



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Τίτλος εργασίας:

Ct κοιλίας: ακτινική επιβάρυνση κοιλίας σε εγκύους με/ χωρίς χρήση μολύβδινης ποδιάς

Συγγραφέας:

ΙΟΥΛΙΑ ΜΑΛΙΚΗ

ΑΜ:

20020

Επιβλέπων καθηγητής:

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΜΠΑΚΑΣ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF HEALTH AND CARE SCIENCES
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES
(MSc/MBA)
MSc in Current Applications in Medical imaging

Diploma Thesis

Title

Ct abdomen-pelvis: radial abdominal burden in pregnant women with/without lead apron use

Student name and surname:

Maliqi Julia

Registration Number:

20020

Supervisor name and surname:

Athanasios Bakas

Athens, December 2022



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΣΥΓΧΩΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ**

Τίτλος εργασίας

Ct κοιλίας: ακτινική επιβάρυνση κοιλίας σε εγκύους με/ χωρίς χρήση μολύβδινης ποδιάς

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΜΠΑΚΑΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΣ	
	ΠΕΡΙΚΛΗΣ ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
	ΓΕΩΡΓΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαλίκη Ιουλία, του Νικόλα, με αριθμό μητρώου 20200 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Σύγχρονες Εφαρμογές στην Ιατρική Απεικόνιση του Τμήματος Βιοιατρικών Σπουδών της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

**Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.*

Η Δηλούσα



Περίληψη

Κύριος στόχος της διενέργειας της εξέτασης της αξονικής τομογραφίας αποτελεί η επιτυχής διάγνωση παθολογικών καταστάσεων οι οποίες, σε διαφορετική περίπτωση, θα απαιτούσαν την υλοποίηση πολύπλοκων και χρονοβόρων διαγνωστικών προσεγγίσεων. Η αξονική τομογραφία συνιστά διαγνωστική μέθοδο η οποία πραγματοποιείται στο σύνολο των ανατομικών δομών του ανθρώπινου σώματος επιτρέποντας την ολιστική προσέγγιση των οργάνων αυτού.

Η χρήση υπολογιστικής τομογραφίας και η ακτινική επιβάρυνση του εμβρύου στο στάδιο της κύησης κατά το οποίο αναπτύσσεται το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα του ίσως επηρεάσει την νοητική ικανότητα του εμβρύου, με το επίπεδο σοβαρότητας να σχετίζεται με την ακριβή περίοδο της εγκυμοσύνης κατά την οποία έγινε η ακτινοβολήση.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές μελέτες που αξιολογούν την χρήση ακτινολογικών ποδιών βισμούθιου ως μέθοδο μείωσης της δόσης ακτινοβολίας.

Λέξεις κλειδιά: κοιλία, εγκυμοσύνη , θωράκιση με βισμούθιο

Abstract

The main objective of the CT scan is the successful diagnosis of pathological conditions which, otherwise, would require the implementation of complex and time-consuming diagnostic approaches. CT is a diagnostic method which is applied to all the parts of the human body, allowing a holistic approach to the organs of the human body.

The performance of CT scans and the exposure of the pregnant woman to high levels of radiation during the stage of pregnancy when the central nervous system of the fetus is developing may have a significant effect on the cognitive ability of the newborn, the level of severity of the effect being related to the exact period of pregnancy during which the radiation was administered

There are several studies in the literature that evaluate bismuth shielding as a dose reduction method. Where as all studies report a reduction in dose to the eye, the dose savings vary from 20 to 50% depending on the scanner, technique and shield design

Keywords: Acute abdomen, pregnancy , bismuth shielding

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου για τη συνεισφορά τους σε αυτό το ταξίδι. Επιπλέον, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον επόπτη της εργασίας μου, κύριο Αθανάσιο Μπάκα για τη πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του και τις διορθώσεις. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη τους.

Εισαγωγή

Σημαντικότητα του θέματος και διατύπωση του προβλήματος

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία πιθανών εξηγήσεων για τον οξύ κοιλιακό πόνο που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Δεν θα πρέπει να προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι μια έγκυος ασθενής που αντιμετωπίζει οξύ κοιλιακό άλγος αποτελεί ένα κλινικό σενάριο που καλύπτει μεγάλο φάσμα ιατρικών ειδικοτήτων. Όταν αντιμετωπίζεται μια τέτοια δύσκολη περίπτωση, απαιτούνται υπηρεσίες ενός χειρουργού, ενός μαιευτήρα/γυναικολόγου ή και ενός παθολόγου ιατρού.

Όσον αφορά τη διάγνωση και τη θεραπεία, ο οξύς κοιλιακός πόνος στην εγκυμοσύνη παρουσιάζει ένα μοναδικό σύνολο προκλήσεων. Είναι δυνατόν οι γυναίκες που διανύουν τη περίοδο της εγκυμοσύνης να εμφανίσουν οξύ κοιλιακό άλγος όχι μόνο ως αποτέλεσμα μαιευτικών παραγόντων αλλά και για λόγους που δεν σχετίζονται με την εγκυμοσύνη. Λόγω των τροποποιημένων κλινικών παρουσιάσεων που επιφέρουν οι ανατομικές και φυσιολογικές αλλαγές της κύησης, σε συνδυασμό με τον αποκλεισμό χρήσης ορισμένων ακτινολογικών εξετάσεων υπό το φόβο να βλάψουν το έμβρυο, η διαγνωστική προσέγγιση του οξέος κοιλιακού άλγους κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης μπορεί να είναι δύσκολη. Αυτό οφείλεται στις τροποποιημένες κλινικές αλλαγές που προκαλούνται και επιφέρει η κύηση. Τόσο η μητέρα όσο και το έμβρυο μπορεί να κινδυνεύσουν εάν η διάγνωση και η θεραπεία καθυστερήσουν.

Σκοπός και Στόχοι

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της βιβλιογραφίας με κριτικό τρόπο όσον αφορά στην επιστημονική έρευνα περί την ακτινική επιβάρυνση κοιλίας σε εγκύους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Αξονική τομογραφία

1.1 Περιγραφή και Ιστορική αναδρομή

Με στόχο την έγκαιρη και ακριβή διάγνωση, καθώς και την έγκυρη εκτίμηση της εξελικτικής πορείας μιας παθολογικής κατάστασης αλλά και τον προσδιορισμό των κατάλληλων θεραπευτικών παρεμβάσεων στο πεδίο της διαχείρισης αυτής, κρίνεται σημαντική η πραγματοποίηση τεχνικών ιατρικής απεικόνισης. Η ιατρική απεικόνιση αποσκοπεί στην μελέτη της αλληλεπίδρασης διακριτών μορφών ενέργειας με τους αντίστοιχους βιολογικούς ιστούς και στηριζόμενη στην ανάπτυξη κατάλληλης τεχνολογίας επιχειρεί την εξαγωγή κλινικά χρήσιμων συμπερασμάτων μέσω των παρατηρήσεων της ανωτέρω αλληλεπίδρασης (Chung et al., 2015; Kelaranta et al., 2017). Οι παρεχόμενες πληροφορίες αποδίδονται συνήθως με τη μορφή εικόνων/ χαρτογραφήσεων μιας δομής. Οι ιατρικές εικόνες μπορεί να παρουσιάζουν μια αμιγώς απλή μορφή, όπως εκείνες οι οποίες λαμβάνονται κατά τη διενέργεια μιας συμβατικής ακτινογραφίας ή εναλλακτικά μια σαφώς πολυπλοκότερη μορφή, όπως συμβαίνει στις υπολογιστικά ανακατασκευασμένες εικόνες οι οποίες παράγονται από υπολογιστικούς τομογράφους (Computed Tomography, CT) ή, όπως εναλλακτικά καλούνται, υπολογιστικούς αξονικούς τομογράφους (Computed Axial Tomography, CAT scan) (Bedford, 2012; Tselikas et al., 2015).

Η αξονική τομογραφία αποτελεί ακτινοδιαγνωστική μέθοδο, η οποία βασίζεται στη χρήση ακτίνων X, μέσω της οποίας επιχειρείται η απεικόνιση και συνεπώς η μελέτη νοητών τομών του ανθρώπινου σώματος, οι οποίες παρουσιάζουν εγκάρσια κατατομή σε σχέση με τον επιμήκη άξονα αυτού. Η λήψη πολλαπλών και διαδοχικών τομών αυτής της μορφής κατά μικρά διαστήματα επιτρέπει την απόδοση της τρισδιάστατης απεικόνισης του υπό εξέταση σημείου (Dane et al., 2021; Salem et al., 2021). Στην πράξη, σε αντίθεση με την μέθοδο της ακτινογραφίας, απεικονίζεται τρισδιάστατα στο σύνολο της η ανά περίπτωση εξεταζόμενης περιοχής αποτυπωμένης στο ακτινογραφικό film. Κατά την απεικόνιση μέσω της αξονικής τομογραφίας επιτυγχάνεται η απόδοση του βάθους. Αποτέλεσμα της ανωτέρω συνθήκης αποτελεί το γεγονός ότι ιστοί οι οποίοι εντοπίζονται σε ποικίλα βάθη δύναται να διακριθούν ευκρινώς επιτρέποντας τη σαφή διαγνωστική τους προσέγγιση (Bhandary et al., 2020; Matsunaga et al., 2021).

Η ανακάλυψη της αξονικής τομογραφίας αποδίδεται στους Gormack, A και Hounsfield,

J., των οποίων οι ανακαλύψεις το πεδίο της απεικονιστικής ιατρικής συνέβαλαν στη διαμόρφωση του συγκεκριμένου τρόπου απεικόνισης. Παλιότερες προσπάθειες οι οποίες καταγράφονται κατά τη δεκαετία του 1930 οδήγησαν στην προαγωγή της ‘κλασσικής τομογραφίας’, η οποία διαφοροποιείται από τη σύγχρονη μορφή της αξονικής τομογραφίας, καθώς η υλοποίηση αυτής πραγματοποιούταν σε κλασσικό ακτινογραφικό μηχάνημα στο οποίο είχε προσαρτηθεί μια ειδική συσκευή ακτίνων X. Μέσω της μετατόπισης της εστίασης των ακτίνων ήταν εφικτή η λήψη στιγμιότυπων επάνω στο ίδιο film, μιας μόνο επίπεδης ζώνης του υπό εξέταση σημείου του σώματος του ατόμου (Li et al., 2018; Hermena & Young, 2021). Κατά τη διαδικασία αυτή οι ιστοί οι οποίοι εντοπίζονταν είτε πάνω είτε κάτω από το ανώτερο επίπεδο παρουσιάζονταν με σαφώς χαμηλότερη ευκρίνεια, γεγονός που οφείλεται στη μη διάκριση θέσης βάθους αυτών. Αν και χρησιμοποιήθηκε ευρέως στο παρελθόν, πλέον η ανωτέρω μέθοδος έχει σταδιακά εγκαταλειφθεί, με την χρήση του αξονικού τομογράφου να επικρατεί (Tselikas et al., 2015; Dane et al., 2021).

1.2 Εφαρμοζόμενη τεχνολογία

Η συσκευή του αξονικού τομογράφου αποτελείται από το *ικρίωμα* (gantry), εντός του οποίου βρίσκονται τοποθετημένοι η λυχνία ακτίνων X, ο ανιχνευτής ακτίνων X και ο κατευθυντήρας αυτών. Άλλα σημεία του συστήματος αποτελούν η *εξεταστική κλίνη* και το *σύστημα απόκτησης και απεικόνισης των δεδομένων* (Chung et al., 2015). Σε ό,τι αφορά τη λυχνία ακτίνων X πρόκειται για το σημείο εκπομπής των ακτίνων και συνεπώς διαθέτει κατάλληλη θωράκιση με μόλυβδο προκειμένου να διαφυλάσσεται η αποφυγή της ανεξέλεγκτης εκροής αυτών. Η ελεγχόμενη δέσμη των ακτίνων X εκβάλλει εκ μιας οπής η οποία εντοπίζεται στη θωράκιση της λυχνίας και κατευθύνεται στοχευμένα στο υπό εξέταση σημείο του σώματος. Ο ανιχνευτής ακτίνων X χρησιμεύει στην ανίχνευση και καταγραφή της εκβαλλόμενης ακτινοβολίας, η οποία κατά τη διαδρομή της διαπερνά το σώμα του εξεταζόμενου ατόμου. Τέλος, ο κατευθυντήρας αποτελεί σημείο της συσκευής το οποίο βρίσκεται συνδεδεμένο εκτός της λυχνίας, με κύριο σκοπό αυτού τον καθορισμό του επιθυμητού πάχους αλλά και του σχήματος και του περιορισμού της εκβαλλόμενης δέσμης ακτίνων X (Bhandary et al., 2020; Hermena & Young, 2021).

Η εξεταστική κλίνη αποτελεί το σημείο τοποθέτησης του υπό εξέταση ατόμου, με τρόπο ώστε να προβάλλεται μια νοητή εγκάρσια διατομή αυτού, προκειμένου να υλοποιηθεί η

αντίστοιχη εξέταση του επιθυμητού σημείου του σώματος του. Σε ό,τι αφορά το σύστημα λήψης των παρεχόμενων δεδομένων και της ανακατασκευής των εικόνων των εξεταζόμενων σημείων πρόκειται για σύστημα το οποίο απαρτίζεται από αντίστοιχο λογισμικό, το οποίο ελέγχει τη διαδικασία και προβάλλει τις ανακατασκευασμένες εικόνες. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται τις εικόνες οι οποίες προκύπτουν μέσω των νοητών εγκάρσιων τομών στο σώμα του εξεταζόμενου ατόμου και εν συνεχεία δύναται να τις απεικονίσει (Dane et al., 2021; Salem et al., 2021).

Η διαδικασία υλοποίησης της αξονικής τομογραφίας ξεκινά με την τοποθέτηση του εξεταζόμενου στην εξεταστική κλίνη, η οποία σταδιακά προωθείται εντός του gantry όπου βρίσκονται η λυχνία και οι ανιχνευτές. Η περιστροφική κίνηση της στεφάνης σηματοδοτεί την έναρξη της διαδικασίας και της εκπομπής των ακτίνων X, με κάθε περιστροφή της στεφάνης κατά 180° συνάδει με τη λήψη μιας τομής (Chung et al., 2015; Wang & Lundström, 2016). Ο καταευθυντήρας διαμορφώνει την εκπομπή των ακτίνων X σε μια αποκλίνουσα δέσμη λεπτού πάχους που διαπερνά το σώμα του υπό εξέταση ατόμου. Ανάλογα με το πάχος και την πυκνότητα των παρεμβαλλόμενων ιστών οι ανωτέρω ακτίνες είναι δυνατό να απορροφηθούν μερικώς από το σώμα του ατόμου, με τα υπολείμματα αυτών να συλλέγονται κατά την έξοδο τους από τον ανιχνευτή (Bhandary et al., 2020; Hermena & Young, 2021).

Το λογισμικό που βρίσκεται μέσα στον υπολογιστικό τομογράφο λαμβάνει το σύνολο των ψηφιοποιημένων δεδομένων που αποστέλλονται σε αυτό μέσω του ανιχνευτή. Τα δεδομένα αυτά αντιστοιχούν στην πράξη σε διαδοχικές γωνίες το εύρος των οποίων κυμαίνεται από 0° έως 180° . Η σύνθεση της εικόνας της τομής βασίζεται στην δυνατότητα του λογισμικού αυτού να συσχετίζει μεταξύ τους τα λαμβανόμενα δεδομένα (Panchal et al., 2019; Dane et al., 2021). Ειδικότερα, η ένταση της ακτινοβολίας, προτού εισέλθει εντός της εξεταζόμενης περιοχής, εκτιμάται με βάση ένα ανιχνευτή αναφοράς. Αντιστοίχως κατά την έξοδο της από το εξεταζόμενο σημείο του σώματος προσμετράται εκ νέου μέσω της καταγραφής της εξασθένησης της ακτινοβολίας, με τη βοήθεια ανιχνευτών οι οποίοι έχουν τεθεί σε παράλληλη διάταξη έναντι της λυχνίας εκπομπής των ακτίνων X.

Μέσω της ανωτέρω διαδικασίας είναι εφικτός ο προσδιορισμός του συντελεστή εξασθένησης αναφορικά με μια δεδομένη τομή. Η ολοκλήρωση του προσδιορισμού των συντελεστών εξασθένησης σηματοδοτείται με την καταγραφή των παρεχόμενων δεδομένων στο ανάλογο λογισμικό του μηχανήματος του αξονικού τομογράφου, οπότε και είναι δυνατή η ανασύνθεση της εικόνας της υπό εξέταση τομής (Makaju et al., 2018; Hermena & Young, 2021).

Η προώθηση της εξεταστικής κλίνης κατά ένα βήμα εντός του εσωτερικού του gantry επιτρέπει τη λήψη της επόμενης τομής, με την υλοποίηση μιας νέας ημι-περιστροφής του κατά 180°. Αν και σε πρότερης τεχνολογίας μηχανήματα αξονικής τομογραφίας η προώθηση της εξεταστικής κλίνης πραγματοποιούνταν ανά βήματα, οι σύγχρονες εκδοχές αυτών λειτουργούν με την προώθηση της με μια συνεχή, αν και αργή, ταχύτητα, με τη στεφάνη να περιστρέφεται ομοίως συνεχώς, υλοποιώντας ταχείς περιστροφές γύρω από την εξεταστική κλίνη (Bedford, 2012; Tavoraro et al., 2019). Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η λήψη δεδομένων από πολλαπλές διαδοχικές τομές με υψηλότερη σχετικά ταχύτητα, οι οποίες στην πράξη συνιστούν μια συνεχή ροή τομών επί μιας συνεχούς μεγάλης ελικοειδούς τομής στο σώμα του υπό εξέταση ατόμου. Με τη βοήθεια της συνεχούς ελικοειδούς λήψης τομών είναι εφικτή η ολοκλήρωση ενός αυξημένου αριθμού πολλαπλών τομών εντός σύντομου χρονικού διαστήματος, σε αντίθεση με την πρότερη σαφώς χρονοβόρα διαδικασία (Dane et al., 2021; Lupo et al., 2021). Η πλήρης εξέταση μιας επιθυμητής περιοχής, κατά την ανωτέρω μέθοδο, αριθμού 8 έως 12 τομών, με το χρόνο λήψεων αυτών να περιορίζεται σε περίπου 1 sec ανά τομή, σε αντίθεση με τους πρώιμους αξονικούς τομογράφους, όπου η διάρκεια κάθε τομής ανερχόταν στα 5 min, πράγμα που καθιστούσε τη διαδικασία χρονοβόρα. (Chung et al., 2015; Hermena & Young, 2021).

Παρότι η συνεχής περιστροφή της λυχνίας μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κατά τη μετάδοση των σημάτων από τον ανιχνευτή, ο οποίος στρέφεται μαζί με αυτή, προς το λογισμικό δίκτυο, που βρίσκεται τοποθετημένο στο πεδίο χειρισμού, η παρεμβολή ηλεκτρικών επαφών οι οποίες είναι τοποθετημένες σε κατάλληλους δακτυλίους που ολισθαίνουν επί των περιστρεφόμενων επιφανειών δύναται να επιλύσει το ανωτέρω πρόβλημα (Ullah et al., 2019; Dane et al., 2021). Σε σύγχρονους αξονικούς τομογράφους έχει εφαρμοσθεί μια διαφορετική διορθωτική προσέγγιση, κατά την οποία οι ανιχνευτές των ακτίνων X εντοπίζονται εκτός της στεφάνης, σε όλο το μήκος της περιφέρειας της επί του πλαισίου του σώματος του τομογράφου.

Κατά τον τρόπο αυτό οι ανιχνευτές διαμορφώνουν ένα έτερο ακίνητο πλαίσιο στεφάνης που βρίσκεται γύρω από το περιστρεφόμενο gantry, εντός της οποίας τοποθετούνται η λυχνία ακτίνων X και ο κατευθυντήρας.

Χάρη στη συγκεκριμένη διάταξη και με δεδομένο ότι οι ανιχνευτές είναι ακίνητοι, δεν απαιτούνται κινητές επαφές προκειμένου να επιτευχθεί η μετάδοση των σημάτων από αυτούς προς το λογισμικό καταγραφής (Makaju et al., 2018; Bhandary et al., 2020).

1.3 Αρχές λειτουργίας αξονικού τομογράφου

Η λειτουργία του αξονικού τομογράφου βασίζεται, όπως αναφέρθηκε, στη μέτρηση των συντελεστών εξασθένησης (μ) των ιστών οι οποίοι διαπερνώνται από τις εκπεμπόμενες ακτίνες X, με την αντίστοιχη απεικόνιση να σχηματίζεται έπειτα από μαθηματική επεξεργασία η οποία διενεργείται από το λογισμικό αυτού (Benmalek, Elmhamdi & Jilbab, 2021; Maurer, 2021).

Ειδικότερα η ακτινοβολία εισέρχεται στο σώμα του ασθενή με ένταση I_0 και εξέρχεται με ένταση I , οπότε με την βοήθεια της σχέσης

$$I=I_0 \cdot e^{-(\mu \cdot E)d}$$

υπολογίζεται η τιμή του (μ) για κάθε voxel, ενώ d είναι το πάχος της κάθε τομής και E η ενέργεια της ακτινοβολίας. Στην πράξη ο ανωτέρω τύπος υποδηλώνει ότι όσο αυξάνεται το πάχος της τομής, τόσο μειώνεται η ένταση της ακτινοβολίας και αυξάνεται ο συντελεστής εξασθένησης (μ). Με δεδομένο ότι το σώμα δεν συνιστά ένα ομοιογενές πεδίο ακτινοβολήσης, αναμένεται το μέτρο της έντασης I , της εξερχόμενης ακτινοβολίας από την εκάστοτε προβολική κατεύθυνση, να διαφέρει με αποτέλεσμα κάθε στοιχειώδη μονάδα τομής του υπό εξέταση τμήματος να εμφανίζει το δικό της συντελεστή (μ) (Atci et al., 2017; Gillespie et al., 2019).

Η ανακατασκευή της εικόνας προϋποθέτει τον υπολογισμό των συντελεστών εξασθένησης (μ) όλων των μονάδων που αποτελούν κάθε τομή, μέσω της μαθηματικής επεξεργασίας της κατανομής τους με τη βοήθεια κατάλληλου αλγόριθμου.

Το σύνολο των ανωτέρω στοιχειωδών μονάδων, οι οποίες προάγονται στο λογισμικό της συσκευής, αποτελούν την μήτρα ανακατασκευής της εικόνας (reconstruction matrix), με τη κύρια μονάδα σύνθεσης να συνιστά τη στοιχειώδη κυψέλη. Πολλαπλές στοιχειώδεις κυψέλες δύναται να συνθέσουν μια τομή, η οποία αποτελεί το τομογραφικό επίπεδο του υπό εξέταση σημείου του σώματος. Η κάθε τομή εμφανίζεται στην οθόνη ως δυσδιάστατη εικόνα σε επίπεδη επιφάνεια (Zhang et al., 2015; Hermena & Young, 2021).

Σημειώνεται ότι κάθε τομή χωρίζεται σε πλήθος ίσων voxel, με το πάχος καθενός από αυτά να αντιστοιχεί στο πάχος της τομής. Τον υπολογισμό των συντελεστών εξασθένησης (μ) για το σύνολο των voxel ακολουθεί ο υπολογισμός του αριθμού CT σύμφωνα με τη σχέση

$$\text{Αριθμός CT} = 1000 \frac{\mu^{\text{voxel}} - \mu^{\text{νερού}}}{\mu^{\text{νερού}}}$$

Στην περίπτωση που το voxel περιέχει νερό, ο αριθμός CT θα είναι 0, εάν περιέχει αέρα ο αριθμός CT αντιστοιχεί στο -1000 (καθώς ισχύει $\mu^{\text{αέρα}}=0$). Τέλος εάν το voxel περιέχει οστό τότε ο αριθμός CT αντιστοιχεί στο +1000 (καθώς ισχύει $\mu^{\text{οστού}}= 2 \mu^{\text{νερού}}$) (Atci et al., 2017; Gillespie et al., 2019).

Σε κάθε αριθμό CT αντιστοιχεί και μια ορισμένη διαβάθμιση του γκρι, με αποτέλεσμα κατά την απεικόνιση να αποτυπώνεται με ευκρίνεια το υποκείμενο τμήμα του σώματος του εξεταζόμενου. Ουσιαστικά, ανάλογα με τη τιμή του συντελεστή εξασθένησης (μ) επιτυγχάνεται η απεικόνιση κάθε τομής με διαβαθμίσεις του γκρι (Makaju et al., 2018). Σημεία του σώματος με υψηλό συντελεστή εξασθένησης (μ), όπως είναι για παράδειγμα τα οστά, τείνουν να εμφανίζονται λευκά, σε αντίθεση με έτερα σημεία με μικρότερο συντελεστή (μ), όπως είναι για παράδειγμα οι μαλακοί ιστοί, τα οποία παρουσιάζονται μαύρα ή γκρι. Παρότι η ανακατασκευασμένη εικόνα είναι δυσδιάστατη στην πράξη η απεικόνιση αντιπροσωπεύει τρισδιάστατες δομές (Dane et al., 2021; Hermena & Young, 2021).

1.4 Η εξέλιξη των αξονικών τομογράφων – Γενιές αξονικών τομογράφων

Η χρήση των αξονικών τομογράφων ακολουθεί την εξέλιξη της σύγχρονης τεχνολογίας της απεικονιστικής ιατρικής, με αποτέλεσμα την παρουσία νέων γενεών μηχανημάτων στην κλινική πράξη. Η έννοια της ‘γενιάς (generation)’ έχει κυριαρχήσει προκειμένου να περιγράψει τη διαχρονική εξέλιξη των αξονικών τομογράφων και πρόκειται για έννοια η οποία αφορά κυρίως τη διάταξη της λυχνίας και των ανιχνευτών εντός της συσκευής, καθώς και τον αριθμό και την κινητικότητα αυτών. Η εξέλιξη των αξονικών τομογράφων επιχειρεί να διασφαλίσει τη λήψη διαγνωστικών εικόνων υψηλής διακριτικής ικανότητας, μειώνοντας συγχρόνως τόσο το χρόνο εξέτασης του ασθενή όσο και το ποσοστό της λαμβανόμενης δόσης ακτινοβολίας από τον εξεταζόμενο (Zhang et al., 2015; Anas, Onsy & Matuszewski, 2020; Maurer, 2021).

Η χρήση της 1^{ns} γενιάς αξονικών τομογράφων καταγράφεται στην αρχή της δεκαετίας του 1970. Πρόκειται για μηχανήματα τα οποία αποτελούνταν από μια πηγή από την οποία εκπέμπετο μια μονή δέσμη ακτίνων X και από τον ανιχνευτή. Ο χρόνος λήψης μιας τομής αντιστοιχούσε σε 4 έως 5 min. Η λυχνία και ο ανιχνευτής κινούνταν με τρόπο γραμμικό έναντι του

ασθενή και ακολούθως τροποποιούσαν τη γωνία τους επαναλαμβάνοντας μια ομοίως γραμμική κίνηση. Η λήψη του συνόλου των απαιτούμενων πληροφορικών ήταν εφικτή μέσα από την επανάληψη των ανωτέρω κινήσεων μετατόπισης και περιστροφής μέχρι να ολοκληρωθεί η κάλυψη γωνίας 180°. Με δεδομένο ότι τα κινούμενα μέρη του σώματος επηρέαζαν αισθητά την ποιότητα της λαμβανόμενης εικόνας, οι αξονικοί τομογράφοι 1^{ης} γενιάς χρησιμοποιήθηκαν κατά βάση για την εξέταση του εγκεφάλου. (Dane et al., 2021; Hermena & Young, 2021).

Η 2^η γενιά αξονικών τομογράφων χρονολογείται το 1974, με κύριο γνώρισμα της την παρουσία πολλαπλών ανιχνευτών και την καταχώρηση πολλαπλών γωνιών για κάθε θέση, ενώ η εκπομπή των ακτίνων X ακολουθεί τη μορφή λεπτής δέσμης τύπου 'βεντάλιας' με εύρος 10°. Αν και η γωνία περιστροφής ήταν σαφώς μεγαλύτερη, απαιτούνταν και πάλι η μετακίνηση της εξεταστικής κλίνης (Salem et al., 2021). Βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης γενιάς αξονικών τομογράφων υπήρξε η μείωση του χρόνου λήψης μιας τομής, ο οποίος αντιστοιχούσε πλέον σε 20 sec, λόγω της αύξησης του αριθμού των ανιχνευτών, γεγονός το οποίο επέτρεπε στον εξεταζόμενο να συγκρατήσει την αναπνοή του κατά την υλοποίηση της λήψης.

Παράλληλα η αύξηση της ευκρίνειας των λαμβανόμενων πληροφοριών αποτέλεσε κύριο τεχνολογικό επίτευγμα των συγκεκριμένων αξονικών τομογράφων, ενισχύοντας τη διαγνωστική τους αξία (Shahverdi et al., 2017; Gillespie et al., 2019).

Ο χρόνος λήψης μειώθηκε περαιτέρω στην 3^η γενιά μηχανημάτων αξονικής τομογραφίας τα οποία εμφανίστηκαν το 1977, καθώς η λήψη μιας τομής αντιστοιχούσε πλέον σε χρόνο λιγότερο από 5 sec. Οι ακτίνες X εκπέμπονται σε μορφή δέσμης βεντάλιας, ενώ εξίσου σημαντική είναι η παρουσία πολλαπλών περιστρεφόμενων ανιχνευτών.

Ουσιαστικά σε αυτή τη γενιά αξονικών τομογράφων καταργείται η γραμμική μετατόπιση και περιστροφή των ανιχνευτών και της λυχνίας, που πλέον διατάσσονται σε μια γεωμετρική διάταξη σταθερού σχήματος και τελούν μια αμιγώς περιστροφική κίνηση, διαγράφοντας γωνία 360° γύρω από τον εξεταζόμενο. Η αύξηση του αριθμού των ανιχνευτών εντός της οπτικής γωνίας της λυχνίας αποτελεί το κύριο αίτιο μείωσης του χρόνου σάρωσης (Siri & Latte, 2019; Hermena & Young, 2021; Maurer, 2021).

