

Κεφάλαιο 4

Για να σε βλέπω καλύτερα

Η Π.Μ. είναι 46 χρονών, οικοκυρά, από την Λευκωσία, παντρεμένη με φθαρτέμπορα και μια κόρη 19 χρονών. Παρ' όλο που ο άντρας της διαφωνεί με “αχρείαστες” και ακριβές ιατρικές εξετάσεις, η Π.Μ. φροντίζει την υγεία με τακτική ψηλάφηση του στήθους και **μαστογραφία** μια φορά τον χρόνο.

Μυστηριώδης ακτίνες

Στο τέλος του προηγούμενου αιώνα μία μεγάλη ανακάλυψη έδωσε μία νέα διάσταση στη διαγνωστική ιατρική. Πρόκειται για την ανακάλυψη των ακτινών X από τον Βίλχελμ Κόνρατ Ραίντγκεν το 1895. Με αυτές τις ακτίνες ο άνθρωπος απέκτησε πλέον την δυνατότητα να βλέπει τι υπάρχει πίσω από τις αδιαφανείς επιφάνειες, καθώς επίσης και μέσα στο ανθρώπινο σώμα, χωρίς αυτό να υποστεί κάποια επέμβαση. Στα πρώτα πειράματα του ο Ραίντγκεν παρατήρησε ότι αυτές οι ακτίνες μπορούσαν να περάσουν κάθετα μέσα από το χέρι του και να παράγουν σκιές των κοκάλων του πάνω σε φθορίζουσα οθόνη, που βρισκόταν απέναντι από το χέρι του. Στις σημειώσεις του βρέθηκαν κάποια χαρακτηριστικά που είχε σημειώσει για τις ακτίνες X. Τα πρώτα συμπεράσματα που βγήκαν γι' αυτές ήταν:

- είναι διεισδυτικές και ικανές να διαπεράσουν αδιαφανή και συμπαγή υλικά
- είναι αόρατες στο ανθρώπινο μάτι
- μπορούν να είναι αιτία να φθορίζουν διάφορα υλικά και να καταγράφονται σε φωτογραφικό φιλμ

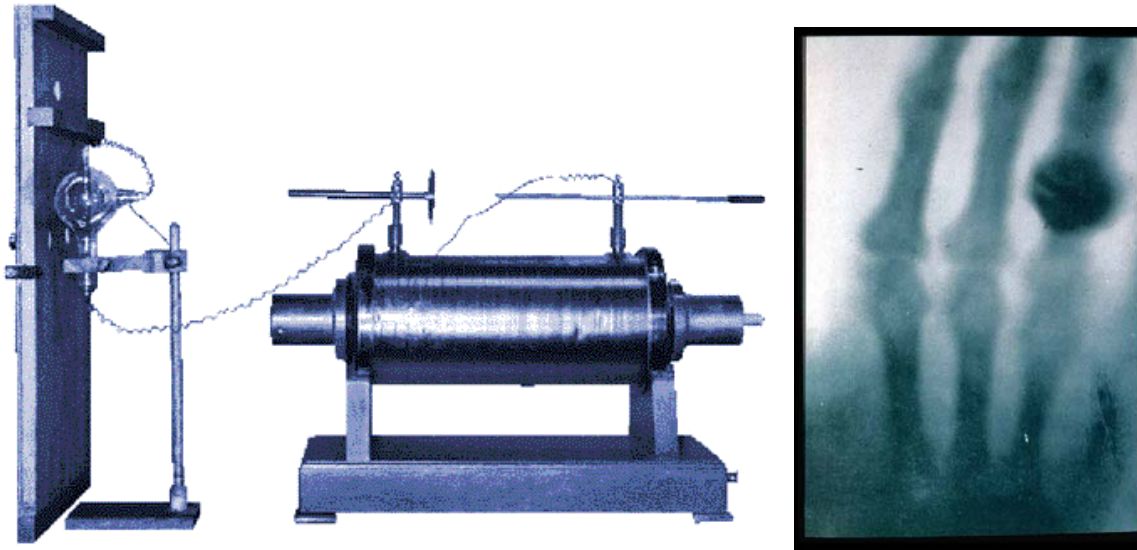
Μετά από ένα χρόνο ο Μπεκερέλ πέτυχε την καθιέρωση των ακτινών X στην ιατρική, αλλά και σε άλλες επιστήμες που στοχεύουν στην βαθύτερη κατανόηση της δομής, ανάπτυξης και λειτουργίας του ανθρώπινου οργανισμού. Πριν από τις ακτίνες X ακόμα και κάτι τόσο απλό όσο η διάγνωση ενός σπασμένου οστού ήταν επώδυνη και αγωνιώδης διαδικασία! Ο χειρουργός ψηλαφούσε τα κοκάλια και τις πληγές και μάλιστα εφάρμοζε πίεση στην περιοχή. Δεν ήταν ασυνήθιστο να γίνονται ακόμα και χειρουργικές επεμβάσεις για να ανακαλυφθεί στο τέλος ότι το οστό δεν ήταν σπασμένο!

Οι ακτίνες X ανακαλύφθηκαν στις 8 Νοεμβρίου του 1895 από το Γερμανό φυσικό Βίλχελμ Κόνρατ Ραίντγκεν. Ο Ραίντγκεν, καταξιωμένος ερευνητής στο Πανεπιστήμιο του Βούρτσμπεργκ, πειραματιζόταν πάνω σε μια παραλλαγή του σωλήνα του Κρουκ δημιουργώντας ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο στο κενό του ηλεκτρικού λαμπτήρα όταν, έκπληκτος, διέκρινε μια λάμψη προερχόμενη από τη φωσφορίζουσα άνοδο του σωλήνα.

Επαναλαμβάνοντας το πείραμα, με τα ίδια αποτελέσματα, ο Ραίντγκεν συμπέρανε πως κάποια μυστηριώδης ακτινοβολία, που παραγόταν μέσα στο σωλήνα, διέγειρε τη φωτοευαίσθητη άνοδο. Αυτή η ακτινοβολία μπορούσε να διαπερνάει την ύλη και, όπως διαπίστωσε αργότερα ο ίδιος, να αφήνει αποτυπώματα στη φωτογραφική πλάκα. Οι ακτίνες ήταν σε θέση να περάσουν ακόμα και ένα τραπέζι από ξύλο ή ένα βιβλίο με 1000 σελίδες. Τις επόμενες επτά εβδομάδες ο Ραίντγκεν δεν εγκατέλειψε ούτε για μια στιγμή το εργαστήριό του. Εργαζόταν ακούραστα πάνω στην εκπληκτική αυτή ανακάλυψη. Τελικά, ζήτησε από τη γυναίκα του να τον βοηθήσει να αποτυπώσει σε φωτογραφική πλάκα την πρώτη του ακτινογραφία, που δεν ήταν άλλη από το ίδιο της το χέρι [1].



Λίγο μετά τα Χριστούγεννα έκανε την πρώτη δημοσίευση της ανακάλυψής του και το 1901 κέρδισε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής, δωρίζοντας το χρηματικό βραβείο στο πανεπιστήμιό του [2].



Η κοινή γνώμη δέχθηκε με μεγάλο ενθουσιασμό την ανακάλυψη των ακτίνων, που ονομάστηκαν ακτίνες X λόγω της μυστηριώδους προέλευσής τους, όπως έγραφαν τον πρώτο καιρό οι εφημερίδες, μπορούσαν να ταξιδεύουν “στον αόρατο κόσμο”, αποκαλύπτοντας σπασμένα κόκαλα, δυσμορφίες ή ξένα αντικείμενα στο ανθρώπινο σώμα.



Λίγες μόνο εβδομάδες μετά την ανακάλυψή τους οι ακτίνες ανέλαβαν τη σπουδαία κοινωνική λειτουργία να εντοπίζουν τα κατάγματα στα ανθρώπινα οστά. Οι εκπληκτικές ακτίνες X εντυπωσίασαν τόσο τους Ευρωπαίους όσο και τους Αμερικανούς. Η ιδέα της θέας του αόρατου ασκούσε ακατανίκητη γοητεία και καθώς ο καθοδικός σωλήνας δεν ήταν παρά μία συνηθισμένη συσκευή εργαστηρίου εκατοντάδες “ειδικοί” έκαναν την εμφάνισή τους από τη μία μέρα στην άλλη. Ακτινογραφίες χρησιμοποιούνταν ακόμα και για εφαρμογή παπουτσιών! Φωτογραφίες που παρίσταναν σκελετούς παρουσιάστηκαν στις εφημερίδες ακόμα και για να διασκεδάσουν τους αναγνώστες. Το ενδιαφέρον που έδειξε το κοινό

πρόσφερε υλικό για πολυάριθμα δημοσιεύματα και χιουμοριστικά σκίτσα, αλλά παράλληλα, στην κοινωνία της βικτωριανής ηθικής, οι εικόνες ανθρώπινων οστών προκάλεσαν έως και φόβο ότι κάποιοι αδίστακτοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τις ακτίνες X για να βλέπουν μέσα από τα ρούχα των συνανθρώπων τους. Μία φίρμα του Λονδίνου διαφήμιζε “εσώρουχα αδιαφανή στις ακτίνες X, για σεμνές κυρίες”.

Η πρώτη εφαρμογή στην ιατρική έγινε από τον Τόμας Έντισον, που εφηύρε το ακτινοσκοπικό μηχάνημα. Η κατάχρηση, όμως, του μηχανήματος είχε σημαντικές παρενέργειες. Φαίνεται πως οι μυστηριώδεις ακτίνες προξενούσαν σοβαρές βλάβες στα κύτταρα. Η υπερέκθεση προκαλούσε τριχόπτωση, εγκαύματα ή ακόμα και τον θάνατο. Η ανάπτυξη ενός νέου κλάδου της ιατρικής, της ακτινολογίας, ήταν πλέον απαραίτητη. Μέσα στα πρώτα είκοσι χρόνια από την ανακάλυψη των ακτίνων X, σχεδόν όλα τα συστήματα της ακτινογραφίας που ξέρουμε σήμερα δοκιμάστηκαν, π.χ. οθόνες με ενισχυτές, τομογραφία (απεικόνιση των συγκεκριμένων επιπέδων), και περιστρεφόμενες άνοδοι [3].

Ο Αρθούρος Γκόντσπιντ κατέγραψε τις πρώτες εικόνες παραμορφωμένων δάχτυλων το 1896, και η πρώτη αγγειογραφία εκτελέσθηκε σε πτώμα επίσης το 1896. Η πρώτη προσπάθεια για μαστογραφία έγινε το 1913, και μια πρώτη αρθρογραφία, με χρήση αέρα, δοκιμάστηκε το 1905 [2]. Το 1927, οι Έγκαζ και Μόνιζ ανέπτυξαν την καρωτιδική αγγειογραφία που χρησιμοποιήθηκε από τον Νόρμαν Ντόττ, που έγινε ο πρώτος χειρουργός που εκτέλεσε επέμβαση σε ένα ενδοκρανιακό ανεύρυσμα που ανιχνεύθηκε με αγγειογραφία [4]. Πολλοί από του πρωτοπόρους στον τομέα της διαγνωστικής απεικόνισης με ακτίνες X πέθαναν από υπερβολική δόση ακτινοβολίας, αλλά λόγω της θυσίας τους, η τεχνολογία έφτασε εκεί που έχει φτάσει σήμερα [1]. Η απεικόνιση με ακτίνες X άνοιξε τον δρόμο για την τομογραφία, τη μαστογραφία, τους υπέρηχους, την πυρηνική ιατρική και την μαγνητική τομογραφία, τεχνικές που έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης ιατρικής [2].

Ποια ήταν η φύση αυτών των ακτινών; Ο Ραϊντγκεν δεν έδωσε κάποια πειστική απάντηση στο ερώτημα. Στο τέλος της ανακοίνωσής του αναρωτιόταν μήπως “οι ακτίνες αυτές οφείλονται σε διαμήκεις ταλαντώσεις μέσα στον αιθέρα” χωρίς όμως να παρουσιάσει κάποιο αποδεικτικό στοιχείο. Τα εργαστηριακά δεδομένα έλεγαν ότι οι ακτίνες X, εκτός από το ότι διαπερνούν αδιαφανή στο φως αντικείμενα, προκαλούν α. φθορισμό, β. αλλοίωση φωτογραφικής πλάκας και γ. μετατροπή του αέρα σε σώμα ηλεκτρικά αγωγίμο. Τέτοιου είδους αποτελέσματα δημιουργούνται τόσο από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως οι υπεριώδεις ακτίνες, όσο και από δέσμη κινουμένων σωματιδίων με ηλεκτρικό φορτίο, όπως οι καθοδικές ακτίνες. Ένα ακόμα εργαστηριακό δεδομένο είναι ότι οι ακτίνες X δεν εκτρέπονται από μαγνητικό πεδίο και το δεδομένο αυτό οδηγεί στην απόρριψη της άποψης για δέσμη κινουμένων σωματιδίων με ηλεκτρικό φορτίο αλλά δεν “αποδεικνύει” ότι πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

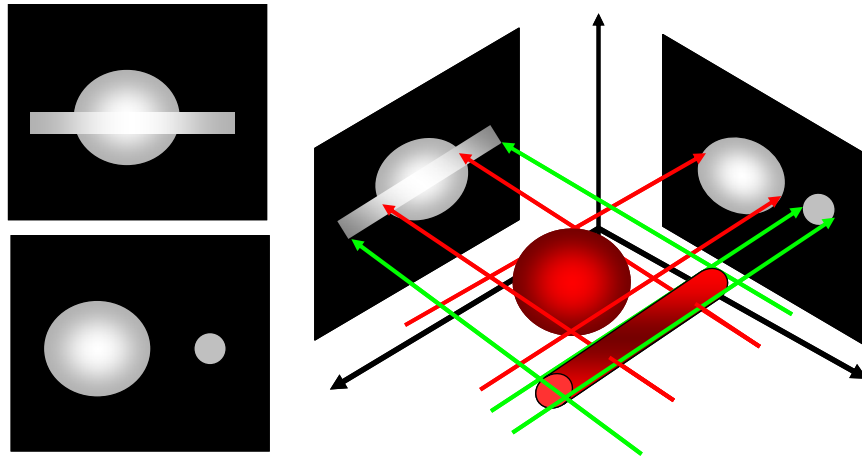
Το ερώτημα για τη φύση των ακτινών X έμεινε, επί 17 χρόνια, αναπάντητο. Το 1912 ο Μαξ βον Λάουε έκανε τη σκέψη ότι εάν οι ακτίνες X ήταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ως οντότητα κυματικού χαρακτήρα θα μπορούσε να δημιουργεί φαινόμενα περίθλασης και απέδειξε εργαστηριακά ότι όντως οι ακτίνες περιθλώνται στα κρυσταλλικά πλέγματα, ενώ συγχρόνως υπολόγισε και το μήκος κύματος των ακτινών. Με τον τρόπο αυτό έπεισε την επιστημονική κοινότητα ότι η υπόθεση για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έπρεπε να γίνει αποδεκτή. Οι ακτίνες X συνιστούν από τότε μία συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος των ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Σήμερα πλέον η επιστήμη της ιατρικής απεικόνισης μέσω των ακτινών X έχει ενηλικιωθεί, και προχωρεί ακάθεκτη προς νέες τεχνικές με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών που εξασφαλίζουν λεπτομερέστερη ανάλυση της εικόνας στην οθόνη υπολογιστή, σε συνδυασμό με όλο και μικρότερες δόσεις ακτινοβολίας.

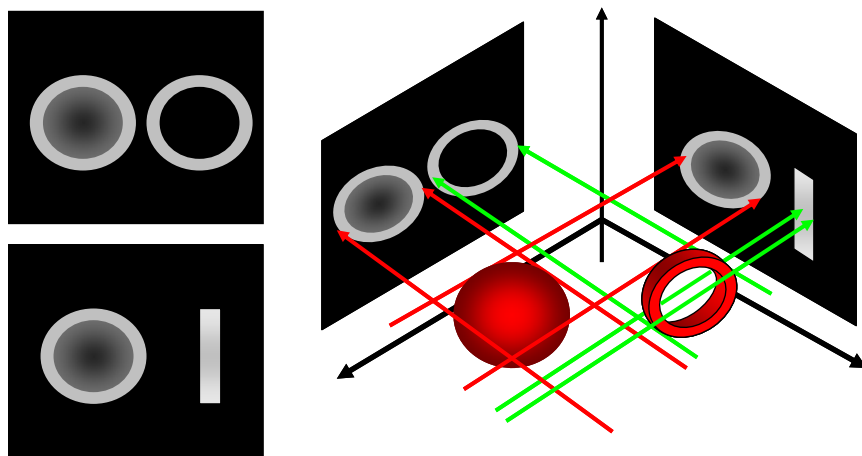
Οι ακτίνες X είναι ένας τύπος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας που έχουν μήκος κύματος περίπου 0.01 έως 10 νανόμετρα (δισεκατομμυριοστά του μέτρου). Είναι λόγω αυτής της υψηλής ενέργειας που βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορους τομείς της ιατρικής όπως στην απεικόνιση και την ακτινοθεραπεία. Οι εξετάσεις με ακτίνες X αποτελούν τουλάχιστον 70% όλων των ιατρικών διαγνωστικών εξετάσεων [5].

Τα διάφορα μέρη του σώματος συμπεριφέρονται διαφορετικά όταν εκτίθενται σε ακτίνες X, π.χ. τα οστά απορροφούν εύκολα τις ακτίνες X ενώ άλλοι ιστοί, όπως το δέρμα, και ο αέρας στους πνεύμονες, επιτρέπουν στις ακτίνες να περάσουν διαμέσου τους. Τα “βαρύτερα” (υψηλότερου ατομικού αριθμού) άτομα ασβεστίου στα οστά απορροφούν τα υψηλής ενέργειας φωτόνια σε αντίθεση με τα “ελαφρύτερα” άτομα (π.χ. οξυγόνο, υδρογόνο, άνθρακα) που συνθέτουν το δέρμα και τον αέρα που απορροφούν ελάχιστα. Επομένως, όταν περνά ένα ομοιόμορφο κύμα ακτινών X μέσω του σώματος, βγαίνοντας έχει διαφορετική ένταση ανάλογα μέσα από ποιο μέρος του σώματος πέρασε. Όταν οι ακτίνες X διαπεράσουν το σώμα, φτάνουν και εκθέτουν φωτογραφικό φιλμ ανάλογα με τις διαφορές στην ένταση. Όταν το φιλμ εμφανισθεί, παρουσιάζει διάφορα έκθεσης υπό την μορφή μιας τυποποιημένης ακτινογραφίας.

Οι ακτινογραφίες είναι προβολές τρισδιάστατων οργάνων σε ένα επίπεδο φωτογραφικό φιλμ. Αυτός ακριβώς είναι ο λόγος για τον οποίο τα διάφορα όργανα φαίνεται να επικαλύπτουν το ένα το άλλο και σε μερικές περιπτώσεις χρειαζόμαστε περισσότερες από μια ακτινογραφίες (από διαφορετικές γωνίες) για να προσδιορίσουμε την πραγματική γεωμετρία του σώματος αλλά και το πραγματικό σχήμα του κάθε αντικειμένου.

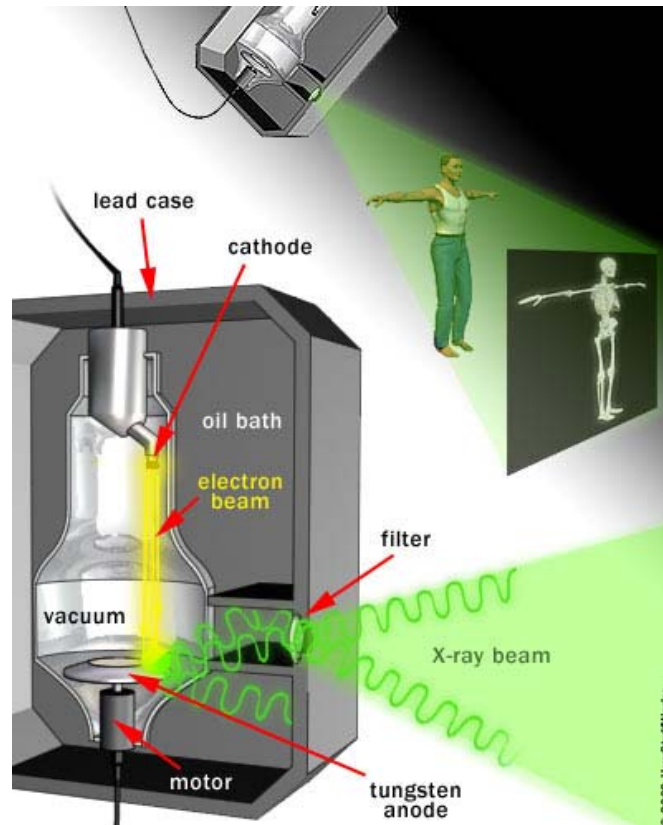


Από την ακτινογραφία πάνω αριστερά δεν ξεχωρίζει ποιο αντικείμενο βρίσκεται μπροστά, ούτε και αν το ένα αντικείμενο είναι τετράγωνη ράβδος ή κύλινδρος. Χρειάζεται και η άλλη προβολή (κάτω αριστερά) για να φανεί αυτό.



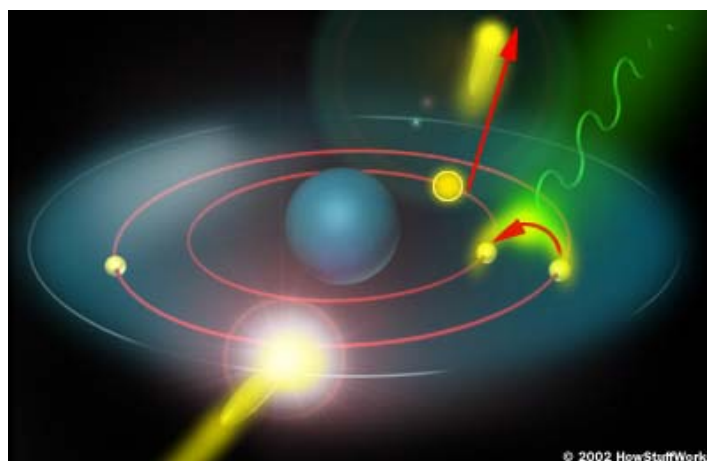
Από την ακτινογραφία πάνω αριστερά δεν ξεχωρίζει ποιο αντικείμενο είναι δακτύλιος και ποιο μια κενή από μέσα σφαίρα. Χρειάζεται και η άλλη προβολή (κάτω αριστερά) για να φανεί αυτό.

Στην καρδιά μιας μηχανής ακτίνων X βρίσκονται ένα ζευγάρι ηλεκτροδίων, μια κάθοδος και μια άνοδος, μέσα σε έναν γυάλινο σωλήνα κενού. Η κάθοδος είναι μια ίνα με αρνητικό φορτίο που θερμαίνεται λόγω του ρεύματος που περνά διαμέσου της. Η θερμότητα απελευθερώνει ηλεκτρόνια από την κάθοδο τα οποία και ελκύει η άνοδος, ένας επίπεδος δίσκος φτιαγμένος από βολφράμιο, που έχει θετικό φορτίο. (Σημείωση: τα ηλεκτρόνια είναι φορτισμένα αρνητικά και έλκονται από το θετικό φορτίο της ανόδου.)



Η μηχανή ακτίνων X

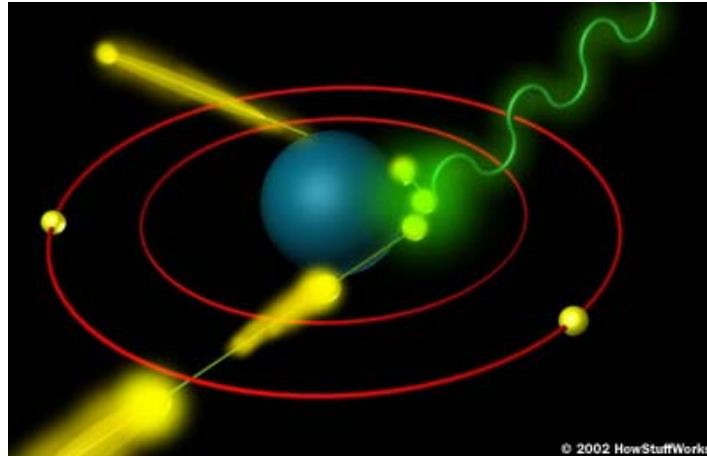
Η διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου είναι πολύ ψηλή και για αυτό τον λόγο τα ηλεκτρόνια αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες καθώς πετούν από την κάθοδο προς την άνοδο. Όταν φτάσουν στην άνοδο, χτυπούν με τόση δύναμη τα ηλεκτρόνια του μετάλλου που καταφέρνουν να απελευθερώσουν μερικά από αυτά που βρίσκονται κοντά στον πυρήνα του ατόμου. Αμέσως, ηλεκτρόνια που βρίσκονται πιο έξω έλκονται από τον πυρήνα και γεμίζουν την άδεια θέση. Κατά την διάρκεια αυτής της κίνησης απελευθερώνουν ενέργεια υπό την μορφή φωτονίων ακτίνων X.



Το ελεύθερο ηλεκτρόνιο συγκρούεται και απελευθερώνει ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται κοντά στον πυρήνα του μετάλλου. Ένα άλλο ηλεκτρόνιο πλησιάζει μια τροχιά πιο κοντά και απελευθερώνει ακτίνες X (πράσινο κύμα)

Καμιά φορά τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μπορούν να εκπέμψουν ακτίνες X χωρίς να συγκρουσθούν με άτομο μετάλλου. Ο πυρήνας του μετάλλου μπορεί να ελκύσει τα ηλεκτρόνια σε βαθμό που να του

ελαττώσει την ταχύτητα και να τους αλλάξει την τροχιά. Αυτή η ελάττωση στην ταχύτητα ισοδυναμεί με ελάττωση στην ενέργεια των ηλεκτρονίων, μια ενέργεια που απελευθερώνεται επίσης υπό την μορφή φωτονίων ακτίνων X.

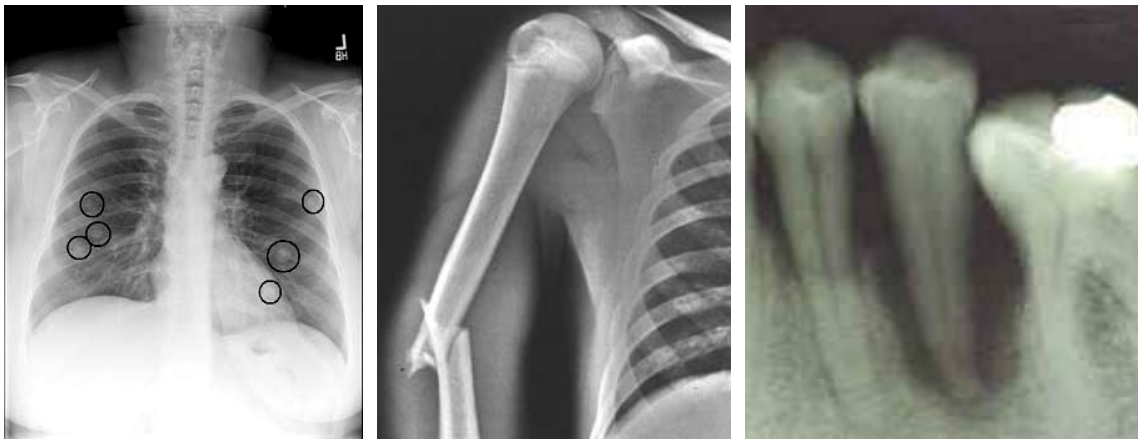


Το ελεύθερο ηλεκτρόνιο έλκεται από τον πυρήνα του μετάλλου και πλησιάζει τον πυρήνα με όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα. Όταν πλησιάζει αρκετά αλλάζει πορεία και ένα μέρος της ενέργειας του απελευθερώνεται ως ακτίνες X.

Οι συγκρούσεις των ηλεκτρονίων στην μηχανή ακτίνων X παράγουν πολλή θερμότητα. Ένα μοτέρ περιστρέφει την άνοδο ώστε να μην λειώσει (η δέσμη ηλεκτρονίων στρέφεται προς διαφορετικές περιοχές της ανόδου). Χρησιμοποιείται επίσης λάδι για ψύξη της μηχανής.

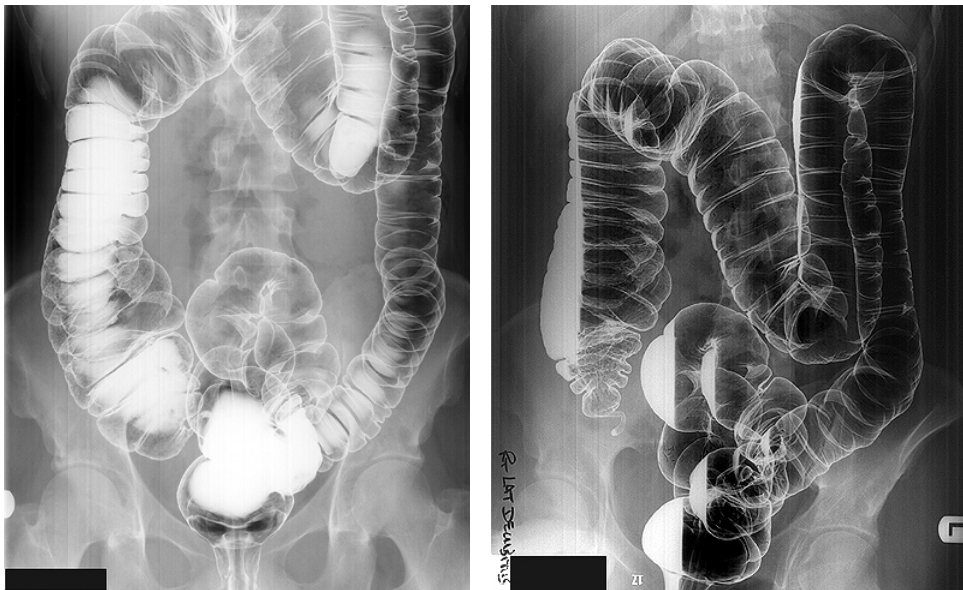
Ολόκληρος ο μηχανισμός περιβάλλεται από ένα χοντρό στρώμα μολύβδου. Με αυτό τον τρόπο οι ακτίνες X δεν μπορούν να διαφύγουν προς όλες τις κατευθύνσεις. Ένα μικρό παράθυρο στην ασπίδα μολύβδου αφήνει μερικά από τα φωτόνια των ακτίνων X να δραπετεύσουν σαν μια καθορισμένη ακτίνα. Η ακτίνα αυτή περνά μέσω μιας σειράς φίλτρων καθοδόν προς τον ασθενή. Μια φωτογραφική μηχανή στην άλλη πλευρά του ασθενή καταγράφει τις ακτίνες X που περνούν μέσα από το σώμα του ασθενή. Η διαδικασία της φωτογράφισης δεν διαφέρει και πολύ από την διαδικασία σε μια συνηθισμένη φωτογραφική μηχανή.

Γενικά, οι γιατροί προτιμούν να αφήσουν το φιλμ στην αρνητική μορφή. Δηλαδή οι περιοχές που εκτίθενται σε περισσότερο φως εμφανίζονται σκοτεινότερες και οι περιοχές που εκτίθενται σε λιγότερο φως εμφανίζονται πιο ανοικτές. Σκληρό υλικό, όπως τα οστά, εμφανίζεται άσπρο, και μαλακότερο υλικό εμφανίζεται μαύρο ή γκριζό. Οι γιατροί μπορούν να φέρουν ξεχωριστά τα διάφορα υλικά πιο εύκολα με το να μεταβάλλουν την ένταση των ακτίνων X.



Παραδείγματα ακτινογραφίας: Ακτινογραφία θώρακα με πολλαπλούς όγκους (αριστερά), κατάγματος του βραχίονα (μέση), και ουλίτιδα (δεξιά).

Σε μια κανονική ακτινογραφία δεν διακρίνονται σαφώς οι μαλακοί ιστοί. Για να μπορέσουν οι γιατροί να εξετάσουν κάποια όργανα ή το κυκλοφοριακό σύστημα πρέπει να εισαγάγουν στο σώμα σκιαγραφικό υλικό. Το σκιαγραφικό υλικό είναι μέσο αντίθεσης το οποίο απορροφά τις ακτίνες X περισσότερο από ότι ο ιστός που θέλουμε να εξετάσουμε. Για παράδειγμα, για να απεικονίσουμε το πεπτικό σύστημα ή μέρη ενδοκρινών αδένων ο ασθενής πρέπει να καταπιεί ένα μίγμα βαρίου. Σκιαγραφικό υλικό χρειάζεται επίσης και για την απεικόνιση των αιμοφόρων αγγείων, όπως είδαμε να γίνεται κατά την στεφανιογραφία. Τα μέσα αντίθεσης χρησιμοποιούνται συχνά από κοινού με φθοροσκόπιο. Στη φθοροσκόπηση, οι ακτίνες X περνούν φτάνουν μέσω του σώματος επάνω σε μια οθόνη φθορισμού, που δημιουργεί μια κινούμενη ακτινογραφία. Οι γιατροί μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη φθοροσκόπηση για να παρακολουθήσουν δυναμικά όλες τις φάσεις της μετάβασης των σκιαγραφικών υλικών μέσω του σώματος. Οι γιατροί μπορούν επίσης να καταγράψουν τις κινούμενες ακτινογραφίες σε ταινία ή βίντεο.



Απεικόνιση του πεπτικού συστήματος (παχύ έντερο) με χρήση σκιαγραφικού υλικού (βαρίου) που εναποτίθεται μέσα και στα τοιχώματα των εντέρων με αποτέλεσμα να φαίνεται ξεκάθαρα το περίγραμμά τους που διαφορετικά θα ήταν πολύ δυσδιάκριτο.

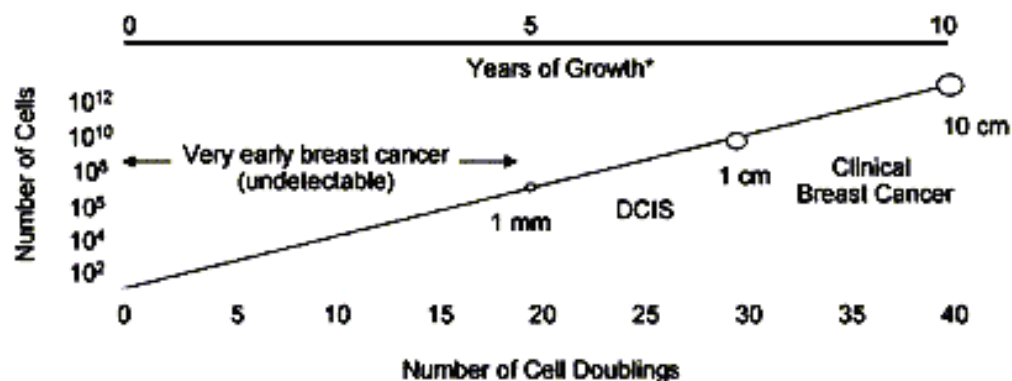
Οι ακτίνες X έφεραν μια επανάσταση στην ιατρική αφού για πρώτη φορά επέτρεψαν στους γιατρούς να κοιτάζουν “μέσα” στους ασθενείς χωρίς να χρειάζεται εγχείρηση. Αλλά οι ακτίνες X μπορούν επίσης να είναι επιβλαβείς. Τις πρώτες ημέρες της ανακάλυψης των ακτίνων X, πολλοί γιατροί εξέθεταν και του εαυτούς τους στην ίδια ακτινοβολία με τους ασθενείς για μακρές χρονικές περιόδους. Όταν τελικά διαφάνηκαν οι πρώτες επιπτώσεις από υπερβολική δόση ακτίνων X η ιατρική κοινότητα συνειδητοποίησε την σοβαρότητα του προβλήματος [6]. Το πρόβλημα είναι ότι οι ακτίνες X είναι μια μορφή ακτινοβολίας ιονισμού. Όταν το κανονικό φως χτυπά ένα άτομο, δεν μπορεί να αλλάξει το άτομο κατά οποιοδήποτε σημαντικό τρόπο. Αλλά όταν μια ακτίνα X χτυπά ένα άτομο, μπορεί να αφαιρέσει ηλεκτρόνια από το άτομο και να δημιουργήσει ένα ιόν, δηλαδή ένα αρνητικά φορτισμένο άτομο. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκρούονται έπειτα με άλλα άτομα και δημιουργούν περισσότερα ιόντα. Αυτά τα ιόντα μπορούν να οδηγήσουν σε αφύσικες χημικές αντιδράσεις μέσα στα κύτταρα. Μεταξύ άλλων, μπορούν να σπάσουν τις αλυσίδες DNA. Ένα κύτταρο με DNA που έχει πάθει σοβαρή ζημιά είτε θα πεθάνει είτε το DNA θα αναπτύξει μια μεταλλαγή. [7] Εάν πολλά κύτταρα πεθαίνουν, ασθενείς θα προσβληθεί από ασθένειες λόγω της καταστροφής των ιστών και της δυσλειτουργίας των οργάνων. Εάν το DNA αλλοιωθεί, ένα κύτταρο μπορεί να εξελιχθεί σε καρκίνο. Εάν η μεταλλαγή είναι σε ένα σπέρμα ή ωάριο, μπορεί να οδηγήσει σε γενετικά προβλήματα στους απογόνους του ασθενή. Λόγω όλων αυτών των κινδύνων, οι ακτίνες X σήμερα χρησιμοποιούνται λιτά. Ακόμη και με αυτούς τους κινδύνους όμως, η ακτινογραφία είναι ακόμα ασφαλέστερη επιλογή

από τη χειρουργική επέμβαση. Οι μηχανές ακτίνων X είναι ένα ανεκτίμητο εργαλείο στην ιατρική, καθώς επίσης και στην ασφάλεια (π.χ. αεροδρόμια) και την επιστημονική έρευνα (π.χ. κρυσταλλογραφία.) Είναι αληθινά μια από τις πιο χρήσιμες εφευρέσεις που έχουν ποτέ ανακαλυφθεί.

Επιστήθιος Όγκος

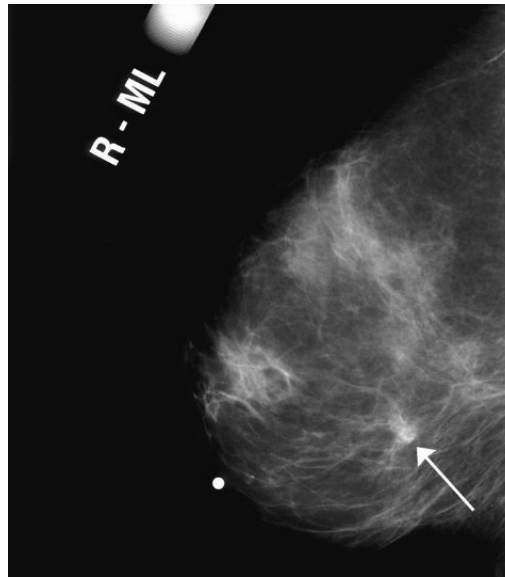
Η μαστογραφία παραμένει η βάση της διάγνωσης του μαστού και ακόμα περισσότερο όταν διαπιστωθεί μια ψηλαφητή ανωμαλία στο μαστό. Μας επιτρέπει την καλύτερη και σφαιρικότερη απεικόνιση της μορφολογίας, της δομής και των παθολογικών αλλοιώσεων του μαστού. Είναι ένα διαγνωστικό μέσο με πολύ υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια για αυτό η διεξαγωγή του απαιτεί αυστηρά κριτήρια όσον αφορά την τεχνική αλλά και την διαγνωστική του.

Ο καρκίνος του μαστού είναι ένα πολύ συχνό κλινικό πρόβλημα- μία στις δέκα γυναίκες στη διάρκεια της ζωής της θα νοσήσει από καρκίνο του μαστού. Έχει αποδειχθεί με πειστικό τρόπο ότι η συστηματική εφαρμογή της προληπτικής μαστογραφίας μπορεί να βελτιώσει την επιβίωση ανιχνεύοντας τον πρώιμο υποκλινικό καρκίνο του μαστού [8]. Οι υποκλινικοί αυτοί καρκίνοι του μαστού μπορούν να αντιμετωπιστούν με επιτυχία χειρουργικά πριν έχουν την ευκαιρία να αποτελέσουν κίνδυνο για τη ζωή της γυναίκας. Επιπρόσθετα για πολλές από τις γυναίκες αυτές με πρώιμο καρκίνο μικρού μεγέθους που δεν έχει επεκταθεί στους λεμφαδένες, η έγκαιρη διάγνωση κάνει περιττή την χημειοθεραπεία βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα ζωής μεγάλου αριθμού ασθενών. Ο τακτικός περιοδικός έλεγχος των μαστών θα πρέπει κατά συνέπεια να συστήνεται emphaticά από τους γιατρούς όλων των ειδικοτήτων που έρχονται σε επαφή με γυναίκες.



*Note 90-day doubling time x 40 doublings = 3600 days (approximately 10 years)
Harris et al. *Breast Diseases*, 2nd ed. 1991:165-189.

Απαιτείται σημαντικό διάστημα αρκετών ετών για την εξέλιξη του καρκίνου του μαστού. Μπορεί να απαιτηθούν έως και 5 έτη για να φτάσει ένα μέγεθος τέτοιο που να επιτρέπει την απεικόνισή του (2-3 mm) και στη συνέχεια να απαιτηθούν άλλα 1-2 έτη για να φτάσει σε μέγεθος όπου ο όγκος θα γίνει κλινικά ψηλαφητός (συνήθως > 1cm³ εξαρτάται ως ένα σημείο από την θέση του όγκου και τις ιδιότητες του ιστού που τον περιβάλλει. Είναι λοιπόν φανερό ότι ο καρκίνος του μαστού μπορεί να διαγνωστεί με τη μαστογραφία και το υπερηχογράφημα 1-2 έτη πριν γίνει αντιληπτός κατά την κλινική εξέταση ή την αυτοεξέταση.



Όγκος μικρού μεγέθους που διαγνώστηκε με αυτοεξέταση και μαστογραφία . Η κλινική εξέταση ήταν αρνητική. Η μαστογραφία ανέδειξε μια μικρή διηθητική βλάβη στο σημείο του ευρήματος της αυτοεξετάσεως. Η βιοψία με βελόνα απέδειξε την παρουσία μικρού (7 χιλιοστών) διηθητικού όγκου.

Ο καρκίνος του ανδρικού μαστού είναι μια σπάνια νοσολογική οντότητα. Η συχνότητα του καρκίνου του ανδρικού μαστού ανέρχεται στο 1% όλων των περιπτώσεων καρκίνου του μαστού. Η πρώτη αναφορά σε καρκίνο του μαστού χρονολογείται μεταξύ 3000 έως 2500 χρόνια προ Χριστού. Η πρώτη κλινική περιγραφή ανήκει στον John of Arderne στην Αγγλία, ο οποίος τον 14^ο αιώνα ανακάλυψε μια διόγκωση κάτω από την θηλή του δεξιού μαστού σε έναν ιερωμένο. Η πρώτη ολοκληρωμένη μελέτη για τον καρκίνο του ανδρικού μαστού εμφανίζεται το 1927. Οι γνώσεις για τον καρκίνο του ανδρικού μαστού είναι σχετικά ελλιπείς και έχουν προκύψει κυρίως από αναδρομικές μελέτες και από αναφορές περιπτώσεων. Η αντιμετώπιση του καρκίνου του μαστού στον άνδρα βασίστηκε κυρίως στις πληροφορίες που δίνουν οι μεγάλες κλινικές σειρές του καρκίνου του γυναικείου μαστού.

Μεγάλης σημασίας είναι η εφαρμογή της μαστογραφίας ως προληπτικής εξέτασης σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα διάφορα διαγνωστικά πρωτόκολλα προτείνουν μια μαστογραφία αναφοράς, όπως λέγεται, για να δούμε την υφή και την δομή του μαστού στην ηλικία των 40 χρονών περίπου σε ασυμπτωματικές γυναίκες. Στην συνέχεια, ανάλογα με την πυκνότητα του μαστικού αδένα (ο αδένας που παράγει το γάλα στην περίοδο της γαλουχίας) συστήνεται μαστογραφικός έλεγχος ανά διετία ή ανά έτος ανάλογα. Μετά την ηλικία των 50 ετών επιβάλλεται μία μαστογραφία κατά έτος.

Σε γυναίκες πολύ νεαρής ηλικίας (25-30 ετών) αποφεύγεται η μαστογραφία για τους εξής λόγους:

1. Στην ηλικία αυτή ο μαστικός αδένας είναι πολύ πυκνός, κατά φυσική συνέπεια η εξέταση είναι χαμηλής διαγνωστικής αξίας.
2. Ο μαστός είναι μαλακό μόριο και αποφεύγουμε να τον ακτινοβολούμε άνευ ιδιαίτερης αιτιολογίας.

Σε νεαρή ηλικία, μαστογραφία γίνεται μόνον όταν υπάρχει υποψία για κακοήθεια ή σημαντικά στοιχεία που να υποδηλώνουν κληρονομική προδιάθεση, δηλαδή μητέρα ή αδερφή με καρκίνο του μαστού σε ηλικία μικρότερη των 40 χρόνων.

Γονίδια του καρκίνου του μαστού: Σε οικογένειες που υπάρχει οικογενειακό ιστορικό καρκίνου, μπορούν να γίνουν γενετικά τεστ για να φανεί εάν υπάρχουν στη συγκεκριμένη οικογένεια, παθολογικά γονίδια που προδιαθέτουν για καρκίνο του μαστού. Τα γονίδια BRCA1 και BRCA2 σχετίζονται με κληρονομικής μορφής καρκίνο του μαστού. Οι γυναίκες που έχουν οικογενειακό

ιστορικό καρκίνου του μαστού και έχουν το παθολογικό γονίδιο BRCA1, διατρέχουν 85% ψηλότερο κίνδυνο να πάθουν καρκίνο μαστού κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Επίσης έχουν αυξημένο κίνδυνο και για καρκίνο της ωοθήκης. Οι γυναίκες που έχουν το παθολογικό γονίδιο BRCA2, έχουν λιγότερο κίνδυνο για την πάθηση [9].

Η μαστογραφία είναι ανώδυνη και αναίμακτη ακτινοβολική μέθοδος και δεν χρειάζεται έγχυση σκιαγραφικού μέσου για την απεικόνιση του μαζικού αδένα. Ο μαστός διαθέτει φυσιολογική αντίθεση. Μεγάλης σημασίας είναι η εκτέλεση της μαστογραφίας με τρόπο τεχνικά άρτιο. Πρέπει να επιδιώκεται η βέλτιστη τοποθέτηση των μαστών στο μαστογράφο από εξειδικευμένο προσωπικό και η χρήση σύγχρονου μαστογράφου υψηλής ευκρίνειας και χαμηλής δόσεως με σύστημα αυτόματης έκθεσης που ελέγχεται σε τακτά διαστήματα από τεχνικό και ακτινοφυσικό. Ο έλεγχος του μαστού γίνεται σε δύο προβολές, με συμπίεση του στήθους, για να απεικονισθούν επαρκώς όλα τα μέρη του. Η ανάγνωση της μαστογραφίας γίνεται σε ειδικό διαφανοσκόπιο με διαφράγματα και ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού από ειδικό ακτινολόγο. Η σύγκριση με τα ευρήματα της κλινικής εξέτασης, της αυτοεξέτασης, το ιστορικό και παλαιότερες μαστογραφίες καθώς και συνεκτίμηση με υπερηχογράφημα μαστού παρέχει ανεκτίμητη βοήθεια για την επιτυχή διάγνωση του μαστού.



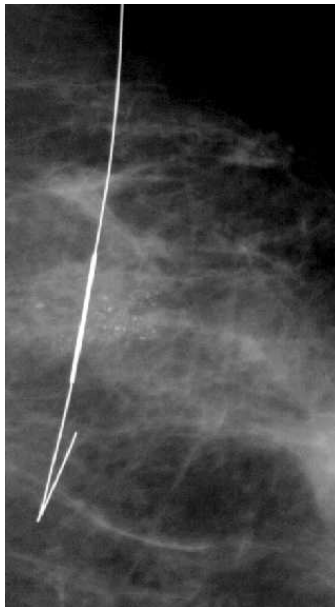
Μαστογράφος



Για να επιτευχθεί η όσο το δυνατό καλύτερης ποιότητας ακτινογραφία (να απεικονισθούν καθαρά όλα τα μέρη του στήθους) με την λιγότερη ακτινοβολία είναι απαραίτητη η συμπίεση του στήθους μεταξύ των πλακών και η λήψη ακτινογραφιών από δύο διαφορετικές γωνίες.

