus due to these diagnostic procedures is low. However, stochastic effects are still possible but will be minimized if the radiation absorbed dose to the fetus is kept as low as possible.

Hell J Nucl Med 2007; 10(1): 48-55

Keywords: Fetus – Radiation dose – Radiation exposure – Risk – Radiation effects – Radiation protection

Correspondence address:

Pavlos Markou, Medical Physicist,
MSc Health Care Unit Management,
9 Melenikou Str., 582 00 Edessa, Macedonia, Greece,
Tel. & Fax: +30 23810 28205, E-mail: markp@otenet.gr

Received: 5 April, 2006

Accepted revised: 10 November, 2006

Review Article

Fetus radiation doses from nuclear medicine and radiology diagnostic procedures. Potential risks and radiation protection instructions

Pavlos Markou

Η Ελληνική Εταιρία Πυρηνικής Ιατρικής

με έδρα τη Θεσσαλονίκη, Ερμού 51, τηλ-φαξ: 2310 229 133, e-mail: fgr_nucl@otenet.gr

Ευχαρίστωας σας **ανακοινώνει** ότι η 17^η εκπαιδευτική Ημερίδα της Εταιρίας θα γίνει το Σάββατο 12 Μαΐου 2007, στο Αμφιθέατρο του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Παπαγεωργίου. Η Οργανωτική Επιτροπή αποτελείται από τους κ.κ.: Νικόλαο Καρατζά Πρόεδρο, Β. Χατζηπαύλιδου και Ι. Ιακώβου Αντιπροέδρους, Χ. Τρόντζο Γενικό Γραμματέα, Δ. Μπούντα Ταμία και Γ. Αρσο, Α. Δούμα, Ν. Λοπρέστι, Στ. Γεώργα, Κ. Μπαδιαβά και Κ. Χατζηιωάννου Μέλη. **Επίτιμος Πρόεδρος:** Φ. Γραμματικός. Η Ημερίδα θα εξελιχθεί από ώρα 8:30 μέχρι 20:00 με θέματα: Ακτινοτροστασία, Κυκλοφορικό, Καρκίνοι, PET/CT, Octreoscan και Θεραπεία. **Ομιλητές και Πρόεδροι** θα είναι οι κ.κ. (με τη σειρά παρουσίασης): Φ. Γραμματικός, Κ. Ψαρράκος, Κ. Χα-

τζηιωάννου, Ε. Μολυβδά, Κ. Μπαδιαβάς, Α. Πετρόπουλος, Μ. de Haas (διάλεξη), Γ. Παρχαρίδης, Ι. Καπρίνης, Ι. Ζαρίφης, Π. Παπαποστόλου, Ε. Μωραλίδης, Α. Δούμας, Κ. Καρακαταύνης, JMH de Clerk (διάλεξη), Χ. Σέμογλου, Ν. Καρκαβίτσας, Χ. Γιαννοπούλου, Σ. Κουκουράκη, Ν. Σάλεμ, Δ. Δημητρουλόπουλος, Θ. Καλαθάς, Μ. Κοτζασαρλίδου και Ν. Καρατζάς.

Δικαίωμα εγγραφής: 30 ευρώ.

Την προηγούμενη μέρα Παρασκευή 11 Μαΐου, θα γίνει αγιασμός-εγκαίνια του Γ' Πανεπιστημιακού Εργαστηρίου Πυρηνικής Ιατρικής στον ίδιο χώρο του Νοσοκομείου Παπαγεωργίου και θα ακολουθήσουν ενημερωτικές επιστημονικές εκδηλώσεις μέχρι τις 20:00.