Οι αξονικοί τομογράφοι 3^{ης} γενιάς είναι ιδιαίτερος διαδεδομένοι, ενώ μεταξύ αυτών συγκαταλέγεται και η βελτιωμένη έκδοση αξονικού τομογράφου, η οποία βασίζεται στην αρχή της γεωμετρικής μεγέθυνσης. Μέσω της γεωμετρικής μεγέθυνσης είναι εφικτή η τροποποίηση

της απόστασης μεταξύ του άξονα περιστροφής και της λυχνίας εκπομπής των ακτίνων X, διατηρώντας συγχρόνως σταθερή την διάταξη της λυχνίας και των ανιχνευτών. Η ανωτέρω συνθήκη επιτρέπει την εξεταστική προσέγγιση οργάνων τόσο μικρής όσο και μεγάλης διαμέτρου με την αξιοποίηση του συνόλου των ανιχνευτών (Zhang et al., 2015; Dane et al., 2021).

Οι 4^{ης} γενιάς αξονικοί τομογράφοι, οι οποίοι εμφανίσθηκαν στη δεκαετία του 1980, ομοίως αποδίδουν μια λεπτή δέσμη ακτίνων X σε μορφή 'βεντάλιας', αποτελούμενοι από στατικούς ανιχνευτές οι οποίοι βρίσκονται κατανεμημένοι σε 360°, με μόνο τη λυχνία να κινείται. Πρόκειται στην πράξη για παραλλαγή του συστήματος που εντοπίζεται στους αξονικούς τομογράφους 3^{ης} γενιάς, επιχειρώντας κυρίως την αποφυγή της εμφάνισης παρασίτων κατά τη λήψη της εικόνας, λόγω της κυκλικής περιστροφικής κίνησης (Shahverdi et al., 2017; Gillespie et al., 2019). Αν και διατηρείται η περιστροφική κίνηση της ακτινολογικής λυχνίας, οι ανιχνευτές τίθενται σε μια κυκλική σταθερή διάταξη σε σχέση με το εξεταζόμενο άτομο, διασφαλίζοντας την αυξημένη ταχύτητα περιστροφής της λυχνίας και συνεπώς τη μείωση του χρόνου σάρωσης. Ως αποτέλεσμα ο χρόνος λήψης των τομών έχει πλέον ελαχιστοποιηθεί στα 0.5 sec ενώ ταυτόχρονα έχει βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα της λαμβανόμενης εικόνας. Σημαντική επίσης είναι η ελαχιστοποίηση της εκπεμπόμενης προς τον ασθενή δόσης ακτινοβολίας (Siri & Latte, 2019; Hermena & Young, 2021).

Παράλληλα άλλοι τύποι αξονικών τομογράφων αποτελούν ο ελικοειδής αξονικός τομογράφος, 3^{ης} ή 4^{ης} γενιάς, ο οποίος εφαρμόζει τεχνολογία slip-ring, με την λυχνία να περιστρέφεται ελεύθερα και την κλίνη να κινείται με σταθερή ταχύτητα, αλλά και οι πολυτομικοί αξονικοί τομογράφοι, των οποίων η λειτουργία είναι παρόμοια με των ελικοειδών, και παρουσιάζουν πολλαπλές σειρές ανιχνευτών επιτυγχάνοντας την ταχύτερη καταγραφή των τομών (Wang & Lundström, 2016; Dane et al., 2021).

Στους ελικοειδείς αξονικούς τομογράφους η λυχνία περιστρέφεται μαζί με τους ανιχνευτές με τον εξεταζόμενο να μετατοπίζεται κατά μήκος του κεφαλο-ουριαίου άξονα, με τα δεδομένα να λαμβάνονται όχι σε μια τομή αλλά αντιθέτως σε ένα όγκο. Κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν η σαφής μείωση του χρόνου εξέτασης και η αυξημένη ποιότητα των λαμβανόμενων δεδομένων, χάρη στην ελάττωση των ασαφειών οι οποίες οφείλονταν στην κίνηση των εμπλεκόμενων οργάνων. Παράλληλα σημαντική είναι και η μείωση της λαμβανόμενης από το υπό εξέταση άτομο δόσης ακτινοβολίας (Siri & Latte, 2019; Benmalek, Elmhamdi & Jilbab, 2021). Επιπλέον, λόγω του ότι λαμβάνονται δεδομένα σε ένα όγκο και όχι σε μια

τομή, είναι εφικτή η αναπαραγωγή τόσο μετωπιαίων όσο και οβελιαίων τομών, και όχι αποκλειστικά εγκάρσιων, οι οποίες λαμβάνονται κατά τη διενέργεια της κλασικής μεθόδου της αξονικής τομογραφίας. Επιπρόσθετα είναι εφικτή η αποτύπωση σύνθετων τρισδιάστατων εικόνων, μέσω του συνδυασμού των ανωτέρω βασικών τομών οι οποίες προέκυψαν από την απεικονιστική εξέταση (Ruan, Thomas & Low, 2015; Zhang et al., 2015; Gillespie et al., 2019).

Οι αξονικοί τομογράφοι πολλαπλών τομών περικλείουν πολλαπλές σειρές ανιχνευτών κατά μήκος του άξονα εξέτασης, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα λήψης πολλαπλών τομών ανά περιστροφή. Βασικά πλεονεκτήματα τους αποτελούν η αυξημένη περιοχή σάρωσης ανά περιστροφή και ο σημαντικά μειωμένος χρόνος σάρωσης, ο οποίος ανέρχεται σε περίπου 0.3 sec ανά περιστροφή. Με τη βοήθεια του συγκεκριμένου τύπου αξονικού τομογράφου είναι δυνατή η απεικόνιση με ευκρίνεια κινούμενων οργάνων και δομών όπως είναι η καρδιά, κατά τη διενέργεια αξονικής στεφανιογραφίας (Wang & Lundström, 2016; Dane et al., 2021). Παράλληλα σημαντική είναι η επίτευξη περαιτέρω μείωσης της εκπεμπόμενης δόσης ακτινοβολίας προς το εξεταζόμενο άτομο (Anas, Onsy & Matuszewski, 2020).

Τέλος εξίσου διαδεδομένοι είναι οι αξονικοί τομογράφοι Dual Source οι οποίοι περικλείουν δύο λυχνίες και αντιστοίχως δύο ανιχνευτές ταυτόχρονα, γεγονός το οποίο συντελεί στη μείωση της γωνίας περιστροφής αλλά και στη μείωση του χρόνου ανακατασκευής της εικόνας, επιτρέποντας την υλοποίηση δυναμικών εξετάσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα (Yu et al., 2020; Dane et al., 2021). Η τελευταίας (5^{ης}) γενιάς αξονικοί τομογράφοι στηρίζονται στην παραγωγή δέσμης ηλεκτρονίων (e^-), η οποία επιταχύνεται και ακολούθως εστιάζει καθοδηγούμενη μαγνητικά μέσω των πηνίων προς τις ανόδους με στόχο τη λήψη πολλαπλών τομών. Μέσω της χρήσης αυτών είναι δυνατή η διαδοχική λήψη πολλαπλών τομών με ταχύτητα 17 τομών ανά sec. Η σαφής αύξηση των λαμβανόμενων πληροφοριών συνάδει με την υψηλή διαγνωστική αξία της συγκεκριμένης γενιάς αξονικών τομογράφων (Gillespie et al., 2019; Benmalek, Elmhamdi & Jilbab, 2021; Salem et al., 2021).

1.5 Βασικά μειονεκτήματα της διενέργειας αξονικής τομογραφίας

Η αξονική τομογραφία συνιστά απεικονιστική ακτινολογική εξέταση, συνεπώς στηρίζεται στην εκπομπή ακτίνων X. Αν και η ακτινοβολία την οποία δέχεται ο υπό εξέταση ασθενής είναι υψηλή σε σχέση με τις κλασικές ακτινολογικές εξετάσεις, είναι σαφές ότι θα πρέπει να υφίστανται σαφείς ενδείξεις για την υλοποίηση αυτής. Η εξέταση θα πρέπει να είναι επαρκώς

αιτιολογημένη. Προφανώς και δε θα πρέπει να γίνεται κατάχρηση της συγκεκριμένης απεικονιστικής μεθόδου, αλλά ομοίως δε θα πρέπει να αποφεύγεται η πραγματοποίηση της, λόγω της εκπομπής ακτινοβολίας, ιδίως εάν τα οφέλη τα οποία συνεπάγεται η έγκαιρη διάγνωση των αντίστοιχων παθολογικών καταστάσεων κρίνεται ότι υπερτερούν των πιθανών επιπτώσεων της υφιστάμενης χρήσης αυτής (Huda, 2015; Anas, Onsy & Matuszewski, 2020).

Οι δόσεις ακτινοβολίας οι οποίες αποδίδονται κατά τη διενέργεια μιας αξονικής τομογραφίας υπολογίζονται ότι ανέρχονται σε επίπεδο από 100 έως και 500 φορές πολλαπλάσιο μιας συμβατικής ακτινογραφίας, σε συνάρτηση σε κάθε περίπτωση με το ακριβές σημείο του σώματος στο οποίο και υλοποιούνται. Με βάση τις προδιαγραφές των κατασκευαστών των μηχανημάτων αξονικής τομογραφίας, η δόση αυτής κρίνεται ανάλογη της ποιότητας της απεικόνισης (Huda, 2015; Bell, 2016).

Ομοίως, οι καινοτόμες τεχνολογίες αξονικής τομογραφίας τείνουν να εφαρμόζουν υψηλότερες δόσεις ακτινοβολίας, σε μια προσπάθεια βελτιστοποίησης της ποιότητας των απεικονίσεων.

Παράλληλα είναι σαφές ότι ο τρόπος εφαρμογής των τεχνικών διενέργειας της αξονικής τομογραφίας τείνει να ποικίλει ανάλογα με το εκάστοτε απεικονιστικό κέντρο και εξοπλισμό, με αποτέλεσμα να έγκειται στην εκτίμηση του κλινικού ιατρού η απόφαση σχετικά με την υλοποίηση ή όχι της αντίστοιχης εξέτασης (Cohen, 2016; Gillespie et al., 2019).

Η λαμβανόμενη δόση της ακτινοβολίας λόγω της αξονικής τομογραφίας είναι αρκετά σημαντική. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται η λήψη πολλαπλών τομών στον ίδιο χρόνο (Huda, 2015; Safiullah et al., 2017; Anas, Onsy & Matuszewski, 2020).

Αξιοσημείωτο είναι ότι η χορήγηση σκιαγραφικού έχει ενοχοποιηθεί για την πρόκληση πολλαπλών αλλεργικών αντιδράσεων στο σώμα του υπό εξέταση ατόμου. Τα αίτια της εμφάνισης αυτών αφορούν την εκδήλωση φυσικοχημικής τοξικότητας ή εναλλακτικά την πρόκληση ιδιοπαθών αντιδράσεων. Λόγω της φυσικοχημικής αιτιολογίας, η πιθανή παρουσία αντιδράσεων οφείλεται στην ικανότητα του σκιαγραφικού να μεταβάλλει την ομοιόσταση του οργανισμού και ειδικότερα την λειτουργία του κυκλοφορικού συστήματος (Cohen, 2016). Η δυναμική των ανωτέρω μεταβολών καθορίζεται σημαντικά από ένα σύνολο παραγόντων με κυριότερη τη χημική σύσταση του χορηγούμενου σκιαγραφικού, ενώ καίρια κρίνεται η συγκέντρωση ιωδίου εντός αυτού. Ειδικότερα, η υψηλότερη συγκέντρωση ιωδίου έχει συσχετιστεί με τον υψηλότερο κίνδυνο πρόκλησης πιθανών αντιδράσεων (Bell, 2016; Karami & Gholami,

2018). Παράλληλα η ταχύτητα έγχυσης του σκιαγραφικού φαίνεται να συνδέεται με την εμφάνιση αντιδράσεων, με την αυξημένη ταχύτητα να συνάδει με τον αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης αυτών. Τέλος, η αυξημένη συγκέντρωση του σκιαγραφικού σχετίζεται θετικά με την αύξηση του κινδύνου πρόκλησης αντιδράσεων, καθιστώντας σαφές ότι η παρεχόμενη δόση οφείλει να υπολογίζεται με υψηλή ακρίβεια (Gillespie et al., 2019; Yu et al., 2020).

Σε ό,τι αφορά τις ιδιοπαθείς αντιδράσεις, πρόκειται για αντιδράσεις οι οποίες παρουσιάζουν αυξημένη ομοιότητα με τις αλλεργικές αντιδράσεις και ειδικότερα αφορούν την εκδήλωση υπερευαισθησίας έναντι του ιωδίου το οποίο περικλείεται εντός του παρεχόμενου διαλύματος.

Η χορήγηση του σκιαγραφικού δύναται να προκαλέσει την έκκριση ισταμίνης με αποτέλεσμα την υπερφόρτωση του κυκλοφορικού συστήματος και την εκροή της ισταμίνης εκ των αγγείων στους περιβάλλοντες ιστούς, προκαλώντας την εμφάνιση οιδήματος (Huda, 2015; Karami & Gholami, 2018)

Η εκδήλωση αναφυλακτικών αντιδράσεων συνοδεύεται από την παρουσία συμπτωμάτων όπως η ναυτία, ο πονοκέφαλος κ.α. Οι ιδιοπαθείς συγκεκριμένα αντιδράσεις διακρίνονται ανάλογα με τη σοβαρότητα τους, ενώ ο χρόνος εκδήλωσης αυτών σχετίζεται σημαντικά με το χρονικό διάστημα το οποίο παρεμβάλλεται από την έγχυση του σκιαγραφικού στο υπό εξέταση άτομο (Yu et al., 2020; Hermena & Young, 2021).

1.6 Εφαρμογές και λόγοι διενέργειας αξονικής τομογραφίας

Κύριος στόχος της διενέργειας της εξέτασης της αξονικής τομογραφίας αποτελεί η επιτυχής διάγνωση παθολογικών καταστάσεων οι οποίες, σε διαφορετική περίπτωση, θα απαιτούσαν την υλοποίηση πολύπλοκων και χρονοβόρων διαγνωστικών προσεγγίσεων. Η αξονική τομογραφία συνιστά διαγνωστική μέθοδο η οποία πραγματοποιείται στο σύνολο του ανθρώπινου σώματος επιτρέποντας την εξέταση των οργάνων αυτών. (Chung et al., 2015; Kellaranta et al., 2017). Αν και αρχικά εφαρμόστηκε αποκλειστικά για την εξέταση του εγκεφάλου, ακολούθως εξελίχθηκε και γίνεται χρήση της σε ανατομικές περιοχές όπως είναι η κοιλιά, τα οστά και οι πνεύμονες, περιορίζοντας σημαντικά την εφαρμογή άλλων μεθόδων εξέτασης (Bedford, 2012; Tselikas et al., 2015; Salem et al., 2021).

Παράλληλα με δεδομένο ότι μέσω αυτής είναι εφικτός ο εντοπισμός εσωτερικών βλαβών σε διάφορα όργανα του ανθρώπινου σώματος, έχει προαχθεί η διενέργεια βιοψιών μέσω της καθοδήγησης του αξονικού τομογράφου, οπότε και εξασφαλίζεται η υλοποίηση αυτών με αυξημένη ακρίβεια, ανώδυνα αλλά και με ελάχιστο κίνδυνο για τον εμπλεκόμενο ασθενή.

Αποτέλεσμα της ανωτέρω συνθήκης είναι η σημαντική μείωση τόσο των ημερών νοσηλείας του ασθενή, όσο και του χρόνου έναρξης της αντίστοιχα επιλεγόμενης θεραπευτικής προσέγγισης (Dane et al., 2021; Hermena & Young, 2021).

Επιπλέον, με τη βοήθεια χρήσης της υπολογιστικής τομογραφίας, πραγματοποιούνται παροχετεύσεις συλλογών και κύστεων, καθώς η σύγχρονη τεχνολογική εξέλιξη των σχετιζόμενων με τη λειτουργία του λογισμικών επιτρέπει την βέλτιστη ενδοσκοπική προσέγγιση και αντιστοίχως την απόδοση με εικόνες των κοίλων οργάνων. Ακολούθως είναι δυνατή η τοπική θεραπεία των υπό προσέγγιση σημείων του σώματος, όπως συμβαίνει με την τοπική θεραπεία των νεοπλασιών στην ηπατική περιοχή μέσω της χρήσης laser (Ullah et al., 2019; Bhandary et al., 2020). Ομοίως σημαντική είναι η συμβολή της αξονικής τομογραφίας στον εντοπισμό της παρουσίας παθολογικών ευρημάτων σε ποικίλες περιοχές του σώματος, όπως είναι τα άνω και κάτω άκρα, ο τράχηλος αλλά και η ευρύτερη περιοχή της κοιλιάς.

Με τη βοήθεια των σύγχρονων εξελιγμένων αξονικών τομογράφων είναι δυνατή η μελέτη ακόμη και περιοχών όπως είναι το παχύ έντερο, αλλά και η ουροδόχος κύστη (Shahverdi et al., 2017; Tavoraro et al., 2019).

Μεταξύ των σύγχρονων επιτευγμάτων στο πεδίο της αξονικής τομογραφίας συγκαταλέγεται και η αξονική στεφανιογραφία, κατά την οποία επιχειρείται η απεικόνιση των στεφανιαίων αγγείων δίχως να έχει προηγηθεί καθετηριασμός. Ομοίως δίχως καθετηριασμό διενεργείται η αξονική αγγειογραφία η οποία αφορά τα λοιπά αγγεία του ανθρώπινου σώματος και της οποίας τα επίπεδα αξιοπιστίας και ακρίβειας κρίνονται ως ιδιαίτερος υψηλά (Wang & Lundström, 2016; Dane et al., 2021).

Σαφώς θετική είναι η συμβολή της αξονικής τομογραφίας ως διαγνωστικής μεθόδου και στο πεδίο της οδοντιατρικής, όπου επιτρέπει την παροχή έγκυρων και αναλυτικών πληροφοριών αναφορικά με την κατάσταση των υποκείμενων οστών αλλά και το εύρος της βλάβης στην υπό εξέταση περιοχή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν απαιτείται η είσοδος του ασθενή εντός του μηχανήματος, συνθήκη η οποία εφαρμόζεται κατά τη λήψη του συνόλου των λοιπών

αξονικών τομογραφιών (Li et al., 2018). Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου της αξονικής τομογραφίας στο συγκεκριμένο πεδίο αποτελεί η παροχή τρισδιάστατων απεικονίσεων των οστών, σε αντίθεση με την μέχρι πρότινος εφαρμοζόμενη πανοραμική ακτινογραφία, κατά την οποία λαμβάνονται δυσδιάστατες πληροφορίες. Η ανωτέρω συνθήκη επιτρέπει στο θεράποντα οδοντίατρο την έγκαιρη διάγνωση ποικίλων νοσημάτων, συμπεριλαμβανομένων και των νεοπλασιών. (Panchal et al., 2019).

Επιπρόσθετα στην περίπτωση κατά την οποία απαιτείται η υλοποίηση εμφύτευσης δοντιών, η αξονική τομογραφία επιτρέπει τον εντοπισμό της ακριβούς και σωστής θέσης τοποθέτησης των εμφυτευμάτων (Luroi et al., 2021).

Ο αξονικός τομογράφος συμβάλει στη ταχεία και αξιόπιστη προσέγγιση ενός συνόλου παθολογικών περιστατικών, επιτρέποντας την τρισδιάστατη απεικόνιση των υπό εξέταση σημείων. Παρά το γεγονός ότι η χρήση του βασίζεται στην χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας, η εφαρμογή του επιτρέπεται κατά τη διάρκεια της κύησης, όταν κρίνεται αναγκαία η ακριβής απεικόνιση των δομών στο σώμα της εξεταζόμενης εγκύου. Η αποσαφήνιση των υφιστάμενων κινδύνων αλλά και η προσέγγιση των ανάλογων προστατευτικών μέσων κρίνεται ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, στο πεδίο της ολιστικής προσέγγισης της υγείας της γυναίκας κατά την ιδιαίτερη περίοδο της εγκυμοσύνης (Kelaranta et al., 2017; Matsunaga et al., 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Κύηση και διενέργεια αξονικής τομογραφίας κοιλίας

2.1 Κύριοι λόγοι διενέργειας αξονικής τομογραφίας κοιλίας κατά τη διάρκεια της κύησης

Η εκδήλωση οξύ κοιλιακού άλγους κατά τη διάρκεια της κύησης μπορεί να προκληθεί από ένα σύνολο ποικίλων αιτιών, μαιευτικών ή μη, απαιτώντας την περαιτέρω διερεύνηση αυτού μέσω κατάλληλων απεικονιστικών εξετάσεων. Η διαγνωστική προσέγγιση της εγκύου διέπεται από ποικίλες ιδιαιτερότητες καθώς η απεικόνιση στην κύηση απαντά ένα σύνολο περιορισμών, τόσο σε ό,τι αφορά τη χρήση εξετάσεων οι οποίες βασίζονται στην εκπομπή ακτινοβολίας, όσο και σε ό,τι αφορά τη χορήγηση ενδοφλέβιων σκιαγραφικών μέσων (Abushouk et al., 2017; Pinas-Carrillo & Chandraharan, 2017; Zachariah et al., 2019).

Μεταξύ των κυριότερων μη μαιευτικών αιτιών διενέργειας διαγνωστικής απεικόνισης συγκαταλέγεται η οξεία σκωληκοειδίτιδα, η διάγνωση της οποίας μπορεί να γίνει με τη χρήση υπερηχογραφήματος, μαγνητικής τομογραφίας αλλά και αξονικής τομογραφίας. Το υπερηχογράφημα συνιστά κύρια εξέταση εκλογής καθώς συνδυάζει την απουσία ακτινοβολίας με την αυξημένη διαγνωστική ακρίβεια, η οποία ανέρχεται στο 98% (Aggenbach et al., 2015; Franca Neto, Amorim & Nóbrega, 2015). Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το υπερηχογράφημα δε δύναται να επιλύσει το διαγνωστικό πρόβλημα, ενώ ομοίως δεν είναι εφικτή η υλοποίηση μαγνητικής τομογραφίας, η αξονική τομογραφία αποτελεί μοναδική επιλογή, επιδεικνύοντας αυξημένη ευαισθησία η οποία ανέρχεται στο 92%, ενώ ομοίως αυξημένη είναι και η ειδικότητα αυτής, σε ποσοστό 99% (Woussen et al., 2016; Baruch et al., 2020).

Συχνή μη μαιευτική συνθήκη, η οποία οδηγεί στην πραγματοποίηση αξονικής τομογραφίας, αποτελεί η εκδήλωση παθήσεων των χοληφόρων, και ειδικότερα η εκδήλωση οξείας χολοκυστίτιδας. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες απαιτείται λεπτομερέστερος έλεγχος κρίνεται αναγκαία η διενέργεια αξονικής ή μαγνητικής τομογραφίας (Himoto et al., 2015; Mathur et al., 2020; Tolcher & Clark, 2020).

Άλλο παθολογικό αίτιο διενέργειας αξονικής τομογραφίας αποτελεί η εκδήλωση κολικού του νεφρού ή ουρολιθίασης. Αν και το υπερηχογράφημα επίσης αποτελεί την πρώτη επιλογή απεικονιστικής μεθόδου, η εντοπιζόμενη ευαισθησία αυτού αναφορικά με την ανάδειξη λίθων κρίνεται ιδιαίτερος μικρή καθώς ανέρχεται στο 34%.

Παράλληλα εμπόδιο αποτελεί η φυσιολογική πυελοκαλυκτική διάταξη η οποία συντελείται κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης.

Αντιθέτως η αξονική τομογραφία, ακολουθώντας πρωτόκολλο χαμηλής δόσης και με τη χρήση πολυτομικού αξονικού τομογράφου αποτελεί μια ιδιαιτέρως αξιόλογη διαγνωστική μέθοδο, η οποία συνδυάζει την αυξημένη ευαισθησία, η οποία καταγράφεται υψηλότερη του 95%, με την υψηλή ειδικότητα, ιδίως στη διάγνωση ουρολιθίασης, η οποία υπολογίζεται μεγαλύτερη του 98%. Επιπρόσθετα η ακτινική επιβάρυνση του κυήματος κρίνεται ως μικρή (Pinas-Carrillo & Chandrahara, 2017; Hendriks et al., 2019; Zachariah et al., 2019).

Ο τραυματισμός της κοιλίας συνιστά ένα κύριο αίτιο μητρικής θνησιμότητας, ενώ ομοίως υψηλό καταγράφεται το ποσοστό πρόκλησης εμβρυικού θανάτου λόγω αυτού. Είναι σαφές ότι ενώπιον του υψηλού κινδύνου επιβίωσης, κρίνεται καίρια η αποτελεσματική και άμεση εκτίμηση της σοβαρότητας του τραύματος με τη χρήση κατάλληλων και έγκυρων απεικονιστικών μεθόδων, θέτοντας στο παρασκήνιο τους όποιους ενδοιασμούς αναφορικά με την ακτινοπροστασία. Αν και ομοίως το υπερηχογράφημα είναι εξέταση εκλογής, η παρουσία ενδείξεων τραυματισμού ενδοκοιλιακού οργάνου και η συνύπαρξη κακώσεων στο θώρακα και στο κεφάλι συνηγορούν επί της διενέργειας άμεσα αξονικής τομογραφίας με τη χρήση μέσου σκιαγραφικής αντίθεσης. Η χρήση ειδικών πρωτοκόλλων χαμηλής δόσης κρίνεται επιθυμητή με στόχο την προστασία του κυήματος (Bouyou et al., 2015; Woussen et al., 2016; Abushouk et al., 2017).

Σημαντικό είναι να τονισθεί ότι οι σύγχρονοι πολύτομικοί υπολογιστικοί τομογράφοι, οι οποίοι πολλαπλές διαθέτουν σειρές ανιχνευτών, δύναται να επιτύχουν την ταχύτατη λήψη των τομών παρέχοντας τη δυνατότητα ανασύνθεσης σε διακριτά επίπεδα. Συνεπώς, ιδίως σε περιπτώσεις πολύ-τραυματιών, είναι δυνατή η μελέτη της πυέλου και της σπονδυλικής στήλης μέσω τομών της άνω και κάτω κοιλίας, μειώνοντας σημαντικά το συνολικό χρόνο εξέτασης αλλά και τα επίπεδα ακτινοβολήσης της μητέρας και του κυοφορούμενου εμβρύου (Hendriks et al., 2019; Baruch et al., 2020; Tolcher & Clark, 2020).

2.2 Κυρίαρχοι εγχειρόμενοι κίνδυνοι

Αν και όπως προαναφέρθηκε το υπερηχογράφημα αποτελεί την πρώτη επιλογή κατά τη διαγνωστική προσέγγιση της εγκύου, υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν μπορεί να αποφευχθεί η χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας, κυρίως με τη μορφή αξονικής τομογραφίας, με στόχο τη λήψη πληροφοριών αυξημένης ευαισθησίας.

Δεν αποκλείεται συνεπώς κατά τη διάρκεια της κύησης η γυναίκα να πρέπει να υποβληθεί σε διαγνωστικές εξετάσεις με την χρήση ακτίνων X, ενώ είναι εξίσου πιθανή η διενέργεια αυτών σε γυναίκες οι οποίες αγνοούν την έναρξη μιας εγκυμοσύνης (Aggenbach et al., 2015; Mathur et al., 2020). Σε ό,τι αφορά την έγκυο ασθενή τα όρια της ακτινοβολίας διακρίνονται σε 4 κατηγορίες. Η κατηγορία I περιλαμβάνεται η περίπτωση εκπομπής αμελητέων δόσεων (<0.1 mGy) η οποία αφορά τη διενέργεια πανοραμικών λήψεων και επίπεδων λήψεων ακτινογραφίας, με την απόσταση η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του κήματος και της πρωτογενούς εκπομπής της δέσμης ακτίνων X να είναι ίση ή μεγαλύτερη από 30 cm. Η κατηγορία II αφορά χαμηλές δόσεις εύρους 0.1 mGy έως 1.0 mGy, ενώ η κατηγορία III περιλαμβάνει μεσαίες δόσεις εύρους 1.0 mGy έως 10 mGy και σε αυτή αντιστοιχούν οι προβολικές ακτινογραφικές λήψεις κοιλίας και πυέλου ή η ενδοφλέβια ουρογραφία, εξετάσεις κατά τις οποίες το κύημα είναι εντός ή και ιδιαιτέρως πλησίον της πρωτογενούς δέσμης ακτίνων X. Τέλος η κατηγορία IV αφορά εξετάσεις κατά τις οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλές δόσεις, μεγαλύτερες των 10 mGy, και περιλαμβάνει ένα σύνολο ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενων τεχνικών στην περιοχή της πυέλου, καθώς και η λήψη πολλαπλών τομών υπολογιστικής τομογραφίας στην περιοχή της κοιλίας (Guilbaud et al., 2019; Gong et al., 2020; Matsunaga et al., 2021).