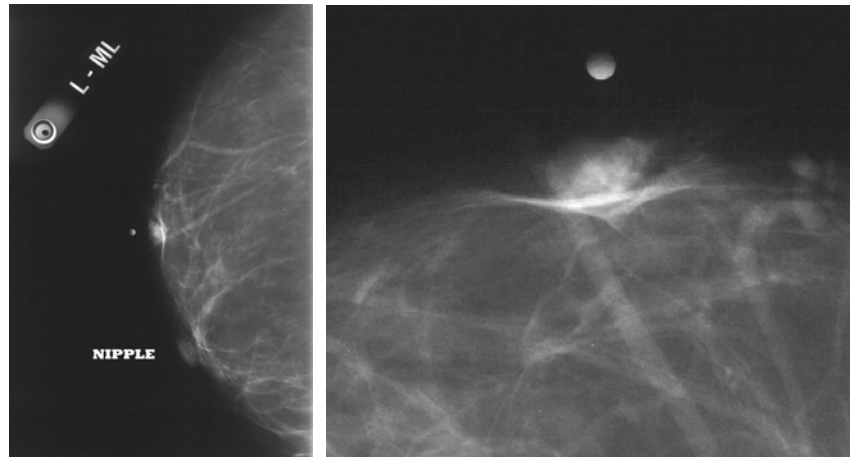
Δεν υπάρχει κίνδυνος καρκινογένεσης από την μαστογραφία, δεδομένου ότι σήμερα με τους νέου τύπου μαστογράφους η δόση της ακτινοβολίας είναι πολύ μικρή. Εξάλλου τα φιλμ που χρησιμοποιούνται είναι πολύ πιο ευαίσθητα, που σημαίνει μικρότερο χρόνο έκθεσης στην ακτινοβολία. Η μαστογραφία λόγω των πλεονεκτημάτων της και του χαμηλού κόστους έχει καθιερωθεί ως διαγνωστική μέθοδος πρόληψης για τον πληθυσμιακό έλεγχο των μαστών. Κάποιες φορές μαστογραφικός έλεγχος διεξάγεται και στον ανδρικό μαστό, μόνο όμως όταν υπάρχουν κλινικά ευρήματα.

Η μαστογραφία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την καθοδήγηση του προεγχειρητικού εντοπισμού βλαβών. Αυτό γίνεται με την εναποθέτηση, κάτω από καθοδήγηση με ακτίνες X, ειδικού σύρματος, στην περιοχή της βλάβης. Η διαδικασία αυτή αποτελεί μια πολύτιμη τεχνική που επιτρέπει στον χειρουργό να εντοπίζει και να αφαιρεί χειρουργικά μη ψηλαφητές πρώιμες βλάβες από τον μαστό. Έχει ιδιαίτερη εφαρμογή στην αφαίρεση ομάδων από ύποπτες για κακοήθεια μικροεπασβεστώσεις που διαφορετικά δεν θα μπορούσε να εντοπιστεί η θέση τους κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης.



Μικρότατη περιοχή με κακοήθεις συρρέουσες μικροεπασβεστώσεις που εντοπίστηκε με προληπτική μαστογραφία. Μια απόπειρα για χειρουργική εξαίρεση χωρίς προεγχειρητικό εντοπισμό ήταν ανεπιτυχής. Μετά τον εντοπισμό αφαιρέθηκε η περιοχή με τις επασβεστώσεις και ένα μικρό διηθητικό όγκο 4 χιλιοστών. Οι λεμφαδένες ήταν αρνητικοί. Η πρόγνωση για την ασθενή, σε αυτή την περίπτωση, είναι εξαιρετική.

Μεγάλο μέρος της καθημερινής μας ρουτίνας περιλαμβάνει τη λύση διαγνωστικών προβλημάτων σε ασθενείς των οποίων ο αρχικός έλεγχος των μαστών έδειξε κάποιο πιθανό πρόβλημα χωρίς να καταλήξει σε συγκεκριμένη διάγνωση. Για τη λύση των προβλημάτων αυτών απαιτείται συνήθως συνδυασμός από ειδικές λήψεις μαστογραφίας (σε μεγέθυνση, λήψη με πίεση με ειδικό κώνο, κλπ) και έλεγχο με υπερήχους. Συχνά απαιτείται βιοψία με βελόνη για να δώσει λύση στο διαγνωστικό πρόβλημα.



Γυναίκα 66 ετών με μεγάλους μαστούς Αναφέρει πρόσφατο ιστορικό μικροτραυματισμού του μαστού. Στο σημείο του τραύματος ανακάλυψε μικρό ψηλαφητό ογκίδιο. Ειδικές λήψεις χρησιμοποιήθηκαν για να διευκρινίσουν το νέο εύρημα της κλινικής εξέτασης. Αληθώς πλαγία προβολή μετά από τοποθέτηση μεταλλικού δείκτη (marker) πάνω από το σημείο της ψηλαφητής βλάβης. Τροποποιούμε την προβολή αυτή σύμφωνα και με τη θέση της βλάβης μέχρις ότου βεβαιωθούμε ότι η βλάβη βρίσκεται σε πλαγία θέση σε σχέση με την δέσμη των ακτίνων του μαστογράφου, ώστε να διαπιστώσουμε την πραγματική απόσταση της βλάβης από την επιφάνεια του δέρματος. (Αριστερά) Μεγέθυνση της περιοχής αποκάλυψε μια μικρή, σαφώς προσδιορισμένη, βλάβη με ομαλά όρια. (Δεξιά)



Οι υπέρηχοι της περιοχής που αναφέρεται πιο πάνω αποκάλυψαν μια κυστική βλάβη με εσωτερικές ηχοανακλάσεις με την μορφή ομόκεντρων στρωμάτων. Η βλάβη περιβαλλόταν από υπερηχοϊκή αλλοίωση του υποδόριου λίπους και περιορισμένη διαταραχή της αρχιτεκτονικής. Η επιφανειακή θέση της βλάβης και η ηχομορφολογία της σε συνδυασμό με το ιστορικό τραύματος στην περιοχή μας οδήγησαν στη διάγνωση μικρού αιματώματος του μαστού που επιβεβαιώθηκε κατά την εκκένωση της βλάβης με FNA, όπου αναρροφήθηκε μικρή ποσότητα αιματηρού υγρού.

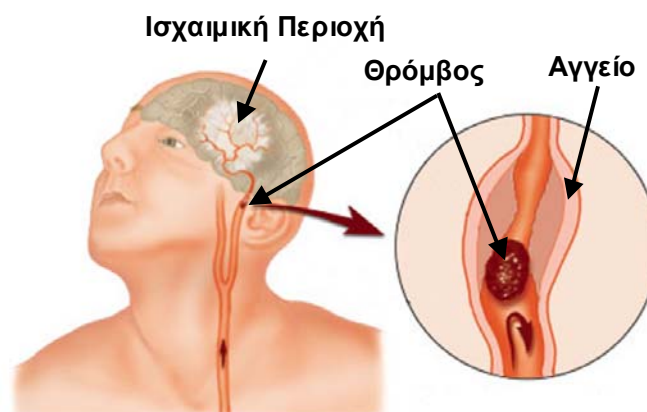
Όλες οι γυναίκες ανεξαρτήτου ηλικίας πρέπει μία φορά το μήνα, κατά προτίμηση στο τέλος της εμμήνου ρύσεως, να ψηλαφούν τους μαστούς τους. Μία φορά δε, το εξάμηνο ή στον χρόνο πρέπει η ψηλάφηση να γίνεται από εξειδικευμένο γιατρό.

Η μαστογραφία της Π.Μ. ήταν ευτυχώς απόλυτα φυσιολογική και δεν έδειξε κανένα πρόβλημα. Η Π.Μ. περίμενε τώρα ανέμελα τον άντρα της, τον Ρ.Μ., να περάσει με το διπλοκάμπινο του για να την παραλάβει από την κλινική. Και ενώ αυτός κατέφθασε μουρμουρίζοντας για το κόστος της στάθμευσης στην περιοχή της κλινικής, εμφανίστηκε από την άλλη πλευρά του διαδρόμου η Κ.Μ. που μόλις είχε ολοκληρώσει μια διαδικασία αποτρίχωσης με λέιζερ στο δερματολόγο της. Μετά από επίμονες ερωτήσεις του Ρ.Μ., του εξήγησε τον λόγο της επίσκεψης της στο δερματολόγο καθώς και το κόστος (£ 750 κάθε φορά, για 7-8 συνεδρίες.) Ο Ρ.Μ. ένοιωσε την καρδιά του να χτυπά σε ξέφρενο ρυθμό! Δοκίμασε να τρέξει προς το μέρος της Κ.Μ. για να την στραγγαλίσει αλλά έχασε τις αισθήσεις του και έπεσε στο έδαφος κατακυλώνοντας από τα σκαλιά και χτυπώντας σε διάφορα μέρη του σώματος. Ευτυχώς βρισκόταν κοντά στο σταθμό Πρώτων Βοηθειών. Ο γιατρός μετά από σύντομη εξέταση άρχισε να υποψιάζεται **εγκεφαλικό επεισόδιο** γι' αυτό αποφάσισε να τον στείλει για επείγουσα **αξονική τομογραφία**.

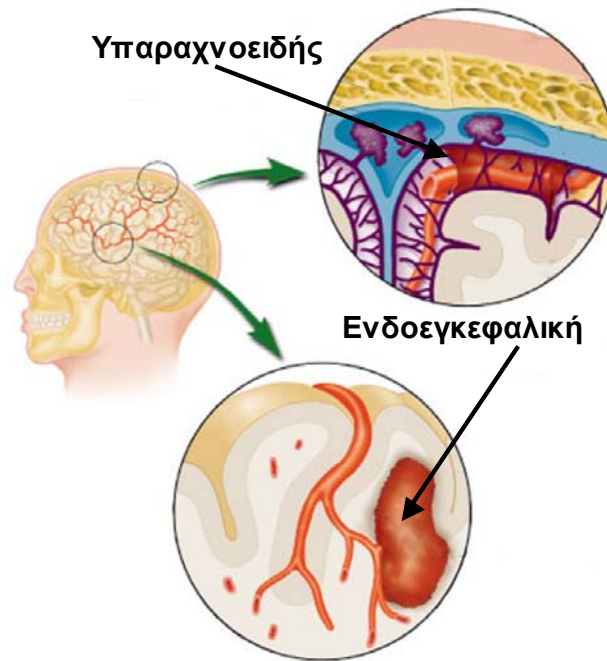
Επεισοδιακός Εγκέφαλος

Το άκουσμα και μόνο της φράσης “εγκεφαλικό επεισόδιο” προκαλεί σε κάθε άτομο φόβο και δέος. Αυτό δεν οφείλεται μόνο στο ότι όλοι έχουμε εμπειρίες από το περιβάλλον μας για κάποιο άτομο, μικρό ή μεγάλο στην ηλικία, που χάθηκε λόγω κάποιου εγκεφαλικού επεισοδίου, αλλά οφείλεται κυρίως στις εικόνες, που έχουν αποτυπωθεί έντονα στο μυαλό μας, ατόμων που παραμένουν παράλυτα, μόνιμα καθηλωμένα στο κρεβάτι ή στο αναπηρικό καροτσάκι, ή ατόμων που περπατούν δύσκολα με τη βοήθεια ειδικής τρίποδης μαγκούρας σέρνοντας το ένα πόδι, ή ακόμη και ατόμων που παράλληλα με την κινητική τους αναπηρία έχασαν για πάντα και την ομιλία τους όντας έτσι καταδικασμένοι να ζήσουν το υπόλοιπο της ζωής τους στον κόσμο της σιωπής και της απελπισίας. Και αυτή είναι η αλήθεια. Δεν είναι τόσο ο θάνατος που μας τρομάζει στο άκουσμα της λέξης “εγκεφαλικό”, όσο η σκέψη και ο φόβος της αναπηρίας που μπορεί να μας προκαλέσει ένα τέτοιο επεισόδιο.

Εγκεφαλικά επεισόδια ορίζονται οι βλάβες του εγκεφαλικού ιστού λόγω διακοπής της κυκλοφορίας του αίματος προς κάποια περιοχή του εγκεφάλου και γι' αυτό ονομάζονται και “Αγγειακά Εγκεφαλικά Επεισόδια” (ΑΕΕ.) Μπορεί να προέλθουν είτε από διακοπή της παροχής του αίματος στην πάσχουσα περιοχή (ισχαιμικό ΑΕΕ) είτε από αιμορραγία ως επακόλουθο της ρήξης ενός αγγείου (αιμορραγικό ΑΕΕ). Η διακοπή της παροχής του αίματος (ισχαιμικό ΑΕΕ) μπορεί να οφείλεται σε έναν θρόμβο ο οποίος π.χ. να προέρχεται από την καρδιά και ταξίδεψε μέσω των μεγάλων αγγείων ως τον εγκέφαλο (εμβολή). Ακόμη μπορεί να οφείλεται σε θρόμβο που προέρχεται από ένα γειτονικό ή ακόμη και από το ίδιο το αγγείο (θρόμβωση). Η ρήξη ενός αγγείου (αιμορραγικό ΑΕΕ) οφείλεται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων στις αλλοιώσεις των τοιχωμάτων των αγγείων που προήλθαν από χρόνια υπέρταση. Ακόμη μπορεί να οφείλεται σε αγγειακές δυσπλασίες, σε κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις ή σε άλλες παθήσεις των τοιχωμάτων των αγγείων (π.χ. αυτοάνοσα νοσήματα, αμυλοείδωση) [10].



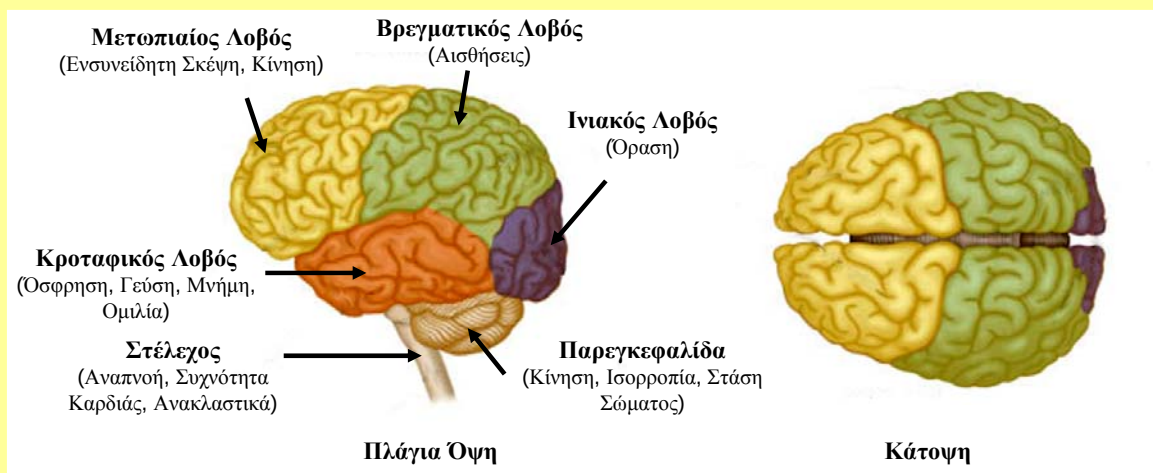
Ισχαιμικό Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο. Ένας θρόμβος, από άλλο ή το ίδιο αγγείο, αποφράσσει μια από τις αρτηρίες που τροφοδοτούν τον εγκέφαλο.



Αιμορραγικό Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο. Ρήξη κάποιου αγγείου, είτε των μικρών αραχνοειδών αγγείων είτε άλλων μεγαλύτερων που τροφοδοτούν τα βαθύτερα μέρη του εγκεφάλου, προκαλεί αιμορραγία με αποτέλεσμα τη διακοπή της κυκλοφορίας, τοξικότητα λόγω της παρουσίας αίματος έξω από τα αγγεία αλλά και σε μεγάλο βαθμό λόγω της πίεσης που ασκεί η αιμορραγία στον υπόλοιπο εγκέφαλο.

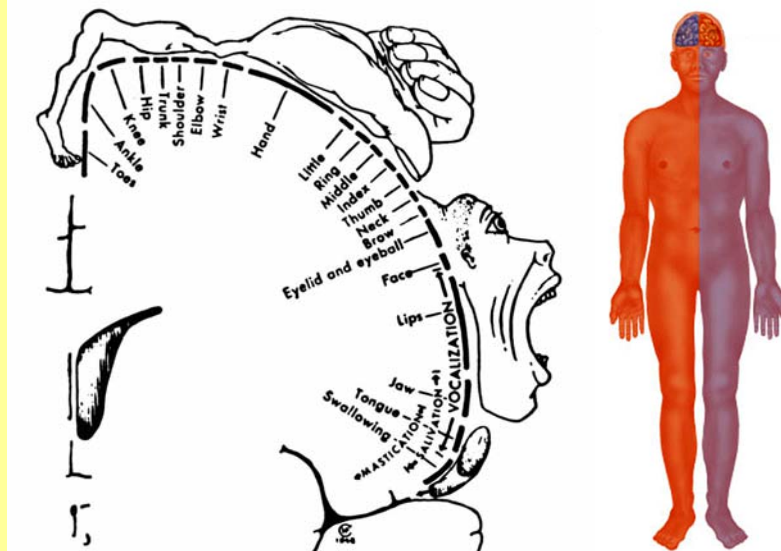
Η λειτουργία του εγκεφάλου

Ο εγκέφαλος ελέγχει τις κινήσεις του σώματος, επεξεργάζεται τις πληροφορίες που φτάνουν από τον γύρω κόσμο και μας επιτρέπει να επικοινωνούμε με τους άλλους, όλα μέσα από ένα δίκτυο νευρών που διατρέχουν ολόκληρο το σώμα. Ο εγκέφαλος, που βρίσκεται κλεισμένος στο κρανίο, επικοινωνεί με το υπόλοιπο σώμα μέσω των κρανιακών νευρών (που περνούν μέσα από μικρές οπές στο κρανίο) και των νευρών του νωτιαίου μυελού (που περνούν μέσα από το κανάλι που σχηματίζεται από τα οστά της σπονδυλικής στήλης) και ελέγχουν τα χέρια, τον κορμό και τα πόδια.



Ο εγκέφαλος αποτελείται από τρεις κύριες περιοχές: το στέλεχος, την παρεγκεφαλίδα και τα ημισφαίρια. Το στέλεχος ελέγχει την αναπνοή, τον ρυθμό της καρδιάς και σημαντικά αντανακλαστικά, παραδείγματος χάριν, το αντανακλαστικό του βήχα που καθαρίζει τους σωλήνες

της αναπνοής. Η παρεγκεφαλίδα είναι το κέντρο για την ισορροπία και το συντονισμό της μετακίνησης. Από την σκοπιά της εξέλιξης του ανθρώπινου είδους, αυτά τα μέρη του εγκεφάλου είναι τα πιο παλαιά και παρέχουν τον ελάχιστο δυνατό έλεγχο που χρειάζεται για να διατηρηθεί ο άνθρωπος στην ζωή. Συνδεδεμένα με αυτό το πιο πρωτόγονο μέρος του εγκεφάλου, βρίσκονται τα δύο ημισφαίρια (αριστερό και δεξιό), τα οποία ελέγχουν τη σκέψη, σύνθετες κινήσεις, ομιλία και όραση [11].



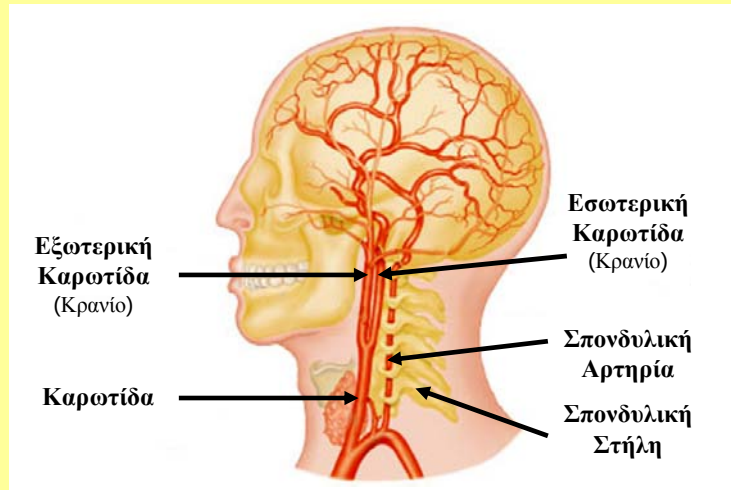
Τομή του ημισφαιρίου στις περιοχές κίνησης και αίσθησης που περιγράφει ποιες περιοχές ελέγχει το κάθε μέρος του ημισφαιρίου (αριστερά.) Το αριστερό ημισφαίριο ελέγχει τη δεξιά πλευρά και το δεξί ημισφαίριο την αριστερή (δεξιά.)

Το δεξιό και αριστερό ημισφαίριο επικοινωνούν, με το υπόλοιπο σώμα και τον έξω κόσμο, με δέσμες νευρών που διασχίζουν από την μια πλευρά του σώματος στην άλλη. Κατά συνέπεια, η αριστερή πλευρά του εγκεφάλου ελέγχει τη δεξιά πλευρά του σώματος και αντίστροφα. Επομένως, ένα εγκεφαλικό επεισόδιο που έχει επιπτώσεις στην αριστερή πλευρά του εγκεφάλου προκαλεί τα συμπτώματα (π.χ. αδυναμία) στη δεξιά πλευρά του σώματος. Στους περισσότερους δεξιόχειρες ανθρώπους, το αριστερό ημισφαίριο είναι το κυρίαρχο και ελέγχει τη λογική και ομιλία, ενώ το δεξιό ημισφαίριο ασχολείται με τη φαντασία και τη δημιουργική σκέψη.

Αριστερό Ημισφαίριο	-	Δεξιό Ημισφαίριο
Λογική	-	Διαίσθηση
Σειριακή επεξεργασία	-	Τυχαία προσπέλαση
Ανάλυση	-	Σύνθεση
Ορθολογισμός	-	Δημιουργικότητα
Αντικειμενικότητα	-	Υποκειμενικότητα
Μερική θεώρηση	-	Συνολική θεώρηση

Ο ανεφοδιασμός του εγκεφάλου με αίμα γίνεται από τέσσερα κύρια αγγεία - δύο σπονδυλικές αρτηρίες και δύο καρωτίδες. Οι σπονδυλικές αρτηρίες εισέρχονται στο κρανίο από τη σπονδυλική στήλη και παρέχουν αίμα κυρίως στο στέλεχος και την παρεγκεφαλίδα, ενώ οι δύο καρωτίδες εισέρχονται στο κρανίο από το μπροστινό μέρος του λαιμού και παρέχουν αίμα κυρίως στα δύο ημισφαίρια:

- Καρωτιδικό σύστημα: το μεγαλύτερο τμήμα του φλοιού
- Σπονδυλοβασικό: Στέλεχος- Παρεγκεφαλίδα- Ινιακός λοβός
- Μέση εγκεφαλική: το τμήμα για άνω άκρο - πρόσωπο - βρεγματοϊνιακή περιοχή (συμβολικές λειτουργίες)
- Πρόσθια εγκεφαλική: το τμήμα για κάτω άκρο, συνείδηση και συμπεριφορά
- Πρόσθια και οπίσθια εγκεφαλική: κέντρο του λόγου και αναγνώρισης οπτικών ερεθισμάτων



Και οι τέσσερις αρτηρίες ενώνονται σε ένα κύκλο στη βάση του κρανίου, έτσι ώστε να διατηρείται επαρκής ανεφοδιασμός με αίμα εάν η ροή από μια αρτηρία αποκοπεί. Δυστυχώς, η αποτελεσματικότητα αυτού του δικτύου των αρτηριών ποικίλλει από άτομο σε άτομο και συχνά δεν προστατεύει τους ανθρώπους από τα συμπτώματα ενός εγκεφαλικού επεισοδίου εάν μια από τις κύριες αρτηρίες κλείσει.

Η κλινική εικόνα ενός ΑΕΕ εξαρτάται από την λειτουργία της περιοχής που εβλήθη. Η βαρύτητα ενός ισχαιμικού ΑΕΕ εξαρτάται από το μέγεθος και την σημασία του αγγείου στο οποίο διεκόπη η αιματική ροή. Απόφραξη μιας καρωτίδας προκαλεί βλάβες στο αντίστοιχο μισό του εγκεφάλου, π.χ. ημιπληγία, ημιαναισθησία, ημιανοψία, ολική αφασία, σε αριστερή βλάβη, και αγνωσία της αριστερής πλευράς και του ίδιου του προβλήματος, σε δεξιά βλάβη. Απόφραξη της πρόσθιας εγκεφαλικής αρτηρίας μπορεί να προκαλέσει τον θάνατο ή διαταραχές της συνείδησης και συμπεριφοράς, μονοπληγία κυρίως κάτω άκρου κ.α. Απόφραξη της μέσης εγκεφαλικής αρτηρίας μπορεί να προκαλέσει ημιπληγία, αφασία, διαταραχές της αίσθησης, ημιανοψία κ.α. Απόφραξη της οπίσθιας εγκεφαλικής αρτηρίας μπορεί να προκαλέσει ημιανοψία, άλγη, οπτική αγνωσία κ.α. [12]

Σε γενικές γραμμές τα αιμορραγικά ΑΕΕ θεωρούνται βαρύτερα των ισχαιμικών. Αυτό γιατί παρ' όλο που το αίμα που διαχέει τον εγκεφαλικό ιστό προκαλεί μικρή σχετικά βλάβη (το αίμα είναι τοξικό για τον εγκεφαλικό ιστό), καταλαμβάνει χώρο πιέζοντας τον εγκέφαλο. Ο εγκέφαλος περιέχεται σε ένα ανελαστικό κουτί όπως είναι το κρανίο και δεν έχει την δυνατότητα μετατόπισης σε άλλο χώρο. Έτσι οποιαδήποτε αιτία προκαλεί πίεση επί του εγκεφάλου μπορεί να τον βλάψει σοβαρά. Ο θάνατος μπορεί να επέλθει άμεσα λόγω πίεσης επί του στελέχους του εγκεφάλου. Αν η αιμορραγία είναι τόσο μικρή ώστε να μην προκαλέσει πιεστικά φαινόμενα, τότε η πρόγνωση για τον ασθενή είναι σχετικά καλή και φτάνει ως την πλήρη αποκατάσταση.

Εγκεφαλικά επεισόδια του στελέχους και της παρεγκεφαλίδας είναι σπάνια, λόγω του κύκλου που σχηματίζουν τα αιμοφόρα αγγεία στη βάση του εγκεφάλου και που επιτρέπει την κάλυψη των αναγκών είτε από τις καρωτίδες είτε από τις σπονδυλικές αρτηρίες. Στις εξαιρετικές εκείνες περιπτώσεις όπου συμβαίνουν τέτοια επεισόδια, η ζωή του ασθενή βρίσκεται σε άμεσο και εξαιρετικό κίνδυνο, ιδιαίτερα όταν προβληθεί το στέλεχος του εγκεφάλου.

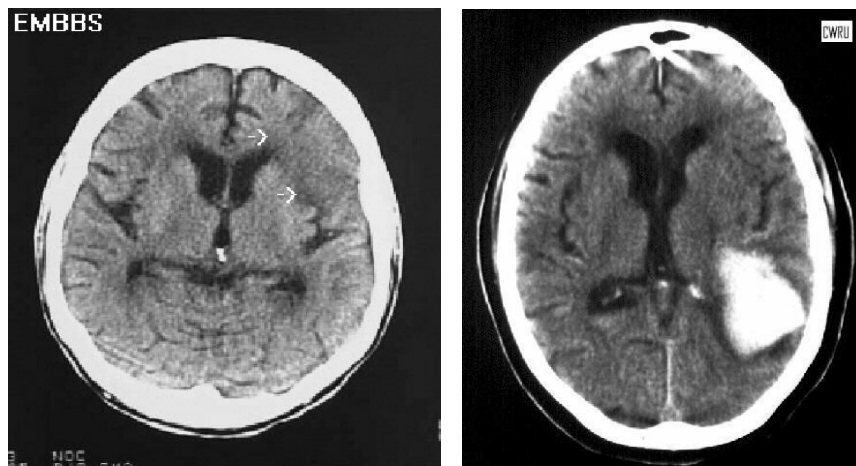
Ορολογία:

- Ημί/μονό/παρά – πληγία: παράλυση (μισού σώματος / ενός άκρου / δύο κάτω ή άνω άκρων)
- Ημί - / ολική αναισθησία: απώλεια της αίσθησης
- Μερική / Ολική αφασία: προβλήματα ή απώλεια της ομιλίας
- Ημι - / ολική ανοψία: μερική ή ολική απώλεια της όρασης
- Μερική/ολική αγνωσία: άγνοια της ύπαρξης (ακόμα και μέρους του σώματος!)



Κλινική εικόνα ενός ΑΕΕ

Η διάγνωση ενός ΑΕΕ είναι κατ' εξοχήν κλινική και τίθεται με βάση τα ευρήματα μιας λεπτομερούς νευρολογικής εξέτασης και του ιστορικού του ασθενούς. Όμως καθοριστική είναι η σημασία της αξονικής τομογραφίας εγκεφάλου (ΑΤ) εφ' όσον πολλές φορές είναι δύσκολα να διαχωριστεί κλινικά ένα ισχαιμικό από ένα αιμορραγικό ΑΕΕ. Ακολουθώντας ο ασθενής θα πρέπει να υποβληθεί σε έναν πλήρη παρακλινικό έλεγχο (αιματολογικές εξετάσεις, υπερηχογράφημα καρδιάς και καρωτίδων κ.α.) ώστε να αποκαλυφθούν οι παράγοντες κινδύνου που προκάλεσαν το ΑΕΕ. Πολλές άλλες παθολογίες που μπορεί να παρουσιάσουν εστιακή συμπτωματολογία ή διαταραχή της συνείδησης και δεν πρέπει να εκλαμβάνονται ως ΑΕΕ. Αυτές είναι: συγκοπικές κρίσεις, υπογλυκαιμία, σκλήρυνση κατά πλάκας, ημικρανία, επιληπτικές κρίσεις, όγκοι του κεντρικού νευρικού συστήματος, αιματώματα, υπαρραχνοειδής αιμορραγία, αποστήματα κ.α.



Αριστερά: Πρώιμες αλλαγές στην ΑΤ τομογραφία μετά από ισχαιμικό ΑΕΕ (απώλεια διεπαφής φαιάς-λευκής ουσίας, απώλεια αυλακών, οξεία μείωση της πυκνότητας, επίδραση πίεσης λόγω όγκου). Δεξιά: Η διάγνωση ενδοεγκεφαλικής αιμορραγίας είναι πολύ πιο ξεκάθαρη!

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις περιπτώσεις εκείνες που η συμπτωματολογία υποχωρεί πλήρως μετά από μερικές ώρες. Π.χ. ο ασθενής παρουσιάζει ξαφνικά αδυναμία ενός άκρου αλλά μετά από μερικές ώρες η μυϊκή ισχύς επανέρχεται στα φυσιολογικά επίπεδα. Ο ασθενής αυτός πιθανόν υπέστη ένα παροδικό ΑΕΕ. Ορίζεται ως παροδικό ΑΕΕ το επεισόδιο στο οποίο η συμπτωματολογία αποδράμει εντός 24 ωρών. Τα συμπτώματα ενός παροδικού ΑΕΕ περιλαμβάνουν:

- Απώλεια μνήμης. Σύντομες χρονικές στιγμές που δεν μπορείς να ξαναθυμηθείς.
- Δυσκολία στην ομιλία ή στην κατανόηση προφορικού ή γραπτού λόγου.
- Θαμπάδα ή διπλωπία με αποκατάσταση της όρασης σε σύντομο χρονικό διάστημα. Προσωρινή απώλεια της όρασης σε ένα μάτι.
- Μούδιασμα ή αδυναμία μιας πλευράς του σώματος που αφορά το πρόσωπο, το χέρι ή το πόδι.
- Απώλεια ισορροπίας ή τρίκλισμα.
- Πέσιμο από κάποιο λόγο που δεν είναι φανερός.

Στην πλειοψηφία τους τα παροδικά ΑΕΕ διαρκούν περίπου μία ώρα. Πιθανόν η επαναιμάτωση της πάσχουσας περιοχής γίνεται τόσο γρήγορα ώστε η βλάβη να είναι αναστρέψιμη, αλλά, σε μεγάλο

ποσοστό ασθενών (περίπου 20%) στην αξονική τομογραφία αποκαλύπτονται ισχαιμικές βλάβες. Ουσιαστικά πρόκειται δηλαδή για ένα “μικρό ΑΕΕ” και για τον λόγο αυτό ο ασθενής θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως άτομο υψηλού κινδύνου για σοβαρότερο ΑΕΕ στο μέλλον.

Οι επιπλοκές των ΑΕΕ εξαρτώνται από την βαρύτητα τους. Στα ήπια ΑΕΕ η πρόγνωση είναι σχετικά καλή, ενώ, στα βαρύτερα μπορεί να επέλθει ακόμη και θάνατος. Μετά από ένα βαρύ ΑΕΕ είναι πιθανές επιπλοκές από άλλα συστήματα όπως π.χ. το καρδιοκυκλοφοριακό. Επίσης, λόγω της παρατεταμένης παραμονής στο κρεβάτι είναι πιθανή η εμφάνιση πληγών σε διάφορα σημεία του σώματος.

Η θεραπεία των ΑΕΕ περιλαμβάνει:

- **Ισχαιμικά ΑΕΕ:** Τα τελευταία έτη γίνονται προσπάθειες θρομβόλυσης ώστε να αποφραχθεί το αγγείο που προκάλεσε την εγκεφαλική ισχαιμία. Παραμένει όμως ο κίνδυνος αιμορραγίας ως επιπλοκή αυτής της θεραπείας ενώ τα αποτελέσματα είναι αμφιλεγόμενα. Η θρομβόλυση θα πρέπει να εφαρμοστεί το ταχύτερο δυνατόν (εντός λίγων ωρών από το ΑΕΕ) από εξειδικευμένα νοσοκομειακά κέντρα. Επίσης, χρήσιμη είναι η ασπιρίνη και τα συμπλέγματα βιταμινών.
- **Αιμορραγικά ΑΕΕ:** Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η άμεση χειρουργική μείωση της πίεσης στον εγκέφαλο (παροχέτευση του αίματος με σωλήνα) και πιθανόν αφαίρεση του αιματώματος ανάλογα με το μέγεθός του και την ανατομική του θέση.
- **Παροδικά ΑΕΕ:** Σε μεγάλο ποσοστό οφείλονται σε σημαντικές στενώσεις των καρωτίδων και γι' αυτό προτείνεται χειρουργική επέμβαση (ενδοκαρωτιδεκτομή). Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται αντιαιμοπεταλιακά φάρμακα και ασπιρίνη.
- **Όλα τα ΑΕΕ:** Ακόμη, η θεραπευτική αγωγή αποσκοπεί στην υποστήριξη των βασικών βιολογικών λειτουργιών του ασθενούς (ηλεκτρολυτική ισορροπία αίματος, καρδιακή και αναπνευστική λειτουργία, ρύθμιση αρτηριακής πίεσης και σακχάρου αίματος κ.λ.π.) και στην αντιμετώπιση των παραγόντων κινδύνου που οδήγησαν στο ΑΕΕ. Η αποκατάσταση του ασθενούς περιλαμβάνει πρόγραμμα φυσικής αγωγής και ψυχολογική υποστήριξη.

Υπάρχουν πολλοί “παράγοντες κινδύνου” που αυξάνουν τις πιθανότητες να υποστεί κάποιος ένα ΑΕΕ [13]. Ο πιο συχνός παράγοντας είναι η υπέρταση (ψηλή πίεση.) Άλλοι επίκτητοι παράγοντες είναι όλοι όσοι προκαλούν αθηροσκλήρυνση ή θρόμβωση, όπως η υπερλιπιδαιμία (ψηλή χοληστερίνη), ο σακχαρώδης διαβήτης, καρδιακές βαλβιδοπάθειες, θρομβοφλεβίτιδες (θρόμβοι στις φλέβες), διαταραχές της πήξης του αίματος, το κάπνισμα και το αλκοόλ. Συγγενή αίτια είναι κυρίως οι αγγειακές δυσπλασίες (ανευρύσματα, αρτηριοφλεβώδεις επικοινωνίες), οι συγγενείς παθήσεις της καρδιάς, οι νόσοι του μεταβολισμού (π.χ. ομοκυστινουρία) και του αίματος (π.χ. δρεπανοκυτταρική αναιμία). Ο κάθε παράγοντας από μόνος του αυξάνει τον κίνδυνο για ΑΕΕ. Αν συνυπάρχουν περισσότεροι από ένας, τότε η πιθανότητα ο ασθενής να υποστεί ΑΕΕ αυξάνεται γεωμετρικά.

Λόγω των μόνιμων αναπηριών που μπορούν να προκύψουν μετά από ένα ΑΕΕ, λαμβάνει ιδιαίτερη σημασία η πρόληψη. Ο έλεγχος της χοληστερίνης, η ελάττωση του καπνίσματος και της κατανάλωσης υπερβολικής ποσότητας αλκοόλ, καθώς και η αντιμετώπιση της παχυσαρκίας μειώνουν την πιθανότητα να συμβεί εγκεφαλικό επεισόδιο. Όλα τα υγιή ενήλικα άτομα θα πρέπει να υποβάλλονται περιοδικά σε ιατρικό έλεγχο (check-up) ο οποίος να περιλαμβάνει νευρολογική και καρδιολογική εξέταση, έλεγχο της αρτηριακής πίεσης και αιματολογικές εξετάσεις (σάκχαρο, λιπίδια αίματος κ.α.). Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίδεται αν εμφανιστεί κάποιο σύμπτωμα συμβατό με παροδικό ΑΕΕ (κυρίως αδυναμία ή αιμωδία κάποιου άκρου, θάμβος οράσεως κυρίως από έναν οφθαλμό, δυσαρθρία).

- Η ετήσια συχνότητα των εγκεφαλικών επεισοδίων ξεπερνά τα 250 νέα περιστατικά ανά 100.000 κατοίκους, γεγονός που ευθύνεται τόσο για δεκάδες θανάτους όσο και για υψηλό ποσοστό επιζώντων ασθενών, με βαριά όμως αναπηρία, η οποία απαιτεί συνεχή φροντίδα.
- Σύμφωνα, με μεγάλης πανευρωπαϊκή έρευνα, κατά την οποία μελετήθηκαν 6.000 ασθενείς οι οποίοι έπαιρναν είτε ασπιρίνη είτε διπυριδαμόλη ή το συνδυασμό αυτών των δύο φαρμάκων, παρουσιάστηκε μείωση των εγκεφαλικών επεισοδίων σε ποσοστό που έφθασε το 30-37%.

Ακτίνες απ' όλες τις γωνίες

Η αξονική τομογραφία (ΑΤ) είναι μια ακτινολογική μέθοδος, στην οποία χρησιμοποιούνται ακτίνες Χ για απεικόνιση εγκάρσιων τομών του ανθρωπίνου σώματος. Κάνοντας ένα απολογισμό των 20 και πλέον χρόνων που έχουν περάσει από τότε που η ΑΤ άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως στην κλινική πράξη διαπιστώνουμε ότι η πρόοδος που πραγματοποιήθηκε στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης είναι εκπληκτική. Καμία άλλη διαγνωστική μέθοδος δεν έχει επιφέρει τέτοια ριζική βελτίωση στην διάγνωση τόσοων ιατρικών προβλημάτων, σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα, όσο η ΑΤ.

Εφευρέτης της Αξονικής Τομογραφίας (ΑΤ) είναι ο Γκόντφρη Χάουνσφιλντ. Εργαζόταν για την Βρετανική δισκογραφική εταιρία EMI, τη δισκογραφική εταιρία των Μπίτλς! Το 1967, ο Χάουνσφιλντ είχε τη λαμπρή ιδέα ότι αν μια ακτίνα μπορούσε να περιστραφεί γύρω από ένα αντικείμενο από όλες τις γωνίες θα μπορούσε να συγκεντρώσει ικανοποιητικές πληροφορίες ώστε να ανακατασκευαστεί ακριβώς το σχήμα του στρώματος μέσα από το οποίο οι ακτίνες είχαν περάσει [14].



Η EMI δέχτηκε την πρόταση, και ο Χάουνσφιλντ ανέπτυξε το λογισμικό που μπορούσε να ανακατασκευάζει τις τομές. Για να αποδείξει ότι αυτή η ιδέα θα μπορούσε να λειτουργήσει, προσομοίωσε την ανίχνευση ενός συνθετικού αντικειμένου με τον υπολογιστή και έπειτα το ανακατασκεύασε πίσω στην αρχική του μορφή. Αυτή η αρχική ανασύνθεση είχε καταπληκτική ακρίβεια: 1 σε 10.000. Μετά από αυτά τα αρχικά αποτελέσματα ο Χάουνσφιλντ υπολόγισε πόση ακτινοβολία μπόρεσε να δοθεί σε έναν ασθενή και συγχρόνως αναθεώρησε το μέγιστο αριθμό συλλέξιμων φωτονίων. Με αυτά τα στοιχεία, υπολόγισε εκ νέου την ακρίβειά της μεθόδου και την βρήκε καλύτερη από 0.5%, πολλές φορές ακριβέστερη από τις παραδοσιακές ακτίνες Χ. Με τέτοια ακρίβεια, οι μαλακοί ιστοί του σώματος θα μπορούσαν, για πρώτη φορά, να φανούν σε μια ακτινογραφία.

Ένα πρόβλημα με το οποίο ο Χάουνσφιλντ βρέθηκε αντιμέτωπος ήταν αυτό του χρόνου απεικόνισης. Με το πρωτότυπο, χρειαζόταν πάνω από 9 ημέρες για να συγκεντρώσει τα στοιχεία λόγω της πηγής ακτινών γάμμα που χρησιμοποιούσε αρχικά. Ευτυχώς, έλαβε μια άλλη επιχορήγηση για να αγοράσει μια πηγή ακτινών Χ. Η αλλαγή αυτή μείωσε το χρόνο ανίχνευσης από 9 ημέρες σε 9 ώρες. Δυστυχώς, το κλινικό προσωπικό δεν αγκάλιασε αυτήν την νέα τεχνολογία όπως Χάουνσφιλντ ανέμενε. Αυτό οφειλόταν κυρίως σε μια τεχνική παρεξήγηση αφού οι γιατροί δεν ήταν ακριβώς βέβαιοι για την ποιότητα της εικόνας και τον τύπο εικόνας που επρόκειτο να λάβουν. Χωρίς τον ενθουσιασμό για το προϊόν του, ο Χάουνσφιλντ επέστρεψε άλλη μια φορά στο εργαστήριο.

Μετά από μια συνάντηση με το Τμήμα Υγείας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, το 1971, διατυπώθηκαν μια σειρά από νέους στόχους. Αυτή τη φορά θα σχεδιαζόταν ένας τομογράφος για το κεφάλι με αυστηρούς περιορισμούς που να εξασφαλίζουν την επιτυχία του στην αγορά. Συμφωνήθηκαν μια ακρίβεια 0,5% και ένας χρόνος απεικόνισης 4-5 λεπτά. Την 1η Οκτωβρίου 1971,



παρουσιάστηκε το νέο πρωτότυπο που ήταν μια τεράστια βελτίωση στο αρχικό σχέδιο και κάλυπτε όλες τις απαιτήσεις που τέθηκαν. Ο Χάουνσφιλντ και Τζέιμς Άμπρουζ, ένας πολύ γνωστός νευροχειρουργός, εκτέλεσαν την πρώτη Αξονική Τομογραφία ασθενή με πιθανό όγκο στον εγκέφαλο. Η εικόνα παρουσίασε σκοτεινή κυκλική κύστη στον εγκέφαλο κάτι που επιβεβαιώθηκε και με εγχείρηση.

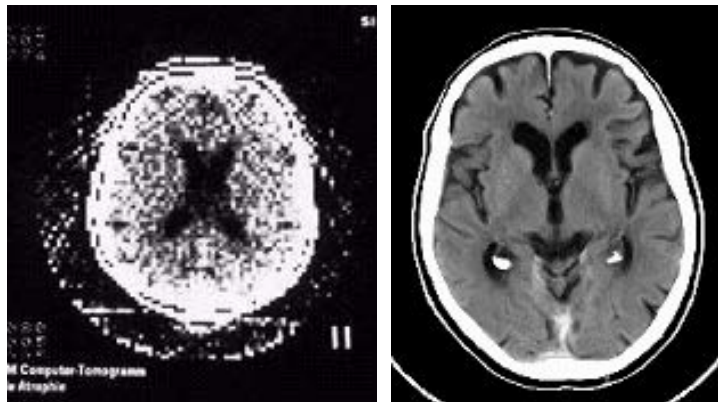
Ο Χάουνσφιλντ με τον αρχικό κρανιοακό αξονικό τομογράφο EMI γύρω στο 1972

Οι πρώτοι κλινικοί αξονικοί τομογράφοι εγκαταστάθηκαν σε νοσοκομεία μεταξύ 1974 και 1976. Τα αρχικά συστήματα ήταν αφιερωμένα εξ' ολοκλήρου στην απεικόνιση του κρανίου. Συστήματα "ολόκληρου σώματος," με μεγαλύτερο άνοιγμα για ολόκληρο τον ασθενή, άρχισαν να διατίθενται από το 1976. Μέχρι το 1980 η ΑΤ είχε διαδοθεί ευρέως. Σήμερα, υπάρχουν περίπου 6.000 αξονικοί τομογράφοι στις ΗΠΑ και περίπου 30.000 εγκατεστημένοι παγκοσμίως.

Στις 30 Σεπτεμβρίου 1979, απονεμήθηκε στον Χάουνσφιλντ το βραβείο Νόμπελ, από κοινού με τον Άλαν Μακλάουντ Κόρμακ. Ο Κόρμακ ήταν καθηγητή της φυσικής στο Πανεπιστήμιο Τάφτς από το 1957 μέχρι την αποχώρησή του το 1980. Στις αρχές της δεκαετίας του '60 ο Κόρμακ περιέγραψε πώς οι λεπτομέρειες ενός επίπεδου τμήματος μαλακών ιστών θα μπορούσαν να υπολογιστούν από τις μετρήσεις της μείωσης των ακτίνων Χ που περνούν μέσω του σώματος από πολλές διαφορετικές γωνίες. Διατύπωσε έτσι τη μαθηματική τεχνική για την ΑΤ [15]. Ο Κόρμακ είναι ο μόνος Νομπελίστας που δεν είχε ποτέ ένα πτυχίο στην ιατρική ή διδακτορικό σε οποιοδήποτε άλλο επιστημονικό τομέα!



Ο πρώτος ανιχνευτής ΑΤ που κατασκευάστηκε από τον Χάουνσφιλντ στο εργαστήριό του στην ΕΜΙ χρειαζόταν αρκετές ώρες για να καταγράψει τα ακατέργαστα δεδομένα μιας τομής και ημέρες για να ανακατασκευάσει μια ενιαία εικόνα από αυτά τα στοιχεία. Τα καινούργια αξονικά συστήματα μπορούν να συλλέξουν μέχρι 4 τομές σε περίπου 350 χιλιοστά του δευτερολέπτου και να ανακατασκευάσουν εικόνα 512 X 512 εικονοστοιχεία σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο. Ένας ολόκληρος θώρακας (σαράντα τομές, 8 χιλιοστά η μια από την άλλη) μπορεί να απεικονισθεί σε πέντε έως δέκα δευτερόλεπτα χρησιμοποιώντας το πιο προηγμένο αξονικό τομογράφο.