Είναι σαφές ότι το αναπτυσσόμενο έμβρυο είναι ιδιαιτέρως ακτινευαίσθητο, με την πιθανότητα εκδήλωσης δυσμορφιών να παρουσιάζεται υψηλή, ιδίως σε δόσεις έως 100 mGy, ενώ εξίσου αυξημένος είναι ο κίνδυνος πρόκλησης νεοπλασιών. Ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του 1^{ου} και του 2^{ου} τριμήνου, διάστημα κατά το οποίο τελείται η ανάπτυξη του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος, το έμβρυο εμφανίζει υψηλά επίπεδα ευαισθησίας έναντι της έκθεσης του στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία (Aggenbach et al., 2015; Woussen et al., 2016; Hendriks et al., 2019).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στη διάρκεια της κύησης εντοπίζονται περίοδοι κατά τις οποίες η ακτινοβόληση δύναται να ενέχει λιγότερους κινδύνους σε σχέση με άλλες περιόδους

αυτής. Ειδικότερα η περίοδος η οποία εκτείνεται από την σύλληψη έως και την προσκόλληση του εμβρύου εντός της μήτρας συνιστά την 1^η φάση της κύησης με διάρκεια από 1 έως 2 εβδομάδες. Κατά την περίοδο αυτή η απορροφούμενη ακτινοβολία δύναται να συντελέσει στην μη επιτυχή εμφύτευση του γονιμοποιημένου ωαρίου εντός της μήτρας, οδηγώντας στην πρόωρη αποβολή αυτού. Κατά την ανωτέρω συνθήκη, δεν αποκλείεται να μην γίνει καν αντιληπτή η ύπαρξη της κύησης, καθώς η αποβολή του γονιμοποιημένου ωαρίου δύναται να αποδοθεί από τη γυναίκα σε μια αναμενόμενη έμμηνο ρύση (Franca Neto, Amorim & Nóbrega, 2015; Baruch et al., 2020).



Πηγή: <https://www.testpap.com/aktinografies-kata-tin-egkymosyni-einai-epikindynes-gia-tin-ygeia-toy-moroy/>

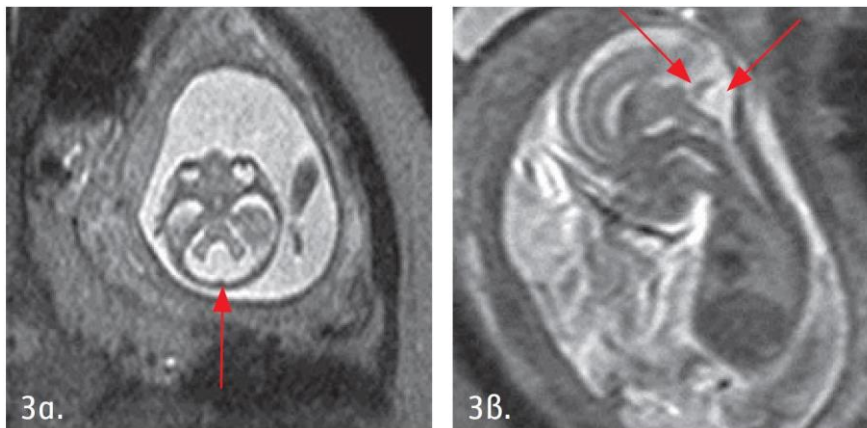
Στην περίπτωση όμως κατά την οποία συντελεσθεί η προσκόλληση του γονιμοποιημένου ωαρίου εντός της μήτρας και επιτευχθεί η ανάπτυξη του εμβρύου, η λαμβανόμενη δόση ακτινοβολίας κρίνεται ως αμελητέα προκειμένου να επηρεάσει την εξέλιξη αυτού. Συνεπώς η συγκεκριμένη περίοδος χαρακτηρίζεται ως ‘*περίοδος χαμηλού κινδύνου*’, λόγω της χαμηλής πιθανότητας εμβρυϊκού θανάτου, εφόσον έχει πραγματοποιηθεί επιτυχώς η προσκόλληση αυτού εντός της μήτρας (Bouyou et al., 2015; Zachariah et al., 2019; Gong et al., 2020).

Αντιθέτως η περίοδος από την 3^η έως και την 8^η εβδομάδα αποτελεί την περίοδο κατά την οποία συντελείται η οργανογένεση, με την λαμβανόμενη ακτινοβολία να αυξάνει σημαντικά την πιθανότητα εκδήλωσης δυσπλασιών. Ειδικότερα, με κατώφλι δόσης τις τιμές άνω των 100 mGy, εντοπίζονται σημαντικά ελλείμματα στο πεδίο της επαρκούς ανάπτυξης του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος με σαφείς επιπτώσεις στη νοητική και κινητική επάρκεια του εμβρύου (Hendriks et al., 2019; Mathur et al., 2020). Ομοίως καίρια κρίνεται η περίοδος από την 8^η έως και την 15^η εβδομάδα μετά τη σύλληψη, με τις υφιστάμενες συνέπειες να ελαττώνονται ελάχιστα, κατά την περίοδο από την 16^η έως και την 25^η εβδομάδα.

Οι υψηλότερες δόσεις ακτινοβολίας τείνουν να σχετίζονται θετικά με την πρόκληση σοβαρότερων προβλημάτων στο έμβρυο (Bouyou et al., 2015; Franca Neto, Amorim & Nóbrega, 2015).

Η διενέργεια αξονικής τομογραφίας και η λήψη από την έγκυο υψηλών ποσών ακτινοβολίας στο στάδιο της κύησης κατά το οποίο αναπτύσσεται το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα του εμβρύου δύναται να επηρεάσει σημαντικά την νοητική ικανότητα του εμβρύου (μείωση του I.Q), με το επίπεδο σοβαρότητας της επιρροής να σχετίζεται με την ακριβή περίοδο της εγκυμοσύνης κατά την οποία έλαβε χώρα η ακτινοβολήση (Himoto et al., 2015; Tolcher & Clark, 2020).

Ιστοί εντός των οποίων εντοπίζονται αναπτυσσόμενα κύτταρα κρίνονται ως περισσότερο ευαίσθητα στην επίδραση της ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, έχει καταγραφεί ότι η έκθεση σε ακτινοβολία από την 8^η έως και τη 15^η εβδομάδα μετά τη σύλληψη συνάδει με την αύξηση της συχνότητας γέννησης παιδιών με σημεία σοβαρής νοητικής υστέρησης (Guilbaud et al., 2019; Hendriks et al., 2019; Gong et al., 2020).



Πηγή: <https://www.hygeia.gr/magnitiki-tomografia-stin-apeikonistiki-dierynisi-toy-embryoy/>

Ομοίως αυξημένος εντοπίζεται ο κίνδυνος γέννησης παιδιών με δυσπλασίες, σε περίπτωση κατά την οποία η μητέρα έλαβε ακτινοβολία κατά την κύηση, με την απειλή να υφίσταται για όλη την περίοδο της εγκυμοσύνης. Η ακτινοβολήση της μήτρας κατά την κύηση σχετίζεται με

την εκδήλωση πιθανών δυσμορφιών ενώ συγχρόνως ενοχοποιείται για την εμφάνιση νεοπλασιών κατά την παιδική ή και ενήλικη ζωή του κυοφορούμενου εμβρύου (Cohen, 2016; Abushouk et al., 2017; Matsunaga et al., 2021).

Είναι συνεπώς αντιληπτό ότι, σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δε γίνεται να αναβληθεί η διενέργεια της συγκεκριμένης απεικονιστικής εξέτασης θα πρέπει ο θεράπων ιατρός να συνεκτιμήσει τα σαφή οφέλη και τους πιθανούς κινδύνους αυτής, επιχειρώντας την υλοποίηση της αξονικής τομογραφίας με τρόπο ώστε το κύημα να εκτεθεί στο μικρότερο δυνατό ποσό ακτινοβολίας (Bell, 2016; Kwan et al., 2019). Ο τεχνολόγος Ακτινολόγος θα πρέπει να εκτιμήσει την δόση στο έμβρυο, βασιζόμενος στη γνώση της τάσης (kVolt) και της έντασης ρεύματος (mAs), με την απορροφώμενη δόση να αυξάνεται σε αναλογία με το ρεύμα.

Τάση 120 με 130 kV σε εξέταση αξονικής τομογραφίας και ρεύμα 1mAs συνεπάγεται ότι η απορροφώμενη από το κύημα δόση σε 360ο θα ανέρχεται σε 0.1 mSv (Aggenbach et al., 2015; Franca Neto, Amorim & Nóbrega, 2015).

Κατά τη διενέργεια εξετάσεων αξονικής τομογραφίας η απορροφώμενη από το έμβρυο δόση θα πρέπει να υπολογίζεται με τη χρήση ειδικών πινάκων με μέτρηση του δοσιμετρικού δείκτη αξονικής τομογραφίας (computerized tomography dose index, CTDI), έχοντας συνεκτιμήσει την άμεση και την έμμεση έκθεση του στην ακτινοβολία. Τα ανωτέρω δεδομένα τα οποία και χρησιμοποιούνται κατά τους υπολογισμούς των αντίστοιχων τιμών έχουν καθορισθεί με τεχνικές *Monte Carlo*, καθώς και με τη βοήθεια μετρήσεων με δοσίμετρα θερμο-φωταύγειας (thermos-luminescence dosimeter, TLD) (Kelaranta et al., 2017; Hendriks et al., 2019; Baruch et al., 2020).

2.3 Αξιολόγηση όφελους/ κινδύνου (*Risk – Benefit ratio*) και μέθοδοι προστασίας

Η ποσότητα της ακτινοβολίας η οποία λαμβάνεται κατά τη διενέργεια αξονικής τομογραφίας κρίνεται ως αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη δόση την οποία λαμβάνει το υπό εξέταση άτομο κατά την πραγματοποίηση μιας κλασσικής ακτινογραφίας. Ειδικότερα κατά την πραγματοποίηση μιας τυπικής τομής ισοδύναμης δόσης σε μια αξονική τομογραφία κάτω κοιλίας η ποσότητα της ακτινοβολίας ανέρχεται σε περίπου 35 mGy, ενώ στην περίπτωση απλής ακτινογραφίας της περιοχής η ισοδύναμη δόση υπολογίζεται σε περίπου 0.5 mGy (Aggenbach et al., 2015; Franca Neto, Amorim & Nóbrega, 2015; Mukherjee & Samanta, 2019).

Η δόση την οποία λαμβάνει η εξεταζόμενη κατά την αξονική τομογραφία καθορίζεται από τα κύρια χαρακτηριστικά της λειτουργίας της λυχνίας παραγωγής των ακτίνων X, η οποία υφίσταται εντός του συγκεκριμένου μηχανήματος το οποίο χρησιμοποιείται, αλλά και από τον αριθμό των τομών οι οποίες απαιτούνται για να ολοκληρωθεί η εξέταση. Η σωστή χρήση των παραμέτρων mAs και kV της λυχνίας συντελούν σημαντικά στη μείωση της ακτινοβολίας που λαμβάνει η υπό εξέταση ασθενής (Cohen, 2016; Atci et al., 2017; Zachariah et al., 2019).

Είναι σαφές ότι, κατά τις περιπτώσεις στις οποίες δε γίνεται να αποφευχθεί η χρήση αξονικής τομογραφίας, θα πρέπει η αιτούμενη εξέταση να αποτελεί μοναδική επιλογή στο πεδίο της απόδοσης πληροφοριών αυξημένης ευαισθησίας και ειδικότητας. Σημαντικό κρίνεται συνεπώς το εξεταζόμενο άτομο, στη συγκεκριμένη περίπτωση η έγκυος γυναίκα, να ενημερώνεται με σαφήνεια για το όφελος και τον κίνδυνο της συγκεκριμένης εξέτασης, προκειμένου να συνεκτιμηθεί η αναλογία αυτών (Bell, 2016; Abushouk et al., 2017). Θέτοντας ως κύριο μέλημα την προστασία της ζωής της εγγύου, θα πρέπει μέσω της υλοποίησης της αξονικής τομογραφίας να αποδίδονται άκρως απαραίτητες πληροφορίες, η λήψη των οποίων να μη μπορεί να αναβληθεί για μεταγενέστερο χρόνο. Παράλληλα η συζήτηση της εξεταζόμενης με τον εξειδικευμένο επαγγελματία θα πρέπει να προηγηθεί της εξέτασης, προκειμένου κατά τη διάρκεια της να τεθούν με σαφήνεια το ακριβές κλινικό ερώτημα, αλλά και η απουσία εναλλακτικών μεθόδων διαγνωστικής προσέγγισης αυτού (Kwan et al., 2019; Mukherjee & Samanta, 2019; Baruch et al., 2020).

Κύριο σημείο όμως παραμένει η προσπάθεια μείωσης της δόσης ακτινοβολίας, με τη χρήση ειδικού πρωτόκολλου χαμηλής δόσης. Με βάση την αρχή 'ALARA' [*ALARA Principle (As Low As Reasonably Achievable)*], κυρίαρχη υποχρέωση παραμένει η μείωση της δόσης της ακτινοβολίας προς την ασθενή σε επίπεδα στα οποία όμως δύναται να διατηρήσουν την απαιτούμενη ποιότητα της διαγνωστικής προσέγγισης (Cohen, 2016; Atci et al., 2017; Karami & Gholami, 2018).

Τα τρία βασικά σημεία στο πεδίο της προστασίας από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία αποτελούν ο χρόνος έκθεσης, η απόσταση από την πηγή ακτίνων X και η χρήση μέσων προστασίας. Μεταξύ των κυριότερων μέσων προστασίας συγκαταλέγονται οι ποδιές μόλυβδου, οι οποίες τοποθετούνται καταλλήλως με στόχο την προσρόφηση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και συνεπώς την μείωση της απορρόφησης αυτής από τη εξεταζόμενη (Bell, 2016; Safiullah et al., 2017; Gong et al., 2020). Παράλληλα σημαντική κρίνεται η σωστή τοποθέτηση της εξεταζόμενης εντός του αξονικού τομογράφου, προκειμένου να επιτευχθεί η έκθεση κατά το δυνατό

λιγότερου ιστού, με το μήκος του υπό εξέταση ιστού (scan length) να επιχειρείται να διατηρηθεί κατά το δυνατό μικρό (Kwan et al., 2019; Baruch et al., 2020).

Κατά τη διενέργεια της απεικονιστικής εξέτασης κρίνεται επίσης σημαντική η αποφυγή της λήψης συνεχόμενων και πολλαπλών τομών, με τη χρήση επαναλαμβανόμενων φάσεων της εξέτασης να τελείται μόνο εφόσον υπάρχει σαφές διαγνωστικό όφελος. Η διαγνωστική προσέγγιση οφείλει να σχεδιασθεί με τρόπο ώστε να είναι εφικτή η λήψη των επιθυμητών πληροφοριών από μια και μόνο σάρωση, μειώνοντας την έκταση της αλληλο-επικάλυψης του πεδίου σάρωσης εντός συνεχών ανατομικών περιοχών και επομένως τη μείωση του υφιστάμενου κινδύνου (Atci et al., 2017; Guilbaud et al., 2019; Mukherjee & Samanta, 2019).

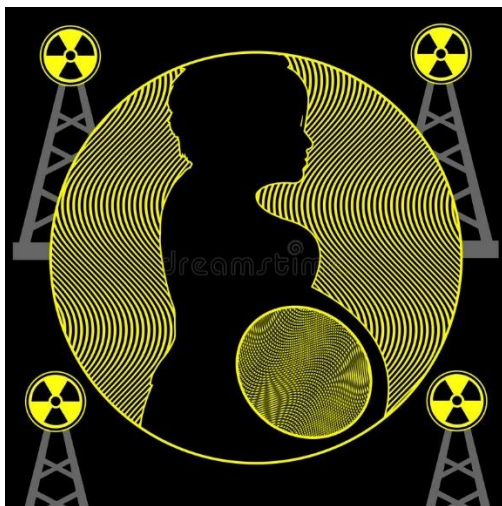
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Έρευνες αναφορικά με την ακτινική επιβάρυνση κοιλίας σε εγκύους

Ο τύπος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που είναι γνωστός ως ιοντίζουσα ακτινοβολία δημιουργείται από τις γεννήτριες ακτίνων Χ, τα ραδιενεργά ισότοπα (ραδιονουκλίδια) και τα μηχανήματα ακτινοθεραπείας. Όταν μια έγκυος γυναίκα υποβάλλεται σε διαγνωστικές ή θεραπευτικές διαδικασίες, όπως ακτινογραφίες, ακτινοσκόπηση, ακτινοθεραπεία, ή της χορηγούνται ραδιοφάρμακα, υπάρχει πιθανότητα να εκτεθεί και το έμβρυο

Για να ενημερωθεί μια έγκυος που έχει εκτεθεί σε ιοντίζουσα ακτινοβολία, για τους πιθανούς κινδύνους που ενέχει μια έκθεση σε ακτινοβολία συνήθως ζητάται η συνδρομή ενός Ακτινοφυσικού. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις στις οποίες δεν θα ήταν απαραίτητο να γίνει αξιολόγηση της έκθεσης στην ακτινοβολία λόγω του ότι το έμβρυο δεν έχει εκτεθεί.

Η πλειονότητα των διαγνωστικών διαδικασιών εκθέτει το έμβρυο σε δόση μικρότερη από 40 mSv.

Δεν θα υπάρξει αύξηση των αναπαραγωγικών κινδύνων που σχετίζονται με αυτό το επίπεδο έκθεσης σε ακτινοβολία (είτε γενετικές ανωμαλίες είτε αποβολή). Η δόση ακτινοβολίας που έχει τεκμηριωθεί ότι προκαλεί αυξημένο κίνδυνο γέννησης παιδιού με γενετική ανωμαλία ή αποβολής, όπως αναφέρεται στις έρευνες που έχουν δημοσιευθεί είναι τα 200 mSv



Πηγή:<https://es.dreamstime.com/stock-de-ilustraci%C3%B3n-radiaci%C3%B3n-y-embarazo-image88051110>

Το στάδιο της εγκυμοσύνης στο οποίο βρισκόταν η γυναίκα όταν εκτέθηκε στην ακτινοβολία είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη:

Κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων εβδομάδων μετά τη σύλληψη, καθώς και των δύο δεύτερων εβδομάδων μετά το τέλος της πιο πρόσφατης περιόδου της γυναίκας, το έμβρυο είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στις αρνητικές επιδράσεις των ακτίνων Χ. Ωστόσο, το έμβρυο είναι ευαίσθητο στις θανατηφόρες επιδράσεις των ακτίνων Χ, παρά το γεγονός ότι απαιτούνται δόσεις σημαντικά υψηλότερες από 50 mSv για να προκληθεί αποβολή.

Το έμβρυο βρίσκεται στην περίοδο της πρώιμης εμβρυϊκής ανάπτυξης από την τρίτη έως την όγδοη εβδομάδα της εγκυμοσύνης- ωστόσο, το έμβρυο δεν επηρεάζεται με γενετικές ανωμαλίες, απώλεια εγκυμοσύνης ή καθυστέρηση της ανάπτυξης, εκτός εάν η έκθεση είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την έκθεση των 200 mSv.

Το έμβρυο είναι ευάλωτο στις επιδράσεις της ακτινοβολίας στο κεντρικό νευρικό σύστημα που αρχίζουν από την όγδοη εβδομάδα της εγκυμοσύνης και συνεχίζονται μέχρι τη δέκατη πέμπτη εβδομάδα της κύησης. Ωστόσο, η έκθεση πρέπει να είναι εξαιρετικά υψηλή και σε αυτή την περίπτωση. Έχει υπολογιστεί ότι το όριο πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 300 mSv για να παρατηρηθεί επίδραση στη νοημοσύνη του αναπτυσσόμενου εμβρύου. Δεδομένου ότι αυτά τα επίπεδα δεν επιτυγχάνονται συνήθως σε διαγνωστικές διαδικασίες, οι ασθενείς συνήθως δεν χρειάζεται να ανησυχούν για τις επιπτώσεις που περιγράφονται εδώ.

Μετά την 20ή εβδομάδα της εγκυμοσύνης, όταν το έμβρυο έχει φθάσει στο τελικό στάδιο ανάπτυξής του, είναι πιο ανθεκτικό στις αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η ακτινοβολία στην ανάπτυξη και την εξέλιξή του. Στην πραγματικότητα, το έμβρυο δεν είναι πιθανώς πιο ευαίσθητο στις περισσότερες από τις παρενέργειες της ακτινοβολίας από ό,τι η μητέρα στα τελευταία στάδια της εγκυμοσύνης. Ωστόσο, το πιο σημαντικό πράγμα που πρέπει να έχουμε κατά νου είναι ότι σχεδόν καμία από τις διαγνωστικές ακτινολογικές διαδικασίες δεν θα έχει καμία επίδραση στο έμβρυο σε αυτό το προχωρημένο στάδιο της εγκυμοσύνης.

Επιπλέον, δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος γενετικών ανωμαλιών ή αποβολής από το εύρος των εκθέσεων που συμβαίνουν ως αποτέλεσμα των διαγνωστικών μελετών.

Όταν μια διαγνωστική ακτινογραφική μελέτη διενεργείται στο κεφάλι, τα δόντια, το στήθος, τα χέρια, το λαιμό ή τα πόδια, το έμβρυο ή οι ωοθήκες δεν εκτίθενται σε ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Τυχόν μικρή ακτινική επιβάρυνση στο έμβρυο, θα ήταν εξαιρετικά

χαμηλής πιθανότητας και δεν θα έθεταν την εγκυμοσύνη σε αυξημένο κίνδυνο. Η πραγματική δόση ακτινοβολίας στην οποία εκτέθηκε η εμβρυϊκή βλαστοκύστη είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας. Σύμφωνα με μελέτες που χρησιμοποιούν διαγνωστικές ακτίνες X, το έμβρυο που αναπτύσσεται δεν θα εκτίθετο σε δόση που θα οδηγούσε σε μετρήσιμο αυξημένο κίνδυνο που θα μπορούσε να αναπαραχθεί. Αυτό ισχύει μόνο για την ακτινοβολία που απορροφάται κατά τη διάρκεια διαγνωστικών ακτινολογικών διαδικασιών, όπως η αξονική τομογραφία (CT) και η ακτινοσκόπηση, που διαμορφώνονται σε άλλες περιοχές εκτός της κοιλιάς ή της πυέλου.

Ακτινολογικές Διαγνωστικές Μέθοδοι

Κάποια από τα παραδείγματα που μπορεί να οδηγήσουν στη χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι: (α) ακτινογραφίες της σφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης για την αξιολόγηση του πόνου στη μέση ή του πόνου μιας νευρικής οδού- (β) ενδοφλέβια πυελογραφία (IVP) για την εξέταση της λειτουργίας των νεφρών- (γ) τομές ανώτερου γαστρεντερικού σωλήνα για την αξιολόγηση γαστρεντερικών συμπτωμάτων- και (δ) εικόνες κατώτερου γαστρεντερικού σωλήνα (βαριούχος κλύσμα) για την εξέταση της δομής και της λειτουργίας του παχέος εντέρου ε) ακτινολογικές μελέτες της λειτουργίας της ουροδόχου κύστης, στ) ακτινολογικές μελέτες της χοληδόχου κύστης και της λειτουργίας της χοληδόχου κύστης, ζ) ακτινολογικές μελέτες της δομής και της λειτουργίας της μήτρας και των σαλπίγγων με μια διαδικασία γνωστή ως υστεροσαλπιογράφημα (HSP), η) ακτινολογικές μελέτες της πυέλου και των ισχίων ως αποτέλεσμα πόνου στο ισχίο, και ι) τυπικές ακτινογραφίες κοιλιάς

Είναι πιθανό το έμβρυο ή οι ωοθήκες να εκτεθούν σε ακτινοβολία ως αποτέλεσμα αυτών των μελετών. Ωστόσο, η δέσμη ακτίνων X που χρησιμοποιείται στις διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω Σε ορισμένες περιπτώσεις, το έμβρυο μπορεί να μην εκτεθεί καθόλου, ενώ σε άλλες περιπτώσεις, το έμβρυο ή οι ωοθήκες μπορεί να εκτεθούν μόνο κατά ένα μέρος.

Εάν μια έγκυος γυναίκα έχει υποβληθεί σε οποιαδήποτε από αυτές τις διαδικασίες και ανησυχεί για τη δόση ακτινοβολίας που έλαβε, το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει είναι να ζητηθεί από το ακτινολογικό τμήμα να προσδιορίσει την πραγματική δόση ακτινοβολίας που έλαβε το έμβρυο ή οι ωοθήκες. Αυτό θα βοηθήσει να απαντηθούν τυχόν απορίες που μπορεί να έχει η έγκυος σχετικά με τη δόση ακτινοβολίας.

Κατά τη διενέργεια μιας ανάλυσης, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη δύο βασικές πληροφορίες. Πρώτον, στη συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων, η έκθεση θα είναι χαμηλή και δεν θα αποτελεί κίνδυνο για εμφάνιση γενετικών ανωμαλιών και δε θα υπάρχει αυξημένη πιθανότητα αποβολής. Δεύτερον, ανεξάρτητα από τη δόση που λαμβάνει μια γυναίκα από αυτές τις διαδικασίες, θα πρέπει να γνωρίζει ότι όταν μείνει έγκυος, έχει ήδη έναν αναπαραγωγικό κίνδυνο (γνωστό και ως κίνδυνο υποβάθρου) που είναι 3% για σοβαρές γενετικές ανωμαλίες και 15% για αποβολή. Ο κίνδυνος αυτός υφίσταται ανεξάρτητα από το αν η έγκυος έχει εκτεθεί σε οποιαδήποτε επίπεδο ακτινοβολίας. Αυτοί οι κίνδυνοι μεταβάλλονται ανάλογα με το ιστορικό της οικογένειας της μητέρας καθώς και την προσωπική της εμπειρία με την αναπαραγωγή.

Η απεικόνιση μιας εγκύου ασθενούς με χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι μερικές φορές απαραίτητη, διότι η ακριβής διάγνωση μπορεί τελικά να σώσει τη ζωή της ασθενούς ή/και του εμβρύου. Υπάρχουν αρκετές κλινικές ενδείξεις που υποστηρίζουν αυτή την πρακτική. Το τραύμα, το οποίο μπορεί να εμφανιστεί σε ποσοστό έως και 7 % των κυήσεων, αποτελεί την κύρια αιτία διαγνωστικής απεικόνισης σε έγκυες ασθενείς. Πιο συγκεκριμένα, οι συγκρούσεις με μηχανοκίνητα οχήματα είναι ο πιο κοινός τύπος τραύματος (Raptis et al 2014). Ωστόσο, άλλα ιατρικά ζητήματα, όπως η πνευμονική εμβολή (αξονική αγγειογραφία θώρακος), η νεφρική απόφραξη από πέτρες (περιορισμένη ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενη τοποθέτηση σωλήνων νεφροστομίας ή ουρηθικών στεντ) και οι οξείες νευρολογικές καταστάσεις - είτε νέες είτε προϋπάρχουσες - εμφανίζονται επίσης με αυξημένη συχνότητα κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Αυτά είναι μερικά μόνο από τα πολλά ιατρικά ζητήματα που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης (αξονικές τομογραφίες εγκεφάλου).

Το οξύ εγκεφαλικό επεισόδιο, η φλεβική θρόμβωση, η υπαραχνοειδής αιμορραγία, το ανεύρυσμα, ο όγκος και η αιμορραγία αγγειακής δυσπλασίας περιλαμβάνονται επίσης σε αυτή την κατηγορία παθήσεων. Εάν υπάρχει περιορισμένη ή καθόλου πρόσβαση σε μαγνητική τομογραφία (MRI) και εάν η υπερηχογραφία δεν είναι επαρκής ή κατάλληλη, τότε ορισμένα κέντρα έχουν χρησιμοποιήσει περιορισμένες αξονικές τομογραφίες για την αξιολόγηση μυοσκελετικών ανωμαλιών και συνδρόμων (Victoria et al 2016).

Κατά την αξιολόγηση εγκύων γυναικών που αντιμετωπίζουν οξύ κοιλιακό άλγος, συχνά διενεργείται αξονική τομογραφία της κοιλιάς και της πυέλου. Αυτός ο τύπος απεικόνισης μπορεί να βοηθήσει στη διάγνωση ποικίλων καταστάσεων, όπως σκωληκοειδίτιδα, πέτρες στον απομακρυσμένο ουρητήρα, συστροφή ωοθηκών και απόφραξη εντέρου. Η ακτινογραφία, συμπε-

ριλαμβανομένης της ακτινοσκόπησης και της επεμβατικής ακτινοσκόπησης, η πυρηνική ιατρική και οι αξονικές τομογραφίες είναι οι κύριοι τύποι διαγνωστικών διαδικασιών που εκθέτουν τις ασθενείς σε ακτινοβολία

Από αυτές, οι αξονικές τομογραφίες είναι οι πιο διαδεδομένες λόγω του εύρους των εφαρμογών τους και της προσβασιμότητάς τους. Οι περισσότερες αξονικές τομογραφίες, όταν χρησιμοποιούνται στη διαγνωστική απεικόνιση, οδηγούν πλέον σε χαμηλές δόσεις στους ασθενείς (και σε λιγότερο από 20 mSv στο έμβρυο), αλλά μπορεί να υπάρχουν περιττές διακυμάνσεις της δόσης ανάλογα με το πρωτόκολλο αξονικής τομογραφίας. Στο παρελθόν, οι μέσες απορροφούμενες δόσεις (CTDIvol) ήταν τρεις φορές υψηλότερες από ό,τι σήμερα (π.χ. Smith-Bindman et al 2009). Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας έχουν διεξαχθεί εκστρατείες ευαισθητοποίησης και προστασίας από την ακτινοβολία ως άμεσο αποτέλεσμα και των δύο αυτών ζητημάτων. Μια τέτοια εκστρατεία είναι η συνεργατική πρόσκληση δράσης IAEA-WHO Bonn Call for Action (www.iaea.org/resources/rpop/resources/bonn-call-for-action-platform). Η απεικόνιση για διαγνωστικούς σκοπούς γίνεται ολοένα και πιο συχνή σε κλινικά περιβάλλοντα (βλ. NCRP 2009, 2019). Παρά το γεγονός ότι οι εν λόγω εκθέσεις δεν παρέχουν στοιχεία ειδικά για τις έγκυες ασθενείς, δείχνουν αύξηση των απεικονιστικών εξετάσεων. Στην πυρηνική ιατρική, έχει αυξηθεί η χρήση της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (PET).

Υπάρχουν επίσης αναφορές για αύξηση της χρήσης της αξονικής τομογραφίας σε γυναίκες που είναι γνωστό ότι είναι έγκυες στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και στον Καναδά (Kwan et al 2019). Οι Lazarus et al. (2009) διεξήγαγαν μια μελέτη για να διερευνήσουν τη συχνότητα με την οποία διενεργήθηκε ακτινολογική απεικόνιση σε έγκυες ασθενείς σε μια ενιαία ακαδημαϊκή μονάδα διαγνωστικής απεικόνισης στις Ηνωμένες Πολιτείες μεταξύ των ετών 1997 και 2006. Κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, σημειώθηκε αύξηση κατά 89 % στον αριθμό των ασθενών και κατά 121 % στον αριθμό των εξετάσεων. Ακολουθούν οι εκτιμώμενες μέσες απορροφούμενες δόσεις εμβρυϊκής ακτινοβολίας ανά εξέταση: 0,43 mGy (εύρος: 0,01-22,5 mGy) για τη συμβατική ακτινογραφία, 4,3 mGy (εύρος: 0,01-43,9 mGy) για την αξονική τομογραφία και 0,40 mGy (εύρος: 0,01-7,7 mGy) για τις διαδικασίες πυρηνικής ιατρικής (Lazarus et al 2009). Το τραύμα είναι η κύρια αιτία παραπομπής για αξονικές τομογραφίες, αλλά η κατάσταση της εγκυμοσύνης δεν είναι πάντα γνωστή κατά την εισαγωγή. Για παράδειγμα, οι Bochicchio et al. (2001) ανέφεραν ότι το 2,9 % των γυναικών σε αναπαραγωγική ηλικία ήταν έγκυες και ότι το 8 % αυτών των κυήσεων διαγνώστηκαν πρόσφατα κατά την

εισαγωγή- ενώ οι Lazarus et al. (2009) έδειξαν ότι το 11 % των γυναικών ασθενών σε αναπαγωγική ηλικία που εισήχθησαν σε μονάδα τραύματος δεν ήταν γνωστό ότι ήταν έγκυες κατά την εισαγωγή. Το πρότυπο πρωτόκολλο περίθαλψης προέβλεπε τη διενέργεια ελέγχου εγκυμοσύνης στο τμήμα επειγόντων περιστατικών ταυτόχρονα με την επείγουσα, σωτήρια για τη ζωή, αξονική τομογραφία άνω και κάτω κοιλίας. Οι εξετάσεις αυτές αποκάλυψαν την εγκυμοσύνη των ασθενών.

Ακτινοθεραπεία είναι η διαδικασία θεραπείας του καρκίνου ή ανακούφισης των συμπτωμάτων του μέσω της χορήγησης ιοντίζουσας ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας από διάφορες πηγές, όπως ακτίνες X, ακτίνες γάμμα, ηλεκτρόνια, πρωτόνια και άλλες. Εκτός από τη χρήση της στη θεραπεία του καρκίνου, η ακτινοθεραπεία μπορεί επίσης να επιλεγθεί για τη διαχείριση ορισμένων παθήσεων που δεν είναι κακοήθειες. Η ακτινοθεραπεία είναι μια θεραπευτική επιλογή που θα παρασχεθεί περίπου στους μισούς από τους ασθενείς με καρκίνο. Η θεραπεία αυτή μπορεί να χορηγηθεί μόνη της ή σε συνδυασμό με άλλες θεραπείες, όπως η χειρουργική επέμβαση ή η χημειοθεραπεία, ανάλογα με τις ανάγκες του ασθενούς. - Η ακτινοθεραπεία μπορεί να χορηγηθεί είτε εξωτερικά, είτε εσωτερικά, από το εσωτερικό του σώματος. Και οι δύο προσεγγίσεις είναι εξίσου αποτελεσματικές.

Σύμφωνα με τον ιστότοπο www.cancerdata.nhs.uk/radiotherapy/, μόνο στην Αγγλία καταγράφηκαν συνολικά 1,9 εκατομμύρια συνεδρίες εσωτερικής ακτινοθεραπείας το 2019. Η θεραπεία που είναι γνωστή ως εξωτερική ακτινοθεραπεία μπορεί να χορηγηθεί από μια μεγάλη ποικιλία μηχανημάτων.

Είναι δυνατόν να χορηγηθεί εσωτερική ακτινοθεραπεία μέσω μιας τεχνικής γνωστής ως βραχυθεραπεία, η οποία περιλαμβάνει την τοποθέτηση μιας πηγής στερεού ραδιενεργού υλικού κοντά ή ακόμη και μέσα στον όγκο για μικρό χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα www.cancerdata.nhs.uk/radiotherapy/, σχεδόν το σύνολο της ακτινοθεραπείας που χορηγείται στο Ηνωμένο Βασίλειο γίνεται με τη χρήση εξωτερικής δέσμης. Ο τύπος της νόσου και η θέση της προσβεβλημένης περιοχής θα καθοδηγήσουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την τεχνική ακτινοθεραπείας. Υπάρχουν, ωστόσο, γνωστοί κίνδυνοι που σχετίζονται με την ακτινοβολία που λαμβάνεται από τους παρακείμενους υγιείς ιστούς, αλλά και σε ολόκληρο το σώμα. Στην περίπτωση των εγκύων ασθενών που υποβάλλονται σε θεραπεία, υπάρχει κατά συνέπεια το ενδεχόμενο να υπάρξει αξιοσημείωτος κίνδυνος έκθεσης του εμβρύου. Για παράδειγμα, οι Mahdavi και συν. εκτίμησαν πρόσφατα τη δόση στην περιοχή της πυέλου που έλαβαν 18 α-

σθενείς που υποβλήθηκαν σε ακτινοθεραπεία μαστού, χρησιμοποιώντας δοσίμετρα θερμοφωταύγειας σε ομοίωμα Rando. Όλες αυτές οι ασθενείς έλαβαν θεραπεία για καρκίνο του μαστού. Οι μέγιστες δόσεις στην εξωτερική επιφάνεια της μήτρας υπολογίστηκαν σε 22,4 15,5 mGy (Mahdavi et al 2019). Μια έγκυος ασθενής, έλαβε 50,4 Gy, κατανεμημένα σε 28 συνεδρίες με αποτέλεσμα η εμβρυϊκή δόση να υπολογίζεται κάπου στο εύρος 0,6-10 mGy (Labby et al 2018). Λόγω της μεγάλης ακρίβειας της δέσμης και, ως εκ τούτου, της ακριβούς στόχευσης των χορηγούμενων δόσεων, η θεραπεία με πρωτόνια έχει σημειώσει αύξηση της χρήσης τα τελευταία χρόνια για τη θεραπεία μιας ευρείας ποικιλίας όγκων, συμπεριλαμβανομένου του λεμφώματος, τόσο σε ενήλικες όσο και σε παιδιά. Η δόση που λαμβάνουν τα εκάστοτε Organs At Risk πρέπει να μειώνεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Οι Geng et al. διερεύνησαν τις εμβρυϊκές δόσεις που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της ακτινοθεραπείας φωτονίων και πρωτονίων που χορηγήθηκε κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης για τη θεραπεία όγκου στον εγκέφαλο. Σε κάθε περίπτωση, οι εμβρυϊκές δόσεις εκτιμήθηκαν ότι ήταν μικρότερες από ένα ισοδύναμο millisievert, με αποτέλεσμα να μην αυξηθεί σημαντικά ο κίνδυνος καρκίνου στην παιδική ηλικία με βάση μια γραμμική σχέση απόκρισης δόσης χωρίς κατώφλι. Αυτό συνέβη παρά το γεγονός ότι οι εμβρυϊκές δόσεις ήταν σημαντικά υψηλότερες (Geng et al 2016).

Παρατηρήσεις σχετικά με τις επιδράσεις των μέτριων και υψηλών δόσεων έκθεσης στο αναπτυσσόμενο έμβρυο

1. Διαφορετικά είδη αποτελεσμάτων

Για τους σκοπούς της ακτινοπροστασίας, οι βιολογικές επιδράσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας κατηγοριοποιούνται είτε ως «ντετερμινιστικές-αιτιοκρατικές» επιδράσεις είτε ως "στοχαστικές επιδράσεις". Οι ντετερμινιστικές αντιδράσεις έχουν η καθεμία ένα καθορισμένο κατώφλι κάτω από το οποίο δεν θα εμφανιστεί η επίδραση και για το οποίο η σοβαρότητα της αντίδρασης αυξάνεται με τη δόση.

Δεν υπάρχει καθορισμένο κατώφλι για τις στοχαστικές επιδράσεις-μάλλον, η πιθανότητα εμφάνισης μιας επίδρασης αυξάνεται ανάλογα με τη δόση που λαμβάνεται, ενώ η ένταση της επίδρασης δεν εξαρτάται από τη δόση. Οι στοχαστικές επιδράσεις, όπως οι καρκίνοι και οι κληρονομικές επιδράσεις, προκαλούνται από μεταλλάξεις, ενώ οι ιστικές επιδράσεις προκαλούνται κυρίως από το θάνατο των κυττάρων ή την αδρανοποίηση των λειτουργιών τους.

2. Επιδράσεις που δεν σχετίζονται με τον καρκίνο

Η πλειονότητα όσων γνωρίζουμε για τις επιδράσεις που δεν σχετίζονται με τον καρκίνο προέρχεται από πειράματα που έχουν διεξαχθεί σε ζώα. Παρά την πρόωμη αναγνώριση παρόμοιων επιδράσεων σε πειράματα σε ποντίκια και αρουραίους με αναφορές περιπτώσεων σε ανθρώπους, είναι προβληματική η μεταφορά αυτών των δεδομένων σε ανθρώπους. Το 1929, υπήρξε μια έκθεση που έδειξε υψηλό ποσοστό μικροκεφαλίας (μικρό μέγεθος κεφαλής) και ανωμαλιών του νευρικού συστήματος, μαζί με μια μοναδική περίπτωση σκελετικών ελαττωμάτων, σε παιδιά που είχαν ακτινοβοληθεί στη μήτρα (UNSCEAR 1977). Οι επιπτώσεις αυτές παρατηρήθηκαν σε υψηλές εκθέσεις, αλλά δεν τηρήθηκαν αρχεία γι' αυτές. Φαίνεται ότι επρόκειτο για βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα και στα μάτια, παρόμοιες με εκείνες που είχαν αναφερθεί σε αρουραίους ήδη από το 1922.

Ο Rugh (Rugh 1971) πρότεινε ότι υπάρχει κάποιος βαθμός αβεβαιότητας όσον αφορά το όριο για το προκαλούμενο από ακτινοβολία συνολικό μικρό μέγεθος του εμβρύου και τις συγγενείς επιδράσεις στο πρώιμο ανθρώπινο έμβryo. Αυτό δηλώθηκε στο πλαίσιο του πρώιμου ανθρώπινου εμβρύου. Η ιαπωνική μελέτη *in utero* είχε χαμηλότερο μέσο ύψος και υψηλότερη συστολική αρτηριακή πίεση όταν ήταν έφηβοι. Αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι εξαρχής ήταν κοντότεροι (Ozasa 2019). Αυτό μπορεί να συμβαίνει όταν πρόκειται για τις δύο πιο κοινές τερατογενετικές επιπτώσεις, οι οποίες είναι η μικροκεφαλία (γνωστή και ως μικρό μέγεθος κεφαλιού) και η νοητική αναπηρία (γνωστή και ως παλαιότερα αποκαλούμενη νοητική υστέρηση). Ωστόσο, τα δεδομένα είναι πολύ περιορισμένα σε αυτόν τον τομέα.

3. Δεδομένα σε ζώα

Σύμφωνα με τα ευρήματα ορισμένων ερευνητών, η απόκριση δόσης στον άνθρωπο είναι άγνωστη όσον αφορά άλλες τερατογόνες επιδράσεις (EPA 1984). Για παράδειγμα, η αυξητική επίδραση ήταν ακόμη πιο έντονη σε ποντίκια όταν χημικές ουσίες που ευαισθητοποιούν την ακτινοβολία, όπως το ιωδοακεταμίδιο ή η τετρακυκλίνη, υπήρχαν ταυτόχρονα με την έκθεση στην ακτινοβολία (Mi7S). Σύμφωνα με την έκθεση UN-SCEAR (1977), "...για την τερατογένεση, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη πρόωμη ή όψιμη σωματική επίδραση της ακτινοβολίας, τα δεδομένα για τον άνθρωπο είναι εξαιρετικά περιορισμένα". Αυτό ισχύει περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη πρόωμη ή όψιμη σωματική επίδραση της ακτινοβολίας. Και "με εξαίρεση τις διαταραχές της ανάπτυξης, τη νοητική καθυστέρηση (*sic*), τη μικροκεφαλία και μερικές άλλες

ελαττώματα μικρότερης σημασίας, υπάρχουν πολύ λίγα συστηματικά δεδομένα που εφαρμόζονται στον άνθρωπο". Η έρευνα στα ζώα έχει καθιερώσει δύο σημαντικά ποιοτικά γεγονότα: (α) υπάρχει ένα ομοιόμορφο πρότυπο στην αλληλουχία και το χρονοδιάγραμμα των πρώιμων αναπτυξιακών σταδίων στα είδη θηλαστικών που εξετάστηκαν- και (β) υπάρχει μια γενική ομοιότητα μεταξύ των διαφόρων ειδών όσον αφορά το είδος των δυσμορφιών που προκαλούνται και τους τερατογενετικούς μηχανισμούς". Και τα δύο αυτά γεγονότα είναι σημαντικά από μόνα τους. Από την άλλη πλευρά, η έκθεση UNSCEAR (1977) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν πρέπει να γίνεται ποσοτική παρέκταση των επιπτώσεων μεταξύ των ειδών και ότι, αντίθετα, πρέπει να στηρίζεται σε επιδημιολογικές μελέτες.

Ποσοστά ανώμαλων κυήσεων που θεωρούνται φυσιολογικές

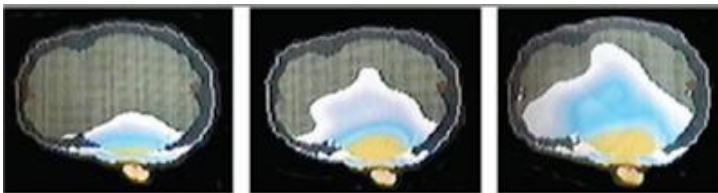
Οι κίνδυνοι της έκθεσης σε ακτινοβολία, είναι κρίσιμο να κατανοηθούν τα ποσοστά φυσιολογικών εμβρυϊκής και εμβρυϊκής απώλειας καθώς και δυσμορφιών κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Αν και η ακτινοβολία δεν προκαλεί νέες δυσμορφίες, μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο υφιστάμενων δυσμορφιών σε μέτριες (μεγαλύτερες από περίπου 100 mGy) έως υψηλές δόσεις, και ο κίνδυνος αυτός ποικίλλει ανάλογα με το πόσο μακριά βρίσκεται το έμβρυο στην ανάπτυξή του. Είναι σύνηθες για μια γυναίκα να χάσει μια απρογραμματίστη εγκυμοσύνη να συμβεί αυθόρμητα πριν καν συνειδητοποιήσει ότι είναι έγκυος, γεγονός που αντιπροσωπεύει το 15% όλων των φυσιολογικών κυήσεων.

Υπάρχει 3% των κυήσεων που επηρεάζονται από μείζονες δυσπλασίες και 4% που επηρεάζονται από ελάσσονες δυσπλασίες. Υπάρχει 0,4 τοις εκατό των γεννήσεων που επηρεάζονται από νοητική αναπηρία, η οποία ορίζεται ως δείκτης νοημοσύνης μικρότερος από 70. Η κατάσταση που είναι γνωστή ως μικροκεφαλία επηρεάζει ένα στα 400 νεογέννητα. Ως εκ τούτου, η μικροκεφαλία μπορεί να εμφανιστεί σε άτομα που δεν έχουν νοητική αναπηρία, πράγμα που σημαίνει ότι η ανίχνευση μικρού μεγέθους κεφαλής κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης δεν προβλέπει απαραίτητα ότι το άτομο θα έχει μικροκεφαλία.

Κίνδυνος καρκίνου στο έμβρυο

Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι καρκίνος της παιδικής ηλικίας και των ενηλίκων είναι πιθανό να προκληθεί από ακτινοβολία κατά την εμβρυϊκή ηλικία, εξ αιτίας μέτριων ή υψηλών δόσεων. Από την άλλη πλευρά, οι συζητήσεις σχετικά με την αξιοπιστία των στοιχείων για τον κίνδυνο καρκίνου σε χαμηλές δόσεις διεξάγονται εδώ και δεκαετίες, συχνά σε σχέση με τις κατευθυντήριες γραμμές και τις εφαρμογές της ακτινοβολίας στην ιατρική πρακτική. Οι δύο πρωταρχικές ανθρώπινες, η ιαπωνική in utero (2.463 άτομα) που εκτέθηκε στην ατομική βόμβα και η Oxford Survey of Childhood Cancers (OSCC), έχουν η καθεμία δεκαετίες έρευνας και παρακολούθησης. Η ιαπωνική in utero εκτέθηκε στην ατομική βόμβα.

Πρόσφατα, η OSCC διεξήγαγε μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των μελετών ελέγχου περιπτώσεων και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα στοιχεία είναι συνεπή στο να δείχνουν ότι η έκθεση σε προγεννητική ακτινοβολία αυξάνει τον κίνδυνο λευχαιμίας και κοινών παιδικών καρκίνων (Wakeford and Bi-thell 2021). Στις αρχές του OSCC, οι δόσεις που λάμβαναν από την πυελική μέτρηση υπολογίζονταν σε 10 mGy. Αυτή η δόση θα ήταν συγκρίσιμη με τη δόση που λαμβάνεται από μια βελτιστοποιημένη, μονής λήψης αξονική τομογραφία πυέλου στη σημερινή τεχνολογία αξονικής τομογραφίας. Είναι σημαντικό να έχουμε κατά νου ότι η επιτροπή Adrian ανέλυσε τις δόσεις που ελήφθησαν μεταξύ 1958 και 1961 και συμπέρανε μια μέση δόση ολόκληρου του σώματος στο έμβρυο 6,1 mGy από μια εξέταση με πυελογραφία.



Πηγή:<https://www.mitrikosthilasmos.com/2011/12/osa-prepei-na-gnorizete-gia-tis-aktinovolies-an-echete-i-perimenete-paidi.html>

Στο ενενήντα τοις εκατό των περιπτώσεων, οι ακτινογραφίες πυέλου πραγματοποιήθηκαν στο OSCC κατά τη διάρκεια του τρίτου τριμήνου της εγκυμοσύνης της ασθενούς. Εκτιμήθηκε ότι υπήρξε αύξηση κατά 0,4 % του μη προσαρμοσμένου υπερβολικού κινδύνου θανατηφόρου καρκίνου μεταξύ των παιδιών ηλικίας έως 15 ετών λόγω του OSCC. Ωστόσο, ο Wakeford σημειώνει ότι ο αριθμός αυτός μπορεί να μην ισχύει για τον κίνδυνο ακτινοβολίας στην πρώιμη κύηση, γεγονός που συμφωνεί τόσο με την ιαπωνική όσο και με την έρευνα σε ζώα. Βασίζει το συμπέρασμα αυτό στα ευρήματα και των δύο αυτών τύπων μελετών. Τελικά, εκτιμάται ότι η έκθεση

σε ακτινοβολία ενός εμβρύου προκαλεί έξι τοις εκατό αύξηση της συχνότητας εμφάνισης καρκίνου στην παιδική ηλικία (εκ των οποίων το πενήντα τοις εκατό είναι θανατηφόρος). Αυτό βασίζεται σε ένα δείγμα πληθυσμού στο Ηνωμένο Βασίλειο και περιλαμβάνει παιδιά έως την ηλικία των 15 ετών (Wakeford and Little 2003).

Τα αποτελέσματα των ιαπωνικών μελετών έδειξαν ορισμένα στοιχεία που δεν είναι σαφή σε σχέση με τον κίνδυνο καρκίνου που αντιμετωπίζει ο πληθυσμός κατά την ενδομήτρια ζωή σε σχέση με τον κίνδυνο που αντιμετωπίζει ο πληθυσμός της παιδικής ηλικίας.

Έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι τα χαμηλότερα ποσοστά καρκίνου και θνησιμότητας που παρατηρήθηκαν σε άτομα που είχαν εκτεθεί σε ακτινοβολία κατά την εμβρυακή περίοδο, σε σύγκριση με άτομα που εκτέθηκαν κατά τη παιδική ηλικία, μπορεί να είναι αποτέλεσμα περιστατικών που δεν καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των ετών 1945-1950) καθώς και ορισμένων απωλειών εμβρύων. Η πιο πρόσφατη διερεύνηση, για έμβρυο που εκτέθηκε στη μήτρα, στους κινδύνους περιλαμβάνεται όχι μόνο ο καρκίνος αλλά και μη καρκινικές ασθένειες αλλά και το μικρό μέγεθος του κεφαλιού, το χαμηλό βάρος γέννησης και η απώλεια γονέων. Αυτοί οι παράγοντες ελήφθησαν υπόψη (Sugiyama et al 2021). Έτσι, ανακαλύφθηκε ότι οι γυναίκες συνέχισαν να έχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου, ενώ οι άνδρες όχι. (Πριν από την προσαρμογή των δεδομένων, τα αρχικά ευρήματα έδειχναν ότι υπήρχε επίσης υπερβολικός αριθμός θανάτων από καρκίνο στους άνδρες). Συμπερασματικά, τα επιδημιολογικά στοιχεία έχουν ενισχυθεί με την πάροδο του χρόνου για τους κινδύνους λευχαιμίας και άλλων καρκίνων στην παιδική ηλικία σε δόσεις τόσο χαμηλές όσο των 10 mGy και ο κίνδυνος καρκίνου από την ενδομήτρια ακτινοβολία επεκτείνεται και στην ενήλικη ζωή.

Είναι σημαντικό να έχουμε μια σταθερή αντίληψη του γεγονότος ότι η επίπτωση του καρκίνου στα παιδιά είναι περίπου 3 ανά 1000. (έως την ηλικία των 15 ετών). Το Εθνικό Ινστιτούτο Καρκίνου αναφέρει ότι ένας νεογέννητος άνδρας έχει πιθανότητα 1 στις 400 και μια νεογέννητη γυναίκα έχει πιθανότητα 1 στις 450 να αναπτύξει καρκίνο μέχρι την ηλικία των 15 ετών (2009). Η πλειονότητα αυτών των καρκίνων είναι η λευχαιμία και οι όγκοι του εγκεφάλου.

Παρά την ανεπάρκεια ερευνών επί του θέματος, είναι πιθανό οι έγκυες γυναίκες να παρουσιάζουν αυξημένη ακτινοευαισθησία ως αποτέλεσμα των ορμονικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Γνωρίζουμε ότι η έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία κατά την εφηβεία ή την εφηβεία σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του μαστού και γυναικολόγου καρκίνου. (Doody et al 2000, Brenner et al 2018). Έχει αποδειχθεί ότι ο

μυελός των οστών των εγκύων γυναικών περιέχει αυξημένη ποσότητα ερυθρού μυελού, ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις κυτταρικές σειρές.

Το φαινόμενο αυτό τεκμηριώνεται από το γεγονός ότι ξεκινά από τα πρώτα στάδια της εγκυμοσύνης και συνεχίζεται και μετά τον τοκετό (Lowenstein et al 1957). Αυτό μπορεί να κάνει τους ανθρώπους πιο ευαίσθητους στην ακτινοβολία, αλλά η επίδραση δεν είναι πολύ καλά κατανοητή ή ερευνημένη.

Υπάρχουν διάφορα σύνδρομα ακτινοευαισθησίας, το πιο γνωστό από τα οποία είναι το σύνδρομο αταξίας-τελαγγειεκτασίας. Τα παιδιά που διαγιγνώσκονται με σύνδρομο Down χρειάζονται συχνές απεικονίσεις επειδή η πάθηση αυτή τα καθιστά ακτινοευαίσθητα. Ωστόσο, η κατάσταση αυτή δεν είναι τόσο γνωστή όσο οι άλλες. Όλο και περισσότερα σύνδρομα εντοπίζονται, όπως το σύνδρομο RIDDLE, και προστίθενται στο μητρώο OMIM (www.ncbi.nlm.nih.gov/omim- για περισσότερες πληροφορίες, βλ. Health Protection Agency 2013). Οι Andreu et al ανέφεραν μια σύνδεση μεταξύ παιδιών που αργότερα ταυτοποιήθηκαν με BRAC1/BRACA2, τα οποία υποβλήθηκαν σε ακτινογραφίες θώρακα και είχαν αυξημένο κίνδυνο καρκίνου του μαστού (Andreu 2006). (Andreu 2006). Παρόλο που τα σύνδρομα ακτινοευαισθησίας είναι εξαιρετικά σπάνια, ορισμένα έμβρυα μπορεί να φέρουν τους γονότυπους που τα προκαλούν και, ως εκ τούτου, να είναι πιο ευαίσθητα στην ακτινοβολία από οποιονδήποτε από τους γονείς τους. Είναι πιθανό αυτή η ευαισθησία του εμβρύου να αναγνωρίζεται ή να υποψιάζεται σε ορισμένες περιπτώσεις, ενώ σε άλλες όχι.

Για την ιατρική διαχείριση των εγκύων ασθενών, η ICRP (ICRP 2000) συνιστά να μην διακόπτεται η εγκυμοσύνη σε εμβρυϊκές δόσεις κάτω των 100 mGy. Ωστόσο, οι αποφάσεις σχετικά με τη διακοπή της εγκυμοσύνης σε υψηλότερες εμβρυϊκές δόσεις θα πρέπει να είναι τεκμηριωμένες και να βασίζονται στις ιδιαιτερότητες της κατάστασης κάθε ασθενούς. Ωστόσο, υπάρχουν στοιχεία που παραπέμπουν σε ορισμένες αξιοσημείωτες επιτυχίες και υγιείς γεννήσεις μετά από υψηλές εκθέσεις κατά τη διάρκεια του δεύτερου και τρίτου τριμήνου της ακτινοθεραπείας. Κατά την εξέταση των επιλογών διαχείρισης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το πλήρες φάσμα των κινδύνων για το έμβρυο και να γίνεται συζήτηση με τους γονείς, όποτε αυτό είναι δυνατόν. Σε γενικές γραμμές, στην τρέχουσα πρακτική, αναγνωρίζονται οι κίνδυνοι που είναι γνωστοί και επαρκώς χαρακτηρισμένοι και οι εκθέσεις ακτινοβολίας δικαιολογούνται όταν λαμβάνονται υπόψη. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι κίνδυνοι που δεν έχουν χαρακτηριστεί επαρκώς.

Από την άλλη πλευρά, ορισμένες επιπτώσεις της ακτινοβολίας στο έμβρυο, όπως ο καρκίνος, οι δόσεις και τα πρωτόκολλα φροντίδας για αυτόν τον ειδικό πληθυσμό μπορεί να μην είναι καλά γνωστά σε όλες τις ιατρικές κοινότητες. Ως εκ τούτου, συνιστάται εκπαίδευση και συνεχής κατάρτιση σε θέματα ακτινοπροστασίας. Επιπλέον, υπάρχουν ανησυχίες ότι ορισμένα μέλη του γενικού κοινού μπορεί να υπερβάλλουν ως προς τους κινδύνους που εγκυμονεί η ακτινοβολία για τις έγκυες γυναίκες. Ένα παράδειγμα αυτού είναι η αναφερόμενη αύξηση του αριθμού των γυναικών που επέλεξαν να κάνουν έκτρωση στις χώρες που επλήγησαν άμεσα από το ατύχημα του Τσερνομπίλ. Για το λόγο αυτό, είναι ζωτικής σημασίας να κατανοηθούν πλήρως και να γνωστοποιηθούν με απλό τρόπο οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν για το έμβρυο, ιδίως σε περίπτωση ραδιολογικών ή πυρηνικών ατυχημάτων.

Η έκθεση σε ακτινοβολία, ακόμη και σε χαμηλή δόση, συνδέεται τόσο με τον κίνδυνο καρκίνου στην παιδική ηλικία όσο και με τον κίνδυνο καρκίνου στους ενήλικες (OSCC και η ιαπωνική συνομοταξία in utero) (OSCC και η ιαπωνική συνομοταξία in utero). Παρόλο που αυτό διδάσκεται στη συντριπτική πλειονότητα των τομέων, είναι λυπηρό ότι δεν υιοθετείται σε και δεν είναι καλά κατανοητό σε όλους τους τομείς.

Επιπλέον, οι επανεκτιμώμενες ιαπωνικές μελέτες για τα αποτελέσματα της γέννησης στη μήτρα και του Τσέρνομπιλ καταδεικνύουν ορισμένα αλληλεπικαλυπτόμενα πρότυπα κινδύνου για μικροκεφαλία, μικρό βάρος γέννησης ή μεγαλύτερο μήκος κύησης και μικρό μέγεθος θώρακα. Παρά την αβεβαιότητα δεκαετιών σχετικά με το αν υπάρχει κατώτατο όριο για τις επιπτώσεις στο ΚΝΣ (ιδιαίτερα τις λεπτές αλλαγές από χαμηλές-μέτριες δόσεις για τις πιο κοινές επιπτώσεις της διανοητικής αναπηρίας και της μικροκεφαλίας), η διαθέσιμη βιβλιογραφία για να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα είναι περιορισμένη. Επιπλέον, υπάρχει ανησυχία σχετικά με τις εκθέσεις σε χαμηλές έως μέτριες δόσεις και τις πιθανές επιπτώσεις στον εγκέφαλο σε μεταγενέστερα έτη (άνοια κ.λπ.).