Αριστερά: Αξονική τομογραφία από τον τομογράφο Siretom γύρω στο 1975. Αυτή η εικόνα είναι μόνο 128 X 128 εικονοστοιχεία αλλά ήταν αρκετή, το 1975, για να συναρπάσει τους γιατρούς λόγω της δυνατότητας να φανούν για πρώτη φορά οι δομές των μαλακών ιστών του εγκεφάλου, συμπεριλαμβανομένων των μαύρων κοιλιών (διευρυμένες σε αυτόν τον ασθενή) **Δεξιά:** Αξονική τομογραφία ενός κανονικού εγκεφάλου με ένα σύγχρονο τομογράφο και εικόνα 512 X 512 εικονοστοιχείων. Σημειώστε τη λεπτή αντίθεση μεταξύ λευκής και φαιάς ουσίας

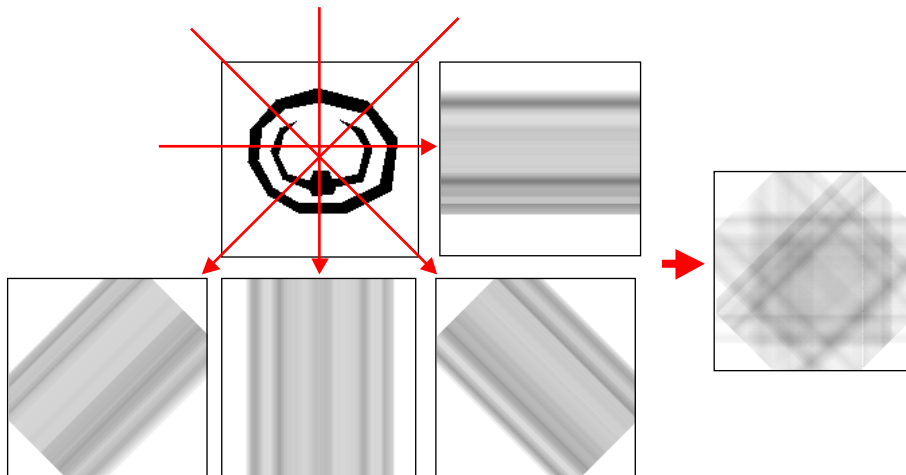
Κατά την διάρκεια των τελευταίων 25 χρόνων, η τεχνολογία έχει παρουσιάσει μεγάλη βελτίωση στην ταχύτητα, άνεση του ασθενή, και ανάλυση δεδομένων. Δεδομένου ότι ο χρόνος απεικόνισης έχει μειωθεί, περισσότερα μέρη μπορούν να απεικονισθούν σε λιγότερο χρόνο. Η γρηγορότερη ανίχνευση βοηθά στην εξάλειψη των αλλοιώσεων από κινήσεις του ασθενή, όπως η αναπνοή ή ο περισταλτισμός (κινήσεις των εντέρων.) Οι εξετάσεις με ΑΤ είναι τώρα γρηγορότερες και πιο εύκολες για τους ασθενείς από ποτέ πριν. Η τεράστια έρευνα και η ανάπτυξη που έχουν γίνει παρέχουν την καλύτερη ποιότητα εικόνας, για αναμφίβολη διάγνωση, με τη χαμηλότερη δυνατή δόση των ακτίνων Χ.

Η αξονική τομογραφία (ΑΤ) είναι βασισμένη στην απορρόφηση των ακτίνων Χ. Καθώς οι ακτίνες Χ περνούν μέσω του σώματος μειώνονται (αποδυναμώνονται) σε διαφορετικό βαθμό από τα διάφορα όργανα που διαπερνούν έτσι ώστε να δημιουργείται μια σειρά από ακτίνες διαφόρων εντάσεων [16]. Στην περίπτωση της ΑΤ, το φιλμ αντικαθίσταται από έναν ανιχνευτές που μετρούν το σήμα των ακτίνων Χ. Ένας αξονικός τομογράφος μοιάζει με ένα μεγάλο κουλούρι. Το άνοιγμα για τον ασθενή έχει 60 με 70 εκατ. διάμετρο. Μέσα στο κάλυμμα του τομογράφου είναι ένα περιστρεφόμενο πλαίσιο που στηρίζει στην μια πλευρά μια πηγή ακτίνων Χ και στην εκ διαμέτρου αντίθετη πλευρά έναν ανιχνευτή. Το μηχάνημα αυτό χρησιμοποιείται για να συλλέγει εικόνες από διάφορες γωνίες, από τις οποίες και ανακατασκευάζεται η τομογραφική εικόνα.



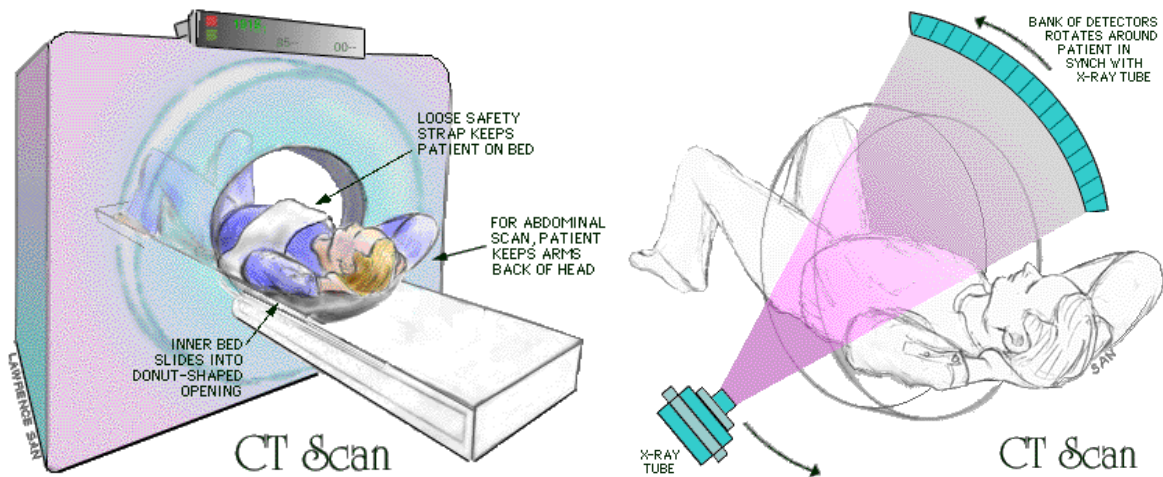
Αξονικός Τομογράφος

Η ΑΤ, στη βάση της, είναι μια μαθηματική διαδικασία με την οποία προσπαθούμε να αναπαράγουμε με ακρίβεια τις δομές (όργανα) του εσωτερικού του ανθρώπινου σώματος σε δισδιάστατες, εγκάρσιες, εικόνες. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται μια μαθηματική τεχνική, η οποία ονομάζεται ανασύνθεση (reconstruction), με βάση την οποία μπορεί ν' ανακατασκευαστεί και να παρουσιαστεί σαν δισδιάστατη εικόνα (π.χ. σε μια οθόνη υπολογιστή), ένα αντικείμενο, αρκεί να έχουμε πολλές προβολές αυτού του αντικειμένου από διαφορετικές γωνίες.



Ανασύνθεση δισδιάστατης εικόνας ενός αντικειμένου από προβολές. Τέσσερις προβολές χρησιμοποιούνται για να ανακατασκευάσουν την εικόνα (δεξιά.) Ακόμα και με τέσσερις μόνο προβολές αρχίζουμε να διακρίνουμε το σχήμα του αντικειμένου.

Ο ΑΤ το επιτυγχάνει αυτό περιστρέφοντας την λυχνία ακτίνων-X γύρω από τον εξεταζόμενο και καταγράφοντας την απορρόφηση της ακτινοβολίας από διάφορες θέσεις. Η απορρόφηση καταγράφεται από τους ανιχνευτές, οι οποίοι βρίσκονται απέναντι από την λυχνία διατεταγμένοι σε τόξο και περιστρέφονται ταυτόχρονα μ' αυτήν (ΑΤ τρίτης γενιάς) ή είναι σταθεροί σ' όλη την περίμετρο (ΑΤ τέταρτης γενιάς, σ' αυτά τα συστήματα περιστρέφεται μόνο η λυχνία). Αφού καταγραφούν όλες οι μετρήσεις, για μία πλήρη περιστροφή 360° του συστήματος λυχνίας- ανιχνευτών γύρω από τον εξεταζόμενο, ψηφιοποιούνται και υφίστανται μια σειρά από μαθηματικές επεξεργασίες, με βάση τις οποίες υπολογίζεται ο γραμμικός συντελεστής απορρόφησης (linear attenuation coefficient) για κάθε στοιχείο της εικόνας (pixel.)



Αρχές λειτουργίας του Αξονικού Τομογράφου

Κάθε διαφορετική τιμή του γραμμικού συντελεστή απορρόφησης αντιστοιχίζεται με μια συγκεκριμένη τιμή της κλίμακας του γκριζου με βάση την κλίμακα του Hounsfield (HU). Αυτή η κλίμακα χρησιμοποιεί σαν τιμές αναφοράς το νερό με τιμή μηδέν και τον αέρα με τιμή -1000. Σύμφωνα μ' αυτή την κλίμακα όσο περισσότερο απορροφά την ακτινοβολία ένα αντικείμενο, τόσο περισσότερο άσπρο απεικονίζεται (π.χ. οστό), ενώ όσο λιγότερο απορροφά την ακτινοβολία, τόσο πιο μαύρο απεικονίζεται (π.χ. αέρας). Μ' αυτό τον τρόπο καταλήγουμε με τις γνωστές εικόνες της ΑΤ, οι οποίες στην πράξη δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένας χάρτης των γραμμικών συντελεστών απορρόφησης των διαφόρων υλικών από τα οποία που πέρασαν οι ακτίνες -X κατά την διέλευσή τους μέσα από το σώμα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τιμών HU διαφόρων ιστών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Ιστός	HU	Ιστός	HU
Συμπαγή οστά	>250	Σπλήνας	45 +/- 5
Πορώδη οστά	130 +/- 100	Λέμφωμα	45 +/- 10
Αίμα Θρομβωμένο	80 +/- 10	Πάγκρεας	40 +/- 10
Θυρεοειδής	70 +/- 10	Νεφροί	30 +/- 10
Ήπαρ	65 +/- 5	Πλάσμα	27 +/- 2
Αίμα φλεβικό	55 +/- 5	Λίπος	-65 +/- 10
Μύες	45 +/- 5		

Οι τιμές αυτές παρουσιάζουν φυσιολογικές αποκλίσεις, π.χ. το φυσιολογικό συκώτι μπορεί να πάρει τιμές από 45HU έως 75HU και ο νεφρός από 20HU έως 40HU. Φυσικά υπάρχει μεταβολή αυτών των

τιμών κάτω από διάφορες καταστάσεις, όπως π.χ. η λιπώδης διήθηση του ήπατος ή από εξωγενείς παράγοντες, όπως π.χ. κατά την χορήγηση σκιαγραφικής ουσίας.

Κάθε συγκρότημα ηλεκτρονικού τομογράφου αποτελούν τα εξής βασικά μέρη.

- Μονάδα σάρωσης (gantry) στην οποία υπάρχει ενσωματωμένη η ακτινολογική λυχνία και οι ανιχνευτές.
- Εξεταστικό τραπέζι στο οποίο τοποθετείται ο ασθενής και περνά μαζί με αυτόν μέσα από το άνοιγμα της μονάδας σάρωσης.
- Γεννήτρια ακτίνων X και η μονάδα χειρισμού και ελέγχου.
- Μονάδα επεξεργασίας που αποτελείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που επεξεργάζεται τα δεδομένα και ανασυνθέτει εικόνες.
- Σύστημα προβολής και εκτύπωσης εικόνων που έχει την δυνατότητα της άμεσης προβολής εικόνων της εξεταζόμενης περιοχής ή εκτύπωσης τους σε ακτινολογικό φιλμ.

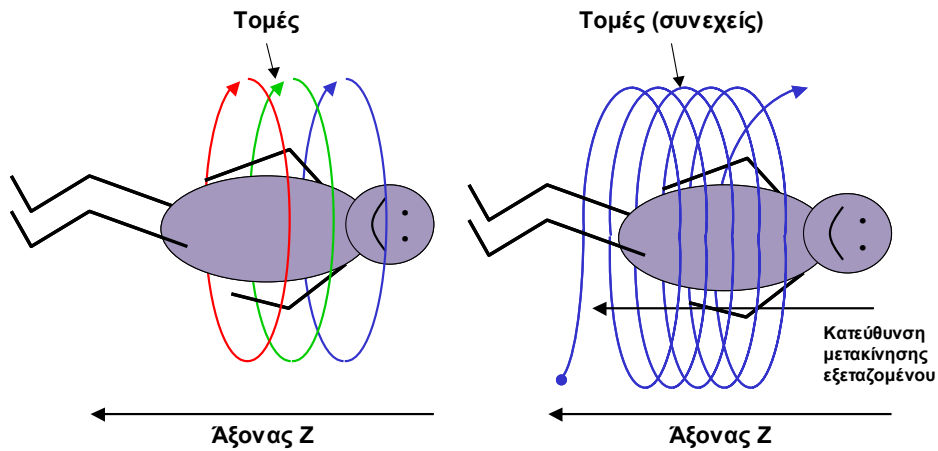
Η Μονάδα Σάρωσης (gantry) του μηχανήματος περιλαμβάνει πάντοτε, μία γεννήτρια παραγωγής ακτίνων X (x-ray generator), μία λυχνία παραγωγής ακτίνων X (x-ray tube), ένα σύστημα εστιασμού της δέσμης των ακτίνων X (collimation system) και μία σειρά ανιχνευτών (detector array) συνδεδεμένων με το ηλεκτρονικό σύστημα συλλογής δεδομένων (Data acquisition system - DAS). Το σύστημα εστιασμού της παραγόμενης δέσμης των ακτίνων X πριν την πρόσπτωσή τους στον εξεταζόμενο ασθενή καθορίζει το πάχος της τομής. Ο αριθμός των ανιχνευτών στα σύγχρονα μηχανήματα είναι περίπου 1000. Οι ανιχνευτές είναι μικρά στοιχεία διαστάσεων περίπου 1 X 25 mm. Τα σήματα που δημιουργούνται σε κάθε στοιχείο ανιχνευτή ενισχύονται, πολυπλέκονται, ψηφιοποιούνται και παραλαμβάνονται από το σύστημα συλλογής δεδομένων. Ρεύμα παρέχεται στην γεννήτρια και την λυχνία μέσω ενός συστήματος slip-rings το οποίο επιτρέπει την συνεχή περιστροφή της λυχνίας γεγονός που αποτελεί προϋπόθεση των σύγχρονων συστημάτων ελικοειδούς σάρωσης.

Ο χρόνος ανασύνθεσης της εικόνας στα σύγχρονα μηχανήματα είναι κάτω από 2 sec για 512 x 512 μήτρα ανασύνθεσης. Αυτό σημαίνει 1024 αναγνώσεις από 1024 δέσμες ακτίνων-X για τον σχηματισμό μιας εικόνας και απαιτεί 250.000.000 μαθηματικούς υπολογισμούς κάτι που θεωρείται και είναι τεχνολογικό επίτευγμα. Στα σύγχρονα μάλιστα μηχανήματα ελικοειδούς σάρωσης απαιτούνται εξαιρετικώς ισχυροί υπολογιστές για να ανταποκρίνονται σε ακόμα πιο πολύπλοκους υπολογισμούς που αφορούν στην λήψη δεδομένων κατά τον Z- άξονα - ογκομετρικών δεδομένων, με όλες τις εφαρμογές τους.

Πολλαπλοί υπολογιστές χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν το σύστημα του ΑΤ. Ο κεντρικός υπολογιστής ενορχηστρώνει τη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος. Υπάρχει επίσης ένας υπολογιστής ειδικά για να ανακατασκευάζει τα “ακατέργαστα δεδομένα” σε μια εικόνα. Ένας τερματικός σταθμός με ποντίκι, πληκτρολόγιο και άλλα εξειδικευμένα συστήματα ελέγχου επιτρέπει στον τεχνικό να ελέγχει και να επιτηρεί την διαδικασία. Ο σκελετός και ο πίνακας του ΑΤ έχουν πολλαπλούς μικροεπεξεργαστές που ελέγχουν την περιστροφή του ατσάλινου σκελετού, την μετακίνηση του εξεταστικού τραπεζιού (επάνω/κάτω και μέσα/έξω), κλίση του σκελετού για εικόνες υπό γωνία, και άλλες λειτουργίες όπως το αναβοσβήσιμο των ακτίνων-X.

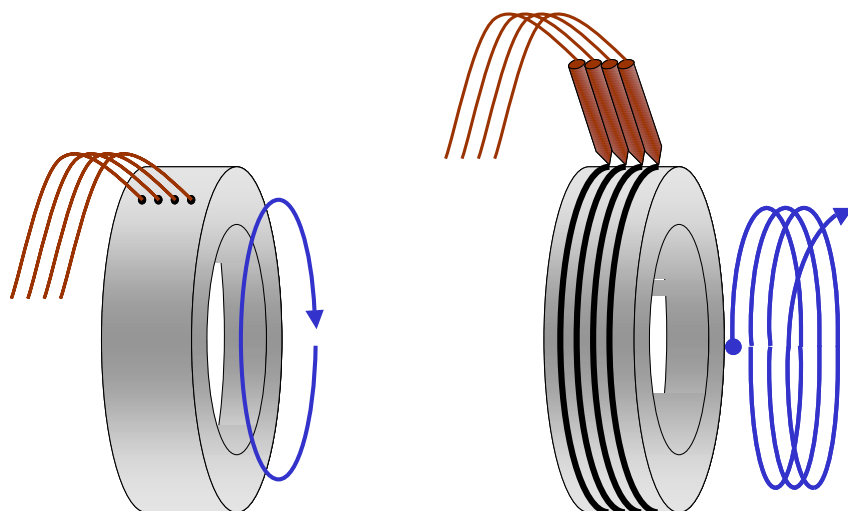
Οι τελευταίες εξελίξεις στην Αξονική Τομογραφία αφορούν τα μηχανήματα συνεχούς περιστροφής. Με την εμφάνιση της τεχνολογίας των ολισθαινόντων δακτυλίων (Slip Ring) περάσαμε στην εποχή της Ελικοειδούς Αξονικής Τομογραφίας (EAT) [17]. Στην συμβατική Αξονική Τομογραφία (ΑΤ) η εξέταση, όσον αφορά στη συλλογή των δεδομένων, είναι μια ασυνεχής διαδικασία. Το τραπέζι μεταφέρεται στη θέση της πρώτης τομής, η λυχνία περιστρέφεται γύρω από τον ασθενή ακτινοβολώντας και ταυτόχρονα γίνεται η συλλογή των δεδομένων. Αφού τελειώσει αυτή η διαδικασία και η λυχνία σταματήσει να περιστρέφεται, το τραπέζι μεταφέρεται στην θέση της επόμενης τομής. Κατά την διάρκεια του χρόνου στον οποίο συλλέγονται τα δεδομένα η ταχύτητα του τραπεζιού είναι μηδέν. Αυτός ο τρόπος εξέτασης ορίζεται σαν “βηματικός”, επειδή συμβαίνει με μια σειρά από διακριτά και ανεξάρτητα στον χρόνο βήματα. Λαμβάνεται η πρώτη τομή – το τραπέζι μετακινείται στην θέση επόμενης τομής – λαμβάνεται η δεύτερη τομή – κ.ο.κ. Το βήμα είναι η απόσταση που χωρίζει το μέσο δύο συνεχόμενων τομών, επιλέγεται πριν από την διενέργεια της

εξέτασης και μετά το τέλος της δεν μπορεί ν' αλλάξει. Αντίθετα στην EAT η συλλογή δεδομένων είναι μια συνεχής διαδικασία στο χρόνο και διαρκεί όσο διαρκεί η εξέταση. Η λυχνία περιστρέφεται συνεχώς προς την ίδια φορά, το τραπέζι μετακινείται συνεχώς προς την ίδια κατεύθυνση με σταθερή ταχύτητα και τα δεδομένα συλλέγονται καθ' όλη την διάρκεια αυτής της διαδικασίας.



Συμβατική AT (αριστερά.) Η μονάδα σάρωσης διαγράφει ένα κύκλο, μετακινείται ο ασθενής κατά ένα βήμα, η μονάδα σάρωσης διαγράφει ακόμα ένα κύκλο κ.ο.κ. **Ελικοειδής AT (δεξιά.)** Η μονάδα σάρωσης διαγράφει συνεχόμενους κύκλους ενώ ο ασθενής κινείται σταδιακά προς τη μια κατεύθυνση.

Μια σειρά από τεχνολογικές καινοτομίες και εξελίξεις ήταν απαραίτητες για να εμφανιστεί και ν' αρχίσει να χρησιμοποιείται στην πράξη η EAT. Η σημαντικότερη τεχνολογική καινοτομία για την EAT ήταν η παρουσίαση της τεχνολογίας των ολισθαίνοντων δακτυλίων (slip-ring) χάρη στην οποία μπορεί το σύστημα να περιστρέφεται προς την ίδια φορά συνεχώς. Οι ολισθαίνοντες δακτύλιοι είναι μια σειρά από ομόκεντρους κύκλους οι οποίοι βρίσκονται ακίνητοι στο εσωτερικό της μονάδας σάρωσης. Μια σειρά από ακίδες έρχονται σε άμεση επαφή και γλιστράνε πάνω στους ολισθαίνοντες δακτυλίους καθώς το σύστημα λυχνίας-ανιχνευτών περιστρέφεται. Μέσω αυτών του συστήματος ακίδων-δακτυλίων γίνεται η μεταφορά των εντολών του συστήματος προς την λυχνία, η μεταφορά των δεδομένων από τους ανιχνευτές προς τον υπολογιστή του συστήματος, η παροχή χαμηλής έντασης ρεύματος για την λειτουργία του ψυκτικού μηχανισμού και για μια σειρά από άλλες ενέργειες.



Η συμβατική μονάδα σάρωσης (αριστερά), με τους σταθερούς αγωγούς, μπορεί να διαγράψει μόνο ένα κύκλο. **Η μονάδα σάρωσης με ολισθαίνοντες δακτυλίους (δεξιά)** και σύστημα αγωγών με ακίδες μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς.

Εκτός από τους ολισθαίνοντες δακτυλίους χρειάστηκαν βελτιώσεις και σε άλλα τμήματα του αξονικού τομογράφου, όπως:

- Λυχνίες που μπορούν να αντεπεξέλθουν στους αυξημένους χρόνους εξέτασης που συνεπάγεται η συνεχής ακτινοβολή για τον χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί μια EAT.
- Ανιχνευτές ευαίσθητοι και γρήγοροι που να μπορούν να αντεπεξέλθουν στη γρήγορη και συνεχή συλλογή δεδομένων για όλο το χρόνο που διαρκεί μια EAT.
- Υπολογιστές με γρήγορους επεξεργαστές που να μπορούν να εκτελούν τις μαθηματικές διαδικασίες που είναι απαραίτητες για την παρουσίαση των τελικών εικόνων. Στα σύγχρονα συστήματα η διαδικασία της ανασυνθέσης διαρκεί από 1 έως 4sec για κάθε εικόνα, αλλά και αυτός ο χρόνος είναι πολύς αν ληφθεί υπ' όψιν, ότι μια EAT εξέταση παράγει έως και 200 εικόνες, που χρειάζονται δηλαδή περίπου 10 λεπτά μόνο για την επεξεργασία και την παρουσίαση τους. Είναι σαφές ότι η βελτίωση των υπολογιστών και η εφαρμογή άλλων τεχνικών όπως η παράλληλη επεξεργασία θα βελτιώσουν και αυτούς τους χρόνους.

Η EAT τυγχάνει ευρείας χρήσης για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι η ταχύτητα με την οποία μπορεί να ολοκληρωθεί η εξέταση και ο δεύτερος είναι ο τρισδιάστατος όγκος δεδομένων και η συνέχεια στο χώρο αυτών των δεδομένων που παρέχει. Η ταχύτητα, εκτός των άλλων, αυξάνει τον αριθμό των εξετάσεων που γίνονται από ένα τμήμα. Χαρακτηριστικό είναι ότι έχει αναφερθεί αύξηση του αριθμού των εξεταζομένων μέχρι και 13% και αύξηση των εξετάσεων μέχρι και 19%, στο ίδιο τμήμα με την αλλαγή από συμβατικό σε ελικοειδή αξονικό τομογράφο. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης EAT περιλαμβάνουν:

- Ακόμη πιο μικρή διάρκεια εξέτασης. Εξέταση μη συνεργάσιμων ασθενών.
- Μείωση της συνολικής δόσης της σκιαγραφικής ουσίας
- Εξαφάνιση των παραμορφώσεων λόγω κίνησης.
- Δυνατότητα εξέτασης περιοχών με συνεχή ακούσια κίνηση (καρδιά).
- Υψηλή χωρική ανάλυση (spatial resolution). Μεγαλύτερη αξιοπιστία στην ανίχνευση μικρών βλαβών.
- Υψηλή χρονική ανάλυση (temporal resolution). Γρηγορότερη απεικόνιση που επιτρέπει πολυφασικές μελέτες οργάνων.
- Μεγάλο μήκος κάλυψης.
- Ακόμη καλύτερες δισδιάστατες και τρισδιάστατες ανασυνθέσεις, όπως π.χ. αγγειογραφίες.
- Ακριβέστερες πυκνομετρήσεις και ογκομετρήσεις

Σε περιπτώσεις όπου η ανωμαλία, την οποία προσπαθούμε να αποκαλύψουμε, είναι δυσδιάκριτη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σκιαγραφικό υλικό έτσι ώστε να αυξήσουμε την αντίθεση της ανωμαλίας από τους ιστούς που την περιβάλλουν. Τα σκιαγραφικά μέσα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην ανίχνευση αλλοιώσεων σε αγγεία ή αλλοιώσεων με πλούσιο κυκλοφοριακό δίκτυο (π.χ. καρδιαγγειακό σύστημα, συκώτι, κάποιοι όγκοι, κλπ.) Σε αυτές τις περιπτώσεις χορηγούμε σκιαγραφικό μέσο ενδοφλεβίως. Επίσης χορηγούμε σκιαγραφικό από το στόμα ή με κλύσμα όταν θέλουμε να εξετάσουμε την κοιλιά για να απεικονίσουμε ικανοποιητικά τις εντερικές έλικες. Τα σκιαγραφικά μέσα, είναι χημικές ουσίες οι οποίες απορροφούν τις ακτίνες-X και προκαλούν μεταβολές στην ακτινολογική εικόνα, μεταβολές οι οποίες συμβάλουν στην διάγνωση. Μπορούμε να τα χωρίσουμε σε ιονικά και μη ιονικά σκιαγραφικά. Και οι δύο κατηγορίες στη χημική τους σύνθεση περιέχουν ιώδιο. Η συγκέντρωση ιωδίου καθορίζει πόση ακτινοβολία απορροφά το σκιαγραφικό. Όσο πιο μεγάλη τόσο πιο ακτινοσκοπική, δηλαδή τόσο περισσότερα φωτόνια θα απορροφάει. Τα ενδοφλεβίως χορηγούμενα σκιαγραφικά αποβάλλονται από το ουροποιητικό σύστημα. Μελέτες έχουν δείξει ότι μέσα σε 24 ώρες αποβάλλεται το 100% του σκιαγραφικού από έναν οργανισμό με φυσιολογική νεφρική λειτουργία.

Αν και είναι γνωστό ότι προκαλούνται αντιδράσεις από την χορήγηση σκιαγραφικών ο ακριβής λόγος δεν είναι γνωστός. Γενικά υπάρχουν δύο θεωρίες οι οποίες προσπαθούν να εξηγήσουν αυτό το φαινόμενο. Η πρώτη θεωρία είναι η φυσιοχημειοτοξική. Σύμφωνα με αυτήν οι αντιδράσεις προκαλούνται εξαιτίας της ιδιότητας των σκιαγραφικών να μεταβάλλουν την λειτουργία του οργανισμού και ειδικά του αίματος και της κυκλοφορίας. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις μεταβολές περιλαμβάνουν:

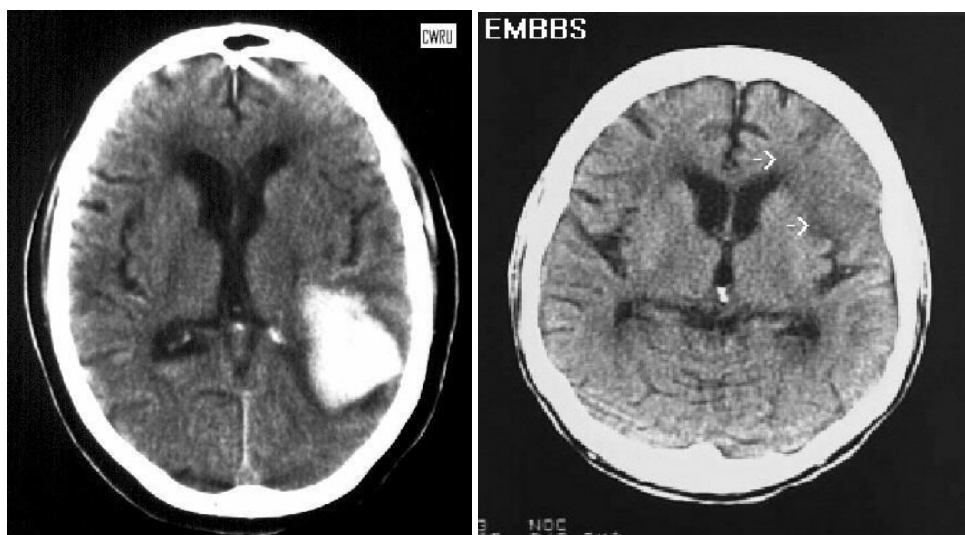
- Τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σκιαγραφικό. Αν είναι δηλαδή ιονικό η μη ιονικό.
- Την συγκέντρωση του ιωδίου. Όσο υψηλότερη η συγκέντρωση τόσο μεγαλύτερος και ο κίνδυνος για αντιδράσεις.
- Την ταχύτητα έγχυσης του σκιαγραφικού. Η αύξηση της ταχύτητας έγχυσης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κίνδυνο αντιδράσεων.
- Την γλοιώτητα του σκιαγραφικού. Ο όρος γλοιώτητα περιγράφει την αντίσταση στην ροή ενός σκιαγραφικού. Όσο μικρότερη γλοιώτητα έχει ένα σκιαγραφικό τόσο λιγότερος είναι ο κίνδυνος για αντιδράσεις. Μείωση της γλοιώτητας και συνεπώς του κινδύνου επιτυγχάνεται με την θέρμανση της σκιαγραφικής ουσίας έως του βαθμού της θερμοκρασίας του σώματος, δηλαδή 36oC.
- Το συνολικό όγκος του σκιαγραφικού. Αύξηση του όγκου δηλαδή της ποσότητας του σκιαγραφικού σημαίνει αύξηση του κινδύνου για αντιδράσεις.

Η δεύτερη θεωρία υποστηρίζει ότι οι αντιδράσεις στο σκιαγραφικό μέσο είναι ιδιοπαθείς. Οι ιδιοπαθείς ομοιάζουν με τις αλλεργικές αντιδράσεις ή με υπερευαισθησία σε συγκεκριμένες ουσίες, στην περίπτωση αυτή στο ιώδιο. Οι ιδιοπαθείς αντιδράσεις χωρίζονται σε ήπιες και σοβαρές. Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση σκιαγραφικού στις εξής περιπτώσεις.

- Προηγούμενες αντιδράσεις στο ιώδιο.
- Υπερθυρεοειδισμός.
- Σύγχρονη συνύπαρξη ανεπάρκειας ήπατος και νεφρών.
- Γνωστή αλλεργία σε ιώδιο.

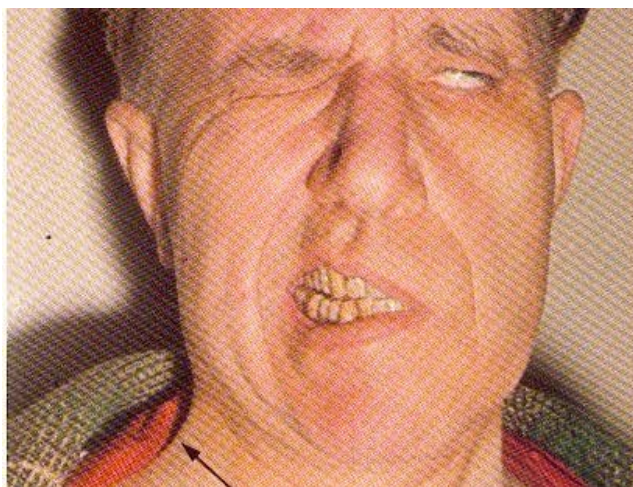
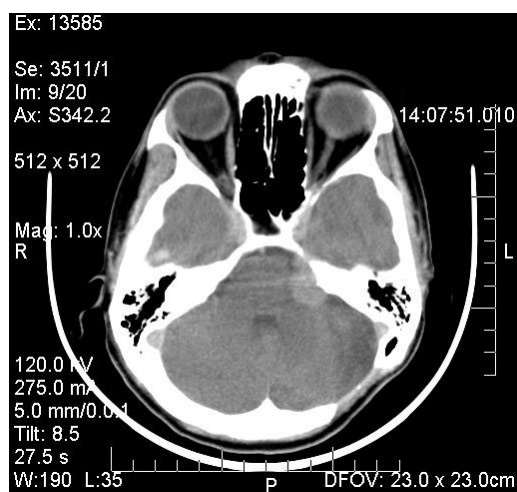
Ο κοινά χρησιμοποιούμενος όρος για τις ιδιοπαθείς αντιδράσεις είναι “αντιδράσεις αναφυλαξίας.” Σε απάντηση στα αντιγόνα (π.χ. σκιαγραφικό) ο οργανισμός παράγει αντισώματα. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην απελευθέρωση ισταμίνης. Όταν απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα ισταμίνης στο σώμα και το κυκλοφορικό σύστημα υπερφορτώνεται τότε η ισταμίνη βγαίνει από τα αγγεία στους περιβάλλοντες ιστούς. Αυτό προκαλεί το οίδημα. Συμπτώματα που σχετίζονται με αναφυλακτικές αντιδράσεις είναι: υγρά μάτια, μύτη που τρέχει, πονοκέφαλος, ναυτία, εμετός, λαρυγγόσπασμος και βρογχόσπασμος.

Αρχικά η ΑΤ χρησιμοποιήθηκε μόνο σε εξετάσεις εγκεφάλου και σπονδυλικής στήλης. Στη συνέχεια σε εξετάσεις κοιλίας, πνευμόνων, οστών και μαλακών μορίων, με περιορισμό των άλλων ακτινολογικών μεθόδων. Σήμερα, η ΑΤ είναι η εξέταση επιλογής σε επείγουσες και οξείες καταστάσεις, π.χ. σε τραύματα και εγκεφαλικά επεισόδια. Η εξέταση με ΑΤ είναι γρήγορη και απλή και επιτρέπει μια γρήγορη επισκόπηση ενδεχομένως απειλητικής για τη ζωή παθολογίας και καθιστά δυνατή γρήγορη και εξατομικευμένη χειρουργική θεραπεία. Επιτρέπει επίσης τη σταδιοποίηση της εξάπλωσης του καρκίνου σε καρκινοπαθείς. Οι εικόνες της ΑΤ χρησιμοποιούνται ως βάση για την κατάρτιση της θεραπείας του καρκίνου με ακτινοθεραπεία. Επίσης, χρησιμοποιούνται συχνά για να ακολουθηθεί η πορεία της θεραπείας και για να καθορίσει πώς ο όγκος αποκρίνεται στη θεραπεία. Επειδή μπορεί να γίνει σαφής εντοπισμός εσωτερικών αλλοιώσεων σε διάφορα όργανα του σώματος, η ΑΤ χρησιμοποιείται για να καθοδηγήσει ανώδυνα, ακίνδυνα, και με εξαιρετική ακρίβεια διαγνωστικές βιοψίες και παροχετεύσεις συλλογών και κύστεων. Έχει προσφέρει, έτσι, τα μέγιστα στην έγκαιρη θεραπεία του ασθενούς και στον περιορισμό των ημερών νοσηλείας. Τελευταία χρησιμοποιείται για καθοδήγηση τοπικής θεραπείας όγκων του ήπατος με έγχυση ουσιών (αλκοόλης), λέιζερ, ραδιοσυχνότητες κ.λ.π. Με την συνεχή βελτίωση των υπολογιστών έχουμε φθάσει σε επίπεδο, πειραματικά τουλάχιστον, ενδοσκοπικής μελέτης των κοίλων οργάνων εικονικά και σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας τις συνήθεις τομές (εικονική κολονοσκόπηση, κυστεοσκόπηση κ.λ.π.)



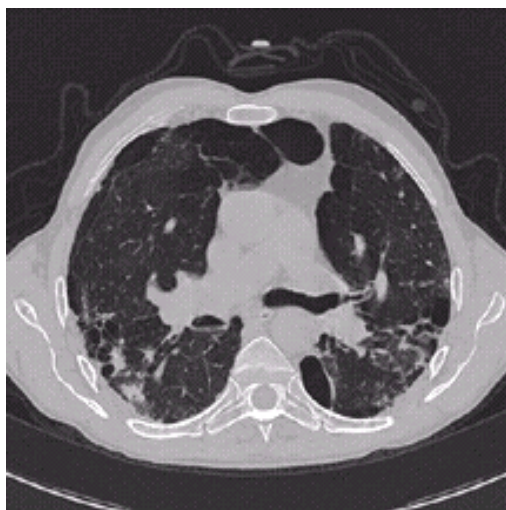
ΑΤ του εγκεφάλου. Οξεία ενδοεγκεφαλική αιμορραγία (αριστερά) και οξύ ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο (δεξιά.)

Η ΑΤ είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη διερεύνηση ανωμαλιών που καταλαμβάνουν κάποιο όγκο μέσα στο κρανίο, όπως τραύματα, όγκοι και μεταστάσεις και μπορεί όχι μόνο να αποκαλύψει την παρουσία, αλλά και το μέγεθος, τη θέση και την έκταση ενός όγκου. Μπορεί ακόμη να ανιχνεύσει θρόμβους, ανωμαλίες των αιμοφόρων αγγείων, διευρυμένες κοιλίες (που προκαλούνται από συγκέντρωση του εγκεφαλονωτιαίου ρευστού) και άλλες ανωμαλίες των νεύρων ή των μυών του ματιού.



Όγκος στον εγκέφαλο (αριστερά) που επηρεάζει το VII εγκεφαλικό νεύρο. Παράδειγμα άνδρα με παράλυση του VII εγκεφαλικού νεύρου (δεξιά.)

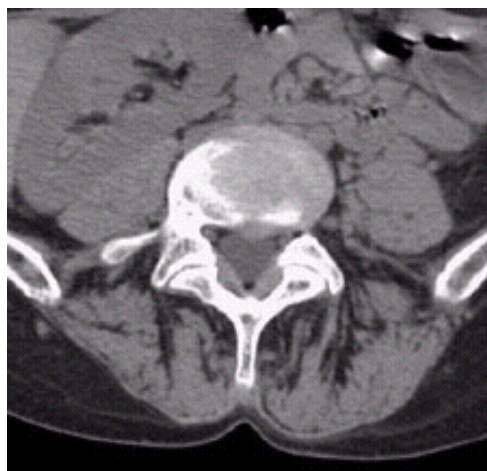
Λόγω του σύντομου χρόνου αντίχενυσης (500 χιλιοστά του δευτερολέπτου έως μερικά δευτερόλεπτα), η ΑΤ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις ανατομικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που είναι ευαίσθητες στην κίνηση και την αναπνοή του ασθενή. Παραδείγματος χάριν, στο θώρακα η ΑΤ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση όγκων, διεύθυνση ρευστού, ίνωση (παραδείγματος χάριν από τις ίνες αμιάντων), και διαχύσεων (πλήρωση ενός κενού, δηλαδή αέρα, με ρευστό).



Αξονική Τομογραφία των πνευμόνων και της καρδιάς με ίχνη πνευμονίας και στους δυο πνεύμονες.



ΑΤ των πνευμόνων, της καρδιάς και των αγγείων (αριστερά) και μιας βαλβίδας της καρδιάς (δεξιά.)



ΑΤ της οσφυϊκής σπονδυλικής στήλης η οποία δείχνει ελαφρά πρόσπτωση του δίσκου και εξάρτηση πίεσης στο νωτιαίο μυελό.

Η απεικόνιση με ΑΤ παρέχει δυνατότητα απεικόνισης μαλακών ιστών με υψηλή αντίθεση και ευκρίνεια. Αυτό επιτρέπει τη χρήση της στην ορθοπεδική για την απεικόνιση των οστών και των μυών, συμπεριλαμβανομένων των προπτώσεων (προεξοχή) των σπονδυλικών δίσκων. Ακόμα, επιτρέπει την απεικόνιση σύνθετων κλειδώσεων όπως του ώμου ή του ισχίου και καταγμάτων, ειδικά εκείνων που έχουν επιπτώσεις στη σπονδυλική στήλη. Οι δυνατότητες επεξεργασίας της εικόνας του ΑΤ - όπως απεικόνιση σε πολλαπλά επίπεδα και τρισδιάστατη παρουσίαση - περαιτέρω ενισχύουν την αξία της ΑΤ για τους χειρουργούς. Παραδείγματος χάριν, η τρισδιάστατη ΑΤ είναι ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τη χειρουργική αναδημιουργία του προσώπου μετά από τραύμα.

Με την εμφάνιση της ελικοειδούς ΑΤ, η συνεχής απόκτηση πλήρων όγκων δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση προβλημάτων των αιμοφόρων αγγείων. Παραδείγματος χάριν, τα κοιλιακά αορτικά ανευρύσματα, οι νεφρικές αρτηρίες, οι καρωτίδες και ο κύκλος Γουίλις μπορούν τώρα όλα να εξετασθούν γρήγορα και ελάχιστα επεμβατικά με ΑΤ και σκιαγραφικό μέσο.

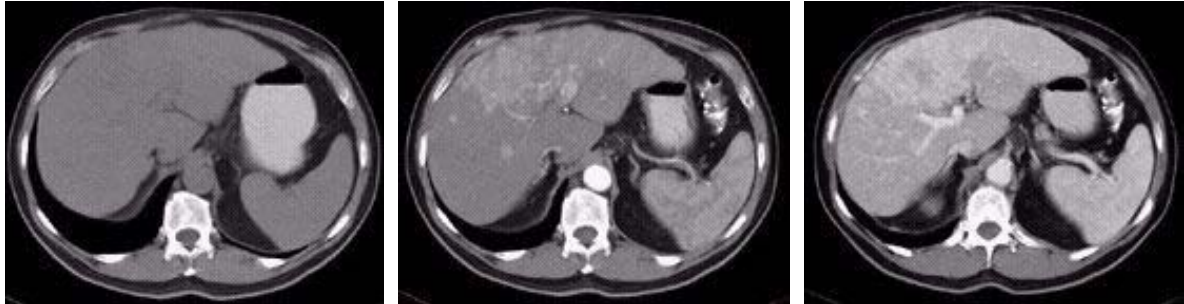


Αξονική Αγγειογραφία ολόκληρου του σώματος (αριστερά) και τρισδιάστατη αναδημιουργία της ίδιας περιοχής που παρουσιάζει την θέση των αγγείων σε σχέση με τα οστά και τους πνεύμονες.

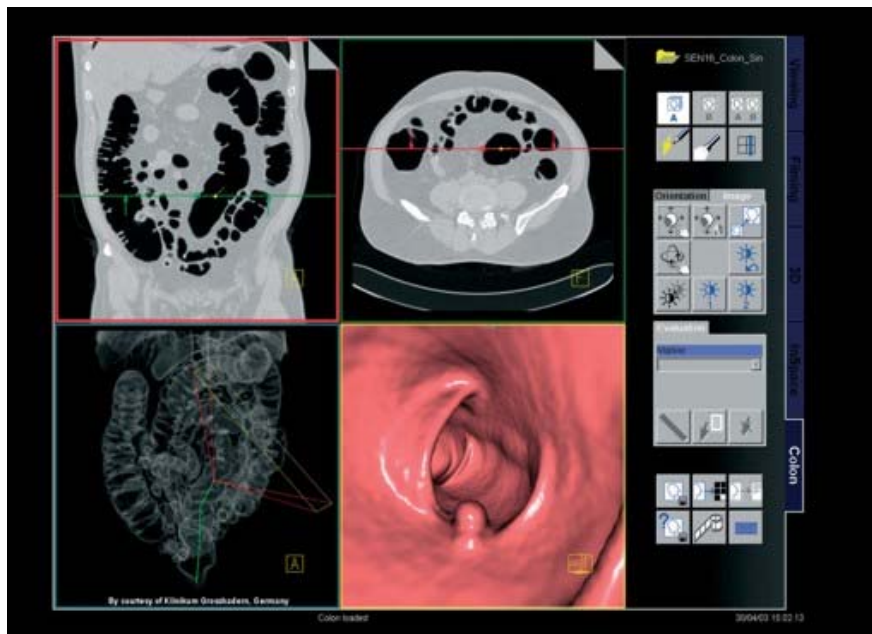


Αξονική Αγγειογραφία της κοιλιακής χώρας.

Λόγω της ταχύτητας της ελικοειδούς ΑΤ, μπορούμε τώρα να απεικονίσουμε διάφορα όργανα, π.χ. το συκώτι, κατά την διάρκεια διαφόρων φάσεων της ροής σκιαγραφικού υλικού και μάλιστα σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι αποκαλούμενες "πολυφασικές" μελέτες αποτελούν ένα σημαντικό βήμα προς τη διάγνωση ανωμαλιών στο συκώτι. Παραδείγματος χάριν, η τριφασική μελέτη συκωτιού παρουσιάζει αύξηση της αντίθεσης στις περιοχές των όγκων κατά την αρτηριακή και φλεβική φάση, σημεία που είναι χρήσιμα για τη διάγνωση της ασθένειας.



ΑΤ του συκωτιού χωρίς σκιαγραφικό υλικό (αριστερά), με το σκιαγραφικό υλικό στην αρτηριακή φάση (μέση) και το σκιαγραφικό υλικό στην φλεβική φάση (δεξιά.)



Εικονική κολονοσκόπηση με χρήση ΑΤ. (Εικόνα από σύστημα Siemens)

Η δόση ακτινοβολίας στην ΑΤ είναι λιγότερη από τις κλασσικές τομογραφίες και αγγειογραφίες αλλά μεγαλύτερη από τις απλές ακτινογραφίες. Μεγαλύτερη από τις απλές ακτινογραφίες είναι επίσης η δόση όταν λαμβάνονται πολλές τομές στο ίδιο σημείο, αλλά αυτό είναι σπάνιο και απαιτείται μόνο σε πολύ εξειδικευμένες τεχνικές και σε άκρως επιλεγμένες περιπτώσεις.

Παρά το γεγονός ότι τα κλινικά σημεία φανέρωναν υποψίες εγκεφαλικού επεισοδίου, εντούτοις η διάγνωση του Ρ.Μ. δεν ήταν ξεκάθαρη και ο ασθενής παρέμενε αναισθητός. Ο γιατρός αποφάσισε να προχωρήσει σε **μαγνητική τομογραφία** που είναι μια πιο ευαίσθητη εξέταση για πρώιμα εγκεφαλικά επεισόδια.

Μαγνητίζοντας τους πυρήνες

Η απεικόνιση μέσω μαγνητικού συντονισμού ή μαγνητική τομογραφία (MT) είναι μια σύγχρονη μέθοδος απεικόνισης η οποία έχει γίνει το διαγνωστικό εργαλείο προτίμησης για διάγνωση διαφόρων ασθενειών. Με τη MT είναι δυνατή η λήψη μίας εικόνας υψηλής ευκρίνειας, του εσωτερικού του ανθρώπινου σώματος. Η μέθοδος αυτή έχει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα δεδομένου ότι είναι μη επεμβατική, δεν χρησιμοποιεί ακτίνες X, έχει ψηλή ευκρίνεια και διακρίνει τους μαλακούς ιστούς υπό οποιοδήποτε γωνία ή επίπεδο απεικόνισης. Η MT βασίζεται στην αρχή του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, μια τεχνική φασματοσκοπίας που δίνει πληροφορίες για της χημικές και φυσικές ιδιότητες των μορίων. Ο λόγος που επικράτησε ο όρος MT οφείλετε στον συσχετισμό της λέξης “πυρηνικός” με τη ραδιενέργεια και τις συνέπειες τις που ήταν πολύ έντονος στα τέλη του 1970.



Το πρώτο επιτυχές πείραμα Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού (ΠΜΣ) έγινε το 1946 ανεξάρτητα από δύο επιστήμονες στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο Φίλιξ Μπλοκ, στο Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ και ο Έντουαρτ Περσέλ, από το Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ, διαπίστωσαν ότι όταν τοποθετούνταν ορισμένοι πυρήνες σε ένα μαγνητικό πεδίο απορρόφησαν ενέργεια σε ραδιοσυχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, και επανεκέμπανε αυτήν την ενέργεια όταν οι πυρήνες επέστρεφαν στην αρχική κατάσταση τους [18]. Η δύναμη του μαγνητικού πεδίου και η συχνότητα επανεκπομπής σχετίζονταν η μια με την άλλη όπως είχε προβλέψει νωρίτερα ο Σερ Τζόσεφ Λάρμορ (Ιρλανδός φυσικός 1857-1942) μια σχέση που είναι γνωστή σήμερα ως σχέση Λάρμορ. Αυτό το φαινόμενο ονομάστηκε Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός:

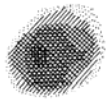
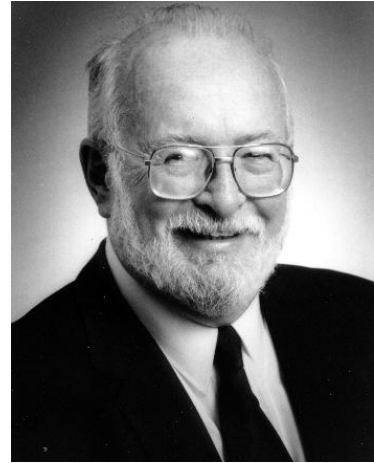


- “Πυρηνικός” αφού μόνο οι πυρήνες ορισμένων ατόμων αντιδρούν με αυτό τον τρόπο
- “Μαγνητικός” δεδομένου ότι χρησιμοποιείται ένα μαγνητικό πεδίο
- “Συντονισμός” λόγω της άμεσης εξάρτησης της ραδιοσυχνότητας από τα μαγνητικά πεδία

Με αυτήν την ανακάλυψη γεννήθηκε η φασματοσκοπία ΠΜΣ που έγινε σύντομα μια σημαντική αναλυτική μέθοδος στη μελέτη της σύνθεσης των χημικών ενώσεων. Για την ανακάλυψη τους αυτή οι Μπλόκ και Περσέλ βραβεύτηκαν με το Νόμπελ Φυσικής το 1952. Κατά ενδιαφέροντα τρόπο, ο Δρ Ίσιντορ Ράμπι, ένας αμερικανός φυσικός που βραβεύθηκε με το Νόμπελ Φυσικής το 1944 για την ανακάλυψη ατομικής και μοριακής μεθόδου μαγνητικού συντονισμού για την μελέτη ατομικών φασμάτων, συνάντησε τον ΠΜΣ σε πειράματα, προς το τέλος της δεκαετίας του '30, αλλά το θεώρησε ένα τεχνητό σφάλμα των συσκευών του και δεν έλαβε υπόψη τη σημασία του! Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του '50 και '60, η φασματοσκοπία ΠΜΣ βρήκε ευρεία χρήση στη μη καταστρεπτική ανάλυση μικρών δειγμάτων. Οι εφαρμογές της εστιάζονταν στο μικροσκοπικό επίπεδο με την χρήση μαγνητών μικρής διαμέτρου αλλά με ισχυρό μαγνητικό πεδίο.

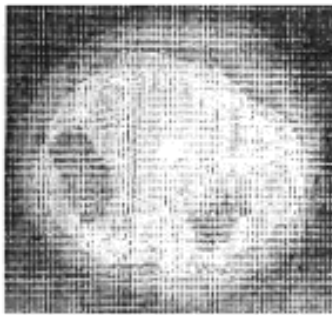
Προς το τέλος της δεκαετίας του '60 και στις αρχές του '70, ο Ρέιμοντ Νταμάντιαν, ένας αμερικανός γιατρός στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης στο Μπρούκλιν, κατέδειξε ότι μια παράμετρος ΠΜΣ των ιστών (που καλείται χρόνος χαλάρωσης T_1) από δείγματα όγκων ήταν σημαντικά υψηλότερη από τον κανονικό ιστό. Αν και η ανακάλυψη αυτή δεν επιβεβαιώθηκε από άλλους ερευνητές, ο Νταμάντιαν σκόπευε να χρησιμοποιήσει αυτή και άλλες παραμέτρους ΠΜΣ από ιστούς, όχι για την απεικόνιση αλλά για το χαρακτηρισμό του ιστού (δηλαδή για να ξεχωρίσει καλοήθεις από κακοήθεις ιστούς). Αυτή η ιδέα, αν και πολύ καλή, δεν έχει ακόμα επιτευχθεί κυρίως λόγω της ετερογένειας των ιστών. Ο Νταμάντιαν αμφισβητήθηκε πολύ στον επιστημονικό του κύκλο, μερικώς λόγω του επιδεικτικού χαρακτήρα του, όπως εκδηλώνονταν στα διάφορα συνέδρια. Παρ' όλο που έχει ασκηθεί δριμιά κριτική κατά των επιστημονικών του ικανοτήτων, το γεγονός παραμένει ότι περιγραφές του σχετικά με τις αλλαγές στους χρόνους χαλάρωσης των ιστών έδωσαν σημαντική ώθηση στην εισαγωγή του ΠΜΣ στην ιατρική.

Στις 16 Μαρτίου 1973 δημοσιεύθηκε ένα σύντομο άρθρο στο περιοδικό Φύση (Nature) με τίτλο “Σχηματισμός εικόνας από προσκληθείσα τοπική αλληλεπίδραση, παραδείγματα που υιοθετούν τον μαγνητικό συντονισμό.” Ο συγγραφέας του ήταν ο Πωλ Λότερμπερ, καθηγητής χημείας στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης στο Στόνι Μπρουκ [19]. Κανένας δεν θα περίμενε διαβάζοντας τον τίτλο ότι αντιπροσώπευε το έναυσμα για μια επανάσταση στην ιατρική απεικόνιση. Πράγματι, το άρθρο σχεδόν έμεινε αδημοσίευτο μια και απορρίφθηκε αρχικά από τον συντάκτη ως μη έχον το εύρος και την σημασία να δημοσιευτεί στο συγκεκριμένο το περιοδικό. Σε εκείνο το κλασσικό άρθρο ο Λότερμπερ περιέγραψε μια νέα τεχνική απεικόνισης την οποία απεκάλεσε ζευματογραφία (από τον



ελληνικό ζεύγμα = ζυγός ή συνένωση). Εμπνεύστηκε αυτό το όνομα από την συνένωση/αλληλεπίδραση του αδύνατου βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου με το ισχυρότερο κύριο μαγνητικό πεδίο που επιτρέπει το εντοπισμό, στο χώρο, της θέσης δύο δοκιμαστικών σωλήνων με νερό. Χρησιμοποίησε μια μέθοδο ανασύνθεσης για να δημιουργήσει την εικόνα των δύο δοκιμαστικών σωλήνων. Αυτό έφερε τον ΠΜΣ από την μια διάσταση στις δύο, κάτι που αποτελεί την βάση της Μαγνητικής

Τομογραφίας (ΜΤ.)

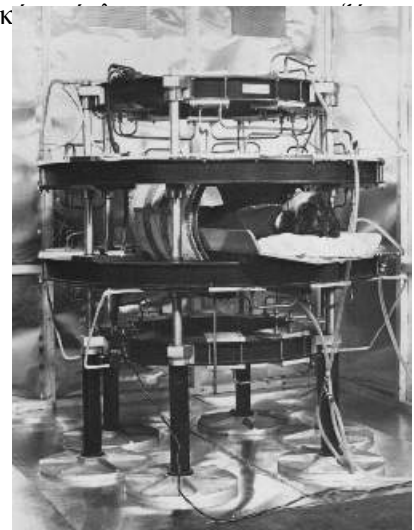


Το Ιούλιο του 1977, έλαβε χώρα η πρώτη εξέταση ΜΤ σε άνθρωπο. Το επιστημονικό αυτό γεγονός άλλαξε τα μέχρι τότε δεδομένα της σύγχρονης ιατρικής. Η πρώτη εξέταση διάρκεσε 3 ώρες και το αποτέλεσμα ήτανε μια χαμηλής ποιότητας, για τα σημερινά δεδομένα, εικόνα. Για να δημιουργηθεί αυτή η πρώτη εικόνα, ο Δρ. Ρέιμοντ Νταμάντιαν και οι συνάδελφοι του εργάστηκαν επί εφτά χρόνια. Η επιστημονική αυτή ομάδα είχε τότε ονομάσει το πρώτο μηχάνημα ΜΤ “ακαταμάχητο”, σε αντίθεση με το μέχρι τότε αρνητικό κλίμα που επικρατούσε στο κλάδο της ιατρικής φυσικής ως προς της πιθανότητες επιτυχημένης χρήσης της ΜΤ πάνω σε άνθρωπο. Σήμερα το “ακαταμάχητο” αυτό μηχάνημα βρίσκεται σε μουσείο, και η ΜΤ αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους ιατρικής απεικόνισης.

Προς το τέλος της δεκαετίας του '70 και τις αρχές του '80, διάφορες ομάδες στις ΗΠΑ και το Ηνωμένο Βασίλειο, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευαστών, παρουσίαζαν ελπιδοφόρα αποτελέσματα ΜΤ σε ασθενείς. Η τεχνική ήταν μια τεχνολογική μαγνήτες δυνατούς με μεγάλη διάμετρο και ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο έτσι ώστε να συλλεχθεί εικόνα από το ανθρώπινο σώμα. Ο πρώτος εμπορικός μαγνητικός τομογράφος στην Ευρώπη (από τους Πίκερ Λτδ.) εγκαταστάθηκε το 1983 στο Τμήμα Διαγνωστικής Ακτινολογίας στο Πανεπιστήμιο της Ιατρικής Σχολής του Μάντσεστερ (Καθηγητής Ι. Τσχεργουντ).

Ένας από του πρώτους μαγνητικούς τομογράφους

Περαιτέρω εφαρμογές της ΜΤ επίσης εξερευνήθηκαν εκείνη την περίοδο. Η διαμόρφωση του βαθμιδωτού πεδίου και καινούργιο, προχωρημένο λογισμικό, παρέχουν όχι μόνο έξοχη ανατομική λεπτομέρεια αλλά και λειτουργικές πληροφορίες όπως, π.χ., στις



μελέτες διάχυσης του εγκεφάλου σε ασθενείς. Η δις- και τριςδιάστατη μαγνητική αγγειογραφία (MA) παρέχουν ένα χάρτη των αγγείων σε όλα τα μέρη του σώματος, μαζί με τη δυνατότητα να μελετηθεί δυναμικά η ροή του αίματος. Αυτή η μη επεμβατική τεχνική είναι πιθανό να αντικαταστήσει στο εγγύς μέλλον τη συμβατική διαγνωστική αγγειογραφία με ακτίνες X. Η χρήση MT σε πραγματικό χρόνο (μαγνητική φθοροσκόπηση) και συστήματα ανοικτών μαγνητών επιτρέπουν την διεξαγωγή επεμβάσεων υπό την καθοδήγηση της MT. Τα πλεονεκτήματα των τομογραφικών τομών του κεφαλιού ή του σώματος ενός ασθενή, που επιτρέπουν τη διάγνωση ασθενειών με έναν μη επεμβατικό τρόπο είναι ήδη εμφανή. Το μέλλον για MRI είναι πράγματι λαμπρό!

Δευτέρα, 6 Οκτωβρίου 2003

Στους εφευρέτες της μαγνητικής τομογραφίας το Νόμπελ Ιατρικής

Στοκχόλμη: Ο Αμερικανός Πολ Λότερμπερ και ο Βρετανός Πίτερ Μάνσφιλντ κερδίζουν το βραβείο Νόμπελ Ιατρικής-Φυσιολογίας 2003, ανακοίνωσε το Ινστιτούτο Καρολίνσκα. Οι δύο επιστήμονες τιμώνται “για τις πρωτοποριακές ανακαλύψεις τους στη χρήση του μαγνητικού συντονισμού [...] ο οποίος αποτελεί σημαντική εξέλιξη στην ιατρική διαγνωστική και έρευνα” αναφέρει σε ανακοίνωσή της η επιτροπή του βραβείου.

Τα Νόμπελ, που απονέμονται κάθε χρόνο από το 1901, συνοδεύονται από χρηματικό βραβείο 1,3 εκατ. δολαρίων.

Είναι εξαιρετικά δύσκολο να περιγραφεί ο τρόπος λειτουργίας του μαγνητικού τομογράφου. Θα αρχίσουμε, λοιπόν, με μια σύντομη και περιληπτική περιγραφή. Περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να βρείτε στο παράρτημα.

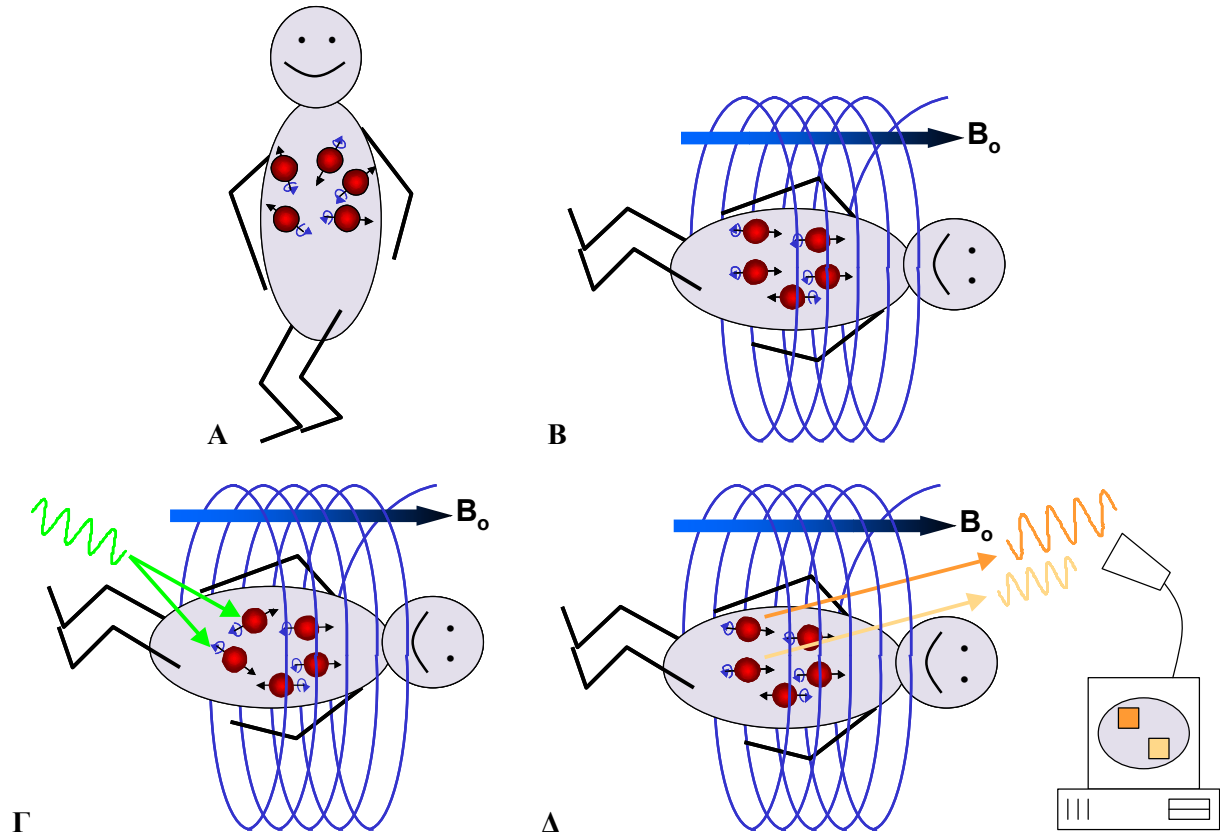
Τα άτομα αποτελούνται από το κέλυφος και τον πυρήνα. Το κέλυφος αποτελείται από αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, τα ηλεκτρόνια, τα οποία περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα. Ο πυρήνας αποτελείται από τα θετικά φορτισμένα πρωτόνια και τα ουδέτερα νετρόνια. Τα φορτισμένα σωματίδια, όπως τα πρωτόνια, δεν είναι ακίνητα αλλά περιστρέφονται. Το ηλεκτρικό φορτίο το οποίο κατέχουν περιστρέφεται μαζί μ’ αυτά. Είναι γνωστό ότι ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο παράγει μαγνητικό πεδίο. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι τα πρωτόνια συμπεριφέρονται σαν μικροί μαγνήτες, με νότιο και βόρειο πόλο. Υπό κανονικές συνθήκες τα πρωτόνια περιστρέφονται σε τυχαίες κατευθύνσεις και τα μαγνητικά τους πεδία αλληλοεξουδετερώνονται. Όταν τοποθετήσουμε έναν ασθενή μέσα στο μαγνήτη του MT τα πρωτόνια όντας μικροί μαγνήτες παρατάσσονται παράλληλα και αντιπαράλληλα ως προς το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Τα περισσότερα πρωτόνια παρατάσσονται παράλληλα. Ο ασθενής, λοιπόν, μέσα στο μαγνήτη, αποκτά το δικό του μαγνητικό πεδίο το οποίο είναι διάμηκες (παράλληλο) ως προς το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο του MT.

Η εκπομπή ενός ραδιοπαλμού (RF) που έχει την ίδια συχνότητα με την περιστροφική συχνότητα των πρωτονίων προκαλεί δύο αποτελέσματα.

- Κάποια πρωτόνια συλλέγουν ενέργεια και στρέφονται αντιπαράλληλα, με αποτέλεσμα να μειώνουν το σύνολο της διαμήκους μαγνήτισης του ιστού.
- Τα πρωτόνια συγχρονίζονται και αρχίζουν να περιστρέφονται σε φάση με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας εγκάρσιας (κάθετης στο κυρίως μαγνητικό πεδίο) μαγνήτισης.

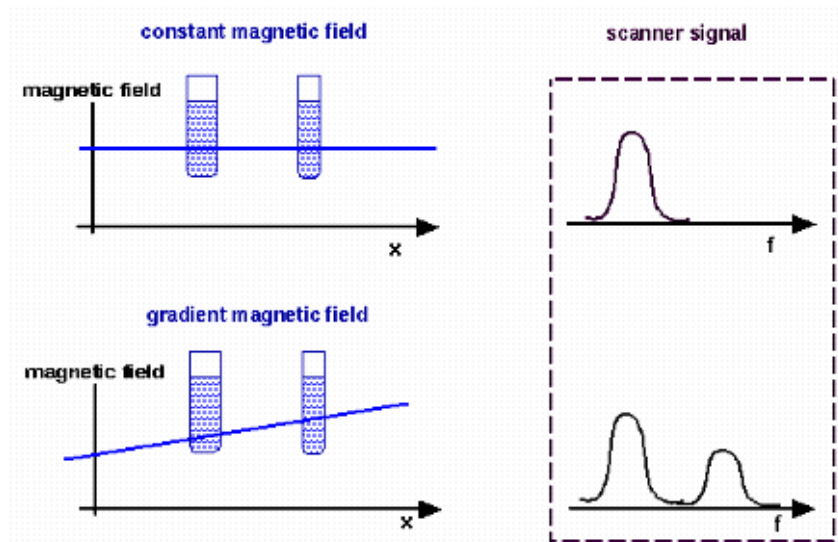
Με την παύση του RF παλμού η διαμήκης μαγνήτιση αυξάνεται πάλι ενώ αντίθετα η εγκάρσια μειώνεται. Λόγω αυτών των αλλαγών εκπέμπονται ραδιο-σήματα που λαμβάνουμε με τη βοήθεια μίας αντένας. Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής αναλύει τα σήματα αυτά για να καθορίσει την θέση και την έντασή τους και να φτάσει στην τελική ανακατασκευή της εικόνας. Η συχνότητα του σήματος εξαρτάται από το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο που διαφέρει βαθμιδωτά από την μια άκρη του ασθενή

στην άλλη. Κατά συνέπεια, από αυτή τη διαφορά στη συχνότητα μπορεί να υπολογιστεί και η τοποθεσία στο χώρο από όπου ξεκίνησε το σήμα και η θέση του σήματος στην τελική εικόνα. Η ένταση του σήματος εξαρτάται από τον αριθμό και την φύση των ατόμων που περιέχει ο ιστός. Οι διαφορές αυτές είναι που επιτρέπουν την αναγνώριση των διαφορετικών ιστών και των παθήσεων τους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται “Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός.”



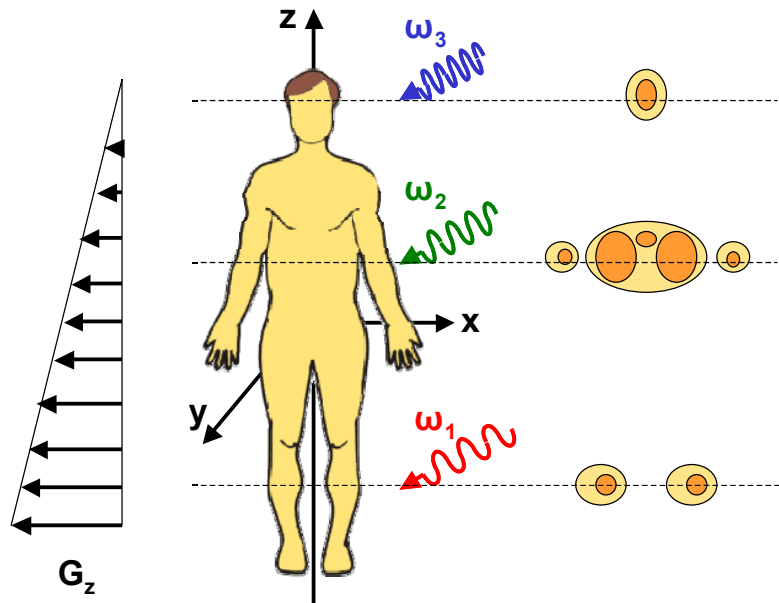
Αρχές λειτουργίας MT. Α. Έξω από ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο τα μαγνητικά πεδία των πρωτονίων είναι τυχαία και αλληλοεξουδετερώνονται. Β. Μέσα στο μαγνήτη του MT, τα περισσότερα πρωτόνια παρατάσσονται παράλληλα και ο ασθενής το δικό του μαγνητικό πεδίο το οποίο είναι διάμηκες (παράλληλο) ως προς το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο του MT. Γ. Τα πρωτόνια απορροφούν ενέργεια από ένα ραδιοπαλμό και στρέφονται αντιπαράλληλα και συγχρονίζονται. Δ. Με την πάυση του ραδιοπαλμού εκπέμπονται ραδιο-σήματα που λαμβάνουμε με τη βοήθεια μίας αντένας και ένας υπολογιστής αναλύει τα σήματα αυτά για να καθορίσει την θέση και την έντασή τους και να ανακατασκευάσει την εικόνα.

Στην απεικόνιση με μαγνητικό συντονισμό είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της θέσης από την οποία προέρχεται εκπεμπόμενο σήμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου στα διάφορα σημεία της ανατομικής τομής που μελετούμε έτσι ώστε η συχνότητα του σήματος που εκπέμπεται από κάθε σημείο να είναι διαφορετική. Με αυτό τον τρόπο κωδικοποιείται η θέση σαν συνάρτηση της συχνότητας. Για παράδειγμα, δυο όμοιοι δοκιμαστικοί σωλήνες με όμοιο περιεχόμενο σε ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο, θα εκπέμπουν σήμα στην ίδια συχνότητα με αποτέλεσμα να μην μπορεί ο δέκτης να ξεχωρίσει πιο μέρος του σήματος προήλθε από ποιο σωλήνα. Αν όμως το μαγνητικό πεδίο μεταβληθεί ελαφρά, τότε οι δυο σωλήνες θα εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες και η θέση τους θα μπορεί να υπολογισθεί από την μεταβολή του πεδίου (που είναι γνωστή στο χρήστη) και την συχνότητα εκπομπής. Η προοδευτική μεταβολή της έντασης του μαγνητικού πεδίου μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση των βαθμιδωτών πεδίων (gradients.) Ένα βαθμιδωτό πεδίο μπορεί να εφαρμοστεί στον άξονα x, y και z.

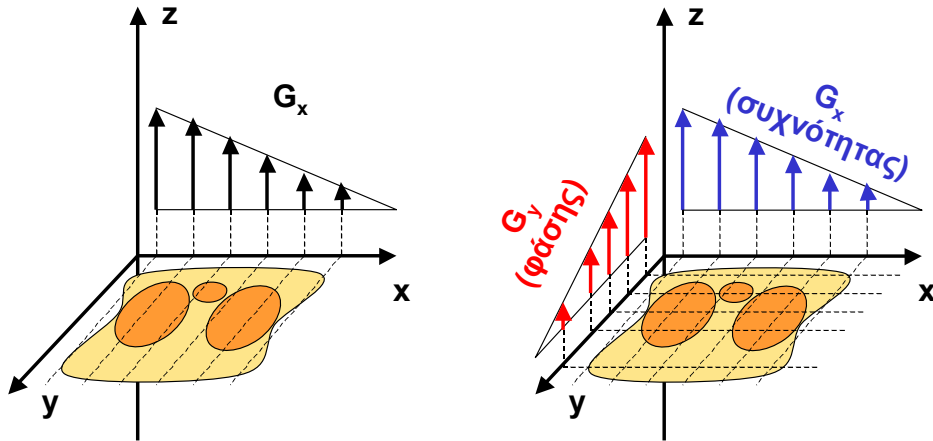


Προσδιορισμός της θέσης από την οποία προέρχεται εκπεμπόμενο σήμα. Εάν η ένταση του μαγνητικού πεδίου B ποικίλει σε διαφορετικά σημεία τότε και η συχνότητα συντονισμού θα είναι διαφορετική.

Με την εφαρμογή ενός βαθμιδωτού πεδίου στον άξονα Z (δηλαδή παράλληλα με τον άξονα του κυρίως μαγνητικού πεδίου) μπορεί να γίνει επιλογή της εγκάρσιας περιοχή την οποία θέλουμε να εξετάσουμε. Κατά την απεικόνιση, αποστέλλονται ραδιοπαλμοί των οποίων οι συχνότητες αντιπροσωπεύουν μια, συγκεκριμένου εύρους, μπάντα συχνοτήτων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες θα απορροφήσουν ενέργεια και συνεπώς θα διεγερθούν μόνο τα πρωτόνια των οποίων η συχνότητα του Larmor βρίσκεται μέσα στη μπάντα συχνοτήτων των ραδιοπαλμών. Με αυτό τον τρόπο διεγείρεται εκλεκτικά μία περιοχή, περιορισμένου πάχους, κάθετη στον άξονα του B . Οι τομές θα είναι λεπτότερες όσο πιο ισχυρό και απότομο είναι το βαθμιδωτό πεδίο.



Εφαρμογή ενός βαθμιδωτού πεδίου στον άξονα z . Η επιλογή της εγκάρσιας περιοχή την οποία θέλουμε να εξετάσουμε γίνεται ανάλογα με την συχνότητα του ραδιοπαλμού που επιλέγουμε, π.χ. με συχνότητα ω_1 θα εξετάσουμε τα πόδια και συχνότητα ω_3 το κεφάλι.



Επιλογή γραμμών εφαρμόζοντας ένα βαθμιδωτό πεδίο συχνότητας, κάθετα στον άξονα (αριστερά) και επιλογή σημείου εφαρμόζοντας βαθμιδωτά πεδία συχνότητας και φάσης ταυτόχρονα σε δυο άξονες (δεξιά).

Σε επίπεδο τομής μπορούμε να επιλέξουμε μία γραμμή εφαρμόζοντας ένα βαθμιδωτό πεδίο συχνότητας, κάθετα στον άξονα της γραμμής. Τα πρωτόνια της ίδιας γραμμής θα έχουν την ίδια συχνότητα του Larmor αλλά διαφορετική από την συχνότητα των πρωτονίων των παρακειμένων γραμμών. Τα δεδομένα μίας τομής μπορούν να προσδιορισθούν με την εφαρμογή του βαθμιδωτού πεδίου συχνότητας σε διαφορετικές θέσεις και γωνίες όπως γίνεται και με τις προβολές της Αξονικής Τομογραφίας. Εάν εφαρμόσουμε συνδυασμένα και σε άξονες κάθετους μεταξύ τους δύο βαθμιδωτά πεδία κωδικοποίησης της συχνότητας και της φάσης κάθε σημείο σε μία επιλεγμένη τομή θα έχει την δική του συχνότητα και την δική του φάση. Εάν λοιπόν έχουμε την δυνατότητα να προσδιορίσουμε τις δύο αυτές παραμέτρους μπορούμε να καθορίσουμε με ακρίβεια την θέση ενός σημείου στην τομή.



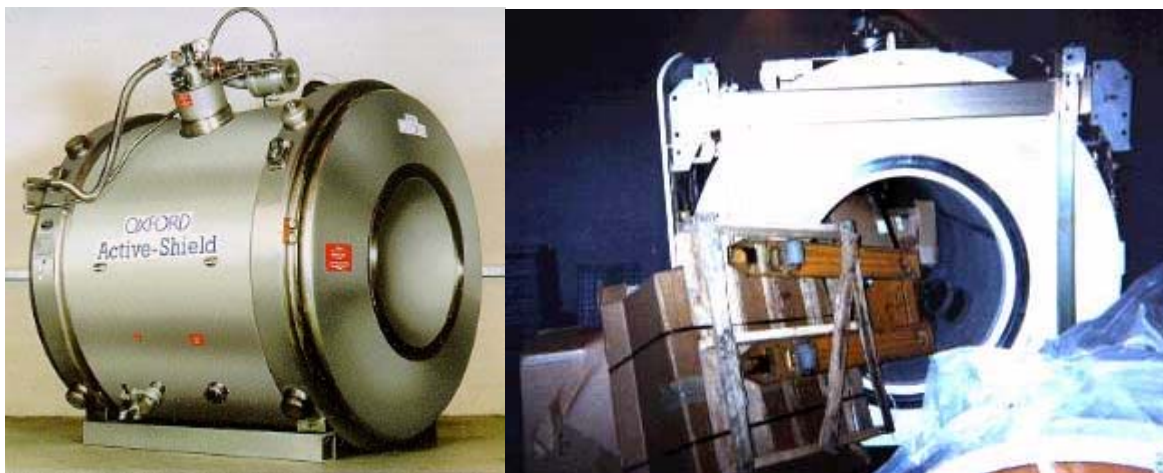
Μοντέρνος μαγνητικός τομογράφος

Βασική μονάδα στον μαγνητικό τομογράφο είναι ο μαγνήτης ο οποίος παράγει το κύριο μαγνητικό πεδίο B_0 . Ιδιότητες του κύριου μαγνητικού πεδίου, οι οποίες έχουν σχέση με την ποιότητα απεικόνισης, είναι:

1. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου B_0 που μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 0.3 και 2 Tesla. Με την αύξηση της έντασης του B_0 αυξάνεται η διακριτική ικανότητα χώρου και μειώνεται η

διάρκεια της διαδικασίας απεικόνισης. Εντούτοις η αύξηση της έντασης του B δεν μπορεί να ξεπεράσει κάποια όρια καθώς αυξάνοντάς την, αυξάνεται η συχνότητα του ραδιοπαλμού και κατά συνέπεια ελαττώνεται η διεισδυτικότητα του. Για να διατηρηθεί η διεισδυτικότητα σε ορισμένα όρια απαιτούνται ισχυρότεροι ραδιοπαλμοί. Για την εφαρμογή του μαγνητικού συντονισμού στην απεικόνιση του ανθρώπινου σώματος, τα ανώτερα επιτρεπτά όρια για το B_0 είναι τα 2 Tesla ενώ για τον ραδιοπαλμό είναι 15 MHz.

2. Η ομοιογένεια είναι σημαντικότερη παράμετρος για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης από την οποία προέρχεται το σήμα. Η παρουσία σιδηρομαγνητικών υλικών μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ομοιογένεια του μαγνητικού πεδίου.
3. Η σταθερότητα είναι επίσης σημαντική για την ποιότητα της εικόνας, μια και η ένταση του μαγνητικού πεδίου πρέπει να είναι σταθερή καθ' όλη την διάρκεια της εξέτασης. Αστάθεια μπορεί να παρατηρηθεί στο μαγνητικό πεδίο το οποίο παράγεται από ηλεκτρομαγνήτες και οφείλεται συνήθως σε διακυμάνσεις του ηλεκτρικού ρεύματος που τροφοδοτεί τον μαγνήτη.



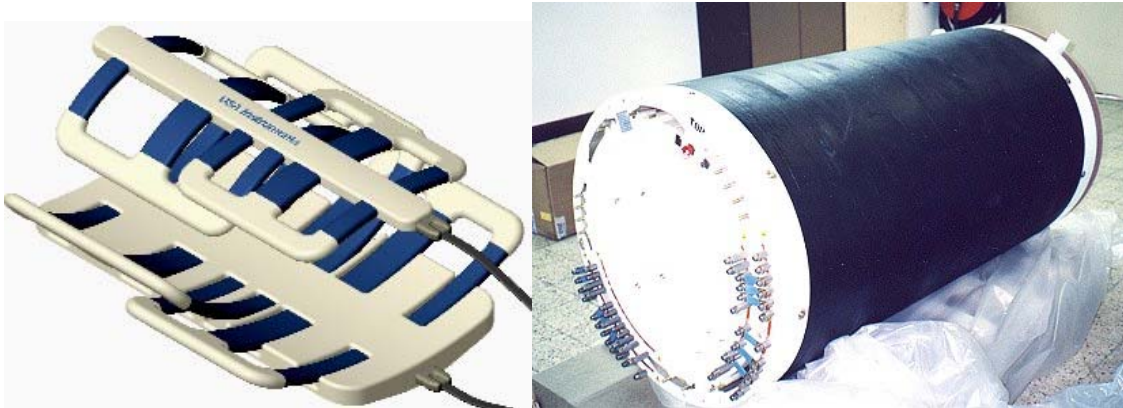
Υπεραγωγίμος μαγνήτης από MT (αριστερά.) Στη φωτογραφία δεξιά βλέπουμε ένα πλήρως φορτωμένο καρότσι να έχει τραβηχτεί από τον μαγνήτη και προσκολληθεί στο εσωτερικό του.

Σε ένα MT μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρία είδη μαγνητών:

1. Μαγνήτες ωμικής αντίστασης (resistive magnet) Είναι ηλεκτρομαγνήτες οι οποίοι αποτελούνται από ένα σωληνοειδές συνήθως ανοδιωμένου αλουμινίου, το οποίο διατρέχεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Η ένταση του παραγόμενου μαγνητικού πεδίου δεν μπορεί συνήθως να ξεπεράσει τα 0.15 Tesla ενώ απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού (περίπου ένας τόνος νερού την ώρα) για να αντιμετωπισθεί η υπερθέρμανση του συστήματος. Ο άξονας του παραγόμενου μαγνητικού πεδίου είναι συνήθως επιμήκης (ίδιος με τον άξονα από τα πόδια στο κεφάλι του ασθενούς).
2. Υπεραγωγάιμοι μαγνήτες (superconductive magnets) Η αντίσταση ορισμένων υλικών, όπως το κράμα Niobium-Titanium, μηδενίζεται όταν βρεθούν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (-269°C) [20]. Οι χαμηλές αυτές θερμοκρασίες επιτυγχάνονται με χρήση κρυογόνων (υγρού ηλίου, αζώτου). Η κατανάλωση σε ηλεκτρικό ρεύμα δεν είναι σημαντική καθώς λόγω υπεραγωγιμότητας το σύστημα δεν υπερθερμαίνεται ενώ η κατανάλωση σε ήλιο είναι 0.5 λίτρα / ώρα. Τα πλεονεκτήματα αυτών των μαγνητών είναι το ότι μπορούμε να έχουμε ισχυρό (μπορεί να ξεπεράσει το 6 Tesla) και πολύ ομοιογενές μαγνητικό πεδίο. Ο άξονας του παραγόμενου μαγνητικού πεδίου, όπως και στους μαγνήτες ωμικής αντίστασης, είναι συνήθως επιμήκης. Το ήλιο και το άζωτο είναι αδρανή στοιχεία, εντούτοις σε περίπτωση διαρροής των υδρατμών τους στο χώρο του μαγνήτη προκαλούν κορεσμό του περιβάλλοντος αέρα με δραματικές συνέπειες για τον εξεταζόμενο. Απαραίτητο λοιπόν είναι ένα πολύ καλό σύστημα εξαερισμού στον χώρο του μαγνήτη.

3. Μόνιμος μαγνήτης (permanent magnet) Για την λειτουργία τους αυτοί οι μαγνήτες δεν απαιτούν την χρήση ηλεκτρικού ρεύματος και κρυογόνων, αλλά η μέγιστη ένταση του μαγνητικού τους πεδίου δεν ξεπερνάει τα 0.2Tesla και είναι ιδιαίτερα ογκώδεις. Η κατεύθυνση του μαγνητικού τους πεδίου B είναι οριζόντια (κάθετη προς τον άξονα από τα πόδια στο κεφάλι του ασθενούς).

Κοινό χαρακτηριστικό των υπεραγωγίων και των μαγνητών ωμικής αντίστασης είναι η αυξημένη ένταση του μαγνητικού πεδίου σε αρκετή απόσταση (μερικών μέτρων) από το κέντρο του μαγνήτη. Σιδηρομαγνητικά αντικείμενα πρέπει να διατηρούνται σε απόσταση τουλάχιστον δύο μέτρων από ένα μαγνήτη 0.5 Tesla. Οι πιο διαδεδομένοι μαγνήτες σήμερα είναι οι υπεραγωγιμοί



1.5T πηνίο θώρακα και κοιλιακής χώρας (αριστερά) και ένα μεγάλο πηνίο με διπλή βαθμίδωση (δεξιά.)

Τα πηνία παραγωγής βαθμιδωτών πεδίων είναι μικροί ηλεκτρομαγνήτες οι οποίοι παράγουν βαθμιδωτά μαγνητικά πεδία (gradient) και οι οποίοι, τοποθετημένοι σε συγκεκριμένες θέσεις σε σχέση με το κύριο μαγνητικό πεδίο, μπορούν να προκαλέσουν ρυθμιζόμενες μεταβολές της έντασης αυτού κατά μήκος των αξόνων x, y, z. Η διάρκεια λειτουργίας καθώς επίσης και η χρονική στιγμή της εφαρμογής του βαθμιδωτού πεδίου εξαρτάται από τον τύπο της ακολουθίας. Πηνία τα οποία βρίσκονται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο όταν διατρέχονται από ηλεκτρικό ρεύμα υφίστανται την δράση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων οι οποίες τείνουν να τα μετακινήσουν. Τα πηνία αυτά είναι μηχανικά σταθεροποιημένα σε συγκεκριμένες θέσεις, εντούτοις με την δράση των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων υφίστανται δονήσεις στις οποίες οφείλεται ο έντονος θόρυβος που ακούγεται στον χώρο εξέτασης κατά την λειτουργία των πηνίων. Οι γρήγορες αλλαγές της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε συνδυασμό με την σύντομη δράση ισχυρών πεδίων έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ρεύματος εξ επαγωγής (ή ρεύματα του Foucault ή ρεύματα eddy) τα οποία με την σειρά τους παράγουν μαγνητικά πεδία που συμβάλλουν στην ανομοιογένεια τόσο του κύριου μαγνητικού πεδίου όσο και των βαθμιδωτών πεδίων. Η παραγωγή του ρευμάτων Foucault μειώνεται σημαντικά με αυτοθωράκιση (shielding) του πηνίου.

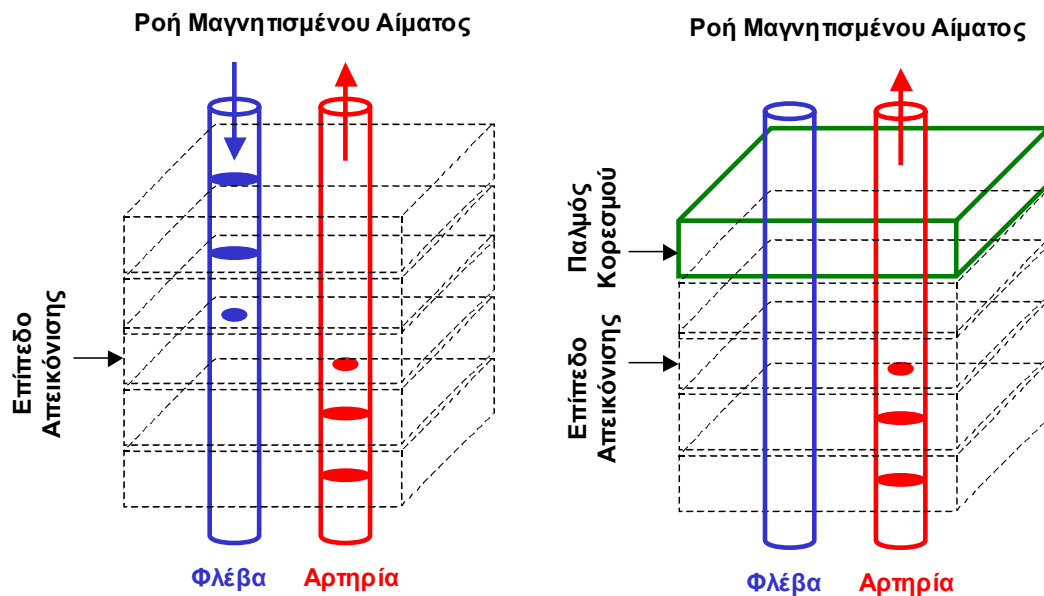
Τα πηνία πομπός περιστρέφεται γύρω από το κύριο μαγνητικό πεδίο B στο επίπεδο xy. Πρόκειται στην ουσία για μια αντένα που μπορεί να μεταδώσει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας ίδιας με την συχνότητα συντονισμού που διεγείρει τον μελετούμενο πληθυσμό των πρωτονίων. Το πηνίο δέκτης των ραδιοπαλμών συνήθως τοποθετείται κάθετα στο πηνίο πομπός, μερικές φορές στον ίδιο άξονα αλλά μπορεί και το ίδιο πηνίο να είναι και πομπός και δέκτης. Επειδή το σήμα που εκπέμπεται είναι πολύ χαμηλής έντασης γίνεται χρήση ενισχυτών οι οποίοι προκαλούν σημαντική ενίσχυση του σήματος (έως 10^5) και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι (<1 microwatt). Ο σχεδιασμός των πηνίων των ραδιοπαλμών παίζει σημαντικό ρόλο καθώς αυτά επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του σήματος. Ένα πηνίο θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στην ανατομία της ελεγχόμενης περιοχής. Τα επιφανειακά πηνία είναι κατάλληλα για την διερεύνηση μικρών και επιφανειακών δομών.

Αρχικά το σύστημα του ηλεκτρονικού υπολογιστή προσαρμόζει (calibration) τα πηνία παραγωγής των ραδιοπαλμών στην ανατομία του καθενός ασθενή έτσι ώστε το σήμα να είναι το καλύτερο δυνατό. Επίσης με αυτόν τον τρόπο ρυθμίζονται και άλλες παράμετροι όπως η κατάλληλη τιμή για την

ακολουθία και η ένταση των βαθμιδωτών πεδίων. Η ένταση του ανιχνευόμενου σήματος του κάθε ιστού εξαρτάται από τον τύπο της χρησιμοποιούμενης ακολουθίας. Ανάλογα με την ένταση του εκπεμπόμενου σήματος οι ιστοί απεικονίζονται με βάση μία κλίμακα των γκρι. Ένα σύστημα μαγνητικού τομογράφου παρέχει την δυνατότητα συγχρονισμού των ακολουθιών είτε με τον καρδιακό ρυθμό (cardiac gating) είτε με τις αναπνευστικές κινήσεις (respiratory gating).

Σκιαγραφικά μέσα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στη ΜΤ. Σε αυτή την περίπτωση είναι παραμαγνητικές ουσίες και έχουν μικρά τοπικά μαγνητικά πεδία που προκαλούν σμίκρυνση των χρόνων χαλάρωσης των τριγύρω πρωτονίων. Το γαδολίνιο είναι μία παραμαγνητική ουσία που χρησιμοποιείται πολύ συχνά σήμερα. Χημικά, το υλικό είναι μια σπάνια γαία. Το αποτέλεσμα της εισαγωγής γαδολινίου στον οργανισμό είναι αύξηση της αντίθεσης μεταξύ ορισμένων ιστών λόγω αλλαγής της έντασης του σήματος μικραίνοντας τους χρόνους T_1 και T_2 των τριγύρω ιστών. Έχει πλέον φανεί πως η χρησιμοποίηση των σκιαγραφικών βοηθά πολύ στην ανακάλυψη οργανικών βλαβών και την ακριβέστερη διάγνυσή τους. Για παράδειγμα βοηθά στον διαχωρισμό ενός όγκου από το γύρω σε αυτόν οίδημα που διαφορετικά θα ήταν τελείως αδύνατο να διαχωριστούν.

Μια καινούργια τεχνική είναι η Μαγνητική Αγγειογραφία (ΜΑ) [21]. Είναι μία πολύπλοκη τεχνική που έχει στόχο της την δημιουργία αγγειογραφικών εικόνων. Αντίθετα με την αξονική ή συμβατική (ακτίνες Χ) αγγειογραφία, η ΜΑ δεν χρειάζεται σκιαγραφικό υλικό και είναι απόλυτα μη-επεμβατική. Η αντίθεση στη ΜΑ προέρχεται από το γεγονός ότι μέσα στα αγγεία υπάρχει συνεχής ροή πρωτονίων υψηλής ενέργειας (που έχουν ήδη απορροφήσει κάποιο ραδιοπαλμό) και είναι έτοιμα να αποδώσουν το επιπλέον αυτό σήμα τους προς τον δέκτη. Με αυτό τον τρόπο το σήμα από τα αγγεία ενισχύεται αισθητά και η αντίθεση μεταξύ αγγείων και γύρω ιστών είναι τέτοια που μπορούμε ξεκάθαρα να ξεχωρίσουμε τα αγγεία. Μπορεί ακόμα να γίνει διαχωρισμός της αρτηριακής από την φλεβική ροή. Βασιζόμενοι στην αντίθετη φορά ροής που έχει το αίμα μας στις αρτηρίες και στις φλέβες εφαρμόζουμε έναν προπαλμό κορεσμού σε συγκεκριμένη ανατομική περιοχή. Με αυτό τον τρόπο προκαλούμε μαγνητικό κορεσμό στα μόρια που εισρέουν από αυτό το αγγείο προς την περιοχή απεικόνισης και αφαιρούμε την αντίθεση από τα συγκεκριμένα αγγεία. Τα αγγεία που εισρέουν από την αντίθετη κατεύθυνση δεν επηρεάζονται μια και η ροή προς το επίπεδο απεικόνισης δεν έχει κορεσθεί.



Αρχές της Μαγνητικής Αγγειογραφίας. Μαγνητισμένα μόρια από άλλα επίπεδα εισέρχονται στο επίπεδο απεικόνισης και ενισχύουν το ραδιο-σήμα και κατά συνέπεια την αντίθεση μέσα στα αγγεία. Στο σχήμα αριστερά, μαγνητισμένα μόρια φτάνουν στο επίπεδο απεικόνισης από πάνω για τις φλέβες και από κάτω για τις αρτηρίες. Στο σχήμα δεξιά, ένας παλμός κορεσμού έχει εφαρμοσθεί πάνω από το επίπεδο απεικόνισης με αποτέλεσμα να μην εισρέουν μαγνητισμένα μόρια από τα πάνω στρώματα και άρα οι φλέβες να χάσουν το σήμα και την αντίθεση τους. Οι αρτηρίες, σε αυτή την περίπτωση, δεν επηρεάζονται μια και το αίμα εισρέει σε αυτές από τα κάτω επίπεδα και παραμένει μαγνητισμένο.