Τόσο η UNSCEAR (1977) όσο και η ICRP (2003) παρέχουν και συνοψίζουν ορισμένα στοιχεία που αποδεικνύουν ότι ο κίνδυνος καρκίνου είναι μεγαλύτερος με την έκθεση σε μεταγενέστερη εμβρυϊκή ζωή, κατά τη διάρκεια της ταχείας ανάπτυξης των οργάνων. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από μελέτες σε ζώα καθώς και από μελέτες σε ανθρώπους. Η κοινότητα που ασχολείται με την προστασία από τη ραδιενέργεια δεν το εκτιμά αυτό και απαιτείται περαιτέρω έρευνα. Επειδή επί του παρόντος δεν υπάρχουν διαθέσιμοι συντελεστές δόσης και κινδύνου για το έμβρυο, θεωρείται ότι ο κίνδυνος για τον καρκίνο είναι περίπου ισοδύναμος με εκείνον ενός μικρού παιδιού. Η υπόθεση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία.

Για τη διερεύνηση αυτής της πιθανότητας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας αναδρομικός σχεδιασμός που θα περιλάμβανε έγκυες γυναίκες που υποβάλλονται σε απεικόνιση με ιοντίζουσα ακτινοβολία

3.1. Βασικές αρχές ακτινοπροστασίας, ραδιοβιολογίας και πρωτόκολλα της εξέτασης

Κατά τη διενέργεια μιας διαγνωστικής διαδικασίας με ακτίνες Χ, είναι επιτακτική ανάγκη να λαμβάνεται μια ολιστική προσέγγιση της φροντίδας του ασθενούς. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αντιμετωπίζεται το άτομο ως σύνολο και όχι να επικεντρώνεται αποκλειστικά στην πάθηση. Οι ακτινολόγοι και οι ασθενείς πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνούν καλά μεταξύ τους, προκειμένου να δημιουργηθεί μια σταθερή βάση για την ολιστική φροντίδα των ασθενών. "Μια αλληλεπίδραση που παράγει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών" είναι αυτό που εννοούμε όταν μιλάμε για αποτελεσματική επικοινωνία.

Αυτού του είδους η συζήτηση κάνει τον ασθενή να αισθάνεται πιο άνετα και πιο ασφαλής, γεγονός που με τη σειρά του αυξάνει την πιθανότητα να συνεργαστεί με τη διαδικασία και να ολοκληρωθεί με επιτυχία. Ο ακτινολόγος πρέπει να καλλιεργήσει επικοινωνιακές δεξιότητες που να είναι απλές και ξεκάθαρες, προκειμένου να παρέχει την κατάλληλη ιατρική φροντίδα σε όλους τους εξεταζόμενους.

Οι οδηγίες που είναι σαφείς και ακριβείς πρέπει να δίνονται πριν από την εκτέλεση μιας ακτινογραφικής εξέτασης σε έναν ασθενή.

Οι ασθενείς είναι σε θέση να συνεργαστούν πληρέστερα και καλύτερα όταν ενημερώνονται για τη διαδικασία και το ρόλο τους σε αυτήν.

Οι ασθενείς βιώνουν άγχος και φόβο για το άγνωστο όταν οι επαγγελματίες υγείας δεν τους εξηγούν επαρκώς τις διαδικασίες, και ιδιαίτερα κατά την διάρκεια των εξετάσεων που διαρκούν πολύ.

Επιπλέον, θα πρέπει να δίνεται η δυνατότητα στους ασθενείς να κάνουν ερωτήσεις.



Μερικές φορές απαιτούνται επαναλαμβανόμενες ακτινογραφικές λήψεις επειδή ο ακτινολόγος και ο ασθενής δεν μπορούσαν να επικοινωνήσουν αποτελεσματικά μεταξύ τους. Είναι πιθανό ο ασθενής να μην συνεργάστηκε επειδή οι οδηγίες δεν ήταν αρκετά σαφείς ή παρερμηνεύτηκαν. Κατά τη διάρκεια μιας επεμβατικής ακτινογραφικής εξέτασης, για παράδειγμα, η οποία δημιουργεί κάποια δυσάρεστη θερμότητα, οι ασθενείς μπορεί να κινηθούν ξαφνικά είτε επειδή αιφνιδιάζονται είτε επειδή θέλουν να ειδοποιήσουν τον τεχνολόγο ή τον ιατρό ότι κάτι φαίνεται να μην πάει καλά.

Μια επαναλαμβανόμενη έκθεση είναι συνηθισμένη όταν υπάρχει σωματική κίνηση. Το ζήτημα αυτό δε θα είχε προκύψει εάν ο ακτινολόγος και ο ασθενής είχαν επικοινωνήσει σαφώς και αποτελεσματικά μεταξύ τους.

Δοσιμετρία ακτινοβολίας

Οι μονάδες μέτρησης της δόσης ακτινοβολίας καθορίστηκαν με σκοπό να καταστεί δυνατή η ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ της δόσης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και των επιπτώσεών της στους ιστούς. Οι παράμετροι της δόσης που συνοψίζονται βασίζονται στους ορισμούς που έχουν δημοσιευθεί από τη Διεθνή Επιτροπή για την Προστασία από την Ακτινοβολία (ICRP) και τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας για τις Μονάδες και τις Μετρήσεις της Ακτινοβολίας (ICRU), οι οποίοι έχουν υιοθετηθεί διεθνώς στη νομοθεσία ακτινοπροστασίας της πλειονότητας των χωρών. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της δόσης είναι μονάδες που ανήκουν στο διεθνές σύστημα SI.

Ισοδύναμη δόση

Επειδή ενσωματώνει τον άνευ διαστάσεων συντελεστή στάθμισης της ακτινοβολίας w_R , η ισοδύναμη δόση είναι η σημαντικότερη παράμετρος δόσης για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της ακτινοβολίας και για την εκτίμηση του κινδύνου που ενέχει η ακτινοβολία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ισοδύναμη δόση λαμβάνει υπόψη τα διαφορετικά επίπεδα βιολογικής δραστηριότητας που προκαλούνται από διαφορετικούς τύπους ακτινοβολίας. Η ισοδύναμη δόση μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας τη δόση που εφαρμόστηκε σε ένα συγκεκριμένο όργανο ή ιστό με τον ανάλογο συντελεστή στάθμισης. Για τους τύπους ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται στην ακτινολογική διάγνωση και την πυρηνική ιατρική (ακτίνες γάμμα και ακτίνες X), ο συντελεστής στάθμισης ορίζεται στην τιμή της μονάδας ή $w_R = 1$. Αυτό εξασφαλίζει ότι η ενεργός δόση και η ισοδύναμη δόση έχουν την ίδια ποσότητα αριθμητικής τιμής. Σε σύγκριση με τον συντελεστή στάθμισης w_R για την ακτινοβολία φωτονίων (ακτινοβολία γάμμα ή ακτινοβολία X) ή τον συντελεστή στάθμισης w_R για την ακτινοβολία ηλεκτρονίων, ο συντελεστής στάθμισης w_R για την ακτινοβολία νετρονίων, πρωτονίων και σωματιδίων α είναι από πέντε έως είκοσι φορές υψηλότερος (ακτινοβολία βήτα). Για να αποφευχθεί οποιαδήποτε σύγχυση με την ενεργό δόση, το sievert είναι η μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ισοδύναμης δόσης (Sv).

Ενεργός δόση

Όταν επιχειρείται η ποσοτικοποίηση της έκθεσης ενός ατόμου σε ακτινοβολία, η ενεργός δόση είναι η μετρική επιλογή. Οι επιδράσεις της ακτινοβολίας προκαλούνται στα επιμέρους όργανα και ιστούς του σώματος όταν εκτίθενται σε ακτινοβολία και οι πιθανότητες εμφάνισης αυτών των επιδράσεων ποικίλλουν ανάλογα με το όργανο. Το συνολικό ποσό της βλάβης που προκαλείται σε όλα τα όργανα και τους ιστούς του σώματος εκτιμάται με τον πρώτο πολλαπλασιασμό της ισοδύναμης δόσης σε κάθε όργανο και ιστό με έναν συντελεστή στάθμισης των ιστών που ονομάζεται w_T , και στη συνέχεια με το γινόμενο αυτών των δύο υπολογισμών και την άθροισή τους για να προκύψει η αποτελεσματική δόση για ολόκληρο το σώμα. Και πάλι, το sievert είναι η μονάδα μέτρησης της αποτελεσματικής δόσης (Sv).

Οι παράμετροι δόσης που μόλις καλύφθηκαν υποτίθεται ότι χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της έκθεσης του ασθενούς, αλλά για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται ένα περίπλοκο σύνολο διαδικασιών μέτρησης και συντελεστών μετατροπής. Εξαιτίας αυτού, η χρήση τους ως

"τιμές αναφοράς" στη διαγνωστική ακτινολογία δεν είναι η καλύτερη χρήση των δυνατοτήτων τους. Για τη χρήση σε εργασίες ρουτίνας, έχουν καθιερωθεί παράμετροι δόσης που είναι φυσικά ευκολότερο να προσδιοριστούν, όπως η δόση επιφανείας ή το προϊόν δόσης-επιφάνειας (DAP) για την ακτινογραφία προβολής και η τιμή CTDI_w και το προϊόν δόσης-μήκους (DLP) για την υπολογιστική τομογραφία. Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν την επιφανειακή δόση ή το προϊόν μήκους δόσης (DLP) για την τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) και το προϊόν μήκους δόσης (DAP) για την (CT). Μπορούν να ληφθούν άμεσες μετρήσεις ή αναγνώσεις για καθεμία από τις παραμέτρους δόσης.

Η εργασία με ιοντίζουσες ακτινοβολίες και η επαφή με αυτές ρυθμίζονται από συστάσεις, οδηγίες, διατάγματα και νόμους προκειμένου να περιοριστεί η έκθεση των ατόμων σε ακτινοβολία και η ποσότητα ακτινοβολίας στην οποία εκτίθεται ο γενικός πληθυσμός στο σύνολό του.

Η πρώτη από αυτές τις οδηγίες αφορούσε ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια των εργαζομένων και όχι των ασθενών.

Ήταν η πρώτη οδηγία σε ευρωπαϊκό επίπεδο που ασχολήθηκε με την προστασία των ασθενών και εκδόθηκε το 1984 με τον αριθμό 84/466/EURATOM. Η οδηγία αυτή καθόριζε τα βασικά μέτρα για την ακτινοπροστασία στις ιατρικές έρευνες και θεραπείες και εκδόθηκε με τον αριθμό αυτό. Η οδηγία αυτή καθιέρωσε, για πρώτη φορά, την απαίτηση να παρέχεται αιτιολόγηση για κάθε ιατρική εφαρμογή ακτινοβολίας.

Τόσο ο τυχαίος όσο και ο προκαθορισμένος κίνδυνος πρόκλησης βλάβης.

Εάν το μέγεθος της προκληθείσας βλάβης εξαρτάται από τη δόση που εφαρμόστηκε καθώς και από τον τρόπο κατανομής της στο χώρο και στο χρόνο, τότε το αποτέλεσμα μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι "ντετερμινιστικό=αιτιοκρατικό" και όχι "στοχαστικό".

Στην περίπτωση αυτή, υπάρχει μια ελάχιστη αποδεκτή τιμή. Αφού ξεπεραστεί αυτό το κατώτατο όριο, θα είναι δυνατή η παρατήρηση των αποτελεσμάτων της ακτινοβολίας. Το ερώτημα της ακτινοβολίας, οι δερματικές νέκρωσεις ή και το οξύ ακτινικό σύνδρομο από ακτινοβολία, είναι παραδείγματα ντετερμινιστικών επιδράσεων. Αυτές οι καταστάσεις μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε κύτταρα, ιστούς και όργανα.

Λέγεται ότι ένα αποτέλεσμα είναι "στοχαστικό" εάν η πιθανότητα να εμφανιστεί εξαρτάται από τη δόση, αλλά η σοβαρότητα του αποτελέσματος δεν εξαρτάται από τη δόση. Σε χαμηλές δόσεις, υπάρχει πολύ μικρή πιθανότητα να εμφανιστεί η επίδραση. Είναι πλέον γενικά αποδεκτό ότι δεν υπάρχει ελάχιστο επίπεδο κάτω από το οποίο να μπορεί να αποκλειστεί εντελώς η πιθανότητα βλάβης. Παραδείγματα των συνεπειών των στοχαστικών επιδράσεων περιλαμβάνουν τον καρκίνο και την αλλοίωση του γενετικού υλικού. Στη διάγνωση με ακτίνες X, άμεσες βλάβες από ακτινοβολία που εξαρτώνται από τη δόση εμφανίζονται πολύ σπάνια. Το μόνο που μπορεί να ειπωθεί είναι ότι παρατηρούνται στοχαστικές επιδράσεις.

Απειλή από την ακτινοβολία

Η ιονίζουσα ακτινοβολία ενέχει έναν κίνδυνο που μπορεί να μετρηθεί ως προς τη δυνητική βλάβη που μπορεί να προκαλέσει. Αυτό είναι γνωστό ως κίνδυνος ακτινοβολίας. Η παρούσα συζήτηση επικεντρώνεται κυρίως στον καρκίνο, ενώ υπάρχει έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τις επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα. Οι μελέτες πληθυσμών αποτελούν την κύρια πηγή δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση κινδύνου. Είναι γενικά δυνατό να προσδιοριστούν αξιόπιστες τιμές κινδύνου μόνο για τις ενδιάμεσες και υψηλές περιοχές δόσεων έκθεσης σε μια ουσία.

Οι τιμές κινδύνου προεκτείνονται όταν η δόση είναι μεγαλύτερη από 100 mSv. Για την εκτέλεση αυτού του έργου χρησιμοποιούνται διάφορες σχέσεις δόσης-απόκρισης.

Οι υπολογισμοί εξακολουθούν να βασίζονται κυρίως σε πληροφορίες που ελήφθησαν από άτομα που επέζησαν από τους ατομικούς βομβαρδισμούς στη Χιροσίμα και το Ναγκασάκι. Έχει υποτεθεί ότι η σχέση δόσης-αντίδρασης είναι γραμμική στην περιοχή χαμηλών δόσεων επειδή ήταν γραμμική στην περιοχή υψηλότερων δόσεων και επειδή παρατηρήθηκε ότι είναι γραμμική στην περιοχή υψηλότερων δόσεων. Μια γραμμική-τετραγωνική συνάρτηση είναι το καταλληλότερο μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν επιχειρείται η περιγραφή των δεδομένων λευχαιμίας. Οι συντελεστές κινδύνου για το χαμηλό εύρος δόσεων έχουν διορθωθεί με έναν συντελεστή μείωσης της δόσης, ο οποίος είναι μια αμφιλεγόμενη διαδικασία. Η διόρθωση αυτή επιτεύχθηκε με τη χρήση εμπειρικών στοιχείων και θεωρητικών αρχών σχετικά με τις επιδράσεις των χαμηλότερων δόσεων.

Επιδράσεις της ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς

Όταν η ενέργεια της ακτινοβολίας απορροφάται από ζωντανούς ιστούς, ξεκινά μια σειρά φυσικών και χημικών αντιδράσεων, ορισμένες από τις οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε αλλαγές στον οργανισμό. Οι δυνητικά επιβλαβείς επιδράσεις που μπορεί να προκύψουν από αυτές τις μεταβολές μπορεί να είναι είτε σωματικές (δηλαδή να λαμβάνουν χώρα στους ιστούς του ατόμου που ακτινοβολήθηκε) είτε κληρονομικής φύσης (δηλαδή να συμβαίνουν στους απογόνους του ατόμου που ακτινοβολήθηκε).

Υπάρχει μια σταθερή διαδικασία κυτταρικού θανάτου και αναγέννησης που λαμβάνει χώρα σε διάφορα όργανα και ιστούς σε όλο το σώμα. Μια αύξηση του ρυθμού απώλειας, όπως μετά από έκθεση σε ακτινοβολία, μπορεί να αντισταθμιστεί από μια αύξηση του ρυθμού αντικατάστασης, αλλά εξακολουθεί να υπάρχει μια καθαρή μείωση του αριθμού των κυττάρων που είναι διαθέσιμα για τη διατήρηση των λειτουργιών του οργάνου ή του ιστού. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι προσωρινή, αλλά μπορεί επίσης να είναι μόνιμη. Ακόμα και η απώλεια σημαντικού αριθμού κυττάρων δεν έχει διακριτή επίδραση στην πλειονότητα των οργάνων και των ιστών του σώματος- ωστόσο, εάν ο αριθμός των κυττάρων που χάνονται είναι αρκετά μεγάλος, θα υπάρξει εμφανής βλάβη ή μείωση της λειτουργίας του προσβεβλημένου ιστού. Μέχρι έναν ορισμένο αριθμό εκατοντάδων millisieverts ή περισσότερο, η πιθανότητα πρόκλησης μιας τέτοιας βλάβης θα είναι μηδενική σε χαμηλές δόσεις. Ωστόσο, η σοβαρότητα της βλάβης θα αυξάνεται όσο αυξάνεται η δόση. Ο όρος "ντετερμινιστική" αναφέρεται σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων.

Οι ντετερμινιστικές επιδράσεις μπορούν να εμφανιστούν σε συγκεκριμένους ιστούς και περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, καταρράκτη στον φακό του οφθαλμού, βλάβη στο δέρμα που δεν είναι κακοήθης, βλάβη στα κύτταρα των γονάδων που μπορεί να οδηγήσει σε στειρότητα, εξάντληση κυττάρων στον μυελό των οστών που μπορεί να προκαλέσει αιματολογικές ανεπάρκειες και εξάντληση κυττάρων σε άλλα όργανα που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή έκπτωση των λειτουργιών των οργάνων.

Εάν τα ακτινοβολημένα κύτταρα δεν θανατωθούν αλλά τροποποιηθούν, το αποτέλεσμα θα είναι πολύ διαφορετικό.

Σχεδόν πάντα, ο κλώνος κυττάρων που προκύπτει από την αναπαραγωγή ενός τροποποιημένου αλλά βιώσιμου σωματικού κυττάρου εξαλείφεται ή απομονώνεται από τους αμυντικούς μηχανισμούς του οργανισμού. Εάν δεν γίνει αυτό, μπορεί κάλλιστα να οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας κακοήθους κατάστασης, ενός καρκίνου, μετά από μια παρατεταμένη καθυστέρηση γνωστή ως λανθάνουσα περίοδος. Εάν συμβεί αυτό, η καθυστέρηση αυτή ονομάζεται περίοδος επώασης.

Γενικά ισχύει ότι ο κίνδυνος ανάπτυξης καρκίνου αυξάνεται με την αύξηση της δόσης κατά τρόπο που είναι περίπου ανάλογος με την αύξηση της δόσης και πιθανότατα δεν υπάρχει κατώτατο όριο. Δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της δόσης που χορηγήθηκε αρχικά και της σοβαρότητας της κακοήθους κατάστασης. Ο ιατρικός όρος για αυτό το είδος βλάβης είναι "στοχαστικός", ο οποίος μεταφράζεται κυριολεκτικά ως "τυχαίας ή στατιστικής φύσης". Εάν η αρχική βλάβη γίνεται σε βλαστικά κύτταρα στους όρχεις ή στα ωάρια, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη μεταβίβαση γενετικών πληροφοριών στις επόμενες γενιές, τότε το αποτέλεσμα μπορεί να εκφραστεί στις επόμενες γενιές.

Όταν η ακτινοβολία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στον ιατρικό τομέα, η κύρια αιτία ανησυχίας ήταν ο δυνητικός κίνδυνος που θα προκαλούσε η έκθεση μικρού αριθμού εργαζομένων σε σχετικά υψηλές δόσεις. Η ανησυχία έχει πλέον επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει τις δυνητικά επιβλαβείς επιπτώσεις που αναμένεται να προκύψουν ως αποτέλεσμα της έκθεσης μεγάλου αριθμού εργαζομένων σε σχετικά χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας. Το κύριο δυνητικό μειονέκτημα είναι ότι θα υπάρξει ελαφρώς υψηλότερο ποσοστό ατόμων που θα αναπτύξουν καρκίνο.

Επί του παρόντος συλλέγονται επιδημιολογικά δεδομένα για τον καρκίνο για διάφορες ομάδες, με κύρια εστίαση σε άτομα που έχουν ακτινοβοληθεί ιατρικά, επιζώντες ατομικών βομβαρδισμών και άτομα που έχουν εκτεθεί σε καρκίνο στον χώρο εργασίας. Ο κίνδυνος θανατηφόρων καρκίνων που προκαλούνται από την ακτινοβολία σε χαμηλές δόσεις και χαμηλό ρυθμό δόσης ήταν της τάξης των 5×10^{-2} ανά Sv κατά μέσο όρο και για τα δύο φύλα και τις δύο ηλικίες. Ο κίνδυνος αυτός ίσχυε ανεξάρτητα από την ποσότητα της ακτινοβολίας που λαμβανόταν.

Οι εκτιμήσεις του γενετικού κινδύνου προέρχονται από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από πειραματόζωα, καθώς δεν κατέστη δυνατό να προσδιοριστεί αν η ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει κληρονομικές επιδράσεις στον άνθρωπο ή όχι. Εκτιμάται ότι ο παράγοντας κινδύνου για σοβαρές κληρονομικές διαταραχές που προκαλούνται από χαμηλή δόση και ρυθμό δόσης, ο οποίος μεταβιβάζεται σε όλες τις γενιές των απογόνων, είναι $0,5 \times 10^{-2}$ ανά Sv.

Σε σύγκριση με το χρόνο σύλληψης, το χρονικό διάστημα μεταξύ της έκθεσης σε ακτινοβολία και της σύλληψης έχει σημαντική επίδραση στο σύλληψη. Όταν ο αριθμός των κυττάρων στο έμβryo είναι μικρός και η φύση τους δεν έχει ακόμη εξειδικευτεί, η επίδραση της βλάβης αυτών των κυττάρων είναι πιθανότερο να λάβει τη μορφή αποτυχίας εμφύτευσης ή μη ανιχνεύσιμου θανάτου του εμβρύου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η φύση αυτών των κυττάρων δεν έχει

ακόμη εξειδικευτεί. Παρά το γεγονός ότι το κεντρικό νευρικό σύστημα και η καρδιά αρχίζουν να αναπτύσσονται κατά την τρίτη εβδομάδα της εγκυμοσύνης, θεωρείται ότι οποιαδήποτε κυτταρική βλάβη σε αυτό το στάδιο είναι πολύ πιθανότερο να οδηγήσει στο θάνατο του εμβρύου παρά να οδηγήσει στα στοχαστικά αποτελέσματα που εκφράζονται στο παιδί. Αυτό συμβαίνει παρά το γεγονός ότι το έμβρυο είναι πολύ πιο πιθανό να μην επιζήσει ως αποτέλεσμα της βλάβης. Μπορεί να προκληθούν δυσπλασίες στο όργανο που βρίσκεται σε διαδικασία ανάπτυξης κατά τη στιγμή της έκθεσης, η οποία λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης περιόδου της μείζονος οργανογένεσης. Αυτές οι επιδράσεις είναι ντετερμινιστικής φύσης και ένα κατώτατο όριο στον άνθρωπο που είναι περίπου 0,1Gy εκτιμάται με βάση πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε ζώα.

Έγκυες ασθενείς

Είναι καθήκον του ιατρικού προσωπικού να διενεργεί τεστ εγκυμοσύνης σε κάθε γυναίκα σε αναπαραγωγική ηλικία που ενδέχεται να είναι έγκυος. Μια εμβρυϊκή δόση ακτινοβολίας μικρότερη από 1 rad/rem θεωρείται ότι δεν έχει επίδραση στο αναπτυσσόμενο έμβρυο.

Όταν αποφασίζεται αν "πρέπει" να διακοπεί η εγκυμοσύνη λόγω έκθεσης σε ακτινοβολία, υπάρχουν τουλάχιστον τρεις παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη: η ακριβής ηλικία κύησης κατά τη στιγμή της έκθεσης, η εκτιμώμενη δόση στο έμβρυο και η επιθυμία της ασθενούς.

Η έκθεση στο πρώτο τρίμηνο σε ακτινοβολία ενέχει τον μεγαλύτερο κίνδυνο για το αναπτυσσόμενο έμβρυο. Η εμβρυϊκή δόση πρέπει να είναι χαμηλότερη από 15 rad για να μην υπάρξει αύξηση του κινδύνου δυσμορφιών. Η έκθεση σε 5 rad (0.05 Gy) κατά το τρίτο τρίμηνο δεν θεωρείται συνήθως επαρκής αιτία για τη διακοπή μιας εγκυμοσύνης.

Οι δύο πρώτες εβδομάδες της εγκυμοσύνης είναι κρίσιμες, αλλά η γυναίκα μπορεί να μην έχει επίγνωση ότι είναι έγκυος κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

Για το λόγο αυτό, η ιδανική στιγμή για την απεικόνιση των γυναικών είναι κατά τη διάρκεια του δεκαημέρου που ακολουθεί αμέσως μετά την έναρξη της εμμήνου ρύσεως.

Επιδράσεις της ιονίζουσας ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς

Η αλληλεπίδραση των διαφόρων μορφών ακτινοβολίας με το νερό, το οποίο υπάρχει στην πλειονότητα των ιστών και των οργάνων ενός ζωντανού οργανισμού, ευθύνεται για ένα σημαντικό μέρος των αρνητικών επιδράσεων που έχει η ιοντίζουσα ακτινοβολία στη ζωντανή ύλη. Το νερό είναι ένα μόριο που βρίσκεται σε όλα τα έμβια όντα. Η αλληλεπίδραση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή εξαιρετικά δραστικών ριζικών ειδών, που ανήκουν κυρίως στις κατηγορίες υδροξυλίου και υδροπεροξυλίου. Αυτά τα εξαιρετικά δραστικά είδη ριζών, με τη σειρά τους, είναι ικανά να αλληλεπιδράσουν με το κυτταρικό DNA, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία σπασίματος των αλυσίδων και σε βλάβες των βάσεων (Hall & Giaccia 2005). Η ακτινοβολία μπορεί, σε μικρότερο βαθμό, να ιονίσει άμεσα το DNA και άλλα βιολογικά μόρια, όπως το RNA, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια, και να προκαλέσει βλάβες στα μόρια αυτά. Πολλές περιπτώσεις βλάβης που περιορίζονται σε μία αλυσίδα του DNA ανιχνεύονται γρήγορα από τους μηχανισμούς επιτήρησης του κυττάρου και η ακεραιότητα του DNA αποκαθίσταται με τη χρήση της συμπληρωματικής αλυσίδας του DNA που είναι ακόμη άθικτη ως πρότυπο. Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει ότι το γονιδίωμα διατηρεί την αρχική του κατάσταση. Από την άλλη πλευρά, η ακριβής επιδιόρθωση των σπασιμάτων διπλής έλικας (θραυσμάτων), τα οποία συμβαίνουν όταν δεν είναι διαθέσιμο ένα πρότυπο του μορίου DNA που εξακολουθεί να είναι ολόκληρο, είναι πιο δύσκολη (Mladenov & Pliakis 2011). Ως συνέπεια αυτού, οι θραύσεις διπλών αλυσίδων DNA που προκαλούνται από ακτινοβολία μπορούν συχνά να οδηγήσουν σε σφάλματα στην επιδιόρθωση του DNA, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να εκδηλωθούν ως σημειακές μεταλλάξεις, διαγραφές ή χρωμοσωμικές μετατοπίσεις. Σύμφωνα με τους Hall και Giaccia (2005), η βλάβη του DNA που προκαλείται από ακτινοβολία και δεν ανιχνεύεται από τα σημεία ελέγχου του κυτταρικού κύκλου κατά τη διάρκεια της κυτταρικής μίτωσης μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτο και επιταχυνόμενο ρυθμό μιτωτικής διαίρεσης στο προσβεβλημένο κύτταρο. Αυτό είναι ένα κυτταρικό χαρακτηριστικό που χαρακτηρίζει τον καρκίνο. Μέσω της χρήσης επιδημιολογικών μελετών, η σχέση μεταξύ της έκθεσης σε ακτινοβολία και της ανάπτυξης καρκίνου έχει τεκμηριωθεί διεξοδικά (Ron 2003).

Η δόση ακτινοβολίας που λαμβάνουν οι οργανισμοί και ο κίνδυνος που ενέχει μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση μιας σειράς διαφορετικών μεγεθών. Ο όρος "απορροφούμενη δόση" αναφέρεται στην ποσότητα ενέργειας ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από τους ιστούς σε σχέση με τη μάζα προς την ενέργεια. Τα γκρέι (Gy) είναι οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται και 1 Gy ισούται με 1 Joule ενέργειας ακτινοβολίας που απορροφάται ανά χιλιόγραμμο.

Εφαρμόζοντας έναν συντελεστή στάθμισης της ακτινοβολίας και έναν συντελεστή στάθμισης των ιστών στην απορροφούμενη δόση, μπορεί κανείς να υπολογίσει την ενεργό δόση, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τον τύπο της ακτινοβολίας όσο και τον βιολογικό ιστό που εκτίθεται. Η ακτινοβολία Χ έχει συντελεστή στάθμισης ένα. Με βάση το πόσο ευαίσθητα σε βλάβες από ακτινοβολία θεωρούνται διάφορα όργανα και ιστοί, έχουν αποδοθεί συντελεστές στάθμισης ιστών σε καθένα από αυτά τα όργανα και τους ιστούς. Κατά την εκτίμηση των κινδύνων από την έκθεση σε ακτινοβολία, χρησιμοποιείται συνήθως η ενεργός δόση, η οποία δίνεται σε Sieverts (Sv). Όταν η ακτινοβολία κατευθύνεται μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές του σώματος, όπως όταν χρησιμοποιείται για ιατρική απεικόνιση, η ενεργός δόση που υπολογίζεται είναι ισοδύναμη με τη δόση που θα λάμβανε ολόκληρο το σώμα υπό τις ίδιες συνθήκες.