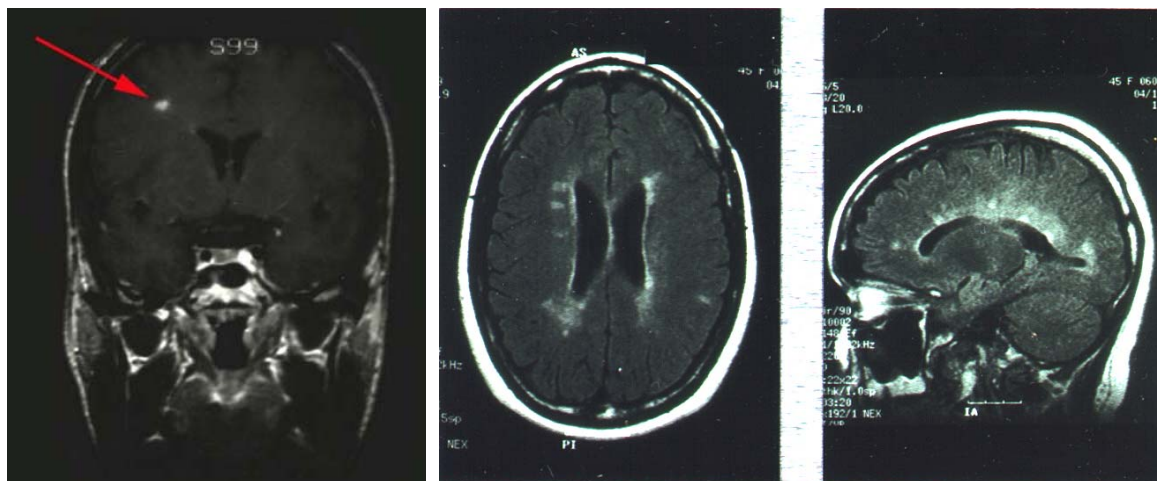
Η ΜΑ μπορεί να καταδείξει αγγειακές στενώσεις ή αποφράξεις, ανευρύσματα, αγγειακές δυσπλασίες ή και διηθήσεις. Στην ΜΑ υπάρχουν δύο τρόποι σχεδιασμού. Αγγειογραφίες δύο διαστάσεων (2D) όπου εφαρμόζεται επιλεκτική διέγερση από τομή σε τομή και αγγειογραφίες τριών διαστάσεων (3D) όπου ο ραδιοπαλμός διεγείρει ολόκληρο τον όγκο της υπό εξέταση περιοχής. Για την καλύτερη ανάδειξη της εξεταζόμενης περιοχής, μπορεί μερικές φορές να χρησιμοποιηθεί και σκιαγραφικό μέσο.



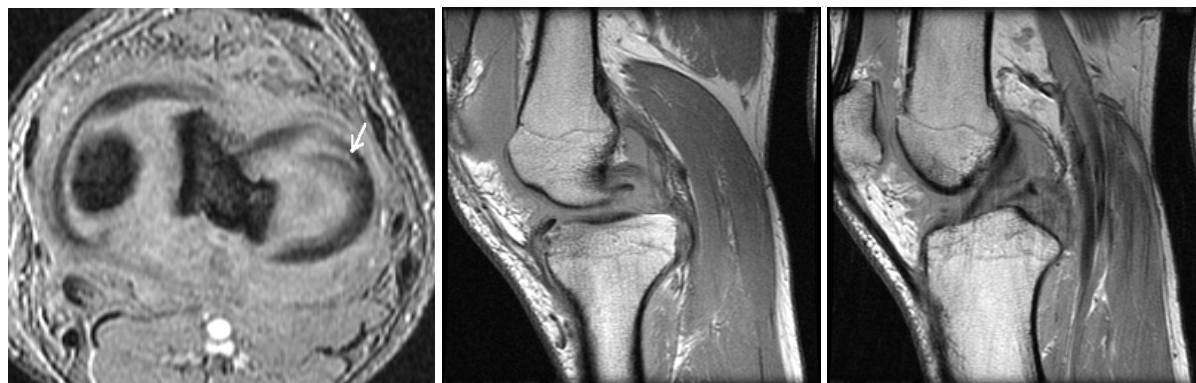
Μαγνητική αγγειογραφία των πνευμόνων που παρουσιάζει στένωση μιας πνευμονικής αρτηρίας (αριστερά) και εξέταση των νεφρικών αρτηριών (δεξιά.)

Η Μαγνητική Τομογραφία είναι η απεικόνιση επιλογής για απεικόνιση του νευρικού συστήματος και των μαλακών ιστών (μύες, τένοντες, κλπ.) Τα συστήματα MT γίνονται όλο και πιο ευρέως προσιτά στην ιατρική κοινότητα και τους ασθενείς και βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- Μυοσκελετικό σύστημα και μαλακοί ιστοί
 - Απεικόνιση προβλημάτων με τους τένοντες του καρπού, γονάτου και αγκώνα
 - Απεικόνιση τραυμάτων του ώμου
 - Διάγνωση μόλυνσης τενόντων
 - Εξέταση καρκίνων και κύστεων των οστών
 - Διάγνωση παθήσεων της σπονδυλικής στήλης
 - Διάγνωση λοιμώξεων της σπονδυλικής στήλης και των κλειδώσεων.
 - Εξέταση όγκων στους μαλακούς ιστούς του σώματος
- Νευρικό σύστημα
 - Διάγνωση Σκλήρυνσης Κατά Πλάκα (multiple sclerosis)
 - Διάγνωση καρκίνου της υπόφυσης και του εγκεφάλου
 - Διάγνωση λοιμώξεων του εγκεφάλου
 - Διάγνωση εγκεφαλικών επεισοδίων στα αρχικά τους στάδια
- Μαγνητική Αγγειογραφία
 - Νεφρικές και ηπατικές αρτηρίες



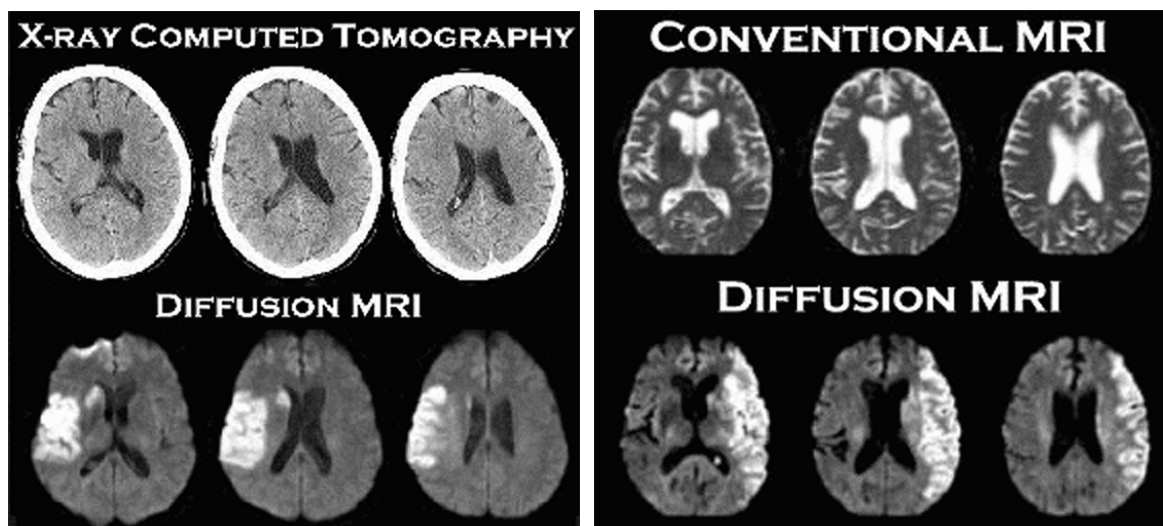
ΜΤ σκλήρυνσης κατά πλάκα (multiple sclerosis.) Μικρή βλάβη (αριστερά) και πιο προχωρημένη ασθένεια (μέση και δεξιά.)



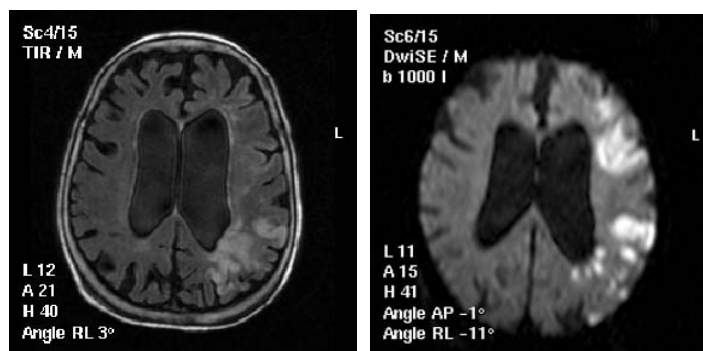
Ρήξη του πρόσθιου κέρατος του έξω μηνίσκου, ρήξης του έσω μηνίσκου (αριστερά), ρήξη του πίσω χιαστού συνδέσμου του γόνατος (μέση και δεξιά.)



Αυτό ο ασθενής τραυματίστηκε παίζοντας το ράγκμπι στην Αυστραλία - έμεινε μάλιστα αναισθητός για 1-2 λεπτά. Σημειώστε τους δίσκους που διογκώνονται προς τα πίσω και πιέζουν την σπονδυλική στήλη στα επίπεδα των αυχενικών σπονδύλων 3-5.



Περίπλοκες και γρήγορες τεχνικές MT, όπως η απεικόνιση σταθμικής διάχυσης (DWI) και απεικόνιση σταθμικής έγχυσης (PWI), χρησιμοποιούνται για απεικόνιση ανωμαλιών σε περιοχές του εγκεφάλου αμέσως μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο αφού άλλες τεχνικές απεικόνισης, όπως ακτινογραφία, αξονική τομογραφία ή συμβατική MT, συχνά δεν καταδεικνύουν οποιεσδήποτε αλλαγές τις πρώτες ώρες της ασθένειας.

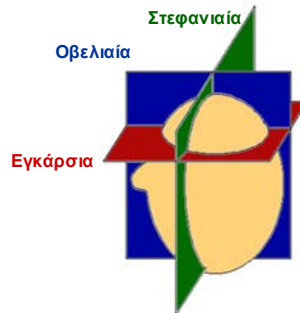


Κυρία ηλικίας 85 ετών παρουσιάζεται με οξεία αριστερά ημιπληγία και έλλειψη προσοχής. Αξονική Τομογραφία του εγκεφάλου ήταν "κανονική." Η MT ανώμαλη υψηλή ένταση σημάτων στον αριστερό μεταγενέστερο βρεγματικό λοβό σύμφωνο με το οξύ έμφραγμα στη διανομή της αριστερής μέσης εγκεφαλικής αρτηρίας. Μια απεικόνιση σταθμικής διάχυσης (DWI) εκτελέστηκε και αποκάλυψε ότι το έμφραγμα ήταν πιο εκτενές περιλάμβανε τους αριστερούς κροταφικό και βρεγματικό λοβούς.



Τρισδιάστατη απεικόνιση όλων των υγρών του κρανίου (φλεβικό αίμα, αρτηριακό αίμα, υαλοειδές υγρό του ματιού και εγκεφαλονωτιαίο υγρό)

Το γεγονός ότι τα συστήματα MT δεν χρησιμοποιούν ακτινοβολία ιονισμού ικανοποιεί πολλούς ασθενείς, όπως και το γεγονός ότι τα σκιαγραφικά υλικά της MT έχουν πολύ λίγες παρενέργειες. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της MT είναι η δυνατότητά απεικόνισης σε οποιαδήποτε γωνία ή επίπεδο. Η AT περιορίζεται σε ένα επίπεδο, το εγκάρσιο. Με την MT μπορούμε να δημιουργήσουμε εγκάρσιες εικόνες καθώς επίσης και οβελιαίες και στεφανιαίες εικόνες ή σε οποιοδήποτε επίπεδο ενδιάμεσα, χωρίς να χρειάζεται να μετακινηθεί ο ασθενής. Με τρία βαθμιδωτά μαγνητικά πεδία στο μαγνητικό τομογράφο μπορούμε να επιλέξουμε ακριβώς πού στο σώμα θα γίνει η απεικόνιση και πώς οι τομές θα είναι προσανατολισμένες.



Εγκάρσια, οβελιαία και στεφανιαία τομή.

Η MT έχει φυσικά και κάποια μειονεκτήματα. Π.χ.:

- Υπάρχουν πολλοί άνθρωποι που δεν μπορούν ακίνδυνα να υποβληθούν σε MT (π.χ. επειδή έχουν βηματοδότες), και επίσης άνθρωποι που είναι πάρα πολύ μεγάλοι για να χωρέσουν στον μαγνητικό τομογράφο
- Υπάρχουν άνθρωποι κλειστοφοβικοί, και η είσοδος τους σε ένα μαγνητικό τομογράφο μπορεί να είναι μια τραυματική εμπειρία
- Η μηχανή κάνει ένα δυνατό θορύβου κατά τη διάρκεια της απεικόνισης. Ο θόρυβος μοιάζει με μια συνεχή και γρήγορη σφυρηλάτηση. Οι ασθενείς φοράνε ωτοασπίδες ή στερεοφωνικά ακουστικά για να μην ακούνε τον θόρυβο
- Η MT απαιτεί όπως οι ασθενείς παραμείνουν ακίνητοι για τις μακρές χρονικές περιόδους (από 20 σε 90 λεπτά ή περισσότερο.) Αυτό μπορεί να είναι πρόβλημα για μικρά παιδιά και μη συνεργάσιμους ασθενείς. Ακόμη και μια πολύ μικρή μετακίνηση ενός μικρού μέρους μπορεί να προκαλέσει πολύ στρεβλωμένες εικόνες που θα πρέπει να επαναληφθούν.
- Ορθοπεδικό υλικό (βίδες, πλάκες, τεχνητές κλειδώσεις) στην περιοχή της απεικόνισης μπορεί να προκαλέσει τα σοβαρά τεχνητά σφάλματα (διαστρεβλώσεις) στις εικόνες. Τέτοιο υλικό προκαλεί σημαντική αλλαγή στο κύριο μαγνητικό πεδίο. Θυμηθείτε, ένα ομοιόμορφο πεδίο είναι ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟ για την καλή απεικόνιση.
- Οι μαγνητικοί τομογράφοι είναι πάρα πολύ ακριβοί και επομένως η εξέτασες MT είναι επίσης πολύ ακριβές. Ακόμη, σε πολλά μέρη τα νοσοκομεία δεν μπορούν καν να αγοράσουν μαγνητικό τομογράφο, λόγω του κόστους

Φυσικά, αυτά τα μειονεκτήματα είναι μηδαμινά σε σύγκριση με τα τόσο σημαντικά πλεονεκτήματα της MT.

Το μέλλον της MT φαίνεται να περιορίζεται μόνο από τη φαντασία των ερευνητών! Αυτή η τεχνολογία, συγκριτικά μιλώντας, είναι ακόμα στα σπάργανα. Βρέθηκε σε διαδεδομένη χρήση σε λιγότερο από 20 χρόνια από την εφεύρεση της. (Συγκριτικά, οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται για πάνω από 100 χρόνια.) Σήμερα, αναπτύσσονται καινούργιοι, πολύ μικροί μαγνητικοί τομογράφοι για απεικόνισης συγκεκριμένων μερών του σώματος με πολύ ψηλή ευκρίνεια. Π.χ., μαγνητικοί τομογράφοι απλά για τον βραχίονά, το γόνατο ή το πόδι βρίσκουν είδη χρήση σε μερικές περιοχές. Η δυνατότητά να απεικονίσουμε το αρτηριακό και φλεβικό σύστημα βελτιώνεται συνεχώς. Η λειτουργική χαρτογράφηση εγκεφάλου (απεικόνιση του εγκεφάλου ενώ ο ασθενής εκτελεί μια συγκεκριμένη φυσική άσκηση όπως συμπίεση μιας μπάλας, ή εξέταση κάποιας συγκεκριμένης εικόνας) βοηθά τους ερευνητές να καταλάβουν καλύτερα πώς λειτουργεί ο εγκέφαλος. Σε μερικά ιδρύματα βρίσκεται εν εξελίξει έρευνα για τη δυναμική απεικόνιση της λειτουργίας των πνευμόνων

μέσω της χρήσης του αέριου Ήλιο-3. Η ανάπτυξη των νέων, ακόμα πιο βελτιωμένων τρόπων απεικόνισης εγκεφαλικών επεισοδίων στα πολύ αρχικά στάδιά τους βρίσκεται επίσης σε εξέλιξη.

Το να προσπαθεί να προβλέψει κάποιος το μέλλον της ΜΤ είναι στην καλύτερη περίπτωση μια θεωρητική άσκηση. Δεν υπάρχει όμως αμφιβολία ότι στο μέλλον θα δούμε ακόμα πιο συναρπαστικές εφαρμογές της τεχνικής αυτής με τεράστια οφέλη για τους ασθενείς.

Η Μαγνητική Τομογραφία του Ρ.Μ. έδειξε πράγματι ένα μικρό εγκεφαλικό επεισόδιο στο δεξιό ημισφαίριο. Μια και όλη η διαδικασία (αξονική και μαγνητική τομογραφία) στο υπερσύγχρονο νοσοκομειακό κέντρον όπου βρισκόταν πήρε μόνο μια ώρα και μια και δεν υπήρχαν υπόνοιες αιμορραγίας, ο Ρ.Μ. οδηγήθηκε στην αίθουσα καθετηριασμού για θρομβόλυση.

Η γυναίκα του, η Π.Μ. δεν ένοιωθε και πολύ καλά. Με όλα αυτά που συνέβαιναν ένοιωθε χάλια. Αλλά δεν ήταν μόνο αυτό. Κάθε πρωί ένοιωθε περίεργες αναγούλες, κάτι που συνέβαινε πολύ συχνά τελευταία. Όταν ανέφερε τα συμπτώματά της στον γιατρό αυτός υποψιάστηκε ότι η Π.Μ. μπορεί να είναι έγκυος. Τότε αυτή του εκμυστηρεύθηκε ότι η περίοδος της είχε καθυστερήσει για 2 μήνες αλλά δεν το θεώρησε παράξενο μια και ήταν τόσο κοντά στην εμμηνόπαυση. Ο γιατρός διέταξε αμέσως τεστ εγκυμοσύνης και **υπερηχογράφημα**.

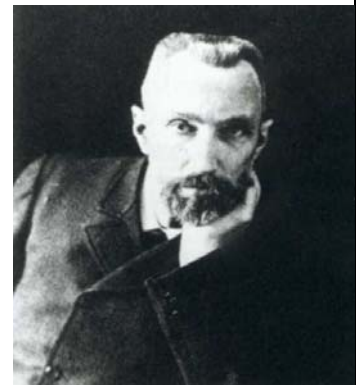
Για άκουσε πως φαίνεται

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις στις οποίες η ιατρική καταφεύγει στους υπερήχους. Ίσως μια γυναίκα είναι έγκυος, και ο γυναικολόγος της θέλει να ελέγξει το αναπτυσσόμενο μωρό ή να καθορίσει την ημερομηνία του τοκετού. Επίσης, προβλήματα με την κυκλοφορία αίματος σε ένα άκρο ή την καρδιά μπορεί να ωθήσουν τον γιατρό να ζητήσει υπερήχους Doppler για να εξετάσει τη ροή αίματος. Εδώ και πολλά χρόνια, οι υπερήχοι έχουν γίνει μια δημοφιλής τεχνική ιατρικής απεικόνισης. Χρησιμοποιεί κύματα ήχων υψηλής συχνότητας και μετρά την ηχώ τους από τους διάφορους ιστούς και όργανα του σώματος. Η τεχνική είναι παρόμοια με τον τρόπο που νυχτερίδες, φάλαινες και δελφίνια βρίσκουν τον δρόμο αλλά και την λεία τους, καθώς επίσης και τον υποβρύχιο ανιχνευτή (sonar) που χρησιμοποιείται με τα υποβρύχια [22].



Διάφορες ιατρικές χρήσεις των υπερήχων

Ο προκάτοχος του ιατρικού υπερήχου είναι το σόναρ (sonar). Ο όρος SONAR σημαίνει Sound Navigation and Ranging, δηλαδή Πλοήγηση και Τηλεμετρία με Ήχο. Από το 1822, ο Ντάνιελ Κόλλαντεν, ένας Ελβετός φυσικός, είχε χρησιμοποιήσει επιτυχώς ένα υποβρύχιο κουδούνι για να καθορίσει ακριβώς την ταχύτητα του ήχου στα νερά της λίμνης της Γενεύη. Η πραγματικά πιο σημαντική πρόοδος στις τεχνικές ηχομετρίας, όμως, ήρθε όταν ανακαλύφθηκε η πιεζοηλεκτρική δράση ορισμένων κρυστάλλων από τον Πιέρ Κιουρί και τον αδελφό του Ζακ Κιουρί στο Παρίσι το 1880. Παρατήρησαν ότι ένα ηλεκτρικό δυναμικό μπορούσε να παραχθεί όταν ασκούταν μηχανική πίεση σε ένα κρύσταλλο χαλαζία. Και αντίθετα, μια μηχανική πίεση ήταν το αποτέλεσμα εφαρμογής μιας διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού. Τότε έγινε δυνατή η παραγωγή "υπερήχων" με πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς, που εμπίπτουν στο φάσμα συχνότητας των εκατομμυρίων των κύκλων ανά δευτερόλεπτο (megahertz.)



Τα υποβρύχια συστήματα ανίχνευσης (sonar) αναπτύχθηκαν με σκοπό να βοηθήσουν την υποβρύχια ναυσιπλοΐα πριν και κατά τον Α Παγκόσμιο Πόλεμο και ειδικά αφότου βύθισε ο τιτανικός το 1912. Μια ισχυρή υπερηχητική συσκευή υψηλής συχνότητας αναπτύχθηκε από το διαπρεπή γάλλο φυσικό Πωλ Λανγκιβάν και τον Κωνσταντίν Τσιλόβσκι. Αποκαλούσαν τη συσκευή τους "υδρόφωνο". Μεταξύ του 1915 και 1918 το υδρόφωνο βελτιώθηκε σημαντικά κατά την διάρκεια απόρρητης στρατιωτικής έρευνας και αναπτύχθηκε εκτενώς για προστασία από γερμανικά υποβρύχια. Η πρώτη γνωστή βύθιση ενός υποβρυχίου που ανιχνεύθηκε από υδρόφωνο ήταν τον Απρίλιο του 1916 στον Ατλαντικό κατά τη διάρκεια του Α' Παγκόσμιου Πολέμου.

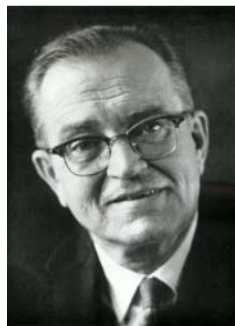
Μια άλλη παράλληλη και εξίσου σημαντική πρόοδος ήρθε τη δεκαετία του '30 με την κατασκευή υπερηχητικών ανιχνευτών ρωγμών μετάλλων, ιδιαίτερα σημαντικών εκείνη την περίοδο, για τον έλεγχο της ακεραιότητας των μετάλλων των μεγάλων σκαφών και των τεθωρακισμένων αρμάτων μάχης. Η έννοια της υπερηχητικής ανίχνευσης ρωγμών μετάλλων προτάθηκε αρχικά από το σοβιετικό επιστήμονα Σεργκέι Σόκολοβ το 1928 στο Ηλεκτροτεχνικό Ίδρυμα του Λένινγκραντ.

Ανιχνευτής ρωγμών μετάλλων σε χρήση (Κρέζτεχνικ, Αυστρία)



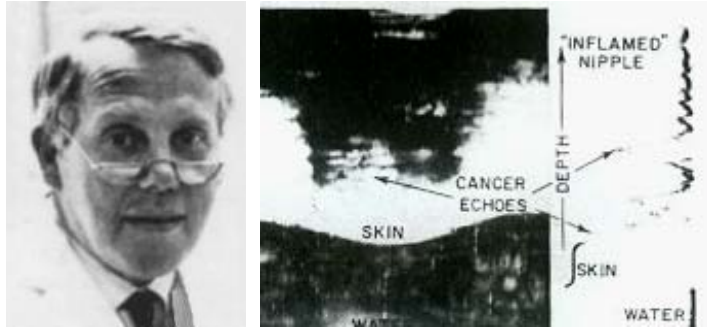
Οι υπέρηχοι στον τομέα της ιατρικής, με την ιδιότητα τους να θερμαίνουν και να καταστρέφουν τους ιστούς, βρήκαν αρχικά εφαρμογές στη θεραπεία παρά τη διάγνωση. Η καταστρεπτική δυνατότητα των υπερήχων υψηλής έντασης αναγνωρίστηκε από τη δεκαετία του '20 όταν ο Λάνγκεβαν παρατήρησε την καταστροφή των ψαριών στη θάλασσα και τον πόνο που προκαλούσαν στο χέρι όταν αυτό βρισκόταν σε μια δεξαμενή νερού με υπέρηχους υψηλής έντασης. Σταδιακά, μέχρι τη δεκαετία του '40, οι υπέρηχοι είχαν εξελιχθεί σε νευροχειρουργικό εργαλείο. Ο Γουίλιαμ Φράι στο Πανεπιστήμιο του Ιλνινόις και ο Ράσσελ Μάιερς στο Πανεπιστήμιο της Αιόβα εκτέλεσαν κρανιοτομές και χρησιμοποίησαν υπέρηχους για να καταστρέψουν μέρη των βασικών γαγγλίων σε ασθενείς με παρκινσονισμό.

Περίπου την ίδια εποχή, στις αρχές της δεκαετίας του '40, οι υπέρηχοι χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά ως πιθανό διαγνωστικό εργαλείο στην ιατρική [23]. Ο Καρλ Θήοντορ Ντούσικ, ένας νευρολόγος/ψυχίατρος στο Πανεπιστήμιο της Βιέννης, στην Αυστρία, θεωρείται γενικά ως ο πρώτος γιατρός που υιοθέτησε τους υπέρηχους στην ιατρική διάγνωση. Ο Ντούσικ εντόπιζε όγκους στον εγκέφαλο και τις εγκεφαλικές κοιλίες με τη μέτρηση της μετάδοσης της ακτίνας υπερήχου μέσα από το κρανίο, χρησιμοποιώντας έναν δέκτη από την κάθε πλευρά. Δεν ήταν αρκετά επιτυχής με αυτήν την τεχνική μετάδοσης (όχι αντανάκλαστική) κυρίως γιατί το κρανίο απορροφούσε ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας των υπερήχων που χρησιμοποιούσε και οι εικόνες αποδείχθηκαν αργότερα να είναι κατά ένα μεγάλο μέρος τεχνητά σφάλματα λόγω των παραλλαγών στο πάχος των οστών.



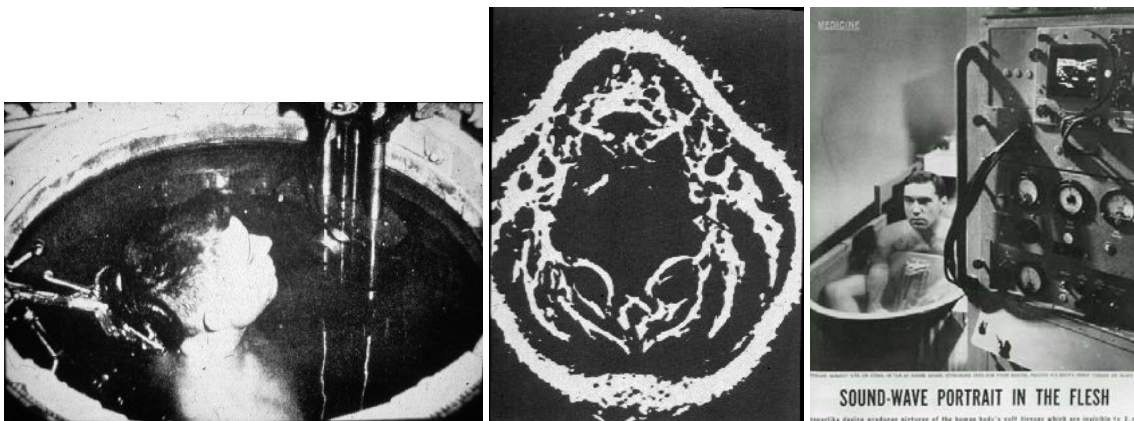
Ο Ντούσικ (αριστερά) και το υπερηχογράφημα του που παρουσιάζει τις "κοιλίες του εγκεφάλου" (δεξιά)

Ο Τζον Τζούλιαν Γουάιλντ άρχισε τις έρευνές του με υπέρηχους για την μελέτη του πάχους του τοιχώματος των εντέρων σε διάφορες χειρουργικές περιπτώσεις το 1945. Σημείωσε ότι οι κακοήθεις ιστοί ήταν πιο ηχογενείς από τους καλοήθεις ιστούς και οι πρώτοι θα μπορούσαν να εντοπιστούν από την πυκνότητά τους και την έλλειψη περισταλτικών κινήσεων. Ο Γουάιλντ είχε συγκεντρώσει κυρίως τις έρευνές του στη διάγνωση των όγκων του μαστού και του παχέως εντέρου χρησιμοποιώντας υπερήχους 15 MHz (εκατομμυρίων κύκλων ανά δευτερόλεπτο) που μπορούσαν να διεισδύσουν στους ιστούς μόνο μέχρι 2 εκατοστά. Το 1956, ο Γουάιλντ δημοσίευσε ένα άρθρο ορόσημο για τη μελέτη 117 όγκων του μαστού, εκθέτοντας μια ακρίβεια της διάγνωσης πάνω από 90%. Παρ' όλα αυτά, η υπερηχητική μέθοδος διάγνωσης που ήθελε να διαδώσει δεν έτυχε ευρείας αποδοχής.



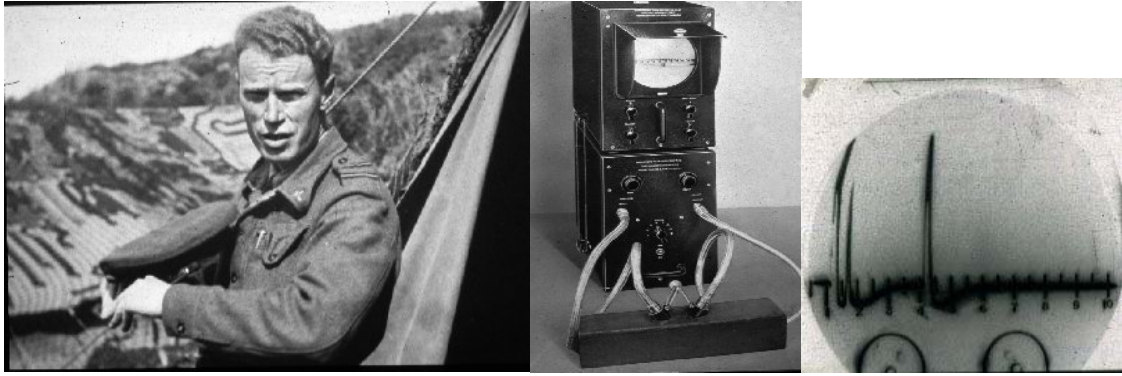
Ο Τζόν Γουάιλντ (αριστερά) και διάγνωση ανωμαλιών των μαστών με υπερήχους (δεξιά.)

Στο Πανεπιστήμιο του Κολοράντο στο Ντένβερ, ο Ντάκλας Χάουρυ, ένας ακτινολόγος, είχε εστιάσει την εργασία του στην ανάπτυξη του εξοπλισμού απεικόνισης, ο οποίος πραγματικά χρειαζόταν εκείνη την εποχή. Ο στόχος του ήταν να αναπτύξει μια νέα τεχνική για απεικόνιση ανατομικών δομών παρόμοια με τη χρήση των ακτίνων Χ, και "κατά τρόπο συγκρίσιμο με τον πραγματικό τεμαχισμό των δομών στο εργαστήριο παθολογίας". Ο Χάουρυ με τους μηχανικούς του, κατασκεύασαν το 1951 το "Σύστημα Υπερήχων σε Δεξαμενή Βύθισης", τον πρώτο δισδιάστατο σύστημα απεικόνισης με υπέρηχους, και αργότερα το "Σωματοσκόπιο," ένα αυτοματοποιημένο, σύνθετο σύστημα, το 1954. Ο ηχοβολέας του "Σωματοσκόπιου" τοποθετήθηκε πάνω στο πλαίσιο μιας μεγάλης μεταλλικής δεξαμενής που γέμιζε με νερό. Η μηχανή ήταν σε θέση να κάνει σύνθετες μετρήσεις ενδογαστρικών οργάνων από διαφορετικές γωνίες και να παράγει μια αναγνώσιμη εικόνα.



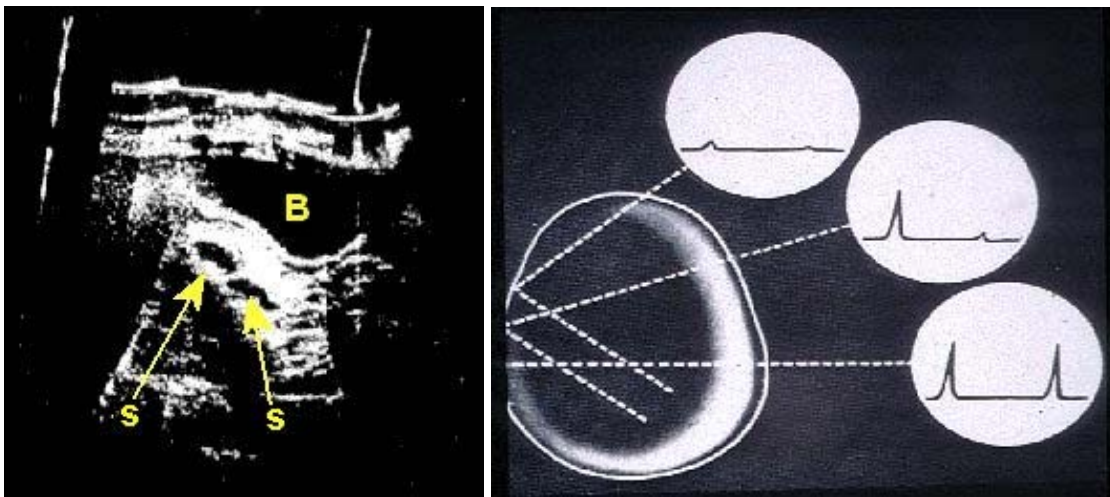
Μια από τις πρώτες συσκευές όπου ο εθελοντής κάθεται μέσα στο νερό μέσα σε ένα αλλαγμένο πυργίσκο πυροβόλου B29 με τον μετατροπέα να περιφέρεται 360 μοίρες γύρω του (αριστερά.) Μια εικόνα υπερήχων του κανονικού λαιμού (μέση.) Η καινοτόμος συσκευή έτυχε μεγάλης δημοσιότητας όπως π.χ. στο περιοδικό LIFE το 1954 (δεξιά.)

Η ερευνητική εργασία στην υπερηχητική διάγνωση άρχισε σύντομα να ακμάζει στη Γλασκόβη, της Σκωτίας. Ο Ίαν Ντόναλντ γνώριζε την δουλειά των Χάουρυ και Γουάιλντ πριν από τα μέσα της δεκαετίας του '50. Στις 21 Ιουλίου 1955 ανακάλυψε ότι υπήρχε μια σαφής διαφορά στα υπερηχητικά σήματα των στερεών και κυστικών όγκων [24]. Ο Ντόναλντ, στα πρώτα του πειράματα, χρησιμοποιείσαι ένα ανιχνευτή ρωγμών Χένρυ Χιούς MK2 (βλέπε εικόνα.) Είχε αργότερα παραδεχθεί ότι ήταν πολύ τυχερός που άρχισε με αυτό το όργανο αντί των περιπλοκότερων συσκευών που οι Γουάιλντ και Χάουρυ είχαν χρησιμοποιήσει, μια και αυτοί είχαν μετατροπείς υψηλής συχνότητας (και ως εκ τούτου μικρή διείσδυση στους ιστούς) και χρειαζόνταν δεξαμενή νερού, δύο παράγοντες που θα μπορούσαν να αποβούν αποτρεπτικοί στην περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνικής σε ιατρική τεχνολογία.



Ο Ίαν Ντόναλντ υπηρέτησε στην αεροπορία κατά των Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και παρασημοφορήθηκε (αριστερά.) Ένας ανιχνευτής ρωγμών Χένρυ Χιούς MK2 όπως αυτόν που χρησιμοποιήθηκε από το Ντόναλντ στα πρώτα πειράματά του. (μέση) Ένα υπερηχητικό σήμα από μια ωοθηκική κύστη. (δεξιά)

Εκτός από αυτό, ο Ντόναλντ σε πολλές περιπτώσεις είχε παρατηρήσει ότι πολλές ανακαλύψεις του ήταν αποτέλεσμα τυχαίων γεγονότων, σύμπτωσης και τύχης. Το φαινόμενο της "πλήρης κύστης," το οποίο ανακάλυψε το 1963, ήταν ένα παράδειγμα. Η ανακάλυψη ότι μια πλήρης κύστη αποτελούσε ένα "ηχητικό παράθυρο" προς τη μήτρα ήταν τυχαία. Ένας από τους ασθενείς του Ντόναλντ με πλήρη κύστη προσήλθε για υπερηχογράφημα. Φάνηκε τότε η κύηση μέσα στην μήτρα και από τότε οι υπέρηχοι έγιναν να πολύτιμο εργαλείο στη μαιευτική και τη γυναικολογία. Ότι το εμβρυϊκό κεφάλι, με τα συμμετρικά κρανιακά οστά του, θα μπορούσαν εύκολα να ανιχνευθούν και να μετρηθούν ακριβώς από ένα υπερηχητικό σήμα ήταν επίσης μια τυχαία ανακάλυψη. Η αμφιβρεγματική διάμετρος μετρήθηκε από τις ανακλάσεις από τις βρεγματικές προεξοχές που παρουσιάζονταν ως στιγμιαίες αιχμές στον παλμογράφο. Ο Ντόναλντ ήταν επίσης τυχερός γιατί είχε την ευκαιρία να γνωρίσει σημαντικά διοικητικά στελέχη και να εργαστεί με ένα πολύ έξυπνο και εφευρετικό μηχανικό, τον Τομ Μπράουν, από την εταιρία Κέλβιν και Χιούς.

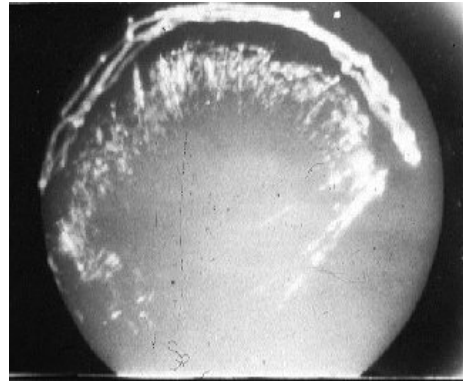
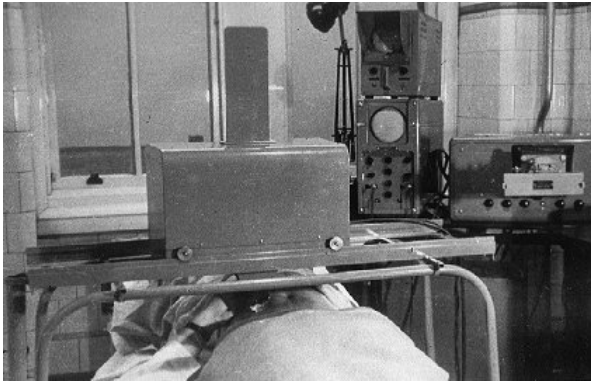


Δίδυμοι σάκοι κύησης (S) κάτω από τη μεγάλη σκοτεινή περιοχή της κύστης (B) (αριστερά.) Η αμφιβρεγματική διάμετρος του εμβρυϊκού κεφαλιού μετρήθηκε από τις ανακλάσεις από τις βρεγματικές προεξοχές που παρουσιάζονταν ως στιγμιαίες αιχμές στον παλμογράφο (δεξιά.)

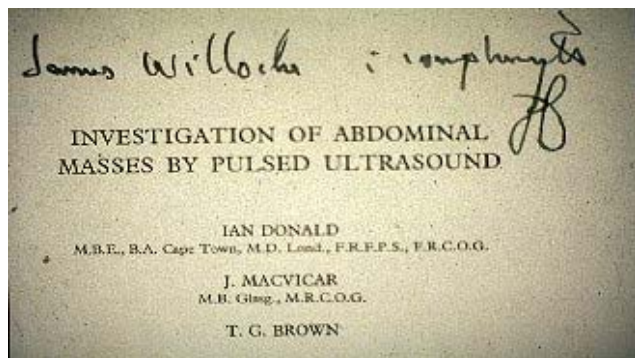
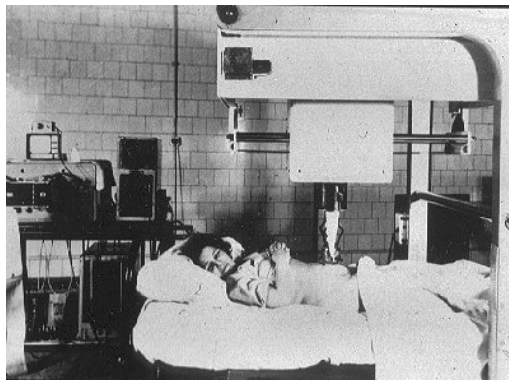


Ο Τόμ Μπράουν εργαζόταν ως μηχανικός στην Κέλβιν και Χιούς στη Γλασκόβη. Άκουσε ότι ο Ντόναλντ "χρησιμοποιούσε έναν ανιχνευτή ρωγμών σε ανθρώπους". Ο Μπράουν ήρθε σε επαφή με τον Ντόναλντ και παρείχε τεχνική υποστήριξη στο πρόγραμμα του. Πήρε, επίσης, και τον ολοκαίνουργιο ανιχνευτή ρωγμών Κέλβιν Χιούς MK4 από την εταιρία που υποστήριξε την έρευνα τους για αρκετά χρόνια. Το MK4 ήταν ικανό να ξεχωρίσει τους στερεούς από τους κυστικούς όγκους και σε μια περίπτωση έσωσε τη ζωή μιας γυναίκας που προηγουμένως οι γιατροί πίστευαν ότι έπασχε από καρκίνο του στομάχου που δεν μπορούσε να χειρουργηθεί. Ο Μπράουν, σε ηλικία 24 χρόνων, σχεδίασε και κατασκεύασε με τον Ταν Ντόναλντ το πρώτο παγκόσμια κλινικό

σύστημα απεικόνισης με υπέρηχους το 1957. Ήταν σχεδιασμένο ώστε να στηρίζεται στο πλαίσιο του κρεβατιού του νοσοκομείου και παρουσίαζε εικόνες από το δέρμα και τα έντερα. Το πρωτότυπο βελτιώθηκε σταδιακά για να γίνει ο "Διασονογράφος" που κατασκευάστηκε εμπορικά από την Σμίθ Ιντάστριαλς της Αγγλίας που είχε στο μεταξύ αγοράσει την Κέλβιν και Χιούς το 1961. Το βάρος ενός τόνου μηχάνημα ήταν γνωστό μερικές φορές και ως "Δεινοσαυρογράφος"!

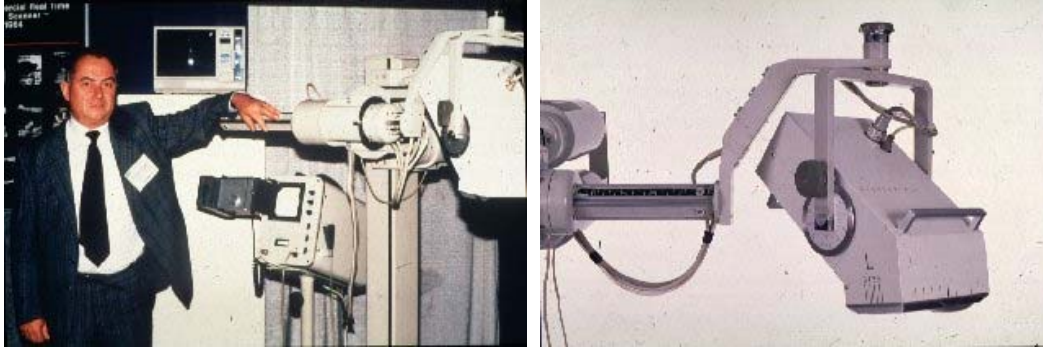


Η πρώτη κλινική συσκευή απεικόνισης με υπέρηχους κατασκευάστηκε από τον Τομ Μπράουν και στηριζόταν στο πλαίσιο ενός νοσοκομειακού κρεβατιού (αριστερά.) Η πρώτη εικόνα από αυτό το μηχάνημα παρουσιάζει ηχώ από το δέρμα, στην κορυφή της εικόνας, και από το έντερο (δεξιά.)



Ο Τομ Μπράουν ανέπτυξε το πρώτο και μόνο πλήρως αυτόματο σύστημα υπέρηχων ικανό να καταγράφει σταθερές και αμετάβλητες εικόνες (αριστερά.) Ένα μεγάλο μέρος της αρχικής έρευνας διεξήχθη με αυτήν την μηχανή. Τα αρχικά πειράματα οδήγησαν στη δημοσίευση του πρώτου άρθρου των Ντόναλντ, ΜακΒίκαρ και Μπράουν για τους διαγνωστικούς υπέρηχους στο περιοδικό Lancet το 1958 (δεξιά.)

Ο Ρίτσαρντ Σόλντνερ, της εταιρίας Σείμενς, σχεδίασε το Βίντοσον το πρώτο δισδιάστατο, πραγματικού χρόνου σύστημα υπερήχων και άρχισε μια πραγματική επανάσταση το 1963. Η κεφαλή ανίχνευσης του Βίντοσον χρησιμοποιούσε έναν μετατροπέα που περιστρέφεται σε μια δεξαμενή νερού με έναν παραβολικό καθρέφτη. Αυτή η μηχανή, που βρήκε ευρεία χρήση, βασίστηκε στην υπάρχουσα πείρα της εταιρίας στον τομέα του εξοπλισμού ακτίνων Χ.



Ο Ρίτσαρντ Σόλντνερ με το Βίντοσον (αριστερά) και η κεφαλή ανίχνευσης του Βίντοσον (δεξιά.)



Ο Τομ Μπράουν κατασκεύασε, επίσης, την πρώτη συσκευή τρισδιάστατων υπερήχων. Δυστυχώς, το μηχάνημα αυτό δεν βρήκε εμπορική επιτυχία.

Πολυεπιπεδικός Ανιχνευτής “Σόνικέιντ.”

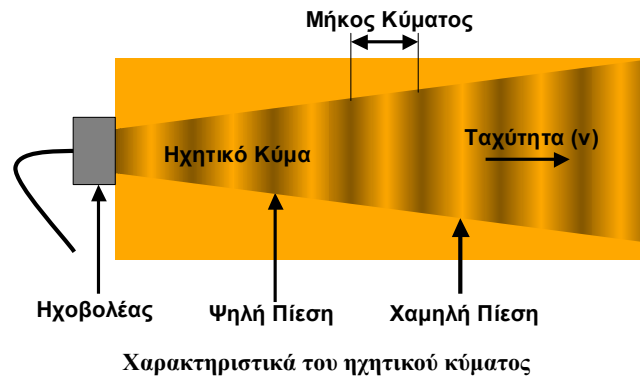
Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '70 οι στατικοί ανιχνευτές και τα γραμμικά συστήματα πραγματικού χρόνου είχαν φτάσει σε επίπεδα ουσιαστικής ανάπτυξης. Σε λιγότερο από 50 έτη, το υπερηχογράφημα εξελίχθηκε σε μια από τις πιο χρήσιμες διαγνωστικές τεχνικές στη σύγχρονη ιατρική. Σημαντική πρόοδος και πολυάριθμες βελτιώσεις έχουν πραγματοποιηθεί, μερικές από τις οποίες θα παρουσιαστούν σε αυτό το κεφάλαιο.

Τα ηχητικά κύματα είναι μηχανικές ταλαντώσεις και αποτελούν μεταβολές πίεσεως-ώσεως στον αέρα ή το οποιοδήποτε άλλο υλικό μέσα στο οποίο διαδίδεται ο ήχος. Η τοπική αύξηση της πίεσης ακολουθείται από μια επίσης τοπική μείωση της (ώση) και οι δύο μαζί να συνθέτουν ένα πλήρες κύμα. Το κύμα αυτό σταδιακά μετατοπίζεται προς μια κατεύθυνση με αποτέλεσμα να ταξιδεύει στο χώρο όπως ένα κύμα στην επιφάνεια της θάλασσας ή όπως μια ακτίνα φωτός. Αυτό το κύμα ανακλάται όταν στο δρόμο του βρεθεί μια αλλαγή στην πυκνότητα του υλικού, όπως είδαμε αν γίνεται και με τα οπτικά κύματα. Ο αέρας λόγω της αραιής διάταξης των μορίων αποτελεί κακό αγωγό της ηχητικής δέσμης ενώ τα υγρά και κυρίως τα στερεά αποτελούν καλούς ηχητικούς αγωγούς (σε κενό αέρος δεν μεταδίδεται ο ήχος). Η ταχύτητα των υπερήχων στον αέρα είναι 331, στους μαλακούς ιστούς 1.500 και στα οστά 4.080 μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

Μπορούμε να ξεχωρίσουμε τους διάφορους ήχους με βάση τη συχνότητα τους. Υπόηχοι (infrasounds) είναι κύματα σε χαμηλές ηχητικές συχνότητες της τάξεως των 1-16 κύκλων ανά δευτερόλεπτο (1-16 Hz) και είναι εξαιρετικά επιβλαβείς. Η ακουστική ζώνη βρίσκεται μετά 16-16.000 Hz (τα μικρά παιδικά μπορούν να ακούσουν ήχους συχνότητας 20.000 κύκλων ανά δευτερόλεπτο). Με τον όρο υπέρηχοι (ultrasounds) ορίζουμε ήχους πέραν της ακουστικής ζώνης (πέραν των 20.000 Hz) [25]. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στην ιατρική διαγνωστική είναι της τάξης των 1-10 εκατομμυρίων Hz ή Mega-Hz (MHz). Το Hertz (σύμβολο: Hz) είναι μονάδα μέτρησης της συχνότητας και 1 Hz ισοδυναμεί με έναν κύκλο ανά δευτερόλεπτο.

Τα χαρακτηριστικά ενός κύματος είναι:

- Περίοδος: Είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο δημιουργείται ένας πλήρης κύκλος.
- Μήκος κύματος: Απόσταση που διανύει το κύμα σε ένα μόνο κύκλο
- Συχνότητα: Είναι ο αριθμός των κύκλων ανά δευτερόλεπτο (Hz)



Οι υπέρηχοι παράγονται από ειδικούς πιεζο-ηλεκτρικούς ηχοβολείς. Τα πιεζο-ηλεκτρικά υλικά έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανικές ταλαντώσεις και κατά συνέπεια ηχητικά κύματα αλλά και το ανάποδο, δηλαδή ηχητικά κύματα σε ηλεκτρική ενέργεια. Με λίγα λόγια, ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό δυναμικό στις δύο άκρες του κρυστάλλου παράγει μια μηχανική δόνηση στο κρύσταλλο η οποία και στην συνέχεια θα μεταφερθεί στον γύρο χώρο ως ηχητικό κύμα. Επίσης, ένα ηχητικό κύμα, το οποίο προσκρούει στον κρύσταλλο, παράγει στο υλικό μηχανικές δονήσεις που μετατρέπονται σε μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό δυναμικό στις δυο άκρες του κρυστάλλου. Τα υλικά αυτά είναι, συνήθως, ένα συνδυασμός ειδικών κεραμικών και πολυμερών (π.χ. lead titanate – lead zirconate, εποξικής ρητινης, κ.α.) Κάθε διαφορετικό υλικό λειτουργεί σε διαφορετική συχνότητα και παράγει και ανιχνεύει υπερήχους σε αυτή τη δική του ιδιαίτερη συχνότητα.

Η απεικόνιση με υπερήχους βασίζεται στην παραγωγή υπερήχων από ένα ηχοβολέα και την καταγραφή των ανακλάσεων τους από τα όργανα ή ιστούς του σώματος. Μια δέσμη υπερήχων μπορεί απλά να θεωρηθεί σαν δέσμη κυμάτων η οποία προσπίπτει σε ένα κάτοπτρο (ένα τοίχωμα κάποιου οργάνου) και επιστρέφει (σαν ηχώ) πίσω προς τον ηχοβολέα ο οποίος και καταγράφει την ηχώ. Η ευκρίνεια της απεικόνισης είναι ανάλογη της συχνότητας. Υπέρηχοι υψηλότερης συχνότητας μπορούν να διακρίνουν μικρότερες λεπτομέρειες (π.χ. υπέρηχοι συχνότητας 20 MHz μπορούν να διακρίνουν λεπτομέρειες 100 εκατομμυριστών του μέτρου.)

Η ένταση της δέσμης υπερήχων κατά την διαδρομή της μέσα από τους ιστούς του σώματος είναι φθίνουσα. Η συνολική απώλεια αυτής της έντασης ή ισχύος καλείται απόσβεση. Κύριος λόγος της απόσβεσης αυτής είναι η μετατροπή μέρους των υπερήχων σε θερμότητα. Αυτό το μέρος της απόσβεσης είναι ανάλογο της συχνότητας. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα εκπομπής υπερήχων τόσο ψηλότερη και η απώλεια ενέργειας σαν θερμότητα. Για αυτό ακριβώς τον λόγο χρησιμοποιούνται υπέρηχοι χαμηλότερης συχνότητας όταν επιδιώκεται μεγαλύτερο βάθος διείσδυσης στο σώμα αλλά μεγαλύτερης συχνότητας όταν ο στόχος είναι επιφανειακός και απαιτείται καλύτερη ευκρίνεια.

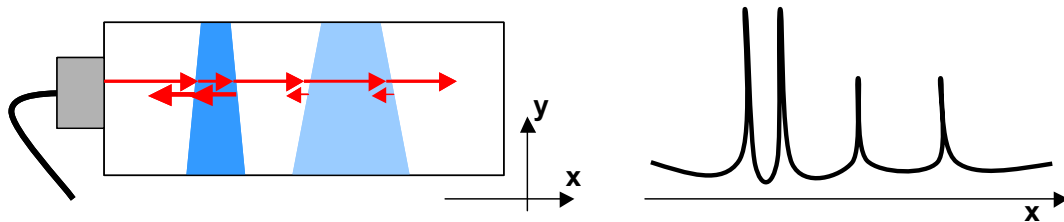
Το μέρος της υπερηχογραφικής δέσμης που δεν έχει χαθεί ως θερμότητα διασκορπίζεται ή ανακλάται από τους ιστούς προς τον ηχοβολέα σαν ηχώ. Η δέσμη των υπερήχων συμπεριφέρεται σαν δέσμη φωτός (ανακλάται-διαθλάται κλπ). Μεταξύ δύο ιστών με διαφορετική σύσταση η δέσμη ανακλάται και αυτή η ανάκλαση εξαρτάται από την διαφορά των ιστών αλλά και από την γωνία πρόσπτωσης της δέσμης. Η διαφορά στη πυκνότητα και ελαστικότητα ενός ιστού καθορίζουν αυτό που αποκαλούμε “ακουστική παρεμπόδιση” ή “ακουστική αντίσταση”. Όσο μεγαλύτερη η διαφορά αντίστασης μεταξύ δύο ιστών τόσο μεγαλύτερο μέρος της δέσμης υπερήχων ανακλάται. Ακραία περίπτωση σε αυτό το φαινόμενο αποτελούν οι διεπαφές αέρα / μαλακών μορίων όπου σχεδόν το σύνολο της δέσμης αυτής ανακλάται. Αυτό το φαινόμενο εξηγεί και την χρήση υδατικής κρέμας (gel) μεταξύ ηχοβολέα και

δέρματος. Έχει, ακριβώς, σκοπό να εξαλείψει τον μεταξύ τους αέρα και να επιτρέψει την απρόσκοπτη μετάδοση της υπερηχογραφικής δέσμης. Είναι επίσης φανερό ότι η υπερηχογραφία δεν μπορεί να εξετάσει όργανα γεμάτα με αέρα (π.χ. πνεύμονες, εντερικές έλικες, κλπ.), ενώ υπάρχει και μία σχετικά μεγάλη διαφορά ακουστικής αντίστασης μεταξύ οστών και μαλακών ιστών με αποτέλεσμα τον περιορισμό της χρήσης των υπερήχων διαμέσου οστών.

Η χρήση της υπερηχογραφίας έχει 2 βασικούς στόχους: ο ένας να λάβει τμηματικές εικόνες και ο άλλος να μετρήσει ταχύτητες αιματικής ροής. Η υπερηχογραφία θεωρείται σήμερα η συχνότερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος της ιατρικής απεικόνισης, η δε χρήση της μεθόδου Doppler (μέτρηση αιματικής ροής, έλεγχος κατάστασης αγγείων) συνεχώς αυξάνει ιδίως τα τελευταία χρόνια με την χρήση και του χρώματος (Color Doppler). Χρησιμοποιούνται οι πιο κάτω μέθοδοι απεικόνισης:

A-Mode

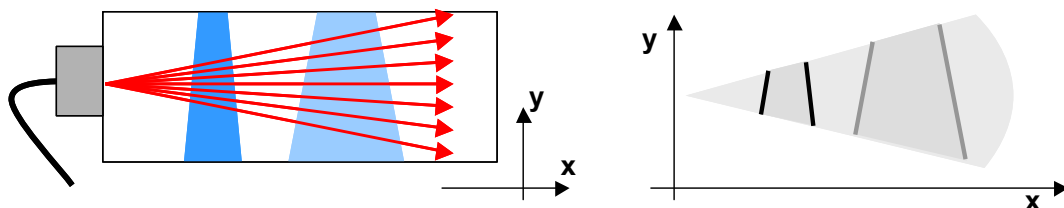
Μονοδιάστατη εικόνα (A-Mode) δημιουργείται όταν ένα βραχύ κύμα υπερήχων που, διαπερνώντας διαφορετικής πυκνότητας ιστούς μέσα στο σώμα, ανακλάται και επιστρέφει στον ηχοβολέα. Η δέσμη υπερήχων παραμένει ακίνητη και γι' αυτό και στην οθόνη βλέπουμε μόνο μια γραμμή. Το μέγεθος των ανακλάσεων είναι ανάλογο της ακουστικής συμπεριφοράς και είναι διαφορετικός για κάθε τμήμα του σώματος.



A-mode: Οι ανακλάσεις από τις διεπαφές του πρώτου και δεύτερου αντικειμένου (όπου το πρώτο είναι πιο ακουστικά “πυκνό” από το δεύτερο) καταγράφονται σαν μια γραφική παράσταση έντασης σαν συνάρτηση του x .

B - Mode

Στην ακτινολογία η B-Mode μέθοδος χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά. Είναι ένας συνδυασμός πολλών γραμμικών μετρήσεων (A – mode) έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια δισδιάστατη εικόνα. Ο ηχοβολέας ή η δέσμη των υπερήχων διαγράφουν μια σάρωση πάνω από το διάφορα όργανα και από τις ανακλάσεις και σχηματίζεται το περίγραμμα των οργάνων. Οι εικόνες που λαμβάνονται έχουν σχήμα κόλουρου κώνου με την κορυφή του προς τα άνω (τμήμα πλησιέστερο στο δέρμα του ασθενούς και τον ηχοβολέα) ή ορθογωνίου παραλληλόγραμμου.

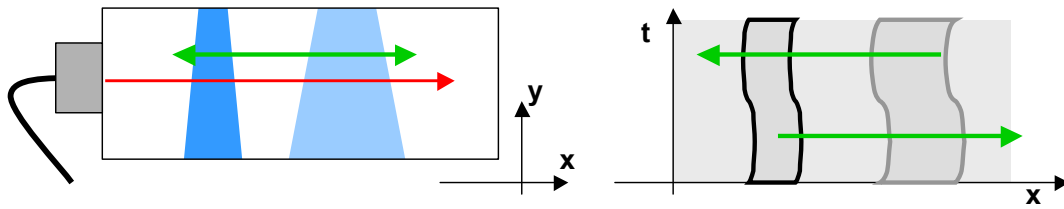


B-mode: Καταγράφονται μια σειρά από μονοδιάστατες μετρήσεις (A-mode) οι οποίες και συναρμολογούνται σαν μια εικόνα με διαστάσεις x και y . Η κλίμακα του γκρίζου αντιπροσωπεύει την ακουστική “πυκνότητα” του κάθε αντικειμένου.

M – Mode

Το M-Mode (M: motion = κίνηση) χρησιμοποιείται ευρέως στην ηχοκαρδιολογία. Εδώ η δέσμη υπερήχων παραμένει σταθερή και καταγράφει τις ανακλάσεις από ένα ή περισσότερα κινούμενα όργανα. Οι συνεχόμενες αυτές μετρήσεις παρουσιάζονται η μια δίπλα από την άλλη έτσι ώστε η κίνηση της κάθε διεπαφής στο χρόνο να φαίνεται σαν μια καμπύλη στην εικόνα. Αυτές οι καμπύλες

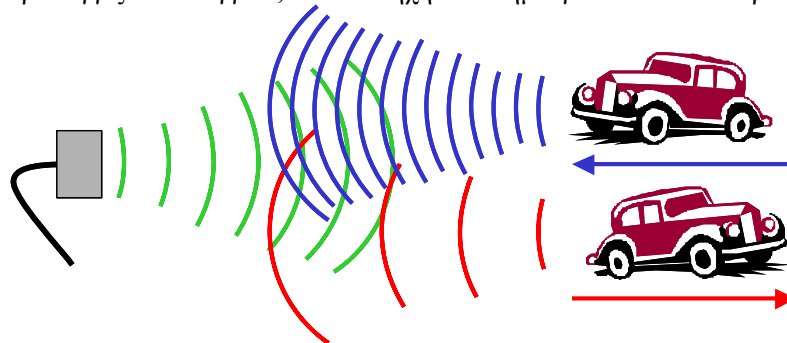
δείχνουν την αλλαγή της θέσης των ανακλώντων δομών στο χρόνο. Αυτή η διαρκής κίνηση των σημείων σε χώρο-χρόνο καταγράφεται δισδιάστατα για κάθε εξεταζόμενο τμήμα ξεχωριστά.



M-mode: Η δέσμη των υπερήχων παραμένει σταθερή αλλά το αντικείμενο κινείται. Καταγράφονται μονοδιάστατες μετρήσεις (A-Mode) πάντα όμως από σταθερή θέση. Όταν αυτές συναρμολογηθούν σε μια δισδιάστατη εικόνα (με άξονας την κατεύθυνση x από την μια και τον χρόνο από την άλλη) κάνουν εμφανείς τις κινήσεις των αντικειμένων. Στο πιο πάνω παράδειγμα φαίνεται ότι τα αντικείμενα κινήθηκαν πρώτα δεξιά και μετά αριστερά.

Doppler

Η μέτρηση της αιματικής ροής, βασίζεται στο φαινόμενο ότι η συχνότητα μιας κυματικής μορφής εξαρτάται από την σχετική ταχύτητα μεταξύ του πομπού και του δέκτη του κύματος. Αυτό καλείται φαινόμενο Doppler και εφαρμόζεται σε κάθε μορφής κύμα τόσο ηλεκτρομαγνητικό (π.χ. φως) όσο και μηχανικό (π.χ. υπέρηχοι). Βασική πληροφορία είναι ότι αν η αιματική ροή κινείται προς τον ηχοβολέα, τότε οι ανακλώμενες ηχώ, έχουν υψηλότερη συχνότητα από το ηχητικό κύμα, εκπεμπόμενο από αυτόν. Αντίθετα αν η ροή του αίματος απομακρύνεται του ηχοβολέα οι ηχώ έχουν χαμηλότερη συχνότητα από το εκπεμπόμενο κύμα. Αυτή η διαφορά των συχνοτήτων καλείται αλλαγή συχνότητας Doppler (Doppler frequency shift). Αυτή η αλλαγή συχνότητας είναι ευθέως ανάλογη της ταχύτητας αιματικής ροής και επειδή συνήθως βρίσκεται μέσα στην ακουστική κλίμακα, τα συστήματα υπερήχων είναι εξοπλισμένα και με ακουστικό σήμα, πλην του οπτικού σήματος ροής επί της οθόνης. Όσο ο ηχοβολέας προσεγγίζει ένα αγγείο, τόσο το ηχητικό σήμα γίνεται εντονότερο.



Το φαινόμενο Doppler. Όταν το ηχητικό κύμα ανακλάται από αντικείμενο που κινείται προς τον ηχοβολέα (πάνω) τότε η συχνότητα που φτάνει πίσω στον ηχοβολέα είναι ψηλότερη, ενώ όταν το αντικείμενο κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση (κάτω) η συχνότητα είναι χαμηλότερη.

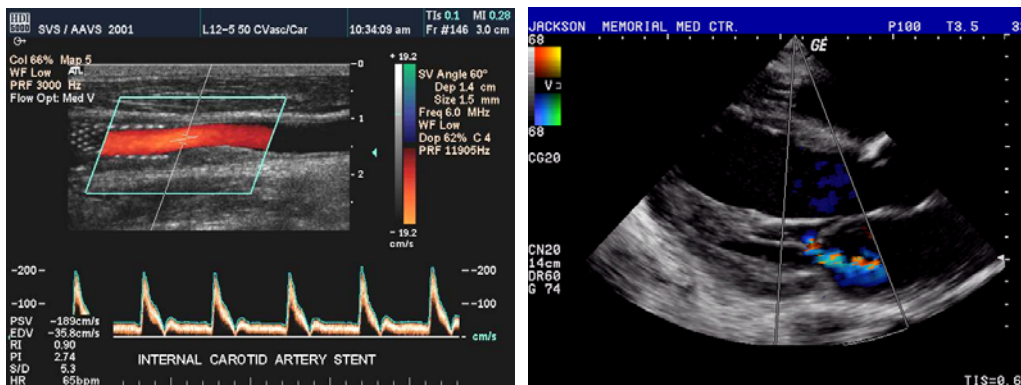
Υπάρχουν δύο τρόποι να καταγραφεί ένα σήμα Doppler. Ο πρώτος τρόπος ονομάζεται “συνεχούς κύματος.” Στην περίπτωση αυτή ο ηχοβολέας έχει 2 ξεχωριστούς κρυστάλλους, ο ένας συνεχώς εκπέμπει και ο άλλος συνεχώς δέχεται. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να μετρήσουμε πολύ ψηλές ταχύτητες με πολύ απλοποιημένο εξοπλισμό. Οι μετρήσεις όμως αυτές λαμβάνονται από διάφορα επίπεδα κάτω από την επιφάνεια του δέρματος, χωρίς έτσι να είναι δυνατή η μέτρηση, μιας ειδικής ταχύτητας από ένα προκαθορισμένο αγγείο ή σημείο.

Ο τρόπος “παλλόμενου Doppler” στηρίζεται σε ένα κρύσταλλο που λειτουργεί και σαν πομπός και σαν δέκτης. Ο ήχος στέλνεται κατά βραχείς παλμούς, οι δε ηχώ λαμβάνονται στα μεσοδιαστήματα των παλμών αυτών. Ένας παλμός διάρκειας 1 μ s μεταδίδεται 1000 φορές ανά δευτερόλεπτο, κατά το λοιπό 99,9% του χρόνου ο ηχοβολέας λειτουργεί σαν ακουστικός δέκτης των ηχώ. Ο χρόνος από την εκπομπή παλμού μέχρι την άφιξη της ηχώ, καθορίζει το βάθος στο οποίο παρατηρούνται οι ταχύτητες, επιτρέποντας. Ο συνδυασμός υπερηχογραφίας πραγματικού χρόνου και Doppler καλείται DUPLEX

υπερηχογραφία. Τέλος στον προηγούμενο συνδυασμό αν προστεθεί το χρώμα έχουμε την COLOR DOPPLER υπερηχογραφία. Σταθεροί ιστοί απεικονίζονται σε κλίμακα του γκριζού, ενώ τα αγγεία (αρτηρίες-φλέβες) παίρνουν απόχρωση μπλε ή κόκκινου ανάλογα με την κύρια ταχύτητα και την κατεύθυνση της αιματικής ροής. Το χρώμα βοηθά πολύ στον εντοπισμό των αγγείων και στην ανίχνευση μεταβολών ροής, καθώς και στην εκτίμηση του αυλού του αγγείου σε σχέση με τα τοιχώματά του.



Απεικόνιση της λειτουργίας της καρδιάς με υπέρηχους και έγχρωμο Doppler.

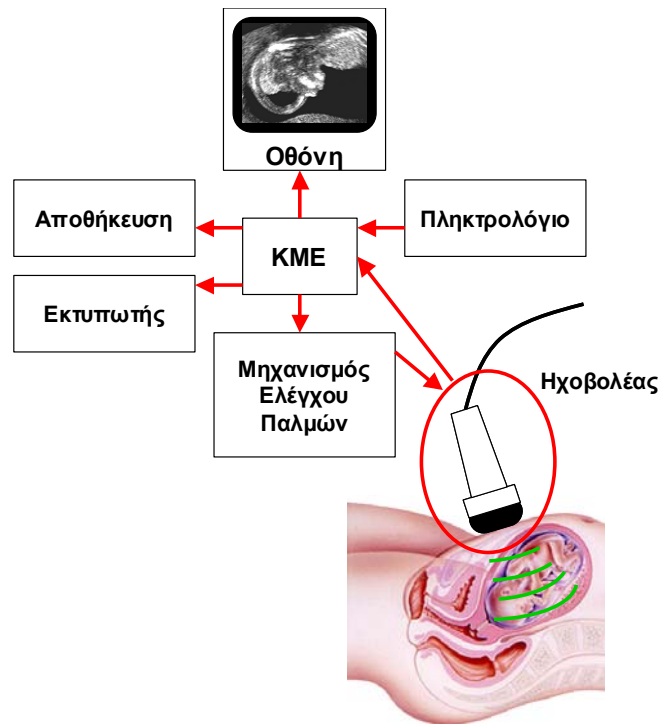


Ροή μέσα από ένα καρωτιδικό νάρθηκα (stent) (αριστερά) και μέσα από την καρδιά και τις βαλβίδες της (δεξιά.)

Με τον διεθνή όρο απεικόνιση πραγματικού χρόνου (real-time), στην γλώσσα ηλεκτρονικών υπολογιστών, εννοούμε την δυναμική παρουσίαση τμηματικών εικόνων άνω των 16 ανά δευτερόλεπτο έτσι ώστε να έχουμε κινηματογραφική παρουσίαση των οργάνων προς εξέταση. Παρακολουθούμε, συνεπώς, και καταγράφουμε τις αλλαγές θέσης-μορφής των οργάνων στο χρόνο (δυναμική εικόνα).

Μια βασική μηχανή υπερήχου έχει τα ακόλουθα μέρη:

- ηχοβολέας - στέλνει και λαμβάνει τα ηχητικά κύματα
- κεντρική μονάδα επεξεργασίας (ΚΜΕ) - υπολογιστής που κάνει όλους τους υπολογισμούς και περιέχει τις παροχές ηλεκτρικού ρεύματος
- μηχανισμός ελέγχου παλμών - αλλαγές στο εύρος, τη συχνότητα και τη διάρκεια των παλμών που εκπέμπονται από τον ηχοβολέα
- οθόνη - παρουσιάζει την εικόνα από τα δεδομένα του υπερήχου μετά από επεξεργασία από την ΚΜΕ
- πληκτρολόγιο/ποντίκι – εισαγάγουν δεδομένα και παίρνουν μετρήσεις από την οθόνη
- συσκευή αποθήκευσης – σκληρός δίσκος ή CD για την αποθήκευση των εικόνων
- εκτυπωτής – εκτυπώνει τις αποκτηθείσες εικόνες



Τα βασικά μέρη μιας συσκευής υπερήχων

Ένα άρτιο ηχογραφικό τμήμα πρέπει να διαθέτει ηχοβολείς που να διασφαλίζουν υψηλής ποιότητας εικόνες. Οι χρησιμοποιούμενες συχνότητες είναι μεταξύ 2,5 MHz - 12 MHz, οι μεγαλύτερες για επιφανειακά όργανα, ενώ οι μικρότερες για απεικόνιση σε μεγάλο βάθος. Οι ηχοβολείς χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την χρήση τους:

1. Για "κλασσική" χρήση, δηλαδή διαδερμική απεικόνιση διαφόρων οργάνων ή της κύησης
2. Για ενδο-κολπική ή ενδο-ορθική απεικόνιση των οργάνων της πυέλου.
3. Για ενδο-οισοφαγική απεικόνιση της καρδιάς.
4. Για Color-Doppler στην ανίχνευση αιματικής ροής και μορφολογίας των αγγείων.

Βεβαίως οι σύγχρονοι υπερηχογράφοι χρησιμοποιούν ψηφιακές τεχνικές και έχουν πλέον δυνατότητες και τρισδιάστατης (3D) απεικόνισης.

Για μια εξέταση με υπερήχους, ο ασθενής πηγαίνει σε ένα δωμάτιο με έναν ειδικό και το μηχάνημα υπερήχων και αφαιρεί τα ρούχα του (όλα ή μόνο εκείνα πάνω από την περιοχή που θα εξετασθεί). Ο ειδικός:

1. τοποθετεί ένα ύφασμα πάνω από οποιεσδήποτε εκτεθειμένες περιοχές δεν απαιτούνται για την εξέταση
2. εφαρμόζει ζελέ στο δέρμα του ασθενή ούτως ώστε να μην υπάρχει αέρας μεταξύ του ηχοβολέα και του δέρματος για καλύτερη ποιότητα εικόνας
3. καλύπτει τον ηχοβολέα με νάιλον
4. περνά τον ηχοβολέα πάνω από το δέρμα για να λάβει τις απαραίτητες εικόνες. Ανάλογα με τον τύπο της εξέτασης, ο ηχοβολέας μπορεί να εισαχθεί σε κάποιες κοιλότητες του σώματος
5. ανάλογα με την εξέταση, μπορεί να καλέσει τον ασθενή να αλλάξει θέση για να εξετάσει καλύτερα την περιοχή ενδιαφέροντος
6. λαμβάνει τις εικόνες και τις αποθηκεύει στο δίσκο.

Μετά από αυτή την διαδικασία ο ασθενής καθαρίζεται, ντύνεται και φεύγει.

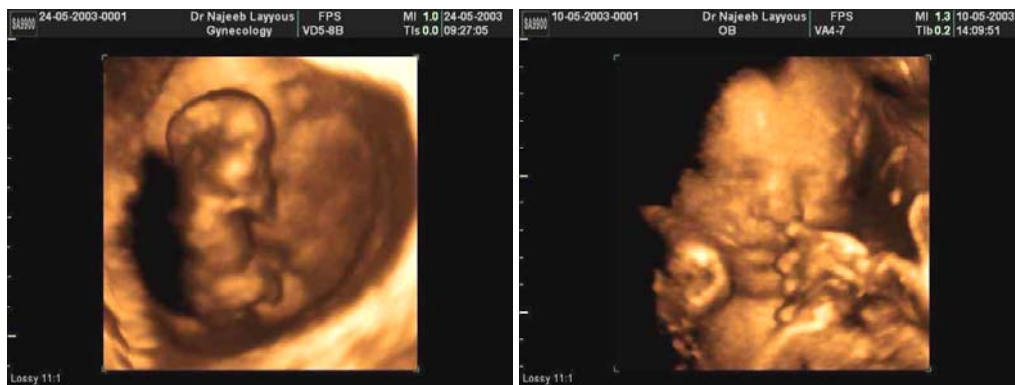
Η σάρωση της ελεγχόμενης περιοχής γίνεται επιμήκως, εγκάρσιως ή λοξώς, δίδοντας ο χρήστης στην κεφαλή του ηχοβολέα ανάλογη κατεύθυνση. Εκτός της αλλαγής του άξονα του ηχοβολέα κι ο ασθενής λαμβάνει διάφορες θέσεις κατά την εξέταση, που διευκολύνουν την καλύτερη απεικόνιση των διαφόρων οργάνων (ύπτια, λοξές αριστερά - δεξιά, πλάγιες δεξιά και αριστερά, καθιστή, όρθια κλπ). Η προσπάθεια ελέγχου των οργάνων με υπερήχους απαιτεί συχνά και την ανεύρεση ενός οργάνου που

θα χρησιμεύσει σαν “ακουστικό παράθυρο” διευκολύνοντας έτσι την υπερηχογραφική προσπέλαση της διερευνούμενης περιοχής. Έτσι για παράδειγμα έχουν το ήπαρ “ακουστικό παράθυρο” του δεξιού νεφρού, τη γεμάτη ούρο ουροδόχο κύστη “παράθυρο” στον έλεγχο των έσω γεννητικών οργάνων της γυναίκας ή του προστάτη στον άνδρα, ή ακόμη τον γεμάτο υγρό στόμαχο στον έλεγχο του παγκρέατος.

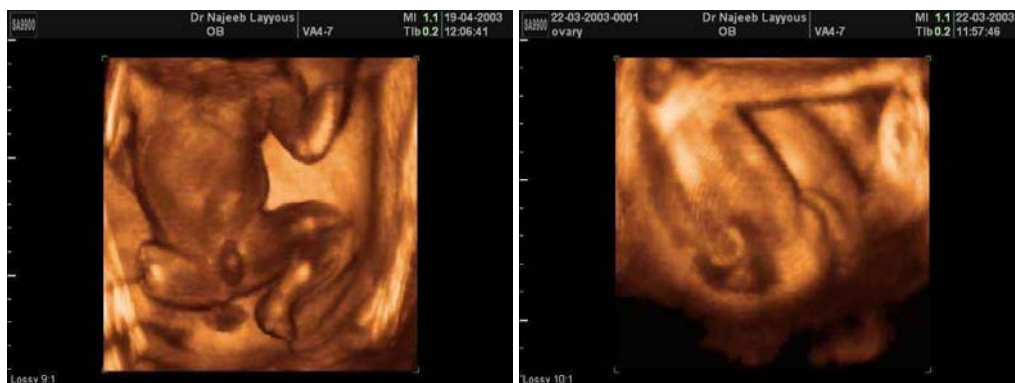
Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συσκευές υπερήχων για τρισδιάστατη απεικόνιση. Σε αυτές τις συσκευές, πολλαπλές δισδιάστατες εικόνες καταγράφονται με την σάρωση των ηχοβολέων πάνω από το δέρμα ή την περιστροφή τους όταν αυτοί είναι στο εσωτερικό του σώματος. Οι δισδιάστατες εικόνες συνδυάζονται, έπειτα, από εξειδικευμένο λογισμικό στον υπολογιστή, για να διαμορφώσουν τρισδιάστατες ανακατασκευές του οργάνου ή του εμβρύου. Η τρισδιάστατη απεικόνιση επιτρέπει καλύτερη οπτική εικόνα και χρησιμοποιείται για:

- έγκαιρη ανίχνευση καρκινωδών και καλοηθών όγκων
 - εξέταση του προστατικού αδένα για την έγκαιρη ανίχνευση καρκίνου
 - έλεγχος για μάζες στο παχύ έντερο
 - ανίχνευση κακώσεων των μαστών για τις πιθανές βιοψίες
- απεικόνιση του εμβρύου για αξιολόγηση της ανάπτυξής του, ειδικά για παρατήρηση ανώμαλης ανάπτυξης του προσώπου και των άκρων
- απεικόνιση της ροής του αίματος στα διάφορα όργανα του εμβρύου

Παρά το γεγονός ότι δεν έχει αποδειχθεί οποιοδήποτε όφελος από μια τρισδιάστατη απεικόνιση, εντούτοις η τεχνική αυτή έχει γίνει πολύ δημοφιλής στην απεικόνιση των εμβρύων στο προγεννητικό έλεγχο, μια και παρουσιάζει το έμβρυο σε μορφή “αναγνωρίσιμη” για τους γονείς.



Τρισδιάστατο υπερηχογράφημα φυσιολογικού εμβρύου στις 10 και 32 εβδομάδες



Τρισδιάστατο υπερηχογράφημα φυσιολογικών αρσενικών (αριστερά) και θηλυκών (δεξιά) γεννητικών οργάνων.



Τρισδιάστατο υπερηχογράφημα του μωρού πριν (αριστερά) και φωτογραφία (δεξιά) μετά από την γέννηση του.

Οι υπέρηχοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές κλινικές περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της μαιευτικής και της γυναικολογίας, της καρδιολογίας και της ανίχνευσης του καρκίνου. Το κύριο πλεονέκτημα των υπερήχων είναι ότι ορισμένες δομές μπορούν να εξετασθούν χωρίς χρησιμοποίηση ακτινοβολίας. Οι υπέρηχοι είναι επίσης γρηγορότεροι και φθηνότεροι από τις ακτίνες X ή άλλες ακτινογραφικές τεχνικές. Μερικές μόνο από τις χρήσεις των υπερήχων παραθέτονται στον πιο κάτω κατάλογο:

Μαιευτική και γυναικολογία

- μέτρηση του μέγεθος του εμβρύου για να καθοριστεί η αναμενόμενη ημερομηνία τοκετού
- καθορισμός της θέσης του εμβρύου για να φανεί εάν είναι στην κανονική θέση με το κεφάλι προς τα κάτω
- έλεγχος της θέσης του πλακούντα για να φανεί εάν αναπτύσσεται εσφαλμένα πάνω από το άνοιγμα της μήτρας (τράχηλος)
- εξακρίβωση του αριθμού των εμβρύων στη μήτρα
- έλεγχος του φύλου του μωρού (εάν η γεννητική περιοχή μπορεί να φανεί σαφώς)
- έλεγχος του ρυθμού ανάπτυξης του εμβρύου με την διεξαγωγή πολλών μετρήσεων κατά τη διάρκεια της κύησης
- ανίχνευση εκτοπικής εγκυμοσύνης, κατάσταση όπου το έμβρυο εμφυτεύεται στις σάλπιγγες αντί στη μήτρα και που μπορεί να απειλήσει τη ζωή της μητέρας
- εξακρίβωση της ύπαρξης αρκετού αμνιακού υγρού για να προστατεύει το έμβρυο
- έλεγχος του εμβρύου κατά τη διάρκεια των εξειδικευμένων επεμβάσεων - ο υπέρηχος είναι χρήσιμος κατά τη διάρκεια της αμνιοκέντησης (δειγματοληψία του αμνιακού υγρού με μια βελόνα για γενετικούς ελέγχους) για την παρακολούθηση του εμβρύου και αποφυγή τραυματισμού του. Προηγουμένως, οι γιατροί εκτελούσαν αυτήν την διαδικασία στα τυφλά αλλά με τη χρήση υπερήχων οι κίνδυνοι αυτής της διαδικασίας έχουν μειωθεί εντυπωσιακά.
- απεικόνιση όγκων της ωοθηκών και μαστών

Καρδιολογία

- απεικόνιση του εσωτερικού της καρδιάς για να προσδιοριστούν ανώμαλες δομές ή λειτουργίες της καρδιάς, των τοιχωμάτων ή των βαλβίδων της
- μέτρηση του αίματος που περνά από την καρδιά και τα σημαντικά αιμοφόρα αγγεία
- Εξακρίβωση ύπαρξης θρόμβων μέσα στις κοιλότητες της καρδιάς

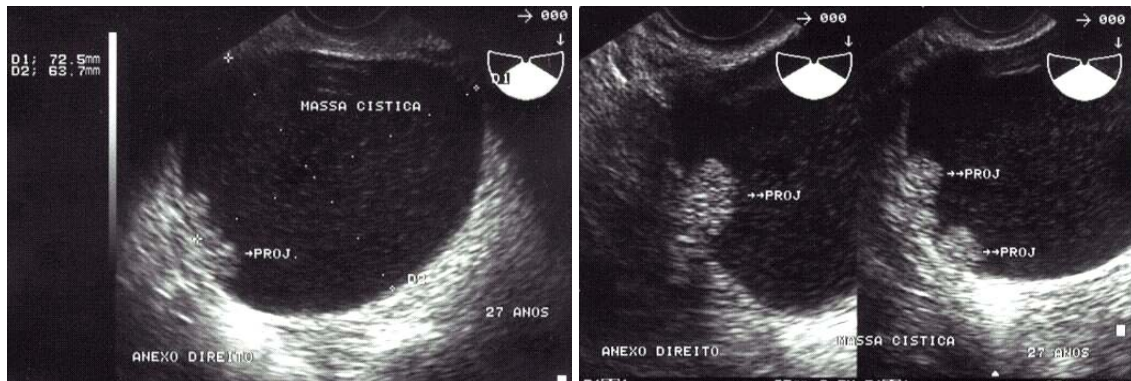
Ουρολογία

- μέτρηση της ροής του αίματος μέσα από τους νεφρούς
- εκτίμηση της λειτουργίας της ουροδόχου κύστης
- απεικόνιση πετρών στους νεφρούς και την ουροδόχο κύστη
- έγκαιρη ανίχνευση του καρκίνου του προστάτη

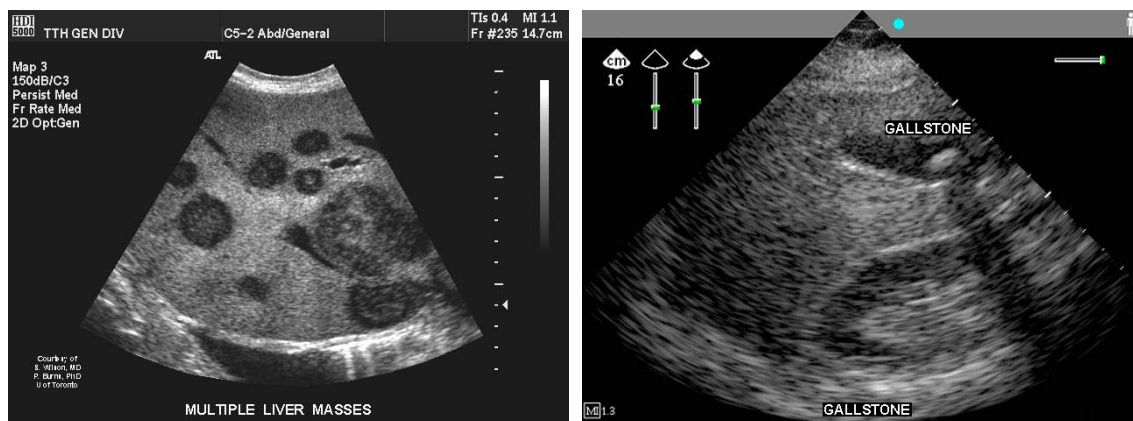
Γαστρεντερολογία

- ανίχνευση όγκων και μαζών στο συκώτι
- αξιολόγηση προβλημάτων της χοληδόχου κύστης

Εκτός από αυτές τις περιοχές, υπάρχει μια αυξανόμενη χρήση για των υπέρηχων ως ένα γρήγορο εργαλείο απεικόνισης για τη διάγνωση στα Τμήματα Έκτακτης Ανάγκης.



Ενδοκοιλιακή υπερηχογραφία μια μάζας στην πυελική χώρα μιας 27χρονης γυναίκας παρουσιάζει μια κύστη με θηλώδη προεξοχές, χαρακτηριστική κακοήθους ανάπτυξης.



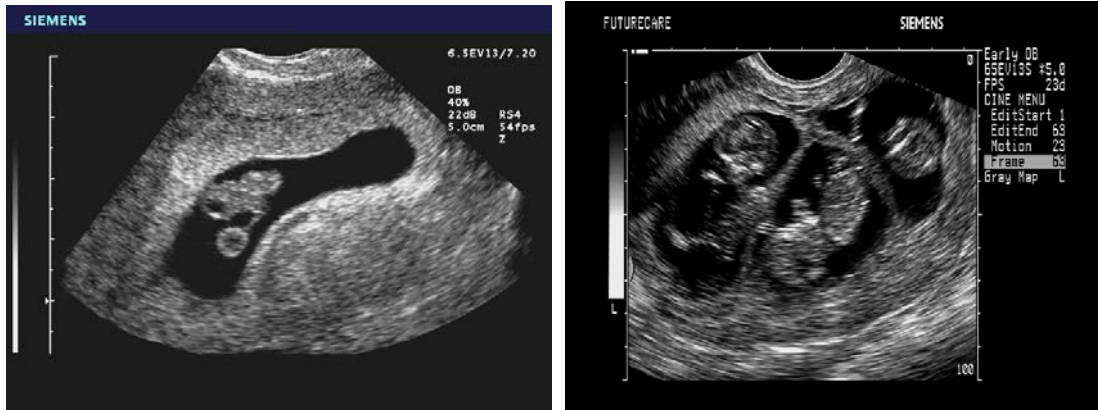
Πολλαπλοί όγκοι στο συκώτι (αριστερά.) Λίθος της χοληδόχου κύστης – φαίνεται η “σκιά” από τον λίθο (δεξιά.)

Η ανακάλυψη και εφαρμογή των υπέρηχων άνοιξε παράθυρο στον κόσμο του εμβρύου. Τώρα δεν υπάρχουν μυστικά στην κύηση, που παρακολουθείται βήμα - βήμα σε όλη τη διάρκεια της, μελετώντας την ανάπτυξη, την υγεία και τη συμπεριφορά του εμβρύου. Με την συμβολή των υπέρηχων μειώθηκε η περιγεννητική νοσηρότητα και θνησιμότητα. Ο υπερηχογραφικός έλεγχος γίνεται ανά τρίμηνο και περιλαμβάνει την παρακολούθηση του εμβρύου και την πορεία της κύησης σε όλη τη διάρκεια των 9 μηνών (40 εβδομάδες). Στη συνέχεια με κάθε λεπτομέρεια παρέχονται οι πληροφορίες και συστήνουμε τις απαραίτητες εξετάσεις για την ασφάλεια και ομαλή εξέλιξη της κύησης. Ειδικότερα:

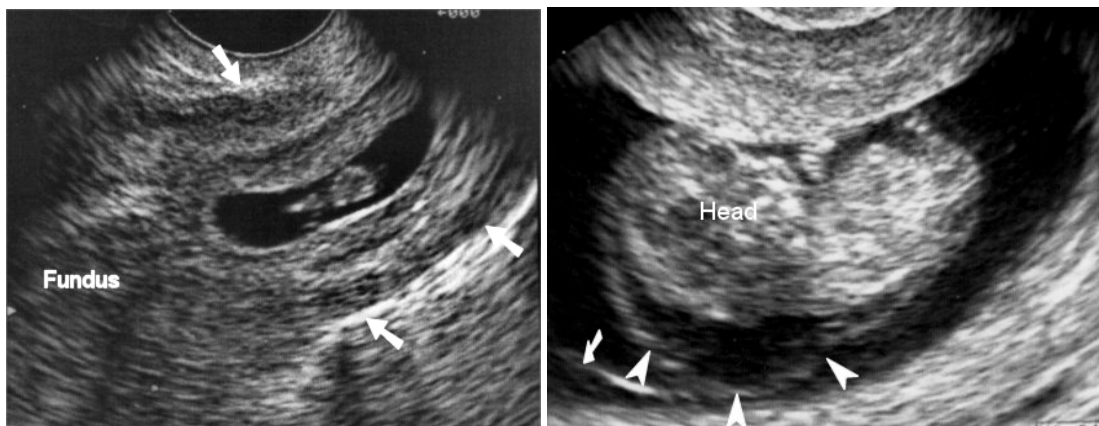
Στην υπερηχογραφική εξέταση 1ου τριμήνου που γίνεται μεταξύ της 6ης και της 14ης εβδομάδας:

1. Ελέγχεται η ύπαρξη και η θέση του κήματος.
2. Διαπιστώνεται ο αριθμός των εμβρύων.
3. Εντοπίζεται σε μεγάλο βαθμό η εξωμήτριος κύηση.
4. Επιβεβαιώνεται η ομαλή πορεία της κύησης ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κοιλιακού πόνου ή αιμορραγίας
5. Διαγιγνώσκονται ορισμένες σοβαρές ανωμαλίες διαπλάσεως του εμβρύου και δίνεται η δυνατότητα έγκαιρης διακοπής σε περιπτώσεις παθολογικής εγκυμοσύνης.

6. Προσδιορίζεται η ακριβής ηλικία της κύησης και υπολογίζεται με ακρίβεια η πιθανή ημερομηνία τοκετού.
7. Με τους υπερήχους μετρείται η αυχενική διαφάνεια του εμβρύου. Η μέτρηση αυτή, που γίνεται μεταξύ 11ης και 14ης εβδομάδας, αφορά στη μέτρηση της περιοχής κάτω από το δέρμα του αυχένα του εμβρύου. Με βάση τη μέτρηση της αυχενικής διαφάνειας, την ηλικία της μητέρας, το μήκος του εμβρύου και τη συχνότητα των καρδιακών παλμών υπολογίζεται με αξιοπιστία 85% η πιθανή ύπαρξη χρωμοσωμικών ανωμαλιών και κυρίως του συνδρόμου Down.



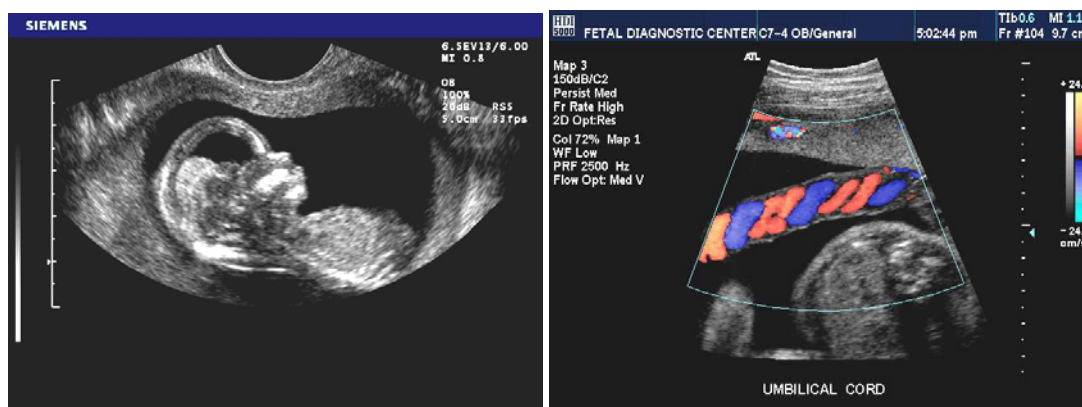
Φυσιολογικό έμβryo κατά το πρώτο τρίμηνο (αριστερά) και φυσιολογική τρίδυμη κύηση κατά το πρώτο τρίμηνο (δεξιά.)



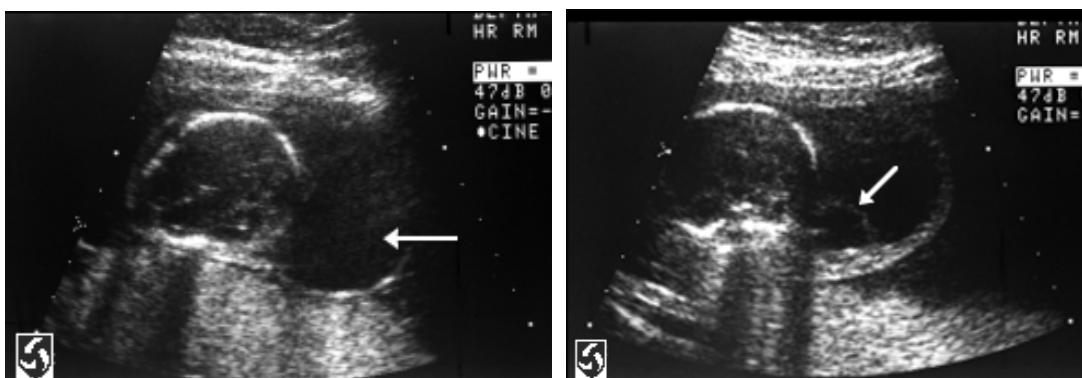
Οβελιαία τομή που δείχνει εξωμήτριο κύηση στο τράχηλο της μήτρας (τόξα) με την μήτρα άδεια (αριστερά.) Αυχενική διαφάνεια (κεφαλές τόξων) σε ένα έμβryo 10 εβδομάδων. Δεν πρέπει να μπερδεύεται με το άμνιο (μικρά τόξα.)