Η εφαρμογή της ακτινοβολίας στην ιατρική πρακτική επεκτείνεται σταθερά σε όλο τον κόσμο, ανεξάρτητα από τη σχετική οικονομική ισχύ των διαφόρων περιοχών. Η χρήση της ακτινοβολίας για θεραπευτικούς σκοπούς στη θεραπεία του καρκίνου συνεισφέρει σημαντική ποσότητα ακτινοβολίας σε μικρό αριθμό ατόμων. Από την άλλη πλευρά, η χρήση της ακτινοβολίας για διαγνωστικούς σκοπούς προσδίδει μικρότερη ποσότητα ακτινοβολίας σε μεγάλο αριθμό ατόμων, και ο αριθμός αυτός αυξάνεται συνεχώς.

Η διαγνωστική απεικόνιση έχει μετασηματιστεί πλήρως ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης της υπολογιστικής τομογραφίας (CT) τις τελευταίες δεκαετίες. Η εφαρμογή της έχει αυξηθεί με εκθετικό ρυθμό και εκτιμάται ότι το 2006 πραγματοποιήθηκαν περισσότερες από 62 εκατομμύρια αξονικές τομογραφίες στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο αριθμός αυτός συγκρίνεται με λιγότερα από 20 εκατομμύρια το 1995 και μόνο 3 εκατομμύρια το 1980. (Brenner & Hall, 2007). Σήμερα εκτιμάται ότι οι ιατρικές αξονικές τομογραφίες συμβάλλουν σε σημαντικό βαθμό στην έκθεση σε ακτινοβολία που δέχεται ο γενικός πληθυσμός. Αυτό οφείλεται στη σχετικά υψηλότερη δόση ακτινοβολίας που λαμβάνεται από μια τυπική αξονική τομογραφία σε σύγκριση με τη δόση ακτινοβολίας που λαμβάνεται από τις συμβατικές μεθόδους απεικόνισης, καθώς και στο γεγονός ότι οι αξονικές τομογραφίες γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς.

Μέτρα για την προστασία των ασθενών από την ακτινοβολία στη διαγνωστική απεικόνιση

Ο σημαντικότερος κίνδυνος που συνδέεται με την ιοντίζουσα ακτινοβολία στην ιατρική απεικόνιση είναι η πιθανότητα ανάπτυξης καρκίνου. Μετά από μια έκθεση σε ακτινοβολία, ο καρκίνος μπορεί να αναπτυχθεί σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, ακόμη και μετά από δεκαετίες-εάν συμβεί αυτό, είναι αδύνατο να διακρίνει κανείς τη διαφορά μεταξύ του καρκίνου που προκαλείται από την ακτινοβολία και του καρκίνου που αναπτύσσεται από μόνος του.

Η αυξανόμενη κατανόηση των τρόπων με τους οποίους η ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει τα έμβια όντα οδήγησε στη δημιουργία κατευθυντήριων γραμμών για την προστασία των ανθρώπων από την ακτινοβολία από τη διεθνή κοινότητα. Κατευθυντήριες γραμμές που υποστηρίζονται από αποδεικτικά στοιχεία υπάρχουν στις συστάσεις του 2007 της Διεθνούς Επιτροπής για την Ακτινοπροστασία (International Commission for Radiological Protection, 2007), καθώς και στις συστάσεις του Εθνικού Συμβουλίου για την Προστασία από την Ακτινοβολία και τις Μετρήσεις (NCRP) των Ηνωμένων Πολιτειών. [International Commission for Radiological Protection, 2007] (Kase 2004).

Όσον αφορά την ιατρική διαγνωστική απεικόνιση, ο πρωταρχικός στόχος της ακτινοπροστασίας είναι η απόκτηση του μέγιστου δυνατού ποσού πληροφοριών που είναι σχετικές με το διαγνωστικό έργο, με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε ιοντίζουσα ακτινοβολία (White & Pharoah, 2009). Σε πραγματικές κλινικές καταστάσεις, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη και οικονομικές και προσωπικές εκτιμήσεις, όπως η διαθεσιμότητα ή η προσβασιμότητα των διαφόρων μεθόδων απεικόνισης.

Η εφαρμογή αυτής της αρχής, η οποία είναι επίσης γνωστή ως "As Low As Reasonably Achievable" (ALARA), στη διαγνωστική απεικόνιση περιλαμβάνει την εφαρμογή γενικών μέτρων προστασίας, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

1. Απόφαση απεικόνισης-Αιτιολόγηση. Όταν αποφασίζεται ποια απεικονιστική εξέταση θα χρησιμοποιηθεί για να απαντηθεί ένα συγκεκριμένο διαγνωστικό ερώτημα, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη όλες οι μέθοδοι που έχουν καλές πιθανότητες να παράσχουν τις πληροφορίες που αναζητούνται. Όταν το διαγνωστικό ερώτημα μπορεί να απαντηθεί μέσω μιας μελέτης που δεν περιλαμβάνει ιοντίζουσα ακτινοβολία, όπως η απεικόνιση με μαγνητική τομογραφία ή υπερήχους, η πρόσθετη δόση ακτινοβολίας από τη διαγνωστική διαδικασία μπορεί να μηδενιστεί. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μελέτες αυτές χρησιμοποιούν μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η επιλογή μιας μεθόδου απεικόνισης που απαιτεί την έκθεση του ασθενούς σε ιοντίζουσα ακτινοβολία θα πρέπει να καθοδηγείται από μια διαδικασία αιτιολόγησης που βασίζεται στις ειδικές

κλινικές συνθήκες του κάθε ασθενούς και στα ευρήματα της επιστημονικής έρευνας. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας θα πρέπει να δείχνουν ότι το δυνητικό διαγνωστικό όφελος της εξέτασης είναι μεγαλύτερο από τον εκτιμώμενο κίνδυνο που ενέχει η συγκεκριμένη έκθεση σε ακτινοβολία. Η διαθεσιμότητα λογισμικού υποστηρίξης αποφάσεων, το οποίο μπορεί να βοηθήσει τον κλινικό ιατρό να καθορίσει εάν μια συγκεκριμένη απεικονιστική μελέτη είναι κατάλληλη ή όχι για το κλινικό περιβάλλον, έχει μόλις σχετικά πρόσφατα επεκταθεί (Rosenthal et al., 2006). Από προκαταρκτική έρευνα έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι η χρήση αυτού του εργαλείου θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση της συνταγογράφησης διαγνωστικών εξετάσεων που θεωρούνται ότι έχουν "χαμηλή χρησιμότητα" στη διαγνωστική διαδικασία (Coakley et al., 2011).

2. Ενημέρωση των ασθενών: Η παροχή πληροφοριών στους ασθενείς που είναι απλές και ξεκάθαρες είναι ένα αποτελεσματικό μέτρο για να τεθεί σε προοπτική η έκθεση του ασθενούς στην ακτινοβολία και να αμβλυνθεί ο παράλογος φόβος του ασθενούς για την ακτινοβολία. Μπορούν να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ των δόσεων ακτινοβολίας που λαμβάνονται από τις ιατρικές εξετάσεις και της ποσότητας της φυσικής ακτινοβολίας υποβάθρου στην οποία είμαστε όλοι εκτεθειμένοι απλώς και μόνο λόγω του ότι ζούμε στη Γη .

Η σύγκριση του κινδύνου με άλλες δραστηριότητες που αποτελούν μέρος της καθημερινής ζωής, όπως η πτήση ή η οδήγηση, μπορεί επίσης να είναι αποτελεσματική (Coakley et al., 2011). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, για παράδειγμα, ο κίνδυνος θανάτου σε αυτοκινητιστικό ατύχημα είναι περίπου μία-δύο χιλιάδες φορές υψηλότερος για όσους διανύουν 64.000 χιλιόμετρα με αυτοκίνητο από ό,τι για όσους διανύουν λιγότερη από αυτή την απόσταση (National Highway Traffic Safety Administration Fatality Analysis Reporting System, 2011). Ο κίνδυνος αυτός είναι περίπου ισοδύναμος με τον κίνδυνο εμφάνισης θανατηφόρου καρκίνου από ενεργό δόση ακτινοβολίας δέκα millisieverts, δηλαδή μια δόση πέντε φορές υψηλότερη από εκείνη που λαμβάνεται συνήθως από μια αξονική τομογραφία κρανίου.

3. Ο Θάλαμος εξέτασης πρέπει να διαθέτει θωράκιση για τη μείωση ή την εξάλειψη της ποσότητας ακτινοβολίας που εκπέμπεται στους γύρω χώρους,

4. Θωράκιση των ανατομικών περιοχών του ασθενούς που δεν βρίσκονται στην περιοχή ενδιαφέροντος της εξέτασης, προκειμένου να μειωθεί το ποσό της έκθεσης σε ακτινοβολία σε ευαίσθητα όργανα, όπως ο θυρεοειδής, οι γονάδες και ο φακός του οφθαλμού,

5. Διήθηση της δέσμης ακτίνων X, η οποία εξαλείφει φωτόνια χαμηλής ενέργειας που, ελλείψει διήθησης, θα απορροφούνταν από τον ασθενή και, ως εκ τούτου, δεν θα συνέβαλαν στη ακτινοδιαγνωστική εικόνα,

6. Τους αποτελεσματικότερους τρόπους μετατροπής φωτονίων σε εικόνα, παρέχοντας παράλληλα το επίπεδο ποιότητας της εικόνας που είναι απαραίτητο για τη διαγνωστική διαδικασία,

7. Τη σωστή απόσταση της πηγής ακτίνων X από το δέρμα του ασθενούς, όποτε είναι δυνατή η ρύθμιση αυτού του παράγοντα,

8. Ο περιορισμός του πεδίου που εκτίθεται, ώστε να εστιάζεται μόνο στην περιοχή ενδιαφέροντος,

9. Ο αποτελεσματικότερος συνδυασμός των παραγόντων έκθεσης (kVp, mAς) για τη μείωση του ποσού της έκθεσης στην ακτινοβολία με παράλληλη διατήρηση της ποιότητας της διαγνωστικής εικόνας,

10. Διασφάλιση της ποιότητας του εξοπλισμού απεικόνισης και επεξεργασίας ώστε να διασφαλίζεται σταθερή βέλτιστη ποιότητα εικόνας με το ελάχιστο ποσό έκθεσης τόσο για τους ασθενείς όσο και για το προσωπικό της εγκατάστασης.

11. Ατομικοί μετρητές δόσης καθώς και μετρητές δόσης περιοχής που είναι σε θέση να βοηθήσουν στην τεκμηρίωση της ατομικής έκθεσης καθώς και των επιπέδων ακτινοβολίας σε μια περιοχή. Τα δοσίμετρα θερμοφωταύγειας (TLD) και, πιο πρόσφατα, τα δοσίμετρα οπτικής διέγερσης αποτελούν παραδείγματα προσωπικών μετρητών δόσης που χρησιμοποιούνται στην κλινική πρακτική (OSLD). Τα TLD χρησιμοποιούν κρυστάλλους από φθοριούχο λίθιο ή θειικό ασβέστιο που είναι εφοδιασμένοι με προσμίξεις όπως μαγνήσιο, τιτάνιο, χαλκό ή φώσφορο. Αυτές οι προσμίξεις επιτρέπουν στους κρυστάλλους να αποθηκεύουν την ενέργεια που αποκτάται από την έκθεση σε ακτινοβολία. Όταν οι κρύσταλλοι θερμαίνονται, η λανθάνουσα ενέργεια απελευθερώνεται ως φωταύγεια κατά τρόπο ανάλογο προς την ποσότητα της ακτινοβολίας στην οποία έχουν εκτεθεί οι κρύσταλλοι.

Παρόλο που οι TLD είναι σχετικά συμπαγείς και μπορούν να μετρήσουν δόσεις ακτινοβολίας που κυμαίνονται από microGy έως kGy, η λήψη ακριβών και αναπαραγωγίμων ενδείξεων από αυτές τις συσκευές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τεχνική που χρησιμοποιείται (Kron 1994). Προκειμένου να αποθηκεύσουν την ενέργεια ακτινοβολίας, οι OSLD χρησιμοποιούν οξειδίο του αλουμινίου που έχει προστεθεί άνθρακας. Η ενέργεια αυτή απελευθερώνεται στη

συνέχεια ως φωταύγεια με τρόπο που είναι ανάλογη με το ποσό της έκθεσης σε ακτινοβολία που λαμβάνεται στην συνέχεια ως απόκριση φωτός. Τα OSLD έχουν μια σχέση δόσης-απόκρισης που είναι γραμμική στο εύρος 1-300 cGy, αλλά μπορούν να βαθμονομηθούν για ένα πολύ ευρύτερο εύρος έκθεσης σε ακτινοβολία που έχει σημασία στην ιατρική απεικόνιση (Jursinic 2007, Yukihiro, 2008).

Η υπολογιστική τομογραφία (CT), η οποία χρησιμοποιεί υψηλότερη ενεργή δόση ακτινοβολίας σε σύγκριση με τις ακτινογραφίες, είναι ένας από τους σημαντικότερους συντελεστές της έκθεσης σε ακτινοβολία που λαμβάνουν οι ασθενείς κατά τη διάρκεια ιατρικών διαγνωστικών διαδικασιών σήμερα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η χρήση της αξονικής τομογραφίας έχει αυξηθεί με εκθετικό ρυθμό τα τελευταία χρόνια.

Αν και πολλές από τις γενικές αρχές που περιγράφηκαν προηγουμένως ισχύουν και για την αξονική τομογραφία, υπάρχουν ορισμένες ειδικές προφυλάξεις για την αξονική τομογραφία που μπορούν να ληφθούν για τη μείωση της έκθεσης των ασθενών στην ακτινοβολία. Οι προφυλάξεις αυτές περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Ακτινοπροστατευτικά εξαρτήματα από βισμούθιο τοποθετούνται στη διαδρομή της δέσμης ακτινοβολίας μπροστά από ευαίσθητα όργανα όπως ο μαστός. Απορροφούν μέρος της άμεσης δέσμης ακτινοβολίας που κατευθύνεται στις υποκείμενες ανατομικές δομές, αλλά αυτό δεν επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της εικόνας των δομών που βρίσκονται δίπλα στη δέσμη. Τα εξαρτήματα βισμούθιου έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν την ποσότητα της ακτινοβολίας που απορροφάται από τους μαστούς των ενήλικων γυναικών έως και κατά 40 % (Yilmaz et al., 2007). Ωστόσο, όταν οι ποδιές βισμούθιου και η αυτόματη διαμόρφωση της έκθεσης χρησιμοποιούνται μαζί, η τελευταία μπορεί να αντισταθμίσει την εξασθένηση της ακτινοβολίας που προκαλείται από την ποδιά, περιορίζοντας έτσι τα οφέλη της όσον αφορά την μείωση ακτινοβολίας. Οι ποδιές βισμούθιου μπορούν να εφαρμοστούν μετά την έκθεση της προβολής αντίχενυσης, αλλά πριν από τη λήψη των ογκομετρικών δεδομένων, προκειμένου να παρακαμφθεί αυτό το πρόβλημα (Coakley et al., 2011).

2. Η προσαρμογή των πρωτοκόλλων απεικόνισης στις ανάγκες του ασθενούς και του διαγνωστικού εγχειρήματος αποτελεί ουσιαστικό βήμα για τη βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων απεικόνισης με αξονική τομογραφία. Είναι δυνατή η μεταβολή της δόσης ακτινοβολίας με την τροποποίηση μιας ή περισσότερων από τις ακόλουθες παραμέτρους σάρωσης: i. Το μέγιστο ηλεκτρικό δυναμικό της λυχνίας (kVp): ενώ η τυπική ρύθμιση έκθεσης που χρησιμοποιείται

στη συνήθη αξονική τομογραφία είναι μεταξύ 100 και 140 kVp, χαμηλότερη τιμή kVp μπορεί να μειώσει τη δόση ακτινοβολίας, αν και σε βάρος του αυξημένου θορύβου στην εικόνα.

ii. Ρεύμα λυχνίας (mA): μια αξονική τομογραφία που εκτελείται με χαμηλότερα mA έχει ως αποτέλεσμα πιο θορυβώδεις εικόνες- ωστόσο, η έκθεση στην ακτινοβολία μειώνεται κατά ένα ποσό που είναι ανάλογο του μειωμένου ρεύματος λυχνίας.

Κατά τη σάρωση παιδιών ή ενηλίκων μικρότερου μεγέθους, καθώς και σε περιπτώσεις στις οποίες μια πιο θορυβώδης εικόνα δεν έχει σημαντικό αντίκτυπο στο αποτέλεσμα της διαγνωστικής εργασίας, μπορούν να επιλεγούν χαμηλότερες τιμές και για τις δύο παραμέτρους (π.χ. μελέτη για την αξιολόγηση νεφρικών λίθων).

3. Η διαμόρφωση του ρεύματος της λυχνίας ακτίνων X και ο αυτόματος έλεγχος της έκθεσης αναφέρονται σε συστήματα στα οποία ο χρήστης (ο ακτινολόγος, μέσω του ακτινολογικού τεχνολόγου) υποδεικνύει το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας της εικόνας (McCollough et al., 2005). Με βάση αυτές τις πληροφορίες, το λογισμικό της αξονικής τομογραφίας υπολογίζει την απαιτούμενη ισχύ ακτινοβολίας για την επίτευξη αυτού του επιπέδου ποιότητας εικόνας σε όλες τις περιοχές του όγκου που σαρώθηκε. Κατά τη διαδικασία λήψης κάθε τμηματικής εικόνας, η γωνιακή διαμόρφωση του ρεύματος της λυχνίας λειτουργεί με σκοπό τη διαμόρφωση του ρεύματος της λυχνίας ακτίνων X, προκειμένου να εξισωθεί η μέση ροή φωτονίων που φθάνει στους ανιχνευτές. Αυτό συμβαίνει καθώς η στεφάνη λυχνίας-ανιχνευτών περιστρέφεται γύρω από τον ασθενή (διαμόρφωση ρεύματος λυχνίας x-, y-άξονα). Καθώς ο ασθενής μετακινείται επάνω στην εξεταστική τράπεζα η διαμήκης διαμόρφωση του ρεύματος της λυχνίας (άξονας z) ενεργεί για τη διατήρηση σταθερών επιπέδων θορύβου εικόνας κατά μήκος του διαμήκους άξονα του ασθενούς. Αυτό γίνεται έτσι ώστε να μπορούν να σαρώνονται ταυτόχρονα περιοχές του σώματος με διαφορετικές ιδιότητες εξασθένησης (McCollough et al., 2005).

4. Βελτιωμένοι αλγόριθμοι ανακατασκευής εικόνας αξονικής τομογραφίας Η συντριπτική πλειονότητα των σύγχρονων αξονικών τομογράφων χρησιμοποιεί αλγόριθμους ανακατασκευής που προέρχονται από τη μέθοδο της φιλτραρισμένης οπισθοπροβολής (FBP). Αυτή η τεχνική έχει την τάση να παράγει θορυβώδεις εικόνες όταν συνδυάζεται με χαμηλά ρεύματα λυχνίας

Η δυνατότητα μείωσης της έκθεσης στην ακτινοβολία μέσω της χρήσης αλγορίθμων ανακατασκευής FBP περιορίζεται από το όριο έκθεσης στην ακτινοβολία. Κάτω από αυτό το όριο, η

ποιότητα της διαγνωστικής εικόνας υποβαθμίζεται σε επίπεδα που δεν είναι αποδεκτά. Οι εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνουν επαναληπτικούς αλγόριθμους ανακατασκευής, οι οποίοι βασίζονται σε πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα και αποσκοπούν στη διόρθωση του θορύβου σε εικόνες που λαμβάνονται με χαμηλά ρεύματα λυχνίας. Αυτοί οι αλγόριθμοι αποτελούν μια εναλλακτική λύση. Αυτοί οι αλγόριθμοι απαιτούν μεγάλη υπολογιστική ισχύ, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά μεγαλύτερους χρόνους ανακατασκευής εικόνας (Coakley et al., 2011). Η ASIR ή επαναληπτική ανακατασκευή (adaptive statistical iterative reconstruction) είναι μια σχετικά νέα και βελτιωμένη μέθοδος επαναληπτικής ανακατασκευής εικόνας που υποσχεται πολλά για αυξημένες ταχύτητες ανακατασκευής. Επιπλέον, η ASIR μπορεί να μειώσει τον θόρυβο της εικόνας εκτός από ορισμένους τύπους εικόνων (Marin et al., 2010, Miéville et al., 2011, Renker et al., 2011). Αυτό επιτυγχάνεται με την προσπάθεια αναγνώρισης και διόρθωσης των διακυμάνσεων της ροής φωτονίων που είναι απίθανο να οφείλονται σε ανατομικά χαρακτηριστικά. Ως συνέπεια αυτού, οι εικόνες που ανακατασκευάζονται με τη χρήση του αλγόριθμου ASIR από ακατέργαστα δεδομένα που έχουν αποκτηθεί με χαμηλό ρεύμα λυχνίας μπορεί να παρουσιάζουν ποιότητα εικόνας συγκρίσιμη ή και ανώτερη από εκείνη των ανακατασκευών FBP, ενώ οι ρυθμίσεις χαμηλού ρεύματος επιτρέπουν μείωση ακτινοβολίας της τάξης του 32-65% για διάφορα πρωτόκολλα κλινικής χρήσης (Cornfeld et al., 2011, Flicek et al., 2010, Hara et al., 2009). Αυτά τα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων ASIR, όταν συνδυάζονται, έχουν τη δυνατότητα να παράγουν αξονικές τομογραφίες με διαγνωστική ποιότητα συγκρίσιμη ή και ανώτερη από εκείνη των μεθόδων ανακατασκευής FBP, ενώ παράλληλα έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά την ποσότητα ακτινοβολίας στην οποία εκτίθενται οι ασθενείς.

5. Υπολογισμός και αναφορά της δόσης ακτινοβολίας Η πλειονότητα των αξονικών τομογράφων διαθέτει την ενσωματωμένη δυνατότητα υπολογισμού της έκθεσης στην ακτινοβολία ως γινόμενο δόσης-μήκους (μετρούμενο σε mGy.cm), το οποίο μπορεί να καταγράφεται στον κλινικό φάκελο του ασθενούς. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν επίσης να διαβιβαστούν και σε απομακρυσμένο διακομιστή. Αυτό διευκολύνει την παρακολούθηση της ποσότητας ακτινοβολίας κατά την αξονική τομογραφία στην οποία εκτίθενται οι ασθενείς.

3.2. Η χρήση ποδιών βισμούθιου στην αξονική κοιλίας

Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση ποδιών βισμούθιου κατά τη διάρκεια της αξονικής τομογραφίας μπορεί να μειώσει το ποσό της δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα ακτινοευαίσθητα όργανα που βρίσκονται πιο κοντά στο θώρακα του ασθενούς. Ωστόσο, όταν συνδυάζεται με αυτόματο

έλεγχο της έκθεσης, διαμόρφωση του ρεύματος της λυχνίας ή λήψη διπλής ενέργειας, η τεχνική αυτή έχει ορισμένα μειονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι αποδίδεται περισσότερη ακτινοβολία, μειώνεται η ποιότητα της εικόνας και εμφανίζονται αποτελέσματα που είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Υπάρχουν άλλες μέθοδοι που μπορούν να παρέχουν ισοδύναμη μείωση της πρόσθιας δόσης διατηρώντας ή και βελτιώνοντας την ποιότητα της εικόνας, και οι μέθοδοι αυτές δεν έχουν τους περιορισμούς που έχουν οι ποδιές βισμούθιου.

Η δόση που παρέχεται από την αξονική τομογραφία στα πρόσθια ακτινοευσίθητα όργανα, όπως ο μαστός, ο φακός του οφθαλμού, ο θυρεοειδής και οι γονάδες, έχει μειωθεί με τη χρήση θωρακίσεων βισμούθιου τα τελευταία χρόνια. Αυτές οι ασπίδες από λατέξ που έχουν εμποτιστεί με βισμούθιο τοποθετούνται πάνω από το όργανο ενδιαφέροντος για να μειώσουν την ένταση της δέσμης ακτίνων X που αποδίδεται κατά την εξέταση στον ασθενή. Υπάρχουν ορισμένα πιθανά μειονεκτήματα που σχετίζονται με τη χρήση της θωράκισης με βισμούθιο, τα οποία θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αυξημένη δόση στον ασθενή και/ή σε υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας. Παρά το γεγονός ότι η θωράκιση με βισμούθιο φαίνεται να είναι απλή στην εφαρμογή και ότι οι μελέτες επιβεβαιώνουν τη μείωση της δόσης της πρόσθιας επιφάνειας, υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα που σχετίζονται με τη χρήση τους. Υπάρχουν πρόσθετες προσεγγίσεις για τη μείωση της δόσης που λαμβάνεται στο μέτωπο που δεν έχουν αυτά τα μειονεκτήματα. Αυτές οι μέθοδοι ενδέχεται να προσφέρουν επιπλέον βελτιωμένη ποιότητα εικόνας ή/και πρόσθετη μείωση της δόσης σε σύγκριση με τη χρήση θωράκισης με βισμούθιο και θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά από τους χρήστες που επιθυμούν να μειώσουν τη δόση στον φακό του οφθαλμού, τον θυρεοειδή, τον μαστό.

Μειονεκτήματα που συνδέονται με τη χρήση εξαρτημάτων βισμούθιου:

1) Μη προβλέψιμα και δυνητικά ανεπιθύμητα επίπεδα δόσης και ποιότητας εικόνας παράγονται όταν η θωράκιση με βισμούθιο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με συστήματα αυτόματου ελέγχου έκθεσης (AEC), όπως η διαμόρφωση ρεύματος λυχνίας (TCM).

Τα συστήματα AEC τροποποιούν την παροχή ακτινοβολίας του αξονικού τομογράφου με βάση την εξασθένηση της δέσμης που εισάγει το σώμα του ασθενούς, προκειμένου να παρέχουν ένα σταθερό επίπεδο θορύβου εικόνας που έχει καθορίσει ο χρήστης. Λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά του συστήματος, την ανατομία του ασθενούς και τυχόν απαιτήσεις για την ποιότητα της εικόνας που έχει καθορίσει ο χρήστης. Η εξασθένηση του ασθενούς εκτιμάται με τη χρήση τοπογράμματος αξονικής τομογραφίας (όπως πρόσθια-οπίσθια ή/και πλάγια) και η συμπεριφορά του συστήματος προγραμματίζεται σύμφωνα με τη μετρούμενη εξασθένηση. Ωστόσο,

όταν χρησιμοποιείται θωράκιση από βισμούθιο, η ποσότητα ακτινοβολίας που χορηγείται στον ασθενή καθώς και η ποιότητα της εικόνας που προκύπτει εξαρτάται από το αν η θωράκιση τοποθετήθηκε πριν ή μετά τη λήψη της αξονικής τομογραφίας.

Πριν από τη λήψη της αξονικής τομογραφίας, πρέπει να τοποθετείται στον ασθενή ποδιά βισμούθιου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ακριβέστερη μέτρηση της εξασθένησης μέσα στο σώμα του εξεταζόμενου, κι έτσι θα προκληθεί η ανάλογη αύξηση του ρεύματος της λυχνίας.

Η προστατευτική επίδραση που παρέχει η θωράκιση με βισμούθιο στη μείωση της δόσης που λαμβάνει η πρόσθια επιφάνεια θα μηδενιστεί και η δόση που λαμβάνουν οι άλλες ανατομικές δομές θα αυξηθεί, πράγμα προφανώς ανεπιθύμητο.

Αφού ληφθεί η αξονική τομογραφία, η προστασία του ασθενούς με ποδιά βισμούθιου προφυλάσσει το σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης από το να χρειαστεί να αυξήσει το ρεύμα της λυχνίας σε ορισμένες περιοχές. Λόγω της πρόσθετης εξασθένησης που προκαλείται από την ποδιά, την οποία το σύστημα δεν είχε προβλέψει, η ποιότητα της εικόνας που αποστέλλεται πίσω στον χρήστη δεν θα ταιριάζει με αυτήν που είχε καθοριστεί από τον χρήστη (καθώς τοποθετήθηκε μετά την απόκτηση της ακτινογραφίας αξονικής τομογραφίας).

Σε ορισμένα άλλα συστήματα, ο αλγόριθμος AEC αντιδρά στις αυξήσεις της εξασθένησης του ασθενούς που λαμβάνουν χώρα μετά την απόκτηση της αξονικής τομογραφίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα διαφορές στην ποιότητα της εικόνας καθώς και στη δόση σε σύγκριση με αυτήν που είχε προγραμματιστεί με τη χρήση της αξονικής τομογραφίας.

2) Οι ποδιές ενδέχεται να προκαλέσουν μείωση της ποιότητας της εικόνας καθώς και της ευκρίνειας της.

Τα εξαρτήματα ακτινοπροστασίας βισμούθιου παράγουν ψευδοεικόνες όπως ραβδώσεις και φαινόμενα σκλήρυνσης της δέσμης. Αυξάνουν τους αριθμούς αξονικής τομογραφίας κάτω από την ποδιά, γεγονός που έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ακρίβεια των μετρήσεων των αριθμών αξονικής τομογραφίας. Τα ακτινοπροστατευτικά εξαρτήματα μαστού δεν συνιστώνται για χρήση σε καρδιαγγειακές αξονικές τομογραφίες, όπως δηλώνει απερίφραστα η Εταιρεία Καρδιακής Αξονικής Τομογραφίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η χρήση τους θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο την ακρίβεια των μετρήσεων της στεφανιαίας για εκτίμηση ασβεστοποίησης. Με παρόμοιο τρόπο, λόγω του γεγονότος ότι οι ακτινοπροστατευτικές ποδιές επηρεάζουν το ενεργειακό φάσμα, μπορεί κανείς να προβλέψει ότι η χρήση τους με αξονική τομογραφία δι-

πλής ενέργειας θα παράγει ανακριβή αποτελέσματα. Τέλος, μπορεί να παραχθεί μη ικανοποιητική ποιότητα εικόνας στο ήπαρ εάν το κάτω μέρος της ποδιάς τοποθετηθεί έτσι ώστε να καλύπτει το άνω μέρος του οργάνου.

3) Οι ακτινοπροστατευτικές ποδιές προκαλούν την έκθεση του ασθενούς σε λιγότερη ακτινοβολία από ό,τι είναι απαραίτητο.

Κατά τη διάρκεια μιας αξονικής τομογραφίας, το gantry περιστρέφεται γύρω από τον ασθενή σε πλήρη κύκλο, ακτινοβολώντας τον από κάθε γωνία. Η ποδιά απορροφά τις ακτίνες-Χ πριν αυτές προσκρούσουν στον ασθενή, μειώνοντας έτσι τη δόση που παρέχεται στα περιφερειακά όργανα του ασθενούς όταν το gantry βρίσκεται πάνω από τον ασθενή. Ωστόσο, όταν το gantry ευρίσκεται κάτω από τον ασθενή, η ποδιά δεν μειώνει την ποσότητα της ακτινοβολίας που παρέχεται στον ασθενή- αντίθετα, απορροφά σημαντικό αριθμό φωτονίων που εκπέμπονται από τον ασθενή και τα εμποδίζει να φθάσουν στον ανιχνευτή αξονικής τομογραφίας. Αυτά τα φωτόνια θα συνέβαλαν στο σχηματισμό της εικόνας της αξονικής τομογραφίας.

Κατά παρόμοιο τρόπο, τα φωτόνια που προέρχονται από πλευρικές κατευθύνσεις θα μειώσουν μέρος της έντασής τους από την ποδιά κατά την έξοδό τους από τον ασθενή. Ως αποτέλεσμα, η ποδιά μειώνει την ποσότητα των χρήσιμων φωτονίων που τη διαπερνούν για περισσότερο από το ήμισυ κάθε περιστροφής 360 μοιρών του gantry, με αποτέλεσμα την άσκοπη απώλεια δόσης ακτινοβολίας. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση του θορύβου σε ολόκληρη την εικόνα και όχι μόνο στο τμήμα που βρίσκεται κοντά στην ποδιά.

Οι ασθενείς έλαβαν υψηλές δόσεις ακτινοβολίας λόγω της αυξανόμενης επαίτησης για εξετάσεις υπολογιστικής τομογραφίας (CT), οι οποίες είναι υπεύθυνες για περισσότερο από το πενήντα τοις εκατό όλων των ιατρικών εκθέσεων σήμερα.

Η πλειονότητα των ιατρικών εκθέσεων προκαλείται από τις εξετάσεις αξονικής τομογραφίας που πραγματοποιούνται σε τακτική βάση, όπως οι τομογραφίες εγκεφάλου, θώρακος και κοιλίας, καθώς και από ειδικές εξετάσεις που πραγματοποιούνται για τη διάγνωση της στεφανιαίας νόσου και τον έλεγχο για καρκίνο του πνεύμονα. Κατά τη διάρκεια των συνηθισμένων εξετάσεων αξονικής τομογραφίας εγκεφάλου, του τραχήλου ή του θώρακα, τα επιφανειακά και ακτινοευαίσθητα όργανα του ασθενούς, όπως τα μάτια, ο θυρεοειδής και ο μαστός, εκτίθενται συχνά άμεσα σε ακτινοβολία. Ωστόσο, η απεικόνιση αυτών των ακτινοευαίσθητων οργάνων

δεν γίνεται συνήθως με σκοπό τη διάγνωση. Η δόση ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα ακτινοευαίσθητα όργανα μπορεί να προκαλέσει αύξηση του σχετικού κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου κατά τη διάρκεια της ζωής.

Ο αυτόματος έλεγχος έκθεσης, επίσης γνωστός ως AEC, είναι ένα σύστημα που διαμορφώνει το ρεύμα της λυχνίας με βάση το μέγεθος του ασθενούς και την εξασθένηση. Ο στόχος αυτού του συστήματος είναι να μειώσει την ποσότητα ακτινοβολίας στην οποία εκτίθεται ο ασθενής, διατηρώντας παράλληλα σταθερή την ποιότητα της εικόνας. Ωστόσο, οι σάρωσεις με AEC δεν είναι χρήσιμες για την αξιολόγηση επιφανειακών οργάνων, όπως ο φακός του ματιού, ο θυρεοειδής ή ο μαστός. Κατά τη διάρκεια των αξονικών τομογραφιών, μια προηγμένη τεχνική AEC που ονομάζεται διαμόρφωση ρεύματος λυχνίας με βάση το όργανο, γνωστή και ως OB-TCM, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειωθεί η ποσότητα έκθεσης στην ακτινοβολία που δέχονται αυτά τα επιφανειακά όργανα. Έτσι, η στρατηγική αυτή εφαρμόζεται μόνο στα συστήματα αξονικών τομογράφων λίγων επιλεγμένων κατασκευαστών. Κατά τη διάρκεια των συνηθισμένων αξονικών τομογραφιών κεφαλής, οι Nikuraano et al. χρησιμοποίησαν τη μέθοδο κλίσης του gantry για να μειώσουν την ποσότητα ακτινοβολίας που εκτίθεται στον οφθαλμικό φακό του ασθενούς. Όταν οι φακοί εκτίθενται μόνο εν μέρει στην περιοχή σάρωσης, οι ακτινοπροστατευτικές ποδιές OB-TCM ή βισμούθιου μπορεί να είναι χρήσιμες για τη μείωση της δόσης ακτινοβολίας στο φακό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός συνδυασμού των δύο.

Μια εναλλακτική μέθοδος είναι η χρήση ποδιάς βισμούθιου εντός του επιπέδου, η οποία είναι μια μέθοδος που μπορεί να είναι κατάλληλη για όλα τα διαφορετικά είδη αξονικών τομογράφων. Όταν ένας ασθενής τοποθετείται κάτω από μια λυχνία ακτίνων X, η δέσμη ακτίνων X περνά πρώτα μέσα από την ποδιά βισμούθιου και στη συνέχεια διέρχεται μέσα από το σώμα του ασθενούς. Εξαιτίας αυτού, η ένταση της δέσμης ακτίνων X μπορεί να μειωθεί με τη χρήση της.

Στους εξεταζόμενους που υποβλήθηκαν σε εξετάσεις ρουτίνας με αξονική τομογραφία η εξέταση έγινε με ποδιά από βισμούθιο, η οποία μείωσε την ποσότητα του θορύβου στις εικόνες και βελτίωσε την ποιότητα των εικόνων στο σύνολό τους, χωρίς να επηρεάσει την ακρίβεια της διάγνωσης. Στη μελέτη του, ο Revel εξέτασε την επίδραση που είχε το πάχος του μαστού στο πόσο αποτελεσματικά προστατεύτηκε από το βισμούθιο.

Μελέτες που επιχειρηματολογούσαν κατά της χρήσης αυτών των ποδιών κατά τη διάρκεια αξονικών τομογραφιών ανέφεραν ότι αύξαναν τον θόρυβο της εικόνας και τα artifacts, καθώς και ότι προκαλούσαν αλλαγές στην ακρίβεια του αριθμού αξονικής τομογραφίας (CTN).

Προηγούμενες έρευνες έδειξαν ότι η θέση της ποδιάς σε σχέση με την περιοχή ενδιαφέροντος (ROI) αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τον καθορισμό του τρόπου με τον οποίο εκδηλώνονται αυτές οι αλλαγές.

Ωστόσο, δεν έχουν αξιολογηθεί οι μεταβολές ποσοτικοποίησης που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή που βρίσκεται είτε κοντά σε ποδιές βισμούθιου (στη ζώνη A) είτε μακριά από την ποδιά βισμούθιου (στη ζώνη D). Επιπλέον, διερευνήθηκαν οι επιδράσεις της ποδιάς βισμούθιου στην ποιότητα των εικόνων αξονικής τομογραφίας υλικών που έμοιαζαν με διάφορους τύπους ιστών, όπως υγρά, λιπώδης ιστός, ασβεστοποιημένος ιστός, οστό και αέρας.

Η τρέχουσα χρήση και η αποτελεσματικότητα της θωράκισης με βισμούθιο στην υπολογιστική τομογραφία

Στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές μελέτες που αξιολογούν την αποτελεσματικότητα της θωράκισης με βισμούθιο ως μέθοδο μείωσης της δόσης. Αν και όλες οι μελέτες αναφέρουν χαμηλότερη δόση στο μάτι, η ποσότητα της ακτινοβολίας που εξοικονομείται μπορεί να κυμαίνεται από 20 έως 50 % της αρχικής δόσης, ανάλογα με το σύστημα αξονικού τομογράφου, την τεχνική και τον σχεδιασμό της θωράκισης. Σε μια μελέτη που πραγματοποίησαν ο Mendes και οι συνεργάτες του χρησιμοποιώντας ένα ομοίωμα κεφαλής, σύγκριναν το ποσοστό της μείωσης της δόσης που επιτεύχθηκε με και χωρίς τη χρήση ποδιάς bismuth για την κάλυψη των ματιών. Το ποσοστό αυτό που επιτεύχθηκε ήταν 36%, αποδεικνύοντας ότι τα προστατευτικά ματιών από βισμούθιο είναι ικανά να προκαλέσουν μείωση στις δόσεις.

Επιπλέον, η επίδραση της αύξησης του πάχους της ποδιάς βισμούθιου διερευνήθηκε σε μελέτη που διεξήχθη από τον Wang και τους συνεργάτες του. Αυτό περιλάμβανε τη σάρωση ενός ομοιώματος κεφαλής με ένα μόνο στρώμα θωράκισης από βισμούθιο επιπλέον ενός διπλού στρώματος του υλικού θωράκισης. Η ποδιά με μία στρώση μπόρεσε να επιτύχει μείωση της δόσης κατά 26,4%, ενώ η ποδιά με διπλή στρώση μπόρεσε να επιτύχει μείωση της δόσης κατά 42,4%. Η μελέτη αυτή επιβεβαιώνει ότι τα πολλαπλά στρώματα βισμούθιου αυξάνουν τη μείωση της δόσης, αλλά εις βάρος της ποιότητας της εικόνας, η οποία με τη σειρά της περιορίζει το αποδεκτό πάχος και, κατά συνέπεια, τις δυνατότητες μείωσης της δόσης.

Η βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι, όταν αυτό είναι δυνατό, ο αποκλεισμός των οφθαλμών από την κύρια δέσμη ακτίνων X με κλίση της λυχνίας κατά τη διάρκεια της σάρωσης είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την μείωση της δόσης στον οφθαλμικό φακό.

Αν και αυτό δεν είναι δυνατό σε πολλά συστήματα αξονικών τομογράφων, είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους μείωσης της δόσης στον κερατοειδή.

Σύμφωνα με τα ευρήματα διαφόρων μελετών, η μείωση της δόσης μπορεί να φτάσει περίπου το 80 %. Ωστόσο, έχουν εκφραστεί ανησυχίες σχετικά με την εμφάνιση artifacts ως αποτέλεσμα της σκλήρυνσης της δέσμης, καθώς και το φαινόμενο μερικού όγκου και τις παγίδες που σχετίζονται με την ανακατασκευή της εικόνας .

Ποιότητα της εικόνας

Παρόλο που όλες αυτές οι ποδιές έχουν αποδειχθεί ότι παρέχουν μείωση της δόσης στον οφθαλμικό φακό, το ερώτημα του τρόπου λειτουργίας τους και της επίδρασης που έχουν στην ποιότητα της εικόνας εξακολουθεί να παραμένει.

Λόγω της παρουσίας artifacts που εκτείνονται στον εγκέφαλο, τα οποία επηρεάζουν κυρίως τον κατώτερο μετωπιαίο λοβό και τις πρόσθιες κροταφικές περιοχές, πολυάριθμες μελέτες έχουν συμβουλεύσει την μη χρήση θωράκισης με βισμούθιο. Αυτά τα artifacts οδήγησαν, σε ορισμένες περιπτώσεις, σε μη διαγνωστικές εικόνες, γεγονός που κατέστησε αναγκαία την επανάληψη των σαρώσεων.

Επιπλέον, η χρήση βισμούθιου προκαλεί σκλήρυνση της δέσμης και αναποτελεσματική χρήση των φωτονίων που μεταφέρουν πληροφορίες, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση του θορύβου της εικόνας και σε ανακριβή αναπαράσταση των αριθμών HU της αξονικής τομογραφίας. Αρκετές μελέτες έχουν καταδείξει ότι το ποσοστό κυμαίνεται μεταξύ 50 και 65 %.

Πάραυτα, υπάρχουν και πολυάριθμες μελέτες που συνηγορούν υπέρ της χρήσης του βισμούθιου και υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχει σημαντική επίπτωση στην ποιότητα της εικόνας. Ενώ όλες αυτές οι μελέτες συμφωνούν ότι τα artifacts που δημιουργούνται υποβαθμίζουν την ποιότητα της εικόνας, η πλειονότητά τους προτείνει επίσης ότι τα artifacts μπορούν να μειωθούν σε αποδεκτό διαγνωστικό επίπεδο αφήνοντας ένα μικρό κενό μεταξύ του οφθαλμικού φακού και της ποδιάς.

Οι ερευνητές Raissaki et al. χρησιμοποίησαν διπλωμένες γάζες για να ανασηκώσουν την ασπίδα μακριά από τα μάτια των εξεταζομένων, γεγονός που μείωσε σημαντικά τον αριθμό των artifacts που παράγονταν. Αξιολογήθηκαν τρεις διαφορετικές αποστάσεις των 5, 10 και 20 χιλιοστών και διαπιστώθηκε ότι και οι τρεις μείωσαν σημαντικά τα artifacts αλλά με αποτέλεσμα μόνο μικρές μειώσεις της δόσης.

Στα πέντε, δέκα και είκοσι χιλιοστά, αντίστοιχα, καταγράφηκε μείωση δόσης 32%, 30% και 29%. Αυτό συμβαίνει σε σύγκριση με τη μείωση της δόσης κατά 32 τοις εκατό που καταγράφηκε μετά την άμεση τοποθέτηση της ποδιάς.

Υπάρχουν πολλές ανταγωνιστικές θεωρίες σχετικά με την ποιότητα της εικόνας, οι οποίες εμποδίζουν την ευρεία χρήση της θωράκισης του μαστού με βισμούθιο. Υπάρχει ένας αριθμός μελετών που υποστηρίζουν τη χρήση της θωράκισης με βισμούθιο με σκοπό τη μείωση της δόσης του μαστού. Οι μελέτες αυτές υποδηλώνουν ότι μπορεί να επέλθει αποδεκτή μείωση της ποιότητας της εικόνας χωρίς καμία επίδραση στο ποσο διαγνωστική είναι η εξέταση.

Οι Einstein et al. διερεύνησαν τη χρήση ποδιών από βισμούθιο κατά τη διάρκεια εξετάσεων στεφανιογραφίας με αξονική τομογραφία και διαπίστωσαν ότι δε δημιουργήθηκαν σημαντικά artifacts. Ξεχωριστά, σε μελέτη που διεξήχθη από τον Colletti διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχε σημαντική επίπτωση στον λόγο σήματος προς θόρυβο ή στην ποιότητα της εικόνας.

Σε αντίθεση με αυτά τα ευρήματα, ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες μελέτες στο προαναφερθέν σώμα ερευνών που συνηγορούν κατά της χρήσης ποδιών μαστού από βισμούθιο. Η ποσότητα του θορύβου της εικόνας έχει αποδειχθεί ότι αυξάνεται σημαντικά σε αρκετές από αυτές τις μελέτες. Στη μελέτη των Wang et al. διαπιστώθηκε θόρυβος εικόνας τόσο στην καρδιά όσο και στον πνεύμονα, με την ποσότητα του θορύβου να αυξάνεται πιο κοντά στην ποδιά. Από την άλλη πλευρά, στη μελέτη των Einstein et al. διαπιστώθηκε ότι ο αυξημένος θόρυβος στην εικόνα επηρέαζε την απεικόνιση των στεφανιαίων αρτηριών. Ακόμα, οι ερευνητές ανέφεραν την ύπαρξη ψευδοεικόνων όπως οι ραβδώσεις και η σκλήρυνση της δέσμης. Υπάρχουν στοιχεία σχετικά με τις αλλαγές στους αριθμούς αξονικής τομογραφίας που εντοπίζονται στις περιοχές της καρδιάς και των πνευμόνων. Σύμφωνα με τα ευρήματα αυτών των μελετών, μια τέτοια μεταβολή στους αριθμούς CT μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στον χαρακτηρισμό της αθηρωματικής πλάκας και στη βαθμολόγηση του ασβεστίου των στεφανιαίων αρτηριών.

Η ποιότητα της εικόνας και η ακρίβεια των αριθμών αξονικής τομογραφίας (H.U) μπορούν αμφότερα να επηρεαστούν αρνητικά από τη χρήση ποδιών βισμούθιου. Έχουν αναφερθεί σημαντικές αυξήσεις του θορύβου της εικόνας στους επιφανειακούς ιστούς, με τον θόρυβο να μειώνεται σταδιακά όσο προχωρά κανείς βαθύτερα στον ασθενή. Παρόλο που αρκετές μελέτες έχουν προτείνει ότι η διατήρηση κάποιας απόστασης μεταξύ της ποδιάς μαστού και του ασθενούς εξαλείφει αυτό το φαινόμενο, μια μελέτη που διεξήχθη από τους McCollough et al σχετικά με την επίδραση των ακτινοπροστατευτικών εξαρτημάτων μαστού βισμούθιου έδειξε ότι υπήρχε αύξηση του θορύβου εντός του θώρακα ακόμη και όταν υπήρχε απόσταση 6 cm μεταξύ τους.

Επιπλέον, οι ιδιότητες εξασθένησης της ποδιάς μπορεί να προκαλέσουν σκλήρυνση της δέσμης και artifacts ραβδώσεων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν την ποιότητα της εικόνας.

Η ύπαρξη αυτών έχει αποδειχθεί ότι έχει επιζήμια επίδραση στην ακρίβεια και την ποσοτική μέτρηση των αριθμών της αξονικής τομογραφίας σε διάφορες μελέτες. Κατά τη διάρκεια αξονικών τομογραφιών θώρακος, η επίδραση της εξασθένησης της θωράκισης από βισμούθιο αναλύθηκε ποσοτικά σε μια μελέτη από τους Goldin et al. Χρησιμοποίησαν ένα στερεό ομοίωμα νερού για τη διεξαγωγή της έρευνάς τους. Ανέφεραν μια αλλαγή στον αριθμό CT έως και 50,6 μονάδες Hounsfield (HU) κοντά στην επιφάνεια του-ομοιώματος, με τις αλλαγές να μειώνονται με την αύξηση της απόστασης από την ποδιά. Ανέφεραν επίσης ότι οι μεταβολές αυξάνονταν με την αύξηση του αριθμού CT. Το φαινόμενο αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιθανό λανθασμένο χαρακτηρισμό και λανθασμένη διάγνωση μιας ποικιλίας παθολογιών, γεγονός που ενισχύει το επιχείρημα κατά της θωράκισης με βισμούθιο. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η ποσοτική αξιολόγηση των αριθμών των αξονικών τομογραφιών είναι απαραίτητη για τη διάγνωση,

Η χρήση της θωράκισης με βισμούθιο σε συνδυασμό με την AEC προκαλεί από μόνη της μια δεύτερη ανησυχία. Η AEC τροποποιεί δυναμικά την παροχή ακτινοβολίας του αξονικού τομογράφου με βάση την εξασθένηση του ασθενούς, αυξάνοντας τη ροή των ακτίνων X όταν έρχεται σε επαφή με μια περιοχή που έχει υψηλότερη εξασθένηση. Παρά το γεγονός ότι η χρήση θωράκισης από βισμούθιο σε συνδυασμό με την AEC έχει αποδειχθεί σε αρκετές μελέτες ότι οδηγεί σε βελτιωμένη μείωση της δόσης. Η ακατάλληλη εφαρμογή της τεχνικής μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτες και δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στη δόση όσο και στην ποιότητα της εικόνας.

Η συντριπτική πλειονότητα των αξονικών τομογράφων εφαρμόζει αλγόριθμους AEC, οι οποίοι προέρχονται κυρίως από την εικόνα τοποθέτησης που λαμβάνεται πριν από την λήψη της αξονικής τομογραφίας. Εάν η ποδιά τοποθετηθεί πριν από τη σάρωση, τότε το σύστημα θα αυξήσει το ρεύμα της λυχνίας για να αντισταθμίσει την αυξημένη εξασθένιση που προκαλείται από την ποδιά. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση της δόσης που λαμβάνει το όργανο καθώς και ο ασθενής στο σύνολό του. Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη από τον Colletti και τους συνεργάτες του, η μετακίνηση της ποδιάς μπροστά από τον ανιχνευτή κατά τη διάρκεια μιας αξονικής τομογραφίας θώρακος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση κατά 29% της δόσης ακτινοβολίας που παρέχεται στον κεντρικό μαστό και κατά 20% της δόσης ακτινοβολίας που παρέχεται στον ασθενή στο σύνολό του. Επιπλέον, η χρήση τους σε συστήματα αξονικής τομογραφίας όπου ο αλγόριθμος AEC διαμορφώνεται κατά τη διάρκεια της αξονικής τομογραφίας πρέπει να αποκλειστεί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα αυξάνει συνεχώς το ρεύμα της λυχνίας ως απόκριση στην ποδιά, γεγονός που λειτουργεί ενάντια στο επιδιωκόμενο όφελος της. Τέλος, έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση της θωράκισης με βισμούθιο δεν αποτελεί αποτελεσματική μέθοδο για την προστασία των ασθενών από την ακτινοβολία.

Οι θωρακίσεις βισμούθιου όχι μόνο μειώνουν την ένταση της δέσμης ακτίνων X που κατευθύνεται προς την πρόσθια κατεύθυνση, αλλά μειώνουν επίσης την ένταση της δέσμης που κατευθύνεται προς την οπίσθια κατεύθυνση αφού περάσει μέσα από τον ασθενή. Αυτό υποδηλώνει ότι τα φωτόνια που μεταφέρουν πληροφορίες και έχουν εισέλθει από πίσω και έχουν εναποθέσει δόση στον ασθενή θα εξασθενήσουν από την ποδιά και δεν θα μπορέσουν να φτάσουν στον ανιχνευτή για να συμβάλουν στο σχηματισμό μιας εικόνας. Οι ερευνητές DeMaio και οι συνεργάτες του ανέφεραν απώλεια δεδομένων έως και πενήντα τοις εκατό.

Εναλλακτικές τεχνικές

Επειδή υπάρχουν τόσες πολλές ιδέες σχετικά με τη χρήση των ποδιών βισμούθιου που έρχονται σε σύγκρουση μεταξύ τους, η πιο πρόσφατη έρευνα έχει επικεντρωθεί σε εναλλακτικές στρατηγικές μείωσης της δόσης που προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τόσο τη δόση όσο και την ποιότητα της εικόνας κατά τη διεξαγωγή των διαδικασιών αξονικής τομογραφίας. Η τάση αυτή συνάδει με την τρέχουσα δήλωση της AAPM, η οποία υποδηλώνει ότι "υπάρχουν άλλες τεχνολογίες που μπορούν να παρέχουν το ίδιο επίπεδο μείωσης της πρόσθιας δόσης με ισοδύναμη ή ανώτερη ποιότητα εικόνας, οι οποίες δεν έχουν αυτά τα μειονεκτικά αποτελέσματα".

Η διαμόρφωση του ρεύματος (mAs) με βάση τον αλγόριθμο (OBTCM), η συνολική διαμόρφωση του ρεύματος (mAs) και οι αλγόριθμοι επαναληπτικής ανακατασκευής είναι μερικές από τις πιο υποσχόμενες εναλλακτικές τεχνικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συζήτηση

4.1 Συζήτηση

Η σαφής κατανόηση των ανατομικών και φυσιολογικών αλλαγών κατά την εγκυμοσύνη, η συστηματική κλινική αξιολόγηση, η επαρκής γνώση των ασφαλών ορίων των ακτινολογικών εξετάσεων και η διεπιστημονική προσέγγιση είναι απαραίτητες για την έγκαιρη διάγνωση και θεραπεία των εγκύων γυναικών.

Καθημερινά, οι κλινικοί γιατροί έρχονται αντιμέτωποι με το κοινό κλινικό ερώτημα της επιλογής της απεικονιστικής μεθόδου που είναι η καταλληλότερη για τις έγκυες ασθενείς. Η γενική αρχή που διέπει την απεικόνιση κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης είναι πολύ παρόμοια με εκείνη που διέπει την απεικόνιση του γενικού πληθυσμού: στόχος είναι να εκτεθεί η ασθενής στη μικρότερη δυνατή ποσότητα ακτινοβολίας.

Όταν πρόκειται για τον καθορισμό των καταλληλότερων απεικονιστικών μελετών που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, μία από τις σημαντικότερες εκτιμήσεις είναι η ποσότητα της ακτινοβολίας που θα εκτεθεί το έμβρυο.

Προκειμένου να επιλεγεί ο καταλληλότερος τρόπος διαγνωστικής απεικόνισης, είναι απαραίτητο να υπάρχει κατανόηση των επιπτώσεων που έχει η έκθεση στην ακτινοβολία στο έμβρυο, του βαθμού στον οποίο κάθε τρόπος απεικόνισης εκθέτει το έμβρυο στην ακτινοβολία και των μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της έκθεσης του εμβρύου στην ακτινοβολία. Παρόλο που είναι εξαιρετικά σημαντικό να μειωθεί το ποσοστό της ακτινοβολίας στο οποίο εκτίθεται ένα έμβρυο όσο είναι ανθρωπίνως δυνατό, είναι εξίσου σημαντικό να λαμβάνεται υπ' όψιν ότι οι διαγνωστικές εξετάσεις δεν πρέπει να αποφεύγονται από φόβο για την έκθεση στην ακτινοβολία, ιδίως όταν αυτές έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν σημαντικά τη διαχείριση του ασθενούς. Κατά τη διάρκεια αυτής της δραστηριότητας, έγινε αναφορά στις συνέπειες που έχει η έκθεση στην ακτινοβολία σε ένα έμβρυο, για τους βαθμούς έκθεσης στην ακτινοβολία που προκαλούνται από κάθε τύπο μεθόδου και για τις μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της έκθεσης του εμβρύου στην ακτινοβολία.

Η ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο κάθε απεικονιστική τεχνική συμβάλλει στη δόση ακτινοβολίας που λαμβάνει το έμβρυο θα βοηθήσει σημαντικά στην επιλογή της απεικονιστικής μελέτης που είναι η καταλληλότερη για τον σκοπό της παροχής διαγνωστικών πληροφοριών υψηλότερης ποιότητας με τη μικρότερη δυνατή έκθεση σε ακτινοβολία.

4.2 Συστάσεις-προοπτικές για μελλοντική έρευνα

Οι συνέπειες της έκθεσης των εμβρύων σε ακτινοβολία βασίζονται κυρίως σε παρατηρήσεις και όχι σε λεπτομερείς επιστημονικές έρευνες. Ηθικά ζητήματα απαγορεύουν την έρευνα στο έμβρυο. Η επαγγελματική έκθεση σε ακτινοβολία για μια έγκυο εργαζόμενη θα πρέπει να παρακολουθείται για να διασφαλίζεται ότι το συνολικό ποσό έκθεσης σε ακτινοβολία είναι κάτω από το ρυθμιστικό όριο (1 mSv). Η απόφαση της πρακτικής για την επιλογή του καταλληλότερου τρόπου απεικόνισης για την εγκυμοσύνη θα πρέπει να βασίζεται στις συνεργατικές απόψεις των ειδικών θεραπόντων κλινικών, εργαστηριακών ιατρών και του ακτινοφυσικού.

Κάθε απεικονιστική μέθοδος διακρίνεται σε κατηγορίες: συνήθως κατάλληλη, μπορεί να είναι κατάλληλη και συνήθως ακατάλληλη. Για παράδειγμα, για μια έγκυο ασθενή που παρουσιάζει πόνο στη δεξιά κάτω κοιλιακή χώρα που υποδηλώνει σκωληκοειδίτιδα, το υπερηχογράφημα και η μαγνητική τομογραφία είναι συνήθως κατάλληλες απεικονιστικές μέθοδοι. Η αξονική τομογραφία κοιλίας και πυέλου με ή χωρίς σκιαγραφικό κατηγοριοποιείται ως πιθανώς κατάλληλη. Η ακτινογραφία κοιλίας, το σπινθηρογράφημα WBC Tc-99m και η χρήση σκιαγραφικού θεωρούνται συνήθως ακατάλληλες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Ο οξύς κοιλιακός πόνος κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης μπορεί να έχει ποικίλες αιτίες, μερικές από τις οποίες είναι μαιευτικές και μερικές όχι μαιευτικές. Οι φυσιολογικές μεταβολές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης αυξάνουν την πιθανότητα η γυναίκα να

εμφανίσει μια οξεία κοιλιακή πάθηση. Όσον αφορά τις καταστάσεις που δεν προκαλούνται από την ίδια την εγκυμοσύνη, είναι πιθανές οι γαστρεντερικές (GI) διαταραχές κάθε είδους. Περίπου το 0,5 % έως 2 % όλων των εγκύων γυναικών θα χρειαστούν χειρουργική επέμβαση για οξείες κοιλιακές παθήσεις που δεν είναι μαιευτικής φύσης. Η διαγνωστική στρατηγική για την ΑΑΠ μπορεί να είναι δύσκολη λόγω των ανατομικών καθώς και των δυναμικών φυσιολογικών αλλαγών που επιφέρει η κύηση, της απροθυμίας για τη χρήση ακτινολογικών διαγνωστικών μεθόδων, όπως η ακτινογραφία ή η αξονική τομογραφία (CT), και του χαμηλού ορίου για την υποβολή της ασθενούς σε επείγουσα χειρουργική επέμβαση. Αυτοί οι παράγοντες συνδυάζονται και καθιστούν τη διαγνωστική στρατηγική για την ΑΑΠ δύσκολη. Όταν μια γυναίκα είναι έγκυος, μπορεί να είναι δύσκολη η διενέργεια φυσικής εξέτασης της κοιλιάς από μόνη της. Ως άμεση συνέπεια αυτού, έχει αντίκτυπο στην κλινική παρουσίαση, στην ερμηνεία των φυσικών ευρημάτων και στην αλλαγή του φυσιολογικού εύρους των εργαστηριακών παραμέτρων. Για παράδειγμα, ακόμη και ελλείψει οποιασδήποτε λοίμωξης, η εγκυμοσύνη από μόνη της μπορεί τυπικά να προκαλέσει αριθμό λευκών αιμοσφαιρίων που κυμαίνεται από 6.000 έως 30.000/L, μιμούμενη έτσι μια οξεία λοίμωξη. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως "φαινόμενο εγκυμοσύνης".