Κατά το δεύτερο τρίμηνο γίνονται:

1. Τριπλό Test (A-Test) Διενεργείται μεταξύ της 16ης και της 20ης εβδομάδας. Αρχικά γίνεται ένα υπερηχογράφημα για τον προσδιορισμό της ακριβούς ηλικίας της κύησης και στη συνέχεια λαμβάνεται αίμα από τη μητέρα στο οποίο γίνονται μετρήσεις της χοριακής γοναδοτροπίνης, της αιμβρυϊκής σφαιρίνης και της ελεύθερης οιστρίλης. Ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων αυτών προσδιορίζει με αξιοπιστία τον πιθανό κίνδυνο γεννήσεως παιδιού με σύνδρομο Down και με βλάβες του νωτιαίου σωλήνα.
2. Αναλυτικό Προγεννητικό Υπερηχογράφημα (B' επιπέδου) γίνεται μεταξύ της 20ης και της 24ης εβδομάδας εγκυμοσύνης. Εξετάζεται με κάθε λεπτομέρεια η ανατομία του εμβρύου, ο εγκέφαλος, το πρόσωπο, ο θώρακας και η καρδιά του εμβρύου. Ακολουθώς ελέγχονται, το στομάχι, οι νεφροί, η ουροδόχος κύστη, το έντερο, η σπονδυλική στήλη και τα άνω και κάτω άκρα του εμβρύου. Στην 24η εβδομάδα ο γιατρός μπορεί να ζητήσει έλεγχο Doppler των μητριάων αρτηριών.



Φυσιολογικό έμβρυο κατά το δεύτερο τρίμηνο (αριστερά.) Doppler του ομφάλιου λώρου (δεξιά.)



Οι υπέρηχοι παρουσιάζουν μεγάλο κύστη (βέλη) πίσω από τον λαιμό. Η μάζα είναι ανηχοειδής και περιέχει έναν διάφραγμα (βέλος). Τα κυστικά υγρώματα, που εμφανίζονται συνήθως στο λαιμό, οφείλονται πιθανότατα σε ανώμαλη λεμφατική ανάπτυξη. Περίπου τα μισά από αυτά τα έμβρυα έχουν το μονοσωμία X (σύνδρομο Τέρνερ), ενώ 10-15% των περιπτώσεων έχει τρισωμία 18, 21 ή 13.



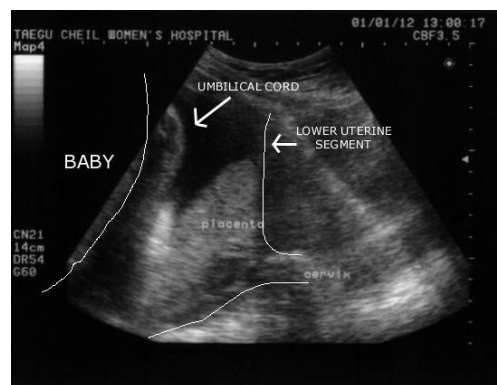
Το σύνδρομο Seckel είναι ένας σπάνιος (< 1:10,000) συνδυασμός δυσμορφιών, που κληρονομείται πιθανώς ως αυτοσωματικό υπολειπόμενο γνώρισμα. Τα χαρακτηριστικά του προσώπου στις 22 εβδομάδες εμβρυϊκής ηλικίας: υπανάπτυκτο μέτωπο και μικρογοναθία. (αριστερά) Στις 34 εβδομάδες εμβρυϊκής ηλικίας: προεξέχουσα μύτη, υπανάπτυκτο μέτωπο, μικρογοναθία. (δεξιά)

Μετά την 28η εβδομάδα (τρίτο τρίμηνο) γίνεται υπερηχογραφικός έλεγχος με σκοπό την εκτίμηση της ικανοποιητικής αύξησης και καλής κατάστασης του εμβρύου. Οι βασικοί βιοφυσικοί παράμετροι για την εκτίμηση της ανάπτυξης του εμβρύου είναι:

- Η αμφιβρεγματική διάμετρος
- Το μήκος του μηριαίου οστού
- Η περίμετρος της κεφαλής
- Η περίμετρος της κοιλιάς

Στην υπερηχογραφική εξέταση 3ου τριμήνου της εγκυμοσύνης γίνεται επίσης:

- Εκτίμηση της θέσης και της μορφολογίας του πλακούντα
- Αξιολόγηση της ποσότητας του αμνιακού υγρού
- Έλεγχος των αδρών σωματικών κινήσεων του εμβρύου και
- Έλεγχος των αναπνευστικών κινήσεων και του μυϊκού τόνου του.



Ένας προγεννητικός υπέρηχος αποκαλύπτει πλήρες πρόδρομο πλακούντα, όπου ο πλακούντας καλύπτει το αυχενικό άνοιγμα, καθιστώντας τον κολπικό τοκετό όχι μόνο επικίνδυνο αλλά αδύνατο.

Οι υπέρηχοι θεωρούνται ασφαλείς τόσο για την μητέρα όσο και για το έμβρυο. Χρησιμοποιούνται εδώ και 30 περίπου χρόνια χωρίς να εντοπιστούν κάποιες επιπλοκές. Μερικές φορές όμως κάποιες μητέρες παρουσιάζονται ανήσυχες σχετικά με την ασφάλεια των υπερήχων. Το ερώτημα γεννιέται “τι κάνει αυτή η ενέργεια στους ιστούς μου ή το μωρό μου;” Στο παρελθόν είχαν παρουσιαστεί κάποιες μελέτες που υποστήριζαν ότι μητέρες που είχαν συχνά υπερηχογραφήματα γεννούσαν μωρά με κάπως χαμηλό βάρος κατά την γέννηση τους. Εισηγήθηκαν μάλιστα ότι μπορεί να παρουσιάζεται

- ανάπτυξη της θερμότητας – οι ιστοί ή το νερό απορροφούν την ενέργεια των υπερήχων που αυξάνει την θερμοκρασία στην γύρω περιοχή
- δημιουργία φυσαλίδων (κοιλότητας) – όταν τα αέρια, λόγω της θερμότητας, δεν παραμένουν διαλυμένα στα υγρά

Περαιτέρω έρευνες δεν έχουν καταδείξει καμιά από τις πιο πάνω θεωρίες στους προγεννητικούς υπέρηχους. Μέχρι σήμερα, δεν έχει υπάρξει καμία τεκμηριωμένη επιπλοκή λόγω των υπερήχων σε μελέτες είτε σε ανθρώπους είτε σε ζώα. Φυσικά αυτό δεν σημαίνει ότι το υπερηχογράφημα πρέπει να γίνεται όταν δεν είναι αναγκαίο!

Μια περίπτωση στην οποία δεν πρέπει να γίνεται κατάχρηση των υπερήχων είναι στις χαμηλού κινδύνου κύσεις. Οι υπέρηχοι είναι αποτελεσματικοί στο να αποκλείουν πιθανά προβλήματα, αλλά δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί στην ανίχνευση τους. Οι συνηθισμένοι υπέρηχοι μπορεί περιστασιακά να δείξουν μια γενετική ατέλεια όταν δεν υπάρχει καμία και να οδηγήσουν σε περαιτέρω εξετάσεις με αυξημένη πιθανότητα επιπλοκών χωρίς να υπάρχει ανάγκη. Στις χαμηλού κινδύνου κύσεις, υπάρχει πιθανότητα 0,1% ότι θα διαγνωσθούν με γενετική ατέλεια όταν στην πραγματικότητα δεν υπάρχει, αλλά οι εξετάσεις που ακολουθούν συνήθως ξεκαθαρίζουν το λάθος.

Όπως και με κάθε άλλη τεχνολογία που συμπεριλαμβάνει υπολογιστές, οι μηχανές υπερήχων θα γίνουν γρηγορότερες και θα έχουν περισσότερη μνήμη για την αποθήκευση των στοιχείων. Οι ηχοβολείς θα γίνουν μικρότεροι, και θα μπορούν να εισαχθούν εσωτερικά για να πάρουν καλύτερες εικόνες των εσωτερικών οργάνων. Το πιο πιθανόν είναι ότι η τρισδιάστατη απεικόνιση θα αναπτυχθεί ιδιαίτερα και θα γίνει ακόμα πιο δημοφιλής. Ολόκληρο το μηχανήμα υπερήχων θα γίνει μικρότερο, ίσως ακόμα και φορητό για χρήση έξω από το νοσοκομείο (π.χ. από πρώτους βοηθούς για επιλογή και κατάταξη των θυμάτων σε κατηγορίες με σκοπό την κατάλληλη αγωγή ανάλογα με τη σοβαρότητα της κατάστασης σε έκτακτες ανάγκες και στα πεδία μαχών). Ένας συναρπαστικός νέος τομέας έρευνας είναι η ανάπτυξη της απεικόνισης με υπερήχους που σε συνδυασμό με οθόνη εικονικής πραγματικότητας που θα επιτρέπουν στο γιατρό να “βλέπει” μέσα στο σώμα όταν εκτελεί μια επέμβαση όπως αμνιοκέντηση ή βιοψία [26]. Αυτή η τεχνική συνδυάζει εικόνες από τον πραγματικό κόσμο με εικόνες των εσωτερικών δομών του ασθενή. Αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, για να καθοδηγήσει βιοψία με βελόνα ή αναρρόφηση κύστεως. Μπορεί, με αυτό τον τρόπο, να μειώσει σημαντικά τον κίνδυνο για επιπλοκές από μια “τυφλή” εισαγωγή της βελόνας στο ασθενή.



Με την χρήση γυαλιών εικονικής πραγματικότητας (αριστερά) μπορούμε να προβάλλουμε τρισδιάστατες εικόνες από υπερήχους κατευθείαν πάνω από τον ασθενή. (μέση και δεξιά)

Το υπερηχογράφημα της Π.Μ. έδειξε κανονική κύηση. Παρ’ όλα τα προβλήματα στην οικογένεια η ασθενής ήταν τρισευτυχισμένη!

Ο Ρ.Μ. μετά από την θρομβολυτική θεραπεία άρχισε να αναρρώνει σταδιακά. Ήταν ακόμα στο νοσοκομείο και περνούσε τις πιο πολλές ώρες στο κρεβάτι. Μια και η νεαρή νοσοκόμα του δεν του χαλούσε χατίρι, ο Ρ.Μ. ήταν επίσης τρισευτυχισμένος.

Μετά από 18 μέρες όμως, μόλις ξύπνησε το πρωί και αποπειράθηκε να σηκωθεί από το κρεβάτι, άρχισε να νοιώθει κομμένη την ανάσα του, έντονο πόνο στο στήθος, ιδιαίτερα κατά την εισπνοή και τάση για λιποθυμία. Είχε επίσης ταχυκαρδία και βήχα με φλέγματα που είχαν χρώση αίματος.

Ο γιατρός, που έτρεξε αμέσως στο κρεβάτι του Ρ.Μ. υποψιάστηκε **πνευμονική εμβολή** και ζήτησε από το τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής ένα **σπινθηρογράφημα** των πνευμόνων.

Πυρηνική Ενέργεια Για Καλό

Σε νοσοκομεία ή σε τηλεοπτικές σειρές που διαδραματίζονται σε νοσοκομεία, έχετε δει πιθανώς ασθενείς να υποβάλλονται σε θεραπεία με ακτινοβολία για τον καρκίνο και γιατρούς να κάνουν χρήση εξέτασης Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (ΤΕΠ) για διάγνωση. Αυτά είναι μέρος της ιατρικής ειδικότητας αποκαλούμενης “πυρηνική ιατρική.” Η πυρηνική ιατρική χρησιμοποιεί ραδιενεργά στοιχεία για να απεικονίσει το σώμα και να θεραπεύσει την ασθένεια. Η πυρηνική ιατρική εξετάζει και τη φυσιολογία (λειτουργία) και την ανατομία του σώματος για την επίτευξη της διάγνωσης και της θεραπείας.

Οι τεχνικές απεικόνισης πυρηνικής ιατρικής δίνουν στους γιατρούς έναν άλλο τρόπο να κοιτάζουν μέσα στο ανθρώπινο σώμα. Συνδυάζουν τη χρήση ραδιενεργών ουσιών, ανιχνευτών και υπολογιστών. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν:

- Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (Positron emission tomography) - ΤΕΠ
- Τομογραφία Μονοφωτονικής Εκπομπής (Single photon emission computed tomography) - ΤΜΦΕ
- Καρδιαγγειακή απεικόνιση
- Απεικόνιση οστών

Όλες αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούν διαφορετικές ιδιότητες των ραδιενεργών στοιχείων για να δημιουργήσουν μια εικόνα. Η απεικόνιση πυρηνικής ιατρικής είναι χρήσιμη για:

- όγκους
- ανευρύσματα (αδύνατα σημεία στα τοιχώματα αιμοφόρων αγγείων)
- ανώμαλη ή ανεπαρκή ροή αίματος στους διάφορους ιστούς
- διαταραχές της λειτουργίας των κυττάρων αίματος (λευχαιμίες, κλπ)
- ανεπαρκή λειτουργία οργάνων όπως ο θυρεοειδής
- ανεπαρκείς πνευμονικές λειτουργίες.

Η χρήση κάποιας συγκεκριμένης εξέτασης, ή ο συνδυασμός εξετάσεων, εξαρτάται από τα συμπτώματα του ασθενούς και την ασθένεια που διαγιγνώσκεται.

Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (ΤΕΠ)

Σε αντίθεση με άλλες μορφές απεικόνισης η Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (ΤΕΠ) δίνει μία όψη της λειτουργίας των οργάνων χωρίς να απεικονίζει με ακρίβεια την ανατομία. Χρησιμοποιείται, όχι τόσο για τη μελέτη της ανατομίας του σώματος αλλά, κυρίως, για την μελέτη μεταβολικών διεργασιών και ανωμαλιών. Αυτό το επιτυγχάνει με την ανίχνευση ακτίνων Γ που εκπέμπονται από ραδιενεργά άτομα, που καλούνται ραδιονουκλείδια και έχουν χορηγηθεί στον ασθενή υπό μορφή ραδιοφαρμάκων [27]. Ένα ραδιοφαρμακευτικό προϊόν είναι μία πρωτεΐνη ή ένα οργανικό μόριο εγχέεται στο σώμα, και περιέχει συνήθως ένα ραδιενεργό άτομο, όπως άνθρακας-11, φθόριο-18, οξυγόνο-15, ή άζωτο-13, το οποίο έχει σύντομο χρόνο διάσπασης. Η ΤΕΠ ανιχνεύει τις ακτίνες Γ που εκπέμπονται όταν ένα ποζιτρόνιο από τη ραδιενεργό ουσία συγκρούεται με ένα ηλεκτρόνιο και εξαυλώνεται. Οι πρωτεΐνες και τα οργανικά μόρια επιλέγονται με βάση τη λειτουργία τους και τα όργανα στα οποία συλλέγονται μέσα στο ανθρώπινο σώμα. Για παράδειγμα, κάποια ραδιοφάρμακα μαζεύονται στον καρδιακό μυ και χρησιμοποιούνται για καρδιακή απεικόνιση. Άλλα καταλήγουν στους πνεύμονες και χρησιμοποιούνται για απεικόνιση των πνευμόνων. Ακόμη, άλλες ενώσεις είναι χρήσιμες για την απεικόνιση του εγκεφάλου. Συνεπώς, μια υγιής καρδιά, πνεύμονας ή εγκέφαλος θα απορροφήσουν ή θα λάβουν μία συγκεκριμένη ποσότητα ραδιοφαρμάκου που εμφανίζεται ως φωτεινή περιοχή σε μια εικόνα. Η ανώμαλα υψηλή ή χαμηλή λήψη ραδιοφαρμάκου θα εμφανιστεί ως μια ασυνήθιστη φωτεινή ή σκοτεινή περιοχή σε μια σάρωση και θα κινήσει υποψίες για την παρουσία μιας ασθενούς κατάστασης ή μιας διαφοροποίησης του μεταβολισμού.



Συσκευή ΤΕΠ (αριστερά) και ασθενής σε συσκευή ΤΕΠ (δεξιά.)

Ενδιαφέρον για τις τεχνολογίες πυρηνικής ιατρικής δεν παρουσιάστηκε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '50 μετά την ανακάλυψη του άνθρακα-14 το 1940 από τους Κάμεν και Ρούμπεν. Ο άνθρακας-14 αποδείχθηκε ένας πιο πολύπλευρος και αποτελεσματικός ανιχνευτής από τον άνθρακα-11. Στα μέσα της δεκαετίας του '50, ο Τέρ-Πογκόσιαν προώθησε την ιδέα ότι, παρά το μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού αυτών των ραδιονουκλεϊδίων, πρόσφεραν μια ελκυστική μέθοδο για την τοπική μελέτη του μεταβολισμού μια και είναι πολύ συνηθισμένα στο ανθρώπινο σώμα. Μέχρι και την αρχή της δεκαετίας του '70, η χρήση των ραδιονουκλεϊδίων εκπομπής ποζιτρονίων ήταν περιορισμένη. Άρχισαν να κερδίζουν δημοτικότητα όταν διάφορα κέντρα όπως το Γενικό Νοσοκομείο της Μασαχουσέτης στη Βοστώνη, το Ινστιτούτο Σλόαν Κέττερινγκ στη Νέα Υόρκη, το Πανεπιστήμιο του Οχάιο, και το Πανεπιστήμιο Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϋ, άρχισαν να χρησιμοποιούν τον επιταχυντή σωματιδίων (cyclotron) για να τα παράγουν επί τόπου.

Από την δεκαετία του '70, η ΤΕΠ χρησιμοποιείται ως ερευνητικό εργαλείο και τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιάσει αυξημένες δυνατότητες στην εφαρμογή της στην κλινική ιατρική. Οι πρώτοι σαρωτές ΤΕΠ αποτελούνταν από συστήματα με ένα δακτύλιο από 32 ανιχνευτές. Οι επιμέρους τομές ήταν μεγαλύτερες από 2 εκατοστά πάχος. Η επόμενη γενιά σαρωτών ΤΕΠ μείωσε το μέγεθος του ανιχνευτή και προσέθεσε επιπλέον δακτυλίους για να επιτρέψει την ταυτόχρονη απόκτηση πολλαπλών τομών με μικρότερο από 1 εκατοστό πάχος. Η πλειοψηφία αυτών των περίπλοκων συστημάτων ήταν μοναδικές στο είδος τους συσκευές. Στα τέλη της δεκαετίας του '70, άρχισαν επιτέλους οι μηχανές αυτές να γίνονται εμπορικά διαθέσιμες. Με την πάροδο του χρόνου, περισσότεροι ανιχνευτές και φωτοπολλαπλασιαστικοί σωλήνες (PMT) προστέθηκαν για αύξηση της ευαισθησίας της ανάλυσης. Μετά από πολλά χρόνια μελέτης, αναπτύχθηκε μια μηχανή ονόματι ΠΕΝ-ΤΕΠ στο πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας. Η μηχανή αυτή αποτελείτο από μια στατική σειρά έξι ανιχνευτών ποζιτρονίων τοποθετημένων σε εξάγωνο γύρω από μια διάμετρο 50 εκατοστών. Η ΠΕΝ-ΤΕΠ προσέφερε υψηλή ευαισθησία και ευκρίνεια 5,5 χιλιοστών και ήταν λιγότερο σύνθετη και ακριβή από συστήματα με δακτυλίους. Είναι, επίσης, εμπορικά διαθέσιμη.

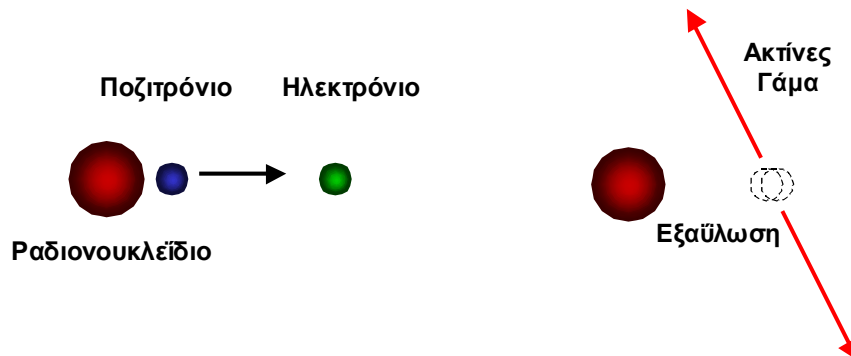
Έπειτα από χρόνια προόδου στην έρευνα γύρω από την ΤΕΠ, υπάρχουν μόνο λίγο περισσότερα από 100 κέντρα παγκοσμίως. Η πλειοψηφία αυτών των κέντρων είναι αφιερωμένη στην έρευνα, με μόνο μερικά αφοσιωμένα στην κλινική χρήση [28].

Η ΤΕΠ είναι μια τεχνική η οποία μετρά τη ποσότητα των ακτίνων Γ που εκπέμπονται από τα διάφορα μέρη του σώματος, μια ποσότητα που είναι ανάλογη με την συγκέντρωση των ραδιονουκλεϊδίων στον ίδιο χώρο. Η διαδικασία μπορεί να χωριστεί στα εξής βήματα:

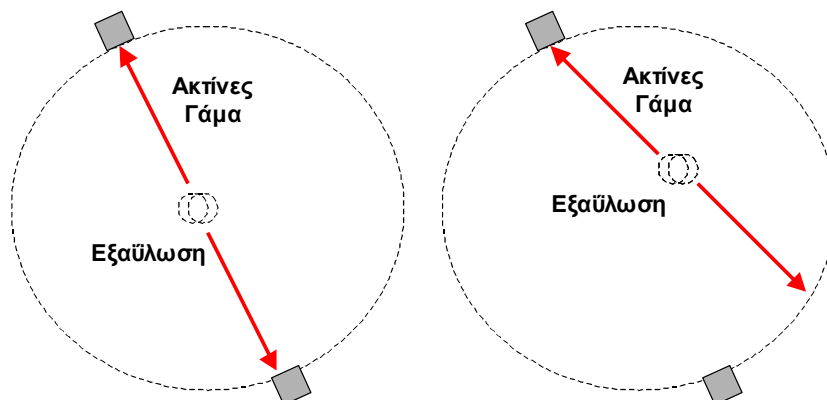
1. σήμανση μιας επιλεγμένης ένωσης με ένα ραδιονουκλεϊδιο εκπομπής ποζιτρονίου

2. χορήγηση αυτής της ένωσης στον υπό μελέτη ασθενή
3. παρατήρηση της κατανομής της δραστηριότητας των ποζιτρονίων στο σώμα καθώς ο χρόνος περνά
4. κατανόηση της σημασίας αυτών των ευρημάτων μέσω ενός κατάλληλου βιολογικού μοντέλου που μπορεί να επεξηγήσει τα δεδομένα που συλλέγονται [28].

Τα ραδιονουκλεΐδια είναι ραδιενεργά άτομα, έχουν δηλαδή επιπλέον φορτίο στον πυρήνα τους. Δύο τρόποι με τους οποίους τα ραδιονουκλεΐδια διασπώνται μειώνοντας το υπερβολικό φορτίο του πυρήνα είναι η ουδετεροποίηση ενός θετικού φορτίου με το αρνητικό φορτίο ενός ηλεκτρονίου ή η εκπομπή ενός ποζιτρονίου, ενός θετικά φορτισμένου σωματιδίου, από τον πυρήνα. Το ποζιτρόνιο θα συνδυαστεί στη συνέχεια με ένα ηλεκτρόνιο, ένα αρνητικά φορτισμένο σωματίδιο, από την περιφέρεια και θα εξαϋλωθεί. Με την εξαϋλωση, τόσο το ποζιτρόνιο όσο και το ηλεκτρόνιο μετατρέπονται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι στη μορφή δύο φωτονίων υψηλής ενέργειας που εκπέμπονται 180 μοίρες το ένα μακριά από το άλλο. Είναι αυτή η ακτινοβολία εξαϋλωσης που μπορεί να ανιχνευθεί εξωτερικά και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση τόσο της ποσότητας όσο και της θέσης των ραδιονουκλεϊδίων [29]. Η ταυτόχρονη ανίχνευση δύο τέτοιων φωτονίων από ανιχνευτές που βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές ενός αντικειμένου, τοποθετεί τη θέση της εξαϋλωσης πάνω ή γύρω από τη γραμμή που ενώνει τους δύο ανιχνευτές [30]. Αυτή η ταυτόχρονη ανίχνευση παρέχει μια ακριβή μέθοδο για τον προσδιορισμό της θέσης του ραδιονουκλεϊδίου. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν η εξαϋλωση πραγματοποιείται μεταξύ των δύο ανιχνευτών, τα φωτόνια φτάνουν στους δυο ανιχνευτές ταυτόχρονα και τότε προσμετρούνται στην διαδικασία απεικόνισης [31]. Εάν η εξαϋλωση λαμβάνει χώρα έξω από τον όγκο που βρίσκεται μεταξύ των δύο ανιχνευτών, ένα μόνο από τα φωτόνια μπορεί να ανιχνευθεί, και δεν χρησιμοποιείται στην διαδικασία [29].



Αρχή λειτουργίας της ΤΕΠ. Ποζιτρόνιο εκπέμπεται από τον πυρήνα (αριστερά) και μετά από σύγκρουση με ελεύθερο ηλεκτρόνιο, εξαϋλώνονται και απελευθερώνουν ακτίνες Γ (δεξιά.)



Ταυτόχρονη ανίχνευση δύο φωτονίων Γ από ανιχνευτές σε διαμετρικά αντίθετες θέσεις γύρω από τον ασθενή (αριστερά) επιτρέπει την εξακρίβωση της θέσης του ραδιονουκλεϊδίου, σε αντίθεση με φωτόνια που προέρχονται από περιοχές εκτός της γραμμής και δεν εντοπίζονται ταυτόχρονα (δεξιά.)

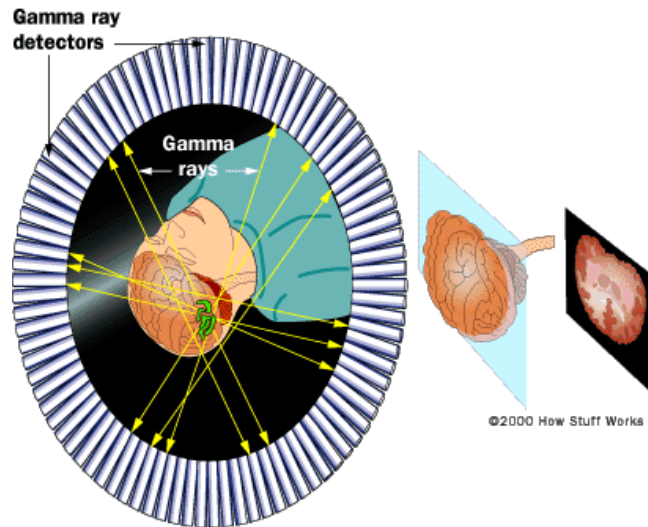
Ένα ευρύ φάσμα ενώσεων χρησιμοποιείται στην ΤΕΠ. Αυτά τα ραδιονουκλεΐδια έχουν μερικά κοινά χαρακτηριστικά:

- εκπέμπουν ποζιτρόνια τα οποία εξαϋλώνονται σε δυο αντιπαράλληλα φωτόνια
- έχουν πολύ σύντομο χρόνο υποδιπλασιασμού (Χρόνος υποδιπλασιασμού είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να αποδώσουν τα ποζιτρόνια τους τα μισά από τα υπάρχοντα ραδιονουκλεΐδια)
- έχουν υψηλή ενέργεια ακτινοβολίας σε σύγκριση με ραδιοϊσότοπα που χρησιμοποιούνται γενικά στη βιοϊατρική έρευνα [32].

Τα κύρια ραδιονουκλεΐδια εκπομπής ποζιτρονίου που χρησιμοποιούνται στην ΤΕΠ περιλαμβάνουν τον άνθρακα-11, άζωτο-13, οξυγόνο-15, και φθόριο-18, με χρόνους υποδιπλασιασμού 20, 10., 2, και 110 λεπτά. αντίστοιχα. Αυτές οι ενώσεις είναι κοινώς γνωστές στην ΤΕΠ ως ανιχνευτικές ενώσεις και με την πάροδο του χρόνου έχουν καταστεί ιδιαίτερα σημαντικές αφού οι επιστήμονες έχουν μάθει να εργάζονται με τους σύντομους χρόνους υποδιπλασιασμού τους. Αυτά τα ραδιενεργά άτομα παράγονται βομβαρδίζοντας κανονικές χημικές ουσίες με νετρόνια για να δημιουργήσουν βραχύβια ραδιενεργά ισότοπα. Προκειμένου ένα νοσοκομείο να παράγει αυτά τα ραδιονουκλεΐδια είναι απαραίτητο να είναι εξοπλισμένο με έναν επιταχυντή σωματιδίων (cyclotron), μια ομάδα πυρηνικών φυσικών, ειδικούς υπολογιστών, ραδιοφαρμακοποιούς, ειδικούς σε ισότοπα και κλινικούς γιατρούς [30]. Εάν το νοσοκομείο δεν έχει τα μέσα εκτέλεσης αυτής της σύνθετης διαδικασίας τα ραδιονουκλεΐδια πρέπει να μεταφερθούν από αλλού. Από τα τέσσερα ραδιονουκλεΐδια, το φθόριο-18 είναι ο ιδανικός υποψήφιος για μεταφορά λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής που διαθέτει. Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών, η ΤΕΠ παρουσίασε πολύ γρήγορη ανάπτυξη, κυρίως λόγω του πλήθους των νέων ανιχνευτικών ουσιών που είναι διαθέσιμες για ανθρώπινες μελέτες [33].

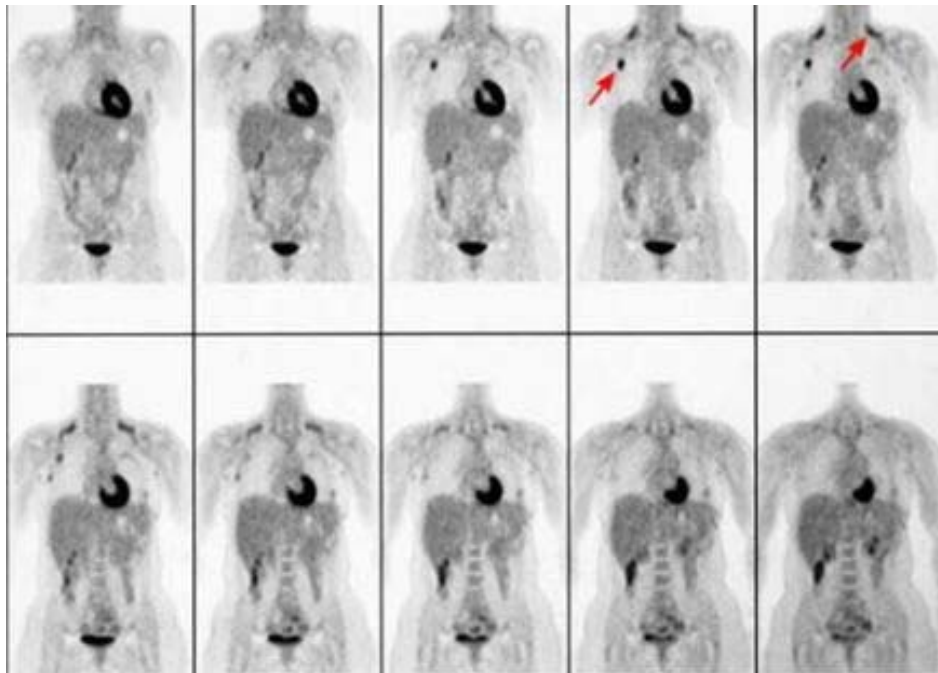
Εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτά τα στοιχεία περιέχονται σχεδόν σε όλες τις ενώσεις στο ανθρώπινο σώμα, είναι λογικό ότι η ΤΕΠ είναι μια προφανής τεχνική για την μελέτη της μοίρας αυτών των ενώσεων υπό φυσικές συνθήκες [29]. Μπορούμε να δημιουργήσουμε οποιανδήποτε χημική ένωση η οποία καταναλώνεται, χρησιμοποιείται ή παράγεται από το ανθρώπινο σώμα με ραδιονουκλεΐδια αντί των συνηθισμένων άτομα που την συνθέτουν. Για παράδειγμα, μπορούμε να κατασκευάσουμε γλυκόζη με άνθρακα-11 η οποία να εκπέμπει ποζιτρόνια και κατά συνέπεια ακτίνες Γ. Αυτές οι ανιχνευτικές ενώσεις χορηγούνται μέσω έγχυσης ή εισπνοής, με σκοπό την εισαγωγή της ένωσης στην κυκλοφορία του αίματος [30]. Μετά την εισαγωγή στο ανθρώπινο σώμα μπορούμε, μετρώντας την ακτινοβολία Γ, να υπολογίσουμε σε πια μέρη του σώματος έχει συγκεντρωθεί η ένωση και, ακόμα, να βγάλουμε συμπεράσματα για το πώς μεταβολίζεται ή αποβάλλεται σαν συνάρτηση του χρόνου. Η ανώμαλα υψηλή ή χαμηλή λήψη ραδιοφαρμάκου θα εμφανιστεί ως μια ασυνήθιστη φωτεινή ή σκοτεινή περιοχή σε μια σάρωση και θα κινήσει υποψίες για την παρουσία μιας ασθενούς κατάστασης ή μιας διαφοροποίησης του μεταβολισμού. Οι σύντομοι χρόνοι υποδιπλασιασμού αυτών των ανιχνευτών επιτρέπουν την χορήγηση μεγάλων δόσεων στον ασθενή με μικρή έκθεση σε ακτινοβολία και επιτρέπουν τη διεξαγωγή επαναλαμβανόμενων μελετών.

Η απεικόνιση στην ΤΕΠ είναι έμμεση. Όπως στις αξονική και μαγνητική τομογραφία, η ΤΕΠ στηρίζεται σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες ανασύνθεσης για την παραγωγή τομογραφικών εικόνων [27]. Σε μια σάρωση ΤΕΠ, ο ασθενής εγχέεται με μια ραδιενεργό ουσία και τοποθετείται σε ένα επίπεδο τραπέζι που κινείται σταδιακά μέσω μιας κυκλικής οπής. Αυτή η κατασκευή περιέχει την κυκλική σειρά ανιχνευτών ακτίνων Γ, που έχει μια σειρά σπινθηροβόλων κρυστάλλων, που ο καθένας συνδέεται με έναν φωτοπολλαπλασιαστικό σωλήνα. Τα κρύσταλλα μετατρέπουν τις ακτίνες Γ, που εκπέμπονται από τον ασθενή, σε φωτόνια φωτός, και οι φωτοπολλαπλασιαστικοί σωλήνες μετατρέπουν τα φωτόνια σε ηλεκτρικά σήματα και τα ενισχύουν σημαντικά. Αυτά τα ηλεκτρικά σήματα υποβάλλονται στη συνέχεια σε επεξεργασία από υπολογιστή για να παραχθούν οι εικόνες. Έπειτα, το τραπέζι κινείται, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται, με αποτέλεσμα μια σειρά λεπτών τομογραφικών εικόνων του σώματος γύρω από την περιοχή ενδιαφέροντος (π.χ. εγκέφαλος, στήθος, συκώτι). Αυτές οι λεπτές τομές μπορούν να συναρμολογηθούν σε μια τρισδιάστατη αναπαράσταση του σώματος του ασθενούς. Είναι τώρα δυνατή η απόκτηση βελτιωμένων ανατομικά εικόνων με την επίστρωση ή την αποτύπωση των πληροφοριών από την ΤΕΠ στις λεπτομερέστερες εικόνες αξονικής ή μαγνητικής τομογραφίας [27].

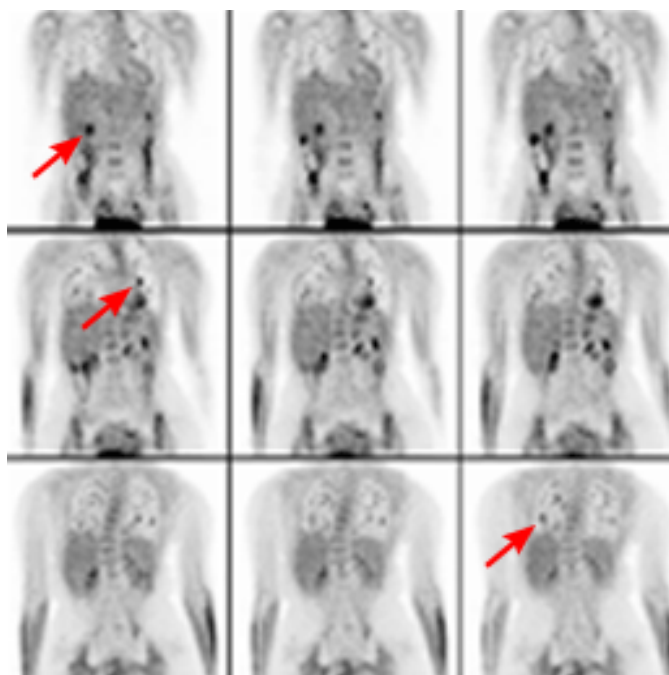


Απεικόνιση με ΤΕΠ

Η χρησιμότητα της ΤΕΠ είναι ότι, μέσα σε ορισμένα όρια, έχει τη δυνατότητα να αξιολογήσει βιοχημικές αλλαγές στο σώμα και μπορεί να ανιχνεύσει περιοχές με βιοχημικές ανωμαλίες, όπως π.χ. στον καρκίνο. Η ΤΕΠ έχει ασκήσει τεράστια επίδραση σε ορισμένες κλινικές εφαρμογές και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις νευρολογικών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένων εγκεφαλικών επεισοδίων, επιληψίας και εγκεφαλικών όγκων [31]. Είναι επίσης σημαντική στην έρευνα και ανάπτυξη φαρμάκων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη της κατανομής φαρμάκων, τη φαρμακοκινητική και τη φαρμακοδυναμική [34]. Εκτός από τους εγκεφαλικούς όγκους η ΤΕΠ χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και τον εντοπισμό των λυμφογενών μεταστάσεων, καθώς επίσης και διάφορων άλλων όγκων [35]. Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες της ΤΕΠ είναι η δυνατότητά της να μοντελοποιεί βιολογικές και φυσιολογικές λειτουργίες στο σώμα με την ανίχνευση και τη μοντελοποίηση των τοπικών συγκεντρώσεων της ραδιενέργειας σε ένα συγκεκριμένο όργανο [36].



55χρονη γυναίκα με διαγνωσμένο καρκίνο των πνευμόνων μετά από δύο κύκλους χημειοθεραπείας και ένα κύκλο ραδιοθεραπείας. Η ΤΕΠ αποκαλύπτει υποτροπή με επανεμφάνιση του καρκίνου σε διάφορα σημεία των πνευμόνων και στους λεμφαδένες του σβέρκου.



34χρονη γυναίκα με καρκίνο του παχέως εντέρου. Η ΤΕΠ αποκάλυψε πολλαπλές μεταστάσεις στους πνεύμονες και μια μετάσταση στο συκώτι.



Καρκίνος του οισοφάγου σε άνδρα ηλικίας 56 χρονών. Ο ασθενής παραπονέθηκε για πόνο στην αριστερή ωμοπλάτη. Προχώρησε σε χημειοθεραπεία για καρκίνο άγνωστης προέλευσης. Μετά την θεραπεία η ΤΕΠ σε συνδυασμό με αξονική τομογραφία αποκάλυψε εστία καρκίνου του οισοφάγου. (Εικόνες από την Ιατρική Σχολή του Γουισκόνσιν, ΗΠΑ)

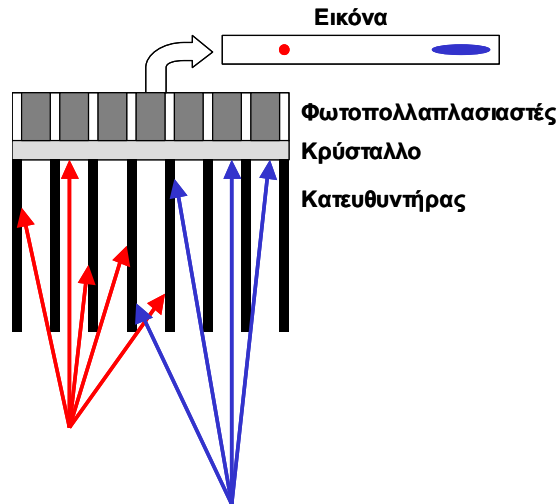
Τομογραφία μονοφωτονικής εκπομπής (ΤΜΦΕ)

Σήμερα, πολλοί καρδιακοί ασθενείς λαμβάνουν μια επίπεδη Τομογραφία Μονοφωτονικής Εκπομπής (ΤΜΦΕ) ως τμήμα της προετοιμασίας για να έλεγχο της στεφανιαίας αρτηριοπάθειας. Οι ΤΜΦΕ ανιχνεύσεις εγκεφάλου και συκωτιού είναι επίσης μια πρωτοπόρα εφαρμογή [37]. Η απεικόνιση ΤΜΦΕ έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της τοπικής συγκέντρωσης του ραδιονουκλεϊδίου μέσα σε ένα συγκεκριμένο όργανο ως συνάρτηση του χρόνου [38]. Χρησιμοποιείται συνήθως για να βοηθήσει στη διάγνωση και σταδιοποίηση του καρκίνου, εγκεφαλικού επεισοδίου, ασθένειας ήπατος, ασθένειας πνευμόνων και ένας πλήθος άλλων λειτουργικών ανωμαλιών. Οι εικόνες της έχουν μικρότερη ευαισθησία και είναι λιγότερο λεπτομερείς από τις εικόνες της ΤΕΠ αλλά παρέχει άλλα προτερήματα, κυρίως σημαντική μείωση του κόστους. Τα ραδιενεργά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη ΤΜΦΕ (ξένον-133, τεχνητίο-99, ιώδιο-123) εκπέμπουν μονές αντί διπλές ακτίνες Γ και έχουν μεγαλύτερους χρόνους υποδιπλασιασμού από τα αντίστοιχα της ΤΕΠ. Αυτού του είδους ραδιοφάρμακα προσφέρονται για μεταφορά από κέντρα με επιταχυντές σωματιδίων σε άλλα πιο μικρά νοσοκομεία. Με αυτό τον τρόπο το κόστος μειώνεται σημαντικά και έχει ως αποτέλεσμα η ΤΜΦΕ να είναι πολύ πιο προσιτή από την ΤΕΠ.

Η πρώτη συσκευή τομογραφίας εκπομπής (Emission Computed Tomography - ECT) ήταν η MARK IV που αναπτύχθηκε από τους Έντουαρντς και Κούλ [39]. Αποτελείτο από σειρές ανιχνευτών τοποθετημένες σε ορθογώνιο σχήμα γύρω από το κεφάλι του ασθενούς. Η πρώτη εμπορική συσκευή απεικόνισης ΤΜΦΕ ήταν παρόμοια με την MARK IV αλλά είχε 32 ανιχνευτές φωτονίου και ονομάστηκε Tomomatic-32 [38]. Πολλά ερευνητικά συστήματα που έγιναν τελικά κλινικά πρωτότυπα αναπτύχθηκαν επίσης από τις αρχές μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '70 [40]. Η εισαγωγή του ραδιοϊσοτόπου Τεχνητίου-99m από τον Χάρπερ, που εκπέμπει ένα φωτόνιο ακτίνας Γ ενέργειας 140KeV και έχει χρόνο υποδιπλασιασμού περίπου έξι ώρες, ήταν ένα μεγάλο βήμα προς τα εμπρός για τη ΤΜΦΕ δεδομένου ότι αυτό το φωτόνιο ανιχνεύεται εύκολα από τις κάμερες Γ [38, 41].

Οι πρώτες εφαρμογές ECT δεν παρήγαγαν εικόνες κατάλληλες για διάγνωση, και η τεχνική δεν έγινε ευρέως αποδεκτή μέχρι οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν για την αξονική τομογραφία από τους Χάουνσφιλντ και Κόρμακ να εφαρμοστούν στην τεχνική πυρηνικής ιατρικής. Οι αλγόριθμοι έπρεπε να τροποποιηθούν ώστε να λαμβάνουν υπόψη τις επιδράσεις της φωτονικής εξασθένισης και σκέδασης στο σώμα και την περιορισμένη μηχανική και ηλεκτρική απόκριση των ανιχνευτών [16,38]. Μετά από αυτό, οι εικόνες τομογραφία εκπομπής επέτρεψαν για πρώτη φορά την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της εικόνας και κλινική χρήση.

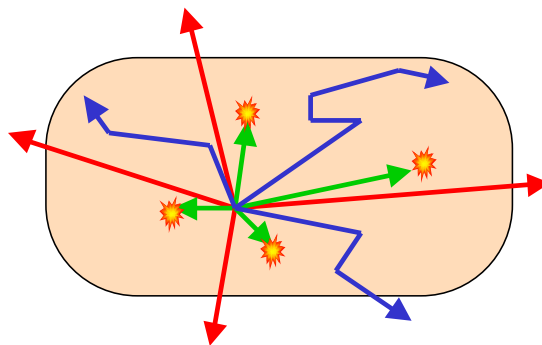
Στην ΤΕΠ η θέση του ραδιοφαρμάκου προσδιορίζεται από την κατεύθυνση των δύο ακτινών Γ που εκπέμπονται από την εξαΰλωση ενός ποζιτρονίου. Τα ραδιονουκλεΐδια όμως που χρησιμοποιούνται στην ΤΜΦΕ παράγουν μόνο μια ακτίνα Γ. Για να μπορεί να προσδιορισθεί, λοιπόν, η θέση πρέπει με κάποιο τρόπο αυτή η ακτίνα να ευθυγραμμισθεί με την κάμερα. Αυτό ήταν ένα από τα πιο κρίσιμα προβλήματα στα αρχικά στάδια της ΤΜΦΕ. Τελικά, το πρόβλημα έλυσαν ειδικές κάμερες με κατευθυντήρες. Οι τυπικοί κατευθυντήρες για την απεικόνιση ΤΜΦΕ αποτελούνται από μόλυβδο. Έχουν περίπου 4 έως 5 cm πάχος και 20 επί 40 cm μήκος πλευράς. Ο κατευθυντήρας περιέχει χιλιάδες τετράγωνα, στρογγυλά ή εξαγωνικά παράλληλα κανάλια μέσω των οποίων - και μόνο μέσω των οποίων - οι ακτίνες Γ επιτρέπεται να περάσουν. Οι τυπικοί χαμηλής ενέργειας κατευθυντήρες για ΤΜΦΕ ζυγίζουν περίπου 20 κιλά, αλλά τα υψηλής ενέργειας μοντέλα μπορεί να ζυγίσουν πάνω από 100 κιλά. Οποιαδήποτε κάμερα Γ εξοπλίζεται έτσι με έναν κατευθυντήρα καλείται κάμερα Anger από τον εφευρέτη της [42]. Οι ακτίνες Γ που ταξιδεύουν κατά μήκος μιας πορείας που συμπίπτει με ένα από τα κανάλια θα περάσουν μέσω του κατευθυντήρα χωρίς να απορροφηθούν και θα αλληλεπιδράσουν με τον κρύσταλλο δίνοντας φως. Ακτίνες από άλλες γωνίες θα απορροφηθούν από τον μόλυβδο και δεν θα επηρεάσουν την εικόνα. Πίσω από κάθε κανάλι του κατευθυντήρα υπάρχει ένας σπινθηροβόλος κρύσταλλος και ένα πλέγμα φωτοπολλαπλασιαστικών σωλήνων όπως και στις άλλες κάμερες ακτινών Γ.



Κάμερα Anger. Ο κατευθυντήρας επιτρέπει μόνο στα φωτόνια από περιοχές ακριβώς στην κατεύθυνση του κατευθυντήρα να φτάνουν στο κρύσταλλο. Τα κανάλια πρέπει να είναι αρκετά μακριά και στενά ώστε τα φωτόνια να μην φτάνουν σε διπλανά τμήματα (δεξιά μπλε ακτίνες) και να μειώνουν την ευκρίνεια της εικόνας.