Θα πρέπει να εφαρμοστεί μια πολιτική που θα λαμβάνει υπόψη την αναγκαιότητα και το όφελος από την εκτέλεση της ακτινοβολίας, καθώς και τους πραγματικούς κινδύνους για το αναπτυσσόμενο παιδί ή έμβρυο, προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι των επιπτώσεων της ακτινοβολίας στα έμβρυα.

Αυτό θα πρέπει να γίνει με τρόπο που να μην θέτει σε κίνδυνο τη διαγνωστική μελέτη και να μην προκαλεί καθυστέρηση στη διάγνωση της μητέρας.

Το ποσό της έκθεσης σε ακτινοβολία που είναι επικίνδυνο είναι ανάλογο με το ποσό της δόσης ακτινοβολίας που απορροφάται, τον τύπο της ακτινοβολίας και το όργανο ή τον ιστό που κτινοβολείται. Οι ντετερμινιστικές και οι στοχαστικές είναι οι δύο γενικές ταξινομήσεις που μπορούν να εφαρμοστούν στις βιολογικές επιδράσεις. Η παρουσία τερατογόνων επιδράσεων μπορεί να προβλεφθεί με μεγάλη ακρίβεια και η σοβαρότητα αυτών των επιδράσεων συσχετίζεται με τη δόση, τη διάρκεια και την εβδομάδα έκθεσης.

Υπάρχει εκτεταμένη έλλειψη γνώσεων μεταξύ των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης σχετικά με τους τρόπους με τους οποίους η ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιδράσεις.

Η τερατολογική συμβουλευτική είναι κρίσιμης σημασίας και θα πρέπει να ενθαρρύνεται για λόγους υποστήριξης της ευημερίας τόσο των μητέρων όσο και των νεογνών.

Σύμφωνα με τα ευρήματα διαφόρων μελετών, ο φόβος και το άγχος αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα αποβολής μιας εγκυμοσύνης. Το ευρύ κοινό και ιδίως οι γυναίκες που είναι έγκυες, έχουν την τάση να υπερεκτιμούν τον κίνδυνο που συνδέεται με την ακτινοβολία. Η τάση αυτή μπορεί να προκύπτει ως συνέπεια της υποχρεωτικής προειδοποιητικής πινακίδας που συνήθως αναγράφεται "Οι έγκυες γυναίκες δεν πρέπει να εισέρχονται ή σε περίπτωση πιθανής εγκυμοσύνης να αναφερθελι στο προσωπικό", η οποία τοποθετείται στην πόρτα εισόδου των θαλάμων ακτινογραφίας, της διαθεσιμότητας αντιφατικών πληροφοριών σχετικά με την ακτινοβολία στο διαδίκτυο.

Συμπερασματικά, η συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε ακτινοβολία και της απόφασης για διακοπή εγκυμοσύνης, που διαφορετικά θα ήταν επιθυμητή, αποτελεί πρόβλημα για τη δημόσια υγεία. Η προοπτική να αποκτηθεί ένα παιδί που θα γεννηθεί με σοβαρές γενετικές ανωμαλίες είναι η πηγή της πρωταρχικής ανησυχίας των γονέων. Η ζωή της ασθενούς, η ελαχιστοποίηση των πιθανών κινδύνων για την ασθενή και η προστασία τους από κατηγορίες για κακή διαχείριση περιστατικού είναι οι πρωταρχικές ανησυχίες του μαιευτήρα.

Η τερατολογική συμβουλευτική θα χρησιμεύσει ως διεπαφή για την ανακούφιση μέρους της πίεσης που έχει ασκηθεί στον θεράποντα ιατρό και στην οικογένεια κατά τη διαδικασία αποφυγής παρερμηνειών.

Είναι απαραίτητη η μεθοδική προσέγγιση προκειμένου να καταλήξει κανείς σε ακριβή και άμεση διάγνωση των δυνητικά απειλητικών για τη ζωή καταστάσεων, οι οποίες, αν δεν γίνουν, θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την υγεία της μητέρας καθώς και του αναπτυσσόμενου εμβρύου.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ξενόγλωσσες

- Abushouk, A. I., Taheri, M. S., Pooransari, P., Mirbaha, S., Rouhipour, A., & Baratloo, A. (2017). Pregnancy screening before diagnostic radiography in emergency department; an educational review. *Emergency*, 5(1). 21-33/ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5585830/>
- Aggenbach, L., Zeeman, G. G., Cantineau, A. E. P., Gordijn, S. J., & Hofker, H. S. (2015). Impact of appendicitis during pregnancy: no delay in accurate diagnosis and treatment. *International Journal of Surgery*, 15, 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2015.01.025>
- Anas, E. R., Onsy, A., & Matuszewski, B. J. (2020). CT Scan Registration with 3D Dense Motion Field Estimation Using LSGAN. In *Annual Conference on Medical Image Understanding and Analysis* (pp. 195-207). Springer, Cham. https://doi.10.1007/978-3-030-52791-4_16
- Atci, I. B., Yilmaz, H., Antar, V., Ozdemir, N. G., Baran, O., Sadillioglu, S., & Topacoglu, H. (2017). What do we know about ALARA? Is our knowledge sufficient about radiation safety? *Journal of Neurosurgical Sciences*, 61(6), 597-602. <https://doi.org/10.23736/s0390-5616.16.03418-4>
- Baruch, Y., Canetti, M., Blecher, Y., Yogev, Y., Grisaru, D., & Michaan, N. (2020). The diagnostic accuracy of ultrasound in the diagnosis of acute appendicitis in pregnancy. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 33(23), 3929-3934. <https://doi.org/10.1080/14767058.2019.1592154>
- Bedford, P. J. (2012). Routine CT scan combined with preliminary examination as a new method in determining the need for autopsy. *Forensic science, medicine, and pathology*, 8(4), 390-394. <https://doi.org/10.1007/s12024-012-9349-7>
- Bell, L. A. (2016). Promoting Radiation Safety Protocols in Computed Tomography. *Radio-logic Technology*, 87(3), 344-348. <https://doi.org/10.1016/3320491>
- Benmalek, E., Elmhamdi, J., & Jilbab, A. (2021). Comparing CT scan and chest X-ray imaging for COVID-19 diagnosis. *Biomedical Engineering Advances*, 1, 100003. <https://doi.org/10.1016/j.bea.2021.100003>

- Bhandary, A., Prabhu, G. A., Rajinikanth, V., Thanaraj, K. P., Satapathy, S. C., Robbins, D. E., & Raja, N. S. M. (2020). Deep-learning framework to detect lung abnormality—A study with chest X-Ray and lung CT scan images. *Pattern Recognition Letters*, *129*, 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2019.11.013>
- Bouyou, J., Gaujoux, S., Marcellin, L., Leconte, M., Goffinet, F., Chapron, C., & Dousset, B. (2015). Abdominal emergencies during pregnancy. *Journal of visceral surgery*, *152*(6), 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2015.09.017>
- Chung, J. H., Chawla, A., Peljto, A. L., Cool, C. D., Groshong, S. D., Talbert, J. L., & Lynch, D. A. (2015). CT scan findings of probable usual interstitial pneumonitis have a high predictive value for histologic usual interstitial pneumonitis. *Chest*, *147*(2), 450-459. <https://doi.org/10.1378/chest.14-0976>
- Cohen, M. D. (2016). Point: should the ALARA concept and image gently campaign be terminated? *Journal of the American College of Radiology*, *13*(10), 1195-1198. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2016.04.023>
- Dane, B., O'Donnell, T., Liu, S., Vega, E., Mohammed, S., Singh, V., & Megibow, A. (2021). Radiation dose reduction, improved isocenter accuracy and CT scan time savings with automatic patient positioning by a 3D camera. *European Journal of Radiology*, *136*, 109537. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109537>
- Franca Neto, A. H. D., Amorim, M. M. R. D., & Nóbrega, B. M. S. V. (2015). Acute appendicitis in pregnancy: literature review. *Revista da Associação Médica Brasileira*, *61*, 170-177. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.61.02.170>
- Gillespie, C., Foley, S., Rowan, M., Ewins, K., NiAinle, F., & MacMahon, P. (2019). The OPTICA study (Optimised Computed Tomography Pulmonary Angiography in Pregnancy Quality and Safety study): rationale and design of a prospective trial assessing the quality and safety of an optimised CTPA protocol in pregnancy. *Thrombosis Research*, *177*, 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2019.03.007>
- Gong, X., Song, L., Li, H., Li, L., Jin, W., Yu, K., & Lu, Z. (2020). CT characteristics and diagnostic value of COVID-19 in pregnancy. *PLoS One*, *15*(7), e0235134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235134>

- Guilbaud, L., Beghin, D., Dhombres, F., Blondiaux, E., Friszer, S., Le Pointe, H. D., & Jouanic, J. M. (2019). Pregnancy outcome after first trimester exposure to ionizing radiations. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 232, 18-21. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2018.11.001>
- Hendriks, B. M., Schnerr, R. S., Milanese, G., Jeukens, C. R., Niesen, S., Eijvoogel, N. G., & Das, M. (2019). Computed tomography pulmonary angiography during pregnancy: radiation dose of commonly used protocols and the effect of scan length optimization. *Korean Journal of Radiology*, 20(2), 313-322. <https://doi.org/10.3348/kjr.2017.0779>
- Hermena, S., & Young, M. (2021). *CT-scan Image Production Procedures*. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK574548/>
- Himoto, Y., Kido, A., Moribata, Y., Yamaoka, T., Okumura, R., & Togashi, K. (2015). CT and MR imaging findings of systemic complications occurring during pregnancy and puerperal period, adversely affected by natural changes. *European Journal of Radiology Open*, 2, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2015.05.004>
- Huda, W. (2015). Radiation risks: what is to be done? *American Journal of Roentgenology*, 204(1), 124-127. <https://doi.10.2214/AJR.14.12834>
- Karami, V., & Gholami, M. (2018). Addressing as low as reasonably achievable (ALARA) in pediatric computed tomography (CT) procedures. *Journal of Research in Medical and Dental Science*, 6(5), 104-114. https://www.researchgate.net/profile/Mehrdad-Gholami/publication/328367771_Addresssing_as_Low_as_Reasonably_Achievable_ALARA_in_Pediatric_Computed_Tomography_CT_Procedures/links/5bc9bd6f299bf17a1c5fef0e/Addresssing-as-Low-as-Reasonably-Achievable-ALARA-in-Pediatric-Computed-Tomography-CT-Procedures.pdf
- Kelaranta, A., Mäkelä, T., Kaasalainen, T., & Kortnesniemi, M. (2017). Fetal radiation dose in three common CT examinations during pregnancy—Monte Carlo study. *Physica Medica*, 43, 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2017.09.120>
- Kwan, M. L., Miglioretti, D. L., Marlow, E. C., Bowles, E. A., Weinmann, S., Cheng, S. Y., & Radiation-Induced Cancers Study Team. (2019). Trends in medical imaging during pregnancy in the United States and Ontario, Canada, 1996 to 2016. *JAMA network open*, 2(7), e197249-e197249. <https://doi.10.1001/jamanetworkopen.2019.7249>

- Li, F., Li, J., Zhang, D., & Wu, F. (2018). Role of computed tomography scan in dental trauma: a cross-sectional study. *Dose-Response*, 16(3), 1559325818789837. <https://doi.org/10.1177%2F1559325818789837>
- Lupoi, D., Dragomir, M., Coadă, G., Sanda, A., & Budu, V. (2021). CT scan evaluation of the distance between maxillary sinus floor and maxillary teeth apices. *Romanian Journal of Rhinology*, 11(41), 18-23. <https://doi.org/10.2478/rjr-2021-0004>
- Makaju, S., Prasad, P. W. C., Alsadoon, A., Singh, A. K., & Elchouemi, A. (2018). Lung cancer detection using CT scan images. *Procedia Computer Science*, 125, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.016>
- Mathur, S., Pillenahalli Maheshwarappa, R., Fouladirad, S., Metwally, O., Mukherjee, P., Lin, A. W., & Ditkofsky, N. G. (2020). Emergency imaging in pregnancy and lactation. *Canadian Association of Radiologists Journal*, 71(3), 396-402. <https://doi.org/10.1177%2F0846537120906482>
- Matsunaga, Y., Haba, T., Kobayashi, M., Suzuki, S., Asada, Y. and Chida, K. (2021). Fetal radiation dose of four tube voltages in abdominal CT examinations during pregnancy: A phantom study. *Journal of Applied Clinical Medical Physics (JACMP)*, 22, 178-184. <https://doi.org/10.1002/acm2.13171>
- Maurer, A. (2021). An Early Prediction of Lung Cancer using CT Scan Images. *Journal of Computing and Natural Science*, 39-44. <https://doi.org/10.53759/181X/JCNS202101008>
- Mukherjee, R., & Samanta, S. (2019). Surgical emergencies in pregnancy in the era of modern diagnostics and treatment. *Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology*, 58(2), 177-182. <https://doi.org/10.1016/j.tjog.2019.01.001>
- Panchal, N., Mahmood, L., Retana, A., & Emery, R. (2019). Dynamic navigation for dental implant surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, 31(4), 539-547. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.08.001>
- Pinas-Carrillo, A., & Chandrahara, E. (2017). Abdominal pain in pregnancy: a rational approach to management. *Obstetrics, Gynaecology & Reproductive Medicine*, 27(4), 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.ogrm.2017.01.009>

- Ruan, D., Thomas, D., & Low, D. A. (2015). Objective function to obtain multiple representative waveforms for a novel helical CT scan protocol. *Medical physics*, 42(3), 1164-1169. <https://doi.org/10.1118/1.4906128>
- Safiullah, S., Patel, R., Uribe, B., Spradling, K., Lall, C., Zhang, L., & Landman, J. (2017). Prevalence of protective shielding utilization for radiation dose reduction in adult patients undergoing body scanning using computed tomography. *Journal of endourology*, 31(10), 985-990. <https://doi.org/10.1089/end.2017.0294>
- Salem Salamh, A. B., Salamah, A. A., & Akyüz, H. I. (2021). A study of a new technique of the CT scan view and disease classification protocol based on level challenges in cases of coronavirus disease. *Radiology Research and Practice*, 23-41. <https://doi.org/10.1155/2021/5554408>
- Shahverdi, E., Morshedi, M., Allahverdi Khani, M., Baradaran Jamili, M., & Shafizadeh Barmi, F. (2017). Utility of the CT scan in diagnosing midgut volvulus in patients with chronic abdominal pain. *Case reports in surgery*, 2, 123-141. <https://doi.org/10.1155/2017/1079192>
- Siri, S. K., & Latte, M. V. (2019). A novel approach to extract exact liver image boundary from abdominal CT scan using neutrosophic set and fast marching method. *Journal of Intelligent Systems*, 28(4), 517-532. <https://doi.org/10.1515/jisys-2017-0144>
- Tavolaro, C., Ghaffar, S., Zhou, H., Nguyen, Q. T., Bellabarba, C., & Bransford, R. J. (2019). Is routine MRI of the spine necessary in trauma patients with ankylosing spinal disorders or is a CT scan sufficient? *The Spine Journal*, 19(8), 1331-1339. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.03.004>
- Tolcher, M. C., & Clark, S. L. (2020). Diagnostic imaging and outcomes for non-obstetric surgery during pregnancy. *Clinical Obstetrics and Gynecology*, 63(2), 364-369. <https://doi.org/10.1097/GRF.0000000000000525>
- Tselikas, L., Joskin, J., Roquet, F., Farouil, G., Dreuil, S., Hakimé, A. & Deschamps, F. (2015). Percutaneous bone biopsies: comparison between flat-panel cone-beam CT and CT-scan guidance. *Cardiovascular and interventional radiology*, 38(1), 167-176. <https://doi.org/10.1007/s00270-014-0870-9>

- Ullah, N., Khan, S., Raihan, S., Paran, T. Z., & Jurain, T. (2019). Role of CT-Scan in Detecting Pulmonary Cancer and Possible Metastasis. *Oncology Clinics & Research*, 1(2), 54-60. https://www.researchgate.net/profile/Soumick-Biswas/publication/356389036_Role_of_CT-Scan_in_Detecting_Pulmonary_Cancer_and_Possible_Metastasis/links/6197d13fd7d1af224b092962/Role-of-CT-Scan-in-Detecting-Pulmonary-Cancer-and-Possible-Metastasis.pdf
- Wang, C., & Lundström, C. (2016). CT scan range estimation using multiple body parts detection: let PACS learn the CT image content. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 11(2), 317-325. <https://doi.org/10.1007/s11548-015-1232-z>
- Woussen, S., Lopez-Rendon, X., Vanbeckevoort, D., Bosmans, H., Oyen, R., & Zanca, F. (2016). Clinical indications and radiation doses to the conceptus associated with CT imaging in pregnancy: a retrospective study. *European radiology*, 26(4), 979-985. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-3924-8>
- Wang J, Duan X, Christner JA, Leng S, Grant KL, McCollough CH: Bismuth Shielding, Organ-based Tube Current Modulation and Global Reduction of Tube Current for Dose Reduction to the Eye in Head CT. *Radiology* 2012, 262(1):191-8.
- Wang J, Duan X, Christner JA, Leng S, Yu L, McCollough CH: Radiation Dose Reduction to the Breast in Thoracic CT: Comparison of Bismuth Shielding, Organ-based Tube Current Modulation and Use of a Globally Decreased Tube Current. *Med Phys* 2011, 38(11):6084-6092.
- Lungren MP, Yoshizumi TT, Brady SM, Toncheva G, Anderson-Evans C, Lowry C, et al. Radiation dose estimations to the thorax using organ-based dose modulation. *Am J Roentgenol* 2012;199:W65e73. <https://doi.org/10.2214/AJR.11.7798>.
- Reimann AJ, Davison C, Bjarnason T, Yogesh T, Kryzmyk K, Mayo J, et al. Organ-based computed tomographic (CT) radiation dose reduction to the lenses: impact on image quality for CT of the head. *J Comput Assist Tomogr* 2012;36:334e8. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e318251ec61>.

- Wang J, Duan X, Christner JA, Leng S, Grant KL, McCollough CH. Bismuth shielding, organ-based tube current modulation, and global reduction of tube current for dose reduction to the eye at head CT. *Radiology* 2012;262:191e8. <https://doi.org/10.1148/radiol.11110470>.
- Kim YK, Sung YM, Choi JH, Kim EY, Kim HS. Reduced radiation exposure of the female breast during low-dose chest CT using organ-based tube current modulation and a bismuth shield: comparison of image quality and radiation dose. *Am J Roentgenol* 2013;200:537e44. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9237>.
- Lens dose in routine head CT: comparison of different optimization methods with anthropomorphic phantoms. *Am J Roentgenol* 2015;204:117e23. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.12763>.
- Lee YH, Park E-T, Cho PK, Seo HS, Je B-K, Suh S-I, et al. Comparative analysis of radiation dose and image quality between thyroid shielding and unshielding during CT examination of the neck. *Am J Roentgenol* 2011;196:611e5. <https://doi.org/10.2214/AJR.10.4955>.
- Mathieu KD, Cody DD. Partial arc beam filtration: A novel approach to reducing CT breast radiation dose. *AJR*. 2013, 200(3):601-607.
- Kim MS, Choi J, Kim SY, Kweon DC. Adaptive statistical iterative reconstruction and bismuth shielding for evaluation of dose reduction to the eye and image quality during head CT. *J Korean Phys Soc*. 2014, 64(6):923-928.
- Nikupaavo U, Kaasalainen T, Reijonen V, Ahonen SM, Kortensniemi M. Lens dose in routine head CT: Comparison of different optimization methods with anthropomorphic phantoms. *AJR*. 2015, 204(1):117-123.

- Lawrence S, Seeram E. The current use and effectiveness of bismuth shielding in computed tomography: A systematic review. *Radiol Open J*. 2017, 2(1):7-16.
- Yu, B., Gong, C., Ji, Y. F., Xia, Y., Tu, Y. H., & Wu, W. C. (2020). Predictive parameters on CT scan for dysthyroid optic neuropathy. *International journal of ophthalmology*, 13(8), 1266–1271. <https://doi.org/10.18240/ijo.2020.08.13>
- Zachariah, S. K., Fenn, M., Jacob, K., Arthungal, S. A., & Zachariah, S. A. (2019). Management of acute abdomen in pregnancy: current perspectives. *International journal of women's health*, 11, 119–134. <https://doi.org/10.2147/IJWH.S151501>
- Zhang, H., Han, H., Liang, Z., Hu, Y., Liu, Y., Moore, W., & Lu, H. (2015). Extracting information from previous full-dose CT scan for knowledge-based Bayesian reconstruction of current low-dose CT images. *IEEE transactions on medical imaging*, 35(3), 860-870. <https://doi.10.1109/TMI.2015.2498148>

Διαδικτυακές

- Almen A and Mattsson S 2017 Radiological protection of foetuses and breast-fed children of occupationally exposed women in nuclear medicine—challenges for hospitals *Phys. Medica* 43 172–7
- Andrieu N et al 2006 Effect of chest x-rays on the risk of breast cancer among BRCA1/2 mutation carriers in the International BRCA1/2 Carrier Cohort Study: a report from the EMBRACE, GENEPSO, GEO-HEBON, and IBCCS collaborator‘ group *JCO* 24 3361–66
- Blake M E, Oates M E, Applegate K E and Kuligowska E 2006 American association for women radiologists; association of program directors in radiology. Proposed program guidelines for pregnant radiology residents: a project supported by the American association for women radiologists and the association of program directors in radiology *Acad. Radiol.* 13 391–401 *Commentary* 273–4
- Bochicchio G V, Napolitano L M, Haan J, Champion H and Scalea T 2001 Incidental pregnancy in trauma patients *J. Am. Coll. Surg.* 192 566–9
- Bowerman J, El-Mahdi A M, Stewart Lott J and Julian C G 1968 Radiation abortion in radiotherapy *Radiology* 91 1013–6

Brenner A V et al 2018 Incidence of breast cancer in the life span study of atomic bomb survivors:

1958–2009 *Radiat. Res.* 190 433–44

Brent R L ed 2006 *Fifty Years of Scientific Investigation: The Importance of Scholarship and the Influence of Politics and Controversy* (Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements Taylor Lecture) 2006

Bushberg J T, Seibert J A, Leidholdt E M and Boone J M 2011 *The Essential Physics of Medical Imaging* 3rd edn (Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health)

Cubillo A, Morales S, Goñi E, Matute F, Muñoz J L, Pérez-Díaz D, de Santiago J and

Rodríguez-Lescure A 2021 Multidisciplinary consensus on cancer management during pregnancy *Clin. Transl. Oncol.* 23 1054–66

Dauer L T et al 2015 Society of Interventional Radiology Safety and Health Committee; Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe Standards of Practice Committee. Occupational radiation protection of pregnant or potentially pregnant workers in IR: a joint guideline of the Society of Interventional Radiology and the Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe *J. Vasc. Interv. Radiol.* 26 171–81

Doody M M, Lonstein J E, Stovall M, Hacker D G, Luckyanov N and Land C E 2000 Breast cancer

mortality after diagnostic radiography: findings from the US Scoliosis Cohort Study
Spine

25 2052–63

EPA 1984 Environmental protection agency, radionuclides Background Information Document for October 1984 Final Rules vol 1

Jursinic, P.A., 2007. Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs, for clinical dosimetric measurements. *Medical Physics*, 34(12), pp.4594-4604.

Kase, K.R., 2004. Radiation protection principles of NCRP. *Health Physics*, 87(3), pp.251-257.

Kron, T., 1994. Thermoluminescence dosimetry and its applications in medicine--Part 1:

Physics, materials and equipment. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine / Supported by the Australasian College of Physical Scientists in Medicine and the Australasian Association of Physical Sciences in Medicine*, 17(4), pp.175-199.

Marin, D. et al. (2010). Low-Tube-Voltage, High-Tube-Current Multidetector Abdominal CT: Improved Image Quality and Decreased Radiation Dose with Adaptive Statistical Iterative Reconstruction Algorithm—Initial Clinical Experience¹. *Radiology*, Vol. 254, No. 1, pp.145 -153

McCollough, C.H., Bruesewitz, M.R. & Kofler, J.M., Jr, (2006). CT dose reduction and dose management tools: overview of available options. *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*, Vol. 26, No. 2, pp.503-512, ISSN 1527-1323

Miéville, F.A. et al. (2011). Paediatric cardiac CT examinations: impact of the iterative reconstruction method ASIR on image quality - preliminary findings. *Pediatric Radiology*. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21717165>. ISSN 1432-1998

Mladenov, E. & Iliakis, G. (2011). Induction and repair of DNA double strand breaks: The increasing spectrum of non-homologous end joining pathways. *Mutation Research*, Vol. 711 No. 1-2, pp.61-72, ISSN 0027-5107

National Highway Traffic Safety Administration Fatality Analysis Reporting System, Fatality Analysis and Reporting System Encyclopedia. National Highway Traffic Safety Administration Fatality Analysis Reporting System. Available at: <http://www-fars.nhtsa.dot.gov/Main/index.aspx>

Renker, M. et al. (2011). Evaluation of Heavily Calcified Vessels with Coronary CT Angiography: Comparison of Iterative and Filtered Back Projection Image

Reconstruction. Radiology. Available at:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21693660>, ISSN 1527-1315

Roman, N.M.; Colosi, H. & Pusca, M. (2009). Digital Simulation for Computer Control of Radiological Devices: A Preliminary Model Using Partial Differential Equations,

Proceedings of MediTech 2009 International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology, pp. 37-42, ISBN 978-3-642-04291-1, Cluj-Napoca, Romania, September 23-26, 2009

Chang KH, Lee W, Choo DM, Lee CS, Kim Y. Dose reduction in CT using bismuth shielding: Measurements and monte Carlo simulations. Radiat Prot Dosimetry. 2009; 138(4): 382-388. doi: 10.1093/rpd/ncp278

Ngaile JE, Uiso C, Msaki P, Kazema, R. Use of lead shields for radiation protection of superficial organs in patients under-going head CT examinations. Radiol Prot Dosimetry. 2008; 130(4): 490-498. doi: 10.1093/rpd/ncn095

Higgins J, Green S. Cochrane handbook for systematic re-views of interventions. 2016. Web site. <http://www.cochrane-handbook.org>. Accessed October 23, 2016.

Fleming PS, Koletsi D, Pandis N. Blinded by PRISMA: Are systemic reviewers focusing on PRISMA and ignoring other guidelines? PLoS ONE. 2014; 9(5): e96407. doi: 10.1371/journal.pone.0096407

Stroup DF, Berlin JA, Morton SC, et al. Meta-analysis of observational studies in epidemiology: A proposal for re-reporting. *JAMA*. 2000; 283(15): 2008-2012. doi: 10.1001/jama.283.15.2008

Khan KS, Kunz R, Kleijnen J, Antes, G. Five steps to conducting a systematic review. *J R Soc Med*. 2003; 96(3): 118-121.

Samei E. Pros and cons of organ shielding for CT imaging. *Pediatr Radiol*. 2014; 44(3): 495-500. doi: 10.1007/s00247-014-3084-z

Einstein AJ, Elliston CD, Groves DW, et al. Effect of bismuth breast shielding on radiation dose and image quality in coronary CT angiography. *J Nucl Cardiol*. 2011; 19(1): 100-108. doi: 10.1007/s12350-011-9473-x

Rupcich F, Kyrianiou I, Badal A, Schmidt TG. Energy deposition in the breast during CT scanning: Quantification and implications for dose reduction. *SPIE Medical Imaging (796128)*. 2011. doi: 10.1117/12.878861

Servaes S, Zhu X. The effects of bismuth breast shields in conjunction with automatic tube current modulation in CT imaging. *Pediatr Radiol*. 2013; 43(10): 1287-1294. doi: 10.1007/s00247-013-2687-0

Lai NK, Liao YL, Chen TR, Tyan YS. Real-time estimation of dose reduction for pediatric CT using bismuth shielding. 2011; 46(12): 2039-2043.

Akhlaghi P, Miri-Hakimabad H, Rafat-Motavalli L. Effects of shielding the radiosensitive superficial organs of ORNL pediatric phantoms on dose reduction in computed tomography. *J Med Phys*. 2014; 39(4): 238-246. doi: 10.4103/0971-6203.144490

Sancaktutar AA, Bozkurt Y, Onder H, et al. A new practical model of testes shield. The effectiveness during abdominopelvic computed tomography. *J Androl.* 2012; 35(5): 984-989. doi: 10.2164/jandrol.111.015560

Hopper AD, King SH, Lobell ME, TenHave TR, Weaver JS. The breast: In-plane x-ray protection during diagnostic thoracic CT – Shielding with bismuth radioprotective garments. *Radiology.* 1997; 205(3): 853-858. doi: 10.1148/radiology.205.3.9393547