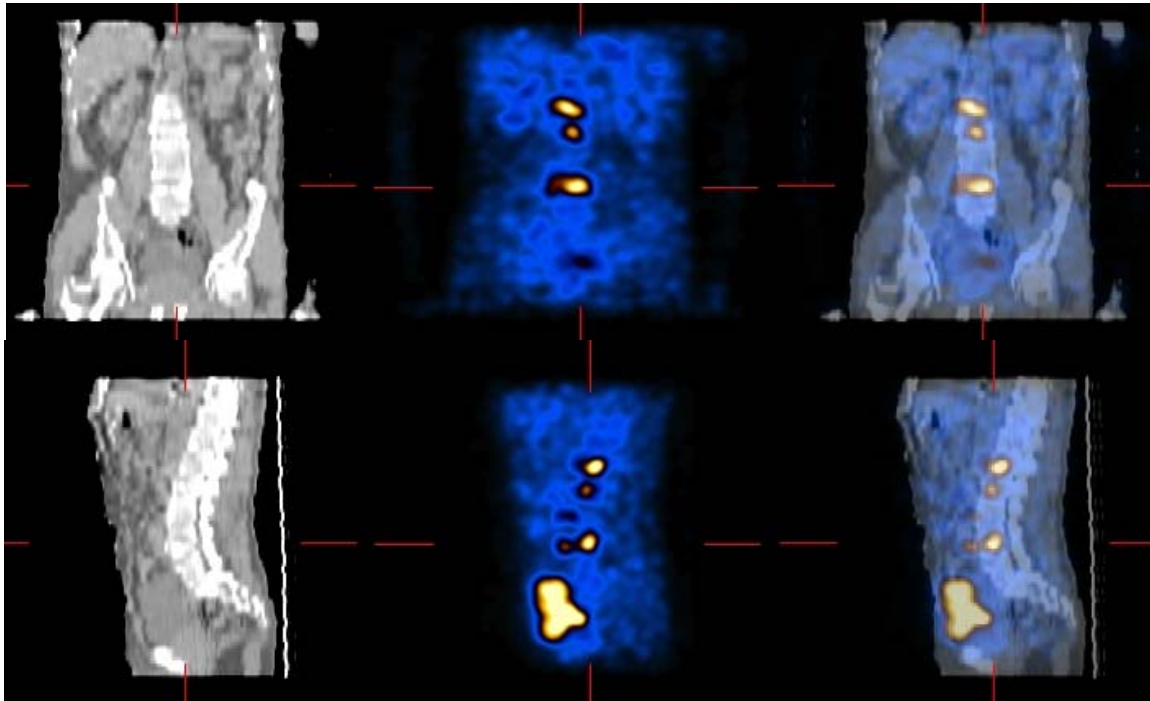
Οι εικόνες ΤΜΦΕ παράγονται από την ανάλυση αυτών των σημάτων. Ανάλογα με το μέγεθος της κάμερας Anger, ολόκληρα όργανα όπως η καρδιά και το συκώτι μπορούν να απεικονιστούν. Ακόμα πιο μεγάλες κάμερες Anger είναι ικανές για απεικόνιση ολόκληρου του σώματος και χρησιμοποιούνται, παραδείγματος χάριν, για ανιχνεύσεις οστών [38]. Η τρισδιάστατη απεικόνιση παρέχει μία ποιοτική και ποσοτική εικόνα της κατανομής όγκου των βιολογικά σημαντικών ραδιοανιχνευτών μετά από την έγχυση στο ανθρώπινο σώμα. Περιλαμβάνει την περιστροφή μέχρι τριών καμερών γύρω από έναν ασθενή και οδηγεί σε μια τρισδιάστατη εικόνα της διανομής ενός εγχέομενου ραδιοφαρμάκου που στοχεύει συνήθως σε ένα ιδιαίτερο όργανο, παραδείγματος χάριν την καρδιά. Συνεπώς, η τρισδιάστατη εικόνα που λαμβάνεται είναι το αποτέλεσμα της ανασύνθεσης μιας σειράς δισδιάστατων συνόλων προβολής, που στη συνέχεια "συσσωρεύονται" το ένα πάνω στο άλλο για τη δημιουργία της τρίτης διάστασης.

Για τις ακτίνες Γ που εκπέμπονται από χαρακτηριστικά ραδιοφάρμακα για ΤΜΦΕ, υπάρχουν δύο σημαντικές αλληλεπιδράσεις με την ύλη [38]. Η πρώτη περιλαμβάνει τη σκέδαση της ακτίνας Γ από ηλεκτρόνια στα άτομα και μόρια (DNA) μέσα στο σώμα. Κάποια φωτόνια που σκεδάζονται εκτρέπονται έξω από το οπτικό πεδίο της κάμερας και χάνονται στη διαδικασία ανίχνευσης [43]. Η δεύτερη αλληλεπίδραση είναι η απορρόφηση των φωτονίων από άλλα άτομα στο σώμα. Και οι δύο διαδικασίες οδηγούν σε απώλεια ή υποβάθμιση των πληροφοριών για την κατανομή των ραδιοφαρμακευτικών προϊόντων μέσα στο σώμα. Η δεύτερη διαδικασία καλείται εξασθένηση και είναι ένας ενεργός ερευνητικός τομέας.

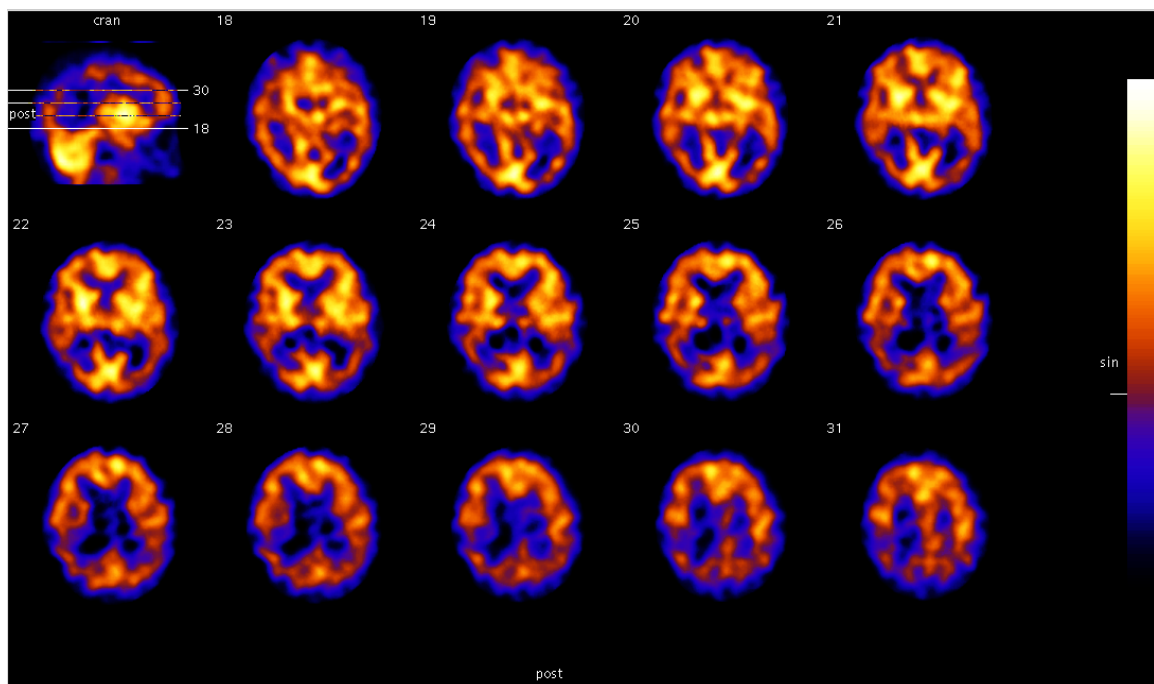


Κάποιες ακτίνες ξεφεύγουν από το σώμα (κόκκινες), κάποιες απορροφούνται (πράσινες) και κάποιες σκεδάζονται (μπλε.)

Η απόκτηση και η επεξεργασία μιας εικόνας ΤΜΦΕ, όταν γίνεται σωστά, περιλαμβάνει την αντιστάθμιση και τη ρύθμιση πολλών φυσικών και μηχανικών παραμέτρων. Η ευκρίνεια και η ευαισθησία συστήματος είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι που κρίνουν την επίδοση ενός συστήματος ΤΜΦΕ [44]. Η βελτίωση αυτών των παραμέτρων είναι ένας συνεχής στόχος έρευνας. Η βελτίωση και των δύο παραμέτρων ταυτόχρονα είναι σπανίως επιτεύξιμη στην πράξη.



Αξονική τομογραφία (αριστερά), ΤΜΦΕ (μέση) και συνδυασμός των δύο (δεξιά.) 60χρονος άνδρας με λέμφωμα Χότκινς IVB. Η ΤΜΦΕ δείχνει υψηλή μεταβολική δραστηριότητα γύρω από την σπονδυλική στήλη, η οποία, με την βοήθεια της αξονικής τομογραφίας, διευκρινίζεται ότι περιλαμβάνει τόσο τους σπονδύλους όσο και τους γύρω ιστούς.



Έγχυση στον εγκέφαλο σε ασθενή με Αλζχάιμερ που χαρακτηρίζεται από ελλιπή έγχυση στους ινιακούς και βρεγματικούς λοβούς.

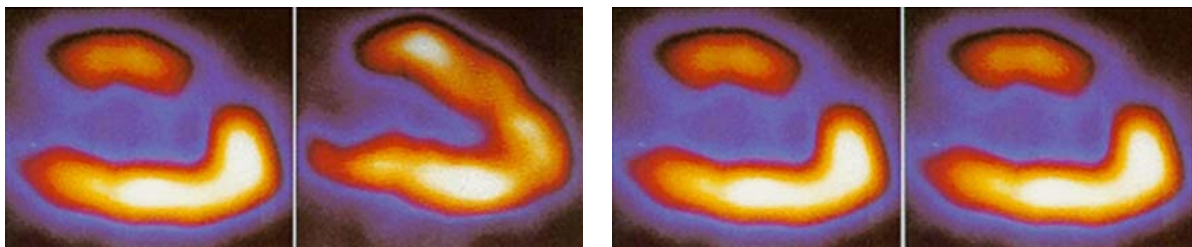
Καρδιοαγγειακή Απεικόνιση

Με το σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου ελέγχεται η αιμάτωση του μυοκαρδίου και έμμεσα εξάγονται συμπεράσματα για την κατάσταση των στεφανιαίων αγγείων [45]. Πριν την λήψη του σπινθηρογράφηματος ο άρρωστος υπόκειται σε δοκιμασία κόπωσης είτε με την κλασσική τεχνική σε κυλίομενο τάπητα ή με φάρμακα εάν υπάρχουν ειδικοί λόγοι όπως άρρωστοι που για οποιοδήποτε λόγο, δεν μπορούν να υποβληθούν σε σωματική άσκηση ή κόπωση. Αμέσως μετά το πέρας της άσκησης χορηγείται ενδοφλεβίως μια μικρή ποσότητα ραδιενεργού ουσίας συνήθως θάλλιο-201 ή τεχνήτιο. Μετά τη χορήγηση του ραδιοϊσοτόπου, ο ασθενής ξαπλώνει σε ειδικό κρεβάτι κάτω από μια κάμερα ακτινών Γ. Η κάμερα έχει μία έως τρεις κεφαλές που περιστρέφονται γύρω από το θώρακα του ασθενούς και συλλαμβάνει τους σπινθηρισμούς της ραδιενεργού ουσίας που προέρχονται από την καρδιά. Με ειδική επεξεργασία καταγράφονται εικόνες της καρδιάς. Το θάλλιο με το αίμα, πηγαίνει στις στεφανιαίες αρτηρίες (είναι τα αγγεία που αιματώνουν την καρδιά) και προσλαμβάνεται από τα μυοκαρδιακά κύτταρα. Όταν μια περιοχή της καρδιάς δεν αιματώνεται καλά, προσλαμβάνει λιγότερο θάλλιο και φαίνεται σαν ελλειμματική περιοχή σε σύγκριση με μια άλλη περιοχή η οποία αιματώνεται φυσιολογικά και ως εκ τούτου δεν απεικονίζεται έλλειμμα. Οι εικόνες που λαμβάνονται στο τέλος της κόπωσης δείχνουν την αιμάτωση της καρδιάς κατά την άσκηση. Μια δεύτερη σειρά εικόνων λαμβάνονται 4-24 ώρες μετά την κόπωση και δείχνουν την αιμάτωση της καρδιάς στην ηρεμία. Οι εικόνες αυτές συγκρίνονται με αυτές της κόπωσης.

Αν οι εικόνες της κόπωσης και της ηρεμίας δεν δείχνουν έλλειμμα, τότε η αιμάτωση του μυοκαρδίου είναι φυσιολογική και συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει στένωση ή απόφραξη των στεφανιαίων αρτηριών. Αν οι εικόνες της κόπωσης δείχνουν έλλειμμα και της ηρεμίας δεν δείχνουν (Αναστρέψιμο πλήρως ή μερικώς ελλείμματα), τότε η αιμάτωση του μυοκαρδίου είναι παθολογική στην κόπωση και συμπεραίνεται ότι υπάρχει στένωση ή απόφραξη των στεφανιαίων αρτηριών. Αν οι εικόνες της κόπωσης και της ηρεμίας δείχνουν έλλειμμα (σταθερά ελλείμματα), η αιμάτωση του μυοκαρδίου απουσιάζει, και συμπεραίνεται ότι υπάρχει στένωση ή απόφραξη των στεφανιαίων αρτηριών η οποία έχει προκαλέσει νέκρωση (παλαιό έμφραγμα) του μυοκαρδίου.



Κάμερα πυρηνικής καρδιακής απεικόνισης



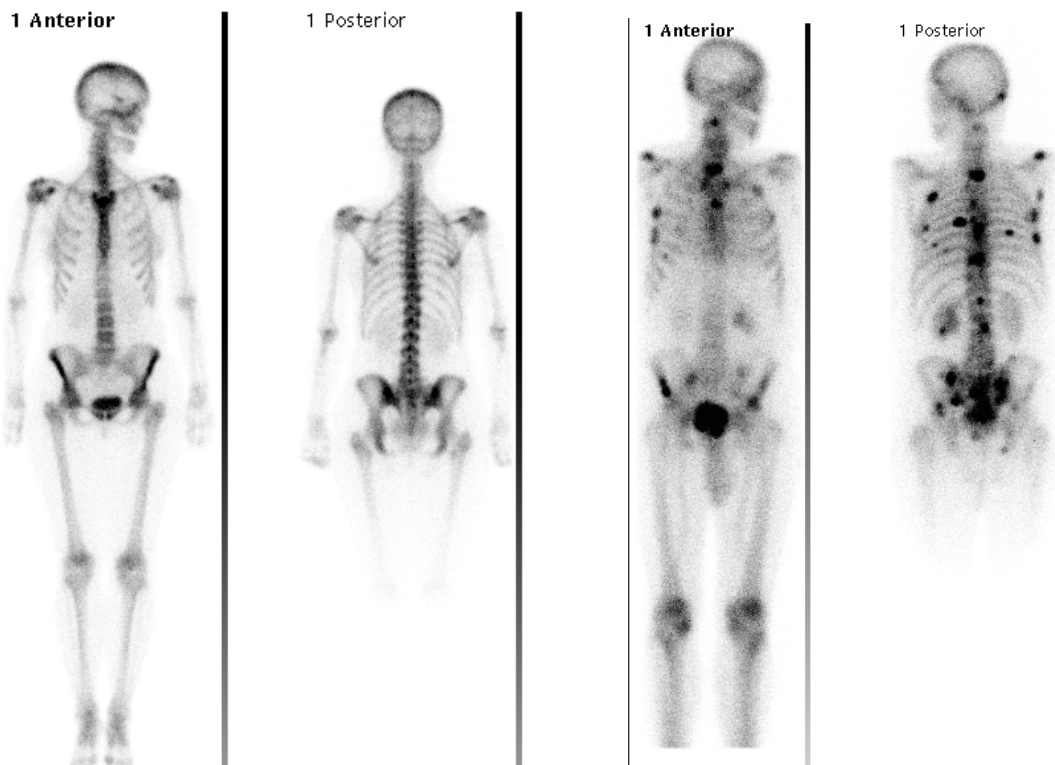
Αριστερά: Ανατρέψιμο έλλειμμα πρόσθιου τοιχώματος: κόπωση (αριστερά) και ανακατανομή (δεξιά.)
Δεξιά: Σταθερό έλλειμμα πρόσθιου τοιχώματος: κόπωση (αριστερά) και ανακατανομή (δεξιά.)

Απεικόνιση Οστών

Η σάρωση οστών ανιχνεύει την ακτινοβολία από ένα ραδιενεργό στοιχείο (π.χ. τεχνήτιο) που, όταν εγχέεται στο σώμα, συλλέγεται στους ιστούς των οστών [46]. Η ουσία συσσωρεύεται σε περιοχές υψηλής μεταβολικής δραστηριότητας, και έτσι η εικόνα παρουσιάζει “φωτεινά σημεία” υψηλής δραστηριότητας και “σκοτεινά σημεία” χαμηλής δραστηριότητας. Η σάρωση οστών είναι χρήσιμη για την ανίχνευση όγκων που έχουν γενικά υψηλή μεταβολική δραστηριότητα.



Κάμερα απεικόνισης οστών



Η απεικόνιση οστών γίνεται για να καταδείξει περιοχές ψηλού μεταβολισμού σε φυσιολογικά οστά (αριστερά) και περιοχές με όγκους, όπως π.χ. πολλαπλές μεταστάσεις στα οστά (δεξιά.)



Πολλά οστά παρουσιάζουν ψηλό μεταβολισμό, ένα χαρακτηριστικό της ασθένειας Πάτζετ. Μια και 25% των ασθενών με αυτή την ασθένεια δεν έχουν κανένα σύμπτωμα δεν είναι ασυνήθιστο να βλέπουμε αυτές τις εικόνες μετά από σπινθηρογράφημα για κάποιον άλλο λόγο.

Θεραπεία στην πυρηνική ιατρική

Ραδιοφάρμακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός από την διάγνωση και για θεραπεία ορισμένων ασθενειών. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο υπερθυρεοειδισμός, όταν δηλαδή ο θυρεοειδής αδένας εκκρίνει περισσότερες ορμόνες από όσο πρέπει [47]. Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων συμπεριλαμβανομένου και καρκίνου του αδένα. Ο υπερθυρεοειδισμός προσβάλλει συχνότερα γυναίκες και οι κλινικές του εκδηλώσεις ποικίλουν ανάλογα με τη βαρύτητα και τη διάρκεια της νόσου. Όχι σπάνια ο υπερθυρεοειδισμός μπορεί να υπάρχει για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να προκαλεί κανένα σύμπτωμα ή να προκαλεί ελαφρά συμπτώματα τα οποία τις περισσότερες φορές δεν γίνονται εύκολα αντιληπτά όχι μόνο από τον ασθενή αλλά και από το γιατρό.

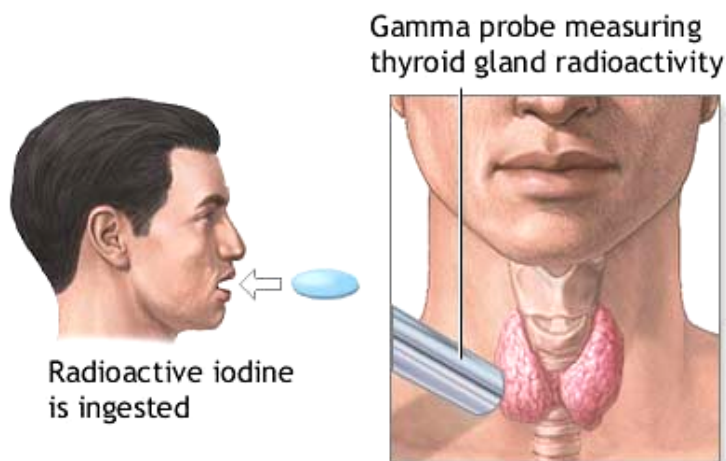
Στις πιο σοβαρές μορφές το άτομο παραπονείται για νευρικότητα, ευσυγκινησία, μυϊκή αδυναμία και εύκολη κόπωση, αϋπνίες, ταχυκαρδία και εύκολο λαχάνιασμα ή καρδιακές αρρυθμίες που ο ασθενής τις περιγράφει σαν προκάρδιους κτύπους και σταμάτημα της ανάσας. Παράλληλα ο ασθενής έχει εξάψεις και δεν ανέχεται τη ζέστη, η όρεξή του είναι αυξημένη και ενώ, συνήθως, τρώει πολύ χάνει βάρος και αδυνατίζει. Δεν είναι δε σπάνιες και οι διάρροιες. Υπάρχει τρόμος των χεριών και ιδιαίτερα των δακτύλων που γίνεται πιο εμφανής όταν τα δάκτυλα βρίσκονται σε υπερέκταση (τεντωμένα) ενώ οι παλάμες τους συνήθως είναι ζεστές και μόνιμα ιδρωμένες. Σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν πόνοι στα κόκαλα λόγω της προκαλούμενης οστεοπόρωσης και προπέτεια των οφθαλμών (ο γνωστός εξόφθαλμος) που παρουσιάζεται συχνότερα σε νεαρά άτομα.

Η διάγνωση του υπερθυρεοειδισμού είναι τις περισσότερες φορές σχετικά εύκολη και γίνεται με ειδικές εξετάσεις αίματος όπου προορίζονται οι θυρεοειδικές ορμόνες οι οποίες και μας δίνουν πληροφορίες για τη λειτουργική κατάσταση του θυρεοειδούς αδένα. Παράλληλα έχουμε στη διάθεσή μας το υπερηχογράφημα και το σπινθηρογράφημα του θυρεοειδούς δύο εξετάσεις που παρέχουν πολλές πληροφορίες για την ανατομική κατάσταση του αδένα.



Εξογκωμένος θυρεοειδής αδένας (αριστερά) και προπέτεια των οφθαλμών (δεξιά.)

Η θεραπευτική αντιμετώπιση του υπερθυρεοειδισμού γίνεται είτε με τη χορήγηση ειδικών αντιθυρεοειδικών φαρμάκων είτε με τη χορήγηση ραδιενεργού Ιωδίου είτε τέλος με χειρουργική αφαίρεση τμήματος ή και ολόκληρου του θυρεοειδούς. Το ραδιενεργό Ιώδιο έχει την τάση να συγκεντρώνεται στον θυρεοειδή και ειδικότερα στα μέρη του θυρεοειδή που υπερλειτουργούν. Η ραδιενέργεια που εκπέμπεται από το Ιώδιο έχει την ικανότητα να καίει τον υπερλειτουργούντα θυρεοειδή και να μειώνει την υπερπαραγωγή των ορμονών.



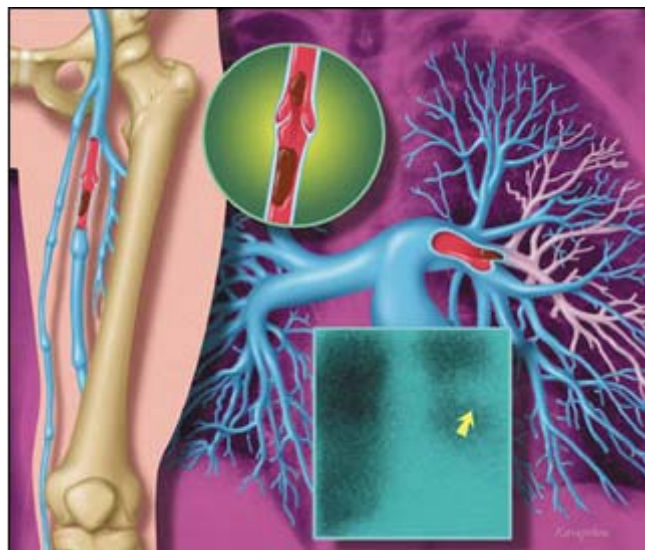
Θεραπεία του θυρεοειδή με χορήγηση ραδιενεργού ιωδίου. Το ραδιοφάρμακα χορηγείται από το στόμα και απορροφάται από το πεπτικό σύστημα. Το ιώδιο συγκεντρώνεται ακολούθως στο θυρεοειδή όπου η ραδιενέργεια που εκπέμπεται καταστρέφει μέρος του αδένα.

Σφήνες στους πνεύμονες

Πνευμονική εμβολή είναι η απόφραξη κλάδων της πνευμονικής αρτηρίας από εμβολή θρόμβου που αποσπάται από μια περιφερική φλέβα. Σπανιότερα το έμβολο προέρχεται από τον δεξιό κόλπο ή την δεξιά κοιλία. Πολύ πιο σπάνια το έμβολο είναι αμνιακό υγρό, λίπος, ή μυελός των οστών. Άμεσο μηχανικό αποτέλεσμα είναι η δυσλειτουργία των πνευμόνων με εμφάνιση συνδρόμου οξείας πνευμονικής καρδιάς [48]. Παράλληλα δημιουργείται τοπικά θρόμβωση και απελευθέρωση ποικίλων αγγειοδιασταλτικών ουσιών που έχουν γενική επίδραση στον οργανισμό.

Τα μεγάλα αεροπορικά ταξίδια, όπου ο επιβάτης παραμένει ακίνητος για πολύ χρόνο μπορούν να προκαλέσουν θρόμβωση των μεγάλων βαθιών φλεβών του μηρού και των ποδιών. Η θρόμβωση αυτή μπορεί με τη σειρά της να προκαλέσει πνευμονική εμβολή. Η έλλειψη σωματικής κίνησης, η αφυδάτωση που παρατηρείται στους επιβάτες, η κατανάλωση αλκοόλ κατά την πτήση θεωρούνται ότι είναι μεταξύ των παραγόντων που υποβοηθούν την εκδήλωση των επικίνδυνων καταστάσεων της θρόμβωσης και της πνευμονικής εμβολής. Κατά τη διάρκεια των πτήσεων είναι καλό να γίνονται τα ακόλουθα:

- Οι επιβάτες να πίνουν άφθονο νερό, για να απομακρύνεται ο κίνδυνος της αφυδάτωσης
- Αποφυγή κατανάλωσης αλκοόλ
- Κατά μικρά χρονικά διαστήματα θα πρέπει οι επιβάτες να μπορούν να σηκώνονται, να περπατούν, να κάνουν μικρές ασκήσεις ή ακόμη και να τεντώνουν ή να κινούν τα κάτω μέλη τους. Επίσης δεν είναι καλό να σταυρώνουν τα πόδια
- Ορισμένοι ερευνητές συστήνουν στους επιβάτες να φορούν ειδικές ψηλές συμπιεστικές κάλτσες για βελτίωση της κυκλοφορίας του αίματος στα κάτω μέλη. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για άτομα με αυξημένο κίνδυνο για θρόμβωση
- Οι ασθενείς με προσωπικό ή οικογενειακό ιστορικό θρόμβωσης πρέπει να συμβουλευονται τους γιατρούς τους πριν από ένα αεροπορικό ταξίδι
- Για ορισμένους επιβάτες η λήψη χαμηλών δόσεων ασπιρίνης πριν από ένα πολύωρο αεροπορικό ταξίδι μπορεί να είναι ωφέλιμη



Πνευμονική εμβολή. Θρόμβος από φλέβα στο μηρό ταξιδεύει μέσω της καρδιάς και σφηνώνεται σε μια πνευμονική αρτηρία.

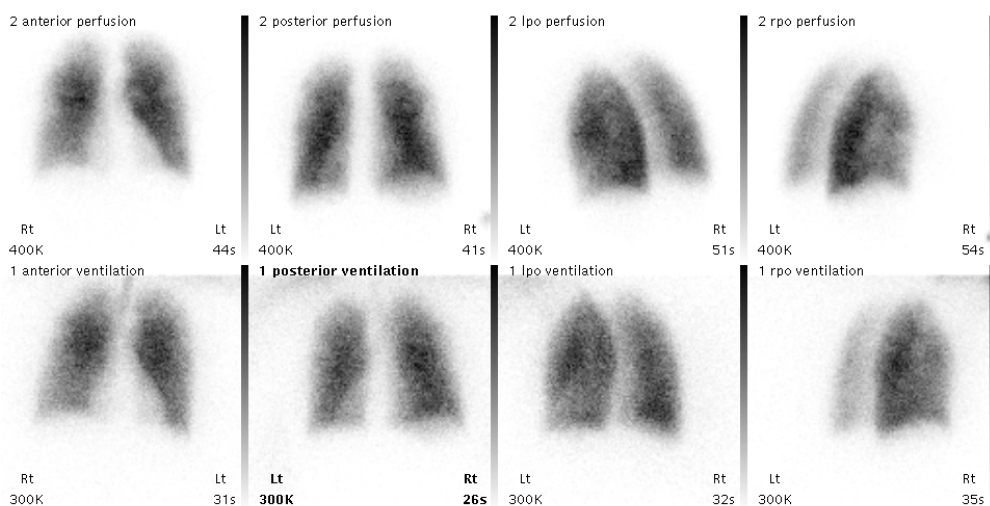
Η διάγνωση βασίζεται στην κλινική εικόνα και τις παρακλινικές εξετάσεις.

- Αιφνίδιος θωρακικός πόνος που συνοδεύεται με δύσπνοια και πυρετό και σπανιότερα αιμόπτυση.
- Απότομη εμφάνιση δύσπνοιας που καταλήγει σε εικόνα καταπληξίας (σοκ).
- Στο ηλεκτροκαρδιογράφημα μπορούμε να παρατηρήσουμε βαθύ έπαρμα S στην απαγωγή I, κύμα Q και αρνητικό T στην απαγωγή III (SI, QIII, TIII), ταχυκαρδία ή κοιλιακή μαρμαρυγή και ισχαιμικές αλλοιώσεις στις αριστερές προκάρδιες απαγωγές. Καμιά ωστόσο από αυτές τις μεταβολές δεν είναι ειδική. Συνήθως είναι φευγαλέες και σπάνια υπάρχουν όλες μαζί.
- Η ακτινογραφία θώρακος είναι συνήθως φυσιολογική. Αν η εμβολή είναι πολύ μεγάλη μπορεί ο αντίστοιχος λοβός να παρουσιαστεί πιο διανυγείς.
- Από τις εξετάσεις αίματος παρατηρείται αύξηση κάποιων ενζύμων και των λευκών κυττάρων αλλά και μείωση της οξυγόνωσης του αίματος.

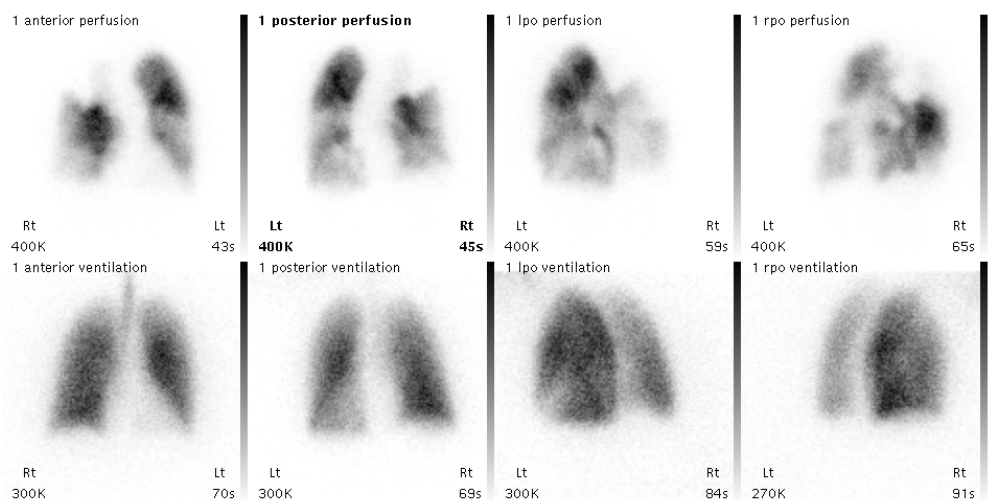
Ανάλογα με την βαρύτητα της πνευμονικής εμβολής οι ασθενείς μπορεί να είναι ασυμπτωματικοί να παρουσιάζουν απλώς δύσπνοια ή να εμφανίζουν πολύ σοβαρή κλινική εικόνα.

Η διάγνωση πνευμονικής εμβολής γίνεται με σπινθηρογράφημα των πνευμόνων [49]. Στις περιοχές όπου η παροχή αίματος έχει διακοπεί παρουσιάζεται μειωμένη συγκέντρωση ραδιονουκλεϊδίων τα οποία έχουν χορηγηθεί ενδοφλεβίως. Αν η συγκέντρωση εισπνεόμενων ραδιονουκλεϊδίων παρουσιάζεται κανονική τότε αυτό είναι ένδειξη ότι ο πνεύμονας λειτουργεί αλλά δεν δέχεται αίμα. Ωστόσο, αυτό το έλλειμμα διάχυσης του ραδιοφαρμάκου μπορεί να οφείλεται και σε άλλες αιτίες. Φυσιολογικό όμως σπινθηρογράφημα αποκλείει την διάγνωση της πνευμονικής εμβολής. Η διάγνωση επιβεβαιώνεται από την πνευμονική αγγειογραφία που δείχνει εικόνα ακρωτηριασμού του αντίστοιχου κλάδου της πνευμονικής αρτηρίας.

Η θεραπεία είναι τις περισσότερες φορές είναι συντηρητική. Η θεραπευτική αγωγή στηρίζεται στην επαρκή αναλγησία, την χορήγηση άφθονου οξυγόνου, υγρών για την καταπολέμηση της καταπληξίας και την έγκαιρη εφαρμογή αποτελεσματικής θρομβολυτικής και αντιπηκτικής αγωγής. Η αιμόπτυση που συνυπάρχει δεν αποτελεί αντένδειξη για θρομβόλυση. Σπάνια επιχειρείται, σήμερα, χειρουργική εμβολεκτομή.



Φυσιολογική έγχυση (πάνω) και αερισμός (κάτω) των πνευμόνων



Μεγάλη πιθανότητα πνευμονικής εμβολής: Το σπινθηρογράφημα αποκαλύπτει πολλαπλές περιοχές με πρόβλημα στην έγχυση (πάνω) και στους δύο πνεύμονες με τον αερισμό (κάτω) σε κανονικά επίπεδα.

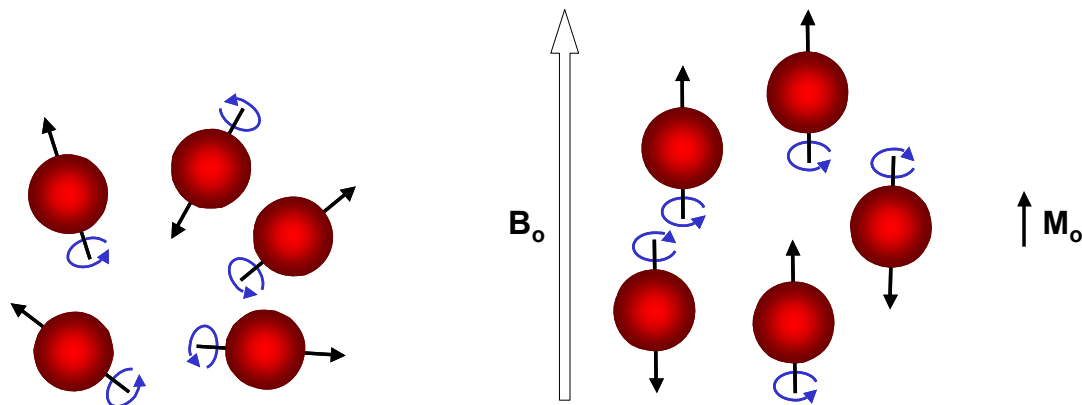
Το σπινθηρογράφημα του P.M. έδειξε μεγάλη πιθανότητα πνευμονικής εμβολής. Δόθηκε αμέσως στον ασθενή οξυγόνο, αναλγησία, ορός, ενδοφλέβια ηπαρίνη (θρομβολυτικό) και στην συνέχεια χάπια κουμαδίνης (αντιπηκτικό.) Μετά από 24 ώρες τα συμπτώματα είχαν υποχωρήσει τελείως και το σπινθηρογράφημα έδειξε πλήρη αποκατάσταση της λειτουργίας των πνευμόνων.

Γενική Βιβλιογραφία

- **Looking Within: How X-Ray, Ct, Mri, Ultrasound, and Other Medical Images Are Created, and How They Help Physicians Save Lives** by Anthony Brinton Wolbarst, Gordon Cook. University of California Press, 1999.
- **Naked to the Bone: Medical Imaging in the Twentieth Century** by Bettyann Kevles. Perseus Books Group, 1998.
- **Wilhelm Conroad Roentgen and the Early History of the Roentgen Rays** by Otto Glasser. Jeremy Norman Co, 1992.
- **Inside The Brain : Revolutionary Discoveries of How the Mind Works** by R. Kotulak. Andrews McMeel Publishing, 1997.
- **Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Applications, and Quality Control** by Euclid Seeram. W.B. Saunders Company, 2001.
- **MRI : Basic Principles and Applications** by Mark A. Brown, Richard C. Semelka. Wiley-Liss, 2003.
- **MRI in Practice** by Catherine Westbrook, Carolyn Kaut. Blackwell Science, 1998.
- **Ultrasound - The Inside Picture: What Every Patient Needs to Know** by Joyce Prince. Authorhouse, 2002.
- **Ultrasound: The Requisites** by William D. Middleton, Alfred B. Kurtz. C.V. Mosby, 2003.
- **Nuclear Medicine: The Requisites** by James H., M.D. Thrall, Harvey A., M.D. Ziessman. Mosby, 2001.
- **The Mother of All Pregnancy Books: The Ultimate Guide to Conception, Birth, and Everything In Between** by Ann Douglas. John Wiley & Sons, 2002.
- **The Pregnancy Journal; A Day-To-Day Guide to a Healthy and Happy Pregnancy** by A. Christine Harris. Chronicle Books, 1996.
- **The Breast Cancer Survival Manual: A Step-By-Step Guide for the Woman With Newly Diagnosed Breast Cancer** by John S. Link, et al. Owl Books, 2003.
- **Living with Stroke : A Guide For Families: Help and New Hope for All Those Touched by Stroke** by Richard C. Senelick, Peter W. Rossi, Karla Dougherty. McGraw-Hill/Contemporary Books, 1999.
- **Thyroid for Dummies** by Alan L. Rubin M.D., Rich Tennant. For Dummies, 2001.

Παράρτημα Α – Αναλυτική Περιγραφή της Λειτουργίας του MT

Τα άτομα αποτελούνται από το κέλυφος και τον πυρήνα. Το κέλυφος αποτελείται από αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, τα ηλεκτρόνια, τα οποία περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα. Ο πυρήνας αποτελείται από τα θετικά φορτισμένα πρωτόνια και τα ουδέτερα νετρόνια. Τα φορτισμένα σωματίδια, όπως τα πρωτόνια, δεν είναι ακίνητα αλλά περιστρέφονται. Το ηλεκτρικό φορτίο το οποίο κατέχουν περιστρέφεται μαζί μ' αυτά. Είναι γνωστό ότι ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο παράγει μαγνητικό πεδίο. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι τα πρωτόνια συμπεριφέρονται σαν μικροί μαγνήτες, με νότιο και βόρειο πόλο. Όταν ένα υλικό (π.χ. ιστός) βρίσκεται σε χώρο στον οποίο δεν εφαρμόζεται εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, η διάταξη αυτών των μαγνητικών πεδίων είναι τυχαία και η συνισταμένη τους είναι μηδέν.



Φορτισμένα σωματίδια περιστρέφονται σε τυχαίες διατάξεις σε χώρο χωρίς μαγνητικό πεδίο (αριστερά) και διατεταγμένα παράλληλα και αντιπαράλληλα στην παρουσία μαγνητικού πεδίου (δεξιά.)

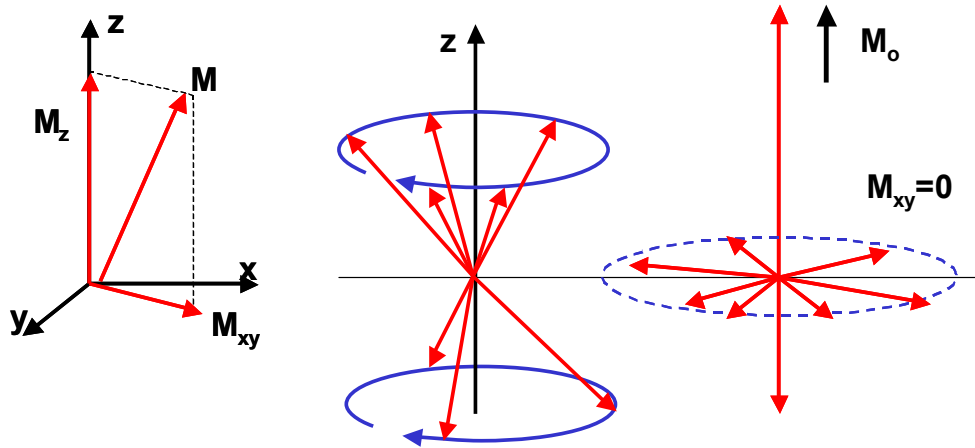
Τι γίνεται όταν αυτό το υλικό τοποθετηθεί μέσα σ' ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο (που συμβολίζεται με B_0); Ένας μεγάλος αριθμός πρωτονίων, εξαιτίας των θερμικών κινήσεων, δεν παραλληλίζεται με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Αυτά διατηρούν τον τυχαίο προσανατολισμό τους και άρα η συνισταμένη μαγνήτιση που δημιουργούν είναι μηδέν. Τα υπόλοιπα πρωτόνια διατάσσονται παράλληλα ή αντιπαράλληλα με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Αυτά που διατάσσονται παράλληλα είναι ελαφρώς περισσότερα σε αριθμό από αυτά που διατάσσονται αντιπαράλληλα. Έσος αριθμός από παράλληλα διατεταγμένα πρωτόνια εξουδετερώνονται με τα αντιπαράλληλα διατεταγμένα. Αυτά που απομένουν και που είναι διατεταγμένα παράλληλα με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο δημιουργούν μια μικρή συνολική κατάσταση μαγνητικής ροπής στους ιστούς, η οποία ονομάζεται μαγνήτιση M_0 . Αυτή η μαγνήτιση M_0 είναι παράλληλη με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο B_0 , δηλαδή παράλληλη προς τον επιμήκη (longitudinal) ή άξονα Z του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

Τα ξεχωριστά πρωτόνια δεν είναι διατεταγμένα απόλυτα παράλληλα με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο B_0 , αλλά εκτελούν γύρω από αυτό μια περιστροφική κίνηση (precessing) υπό γωνία θ , που μοιάζει με την κίνηση της κορυφής μιας σβούρας και περιγράφεται σαν κίνηση μετάπτωσης. Η ταχύτητα με την οποία "περιστρέφονται", η ταχύτητα, δηλαδή, με την οποία εκτελούν την μεταπτωτική κίνηση γύρω από τον B_0 είναι ανάλογη του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Όσο ισχυρότερο το πεδίο τόσο πιο γρήγορα περιστρέφονται. Αυτό μας το περιγράφει η εξίσωση Larmor:

$$\omega = \gamma \cdot B_0$$

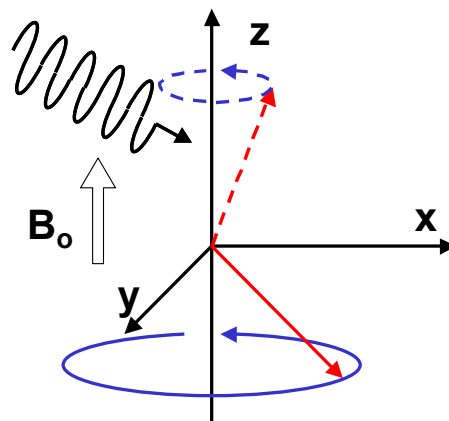
όπου ω = η συχνότητα περιστροφής, γ = ο γυρομαγνητικός λόγος, ο οποίος είναι διαφορετικός για διαφορετικά υλικά και B_0 = η ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Από την πιο πάνω εξίσωση είναι φανερό ότι για συγκεκριμένη τιμή εξωτερικού μαγνητικού πεδίου διαφορετικοί πυρήνες (π.χ. υδρογόνο, φωσφόρος, κάλλι κλπ.), με διαφορετικό γυρομαγνητικό λόγο, περιστρέφονται με διαφορετική συχνότητα.

Η μαγνητική ροπή κάθε πρωτονίου είναι διανυσματικό μέγεθος. Άρα μπορεί ν' αναλυθεί σ' ένα τρισσορθόγωνιο σύστημα αξόνων σαν συνισταμένη δύο δυνάμεων. Το άθροισμα των προβολών στον άξονα Z δίνει την συνισταμένη μαγνήτιση όλων των πρωτονίων που είναι παράλληλη με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Αντίθετα οι προβολές πάνω στο επίπεδο XY είναι τυχαία διατεταγμένες. Η τυχαία αυτή διάταξη οφείλεται στο ότι τα πρωτόνια δεν περιστρέφονται σε φάση (in-phase), άρα και οι οριζόντιες προβολές των ανυσμάτων πάνω στο επίπεδο XY δεν συμπίπτουν. Αυτό οδηγεί σε μηδενισμό της μαγνήτισης στο επίπεδο XY.



Ανάλυση της μαγνητικής ροπής σε σύστημα τριών αξόνων (αριστερά), ροπές διαφόρων πρωτονίων (μέση), ανάλυση των ροπών που έχουν άθροισμα M_0 στον άξονα z και 0 στο επίπεδο xy. (δεξιά)

Αυτό που πετυχαίνουμε όταν στέλνουμε τον ραδιοπαλμό (RF), με συχνότητα ίση με τη συχνότητα περιστροφής των πρωτονίων, είναι να στρέψουμε τον άξονα περιστροφής τους προς το εγκάρσιο επίπεδο ή ακόμα και να τον αντιστρέψουμε εντελώς. Όταν η μαγνήτιση στραφεί προς το εγκάρσιο επίπεδο XY αναφέρεται σαν εγκάρσια μαγνήτιση, M_{xy} . Αυτό γίνεται στέλνοντας έναν παλμό στην ακριβή συχνότητα Larmor, για τόσο χρονικό διάστημα όσο χρειάζεται για να περιστραφεί η M_0 και να γίνει M_{xy} . Το κέρδος από όλη αυτή την διαδικασία είναι ότι ενώ σαν M_0 δεν μπορεί να ανιχνεύσουμε την μαγνήτιση γιατί αποτελεί μόνο ένα μικρό κλάσμα του B_0 , σαν M_{xy} μπορούμε να την ανιχνεύσουμε και να μετρήσουμε τις αλλαγές σε αυτή.



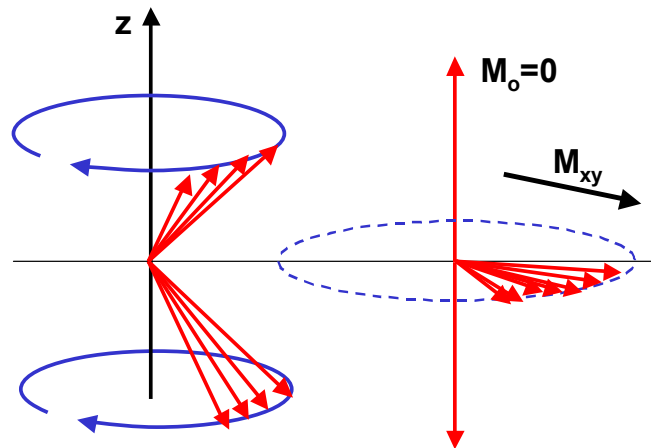
Ένας ραδιοπαλμός στέφει την μαγνήτιση του πρωτονίου προς το xy επίπεδο όπου και μπορούμε να την ανιχνεύσουμε.

Στην πραγματικότητα η διαδικασία είναι πιο πολύπλοκη και είναι συνδυασμός δύο δράσεων:

- Πρώτα, τα πρωτόνια απορροφούν ενέργεια από τον ραδιοπαλμό, η οποία που ωθεί τον άξονα περιστροφής τους από το Z στο $-Z$, δηλαδή τον αντιστρέφει. Καθώς γίνεται αυτό οι μαγνητίσεις τους αλληλοεξουδετερώνονται με τα πρωτόνια τα οποία εξακολουθούν να παραμένουν στραμμένα προς τον άξονα Z. Ως αποτέλεσμα, η ολική διαμήκης μαγνήτιση μειώνεται με το πέρασμα του χρόνου. Όσο πιο πολύ ενέργεια εκπέμπεται μέσω του ραδιοπαλμού τόσο

περισσότερα πρωτόνια στρέφονται προς τον άξονα $-Z$. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κάποια στιγμή η διαμήκης μαγνήτιση να μηδενιστεί ($M_0=0$). Η ενέργεια μεταφέρεται από τον ραδιοπαλμό στα πρωτόνια όταν οι ιδιοσυχνότητες των δύο συμπίσουν (φαινόμενο συντονισμού).

- Ταυτόχρονα, ο ραδιοπαλμός αναγκάζει τα πρωτόνια να περιστρέφονται σε φάση (in-phase). Αναφέρθηκε ότι οι εγκάρσιες συνιστώσες των μαγνητικών ροπών των ξεχωριστών πρωτονίων, πάνω στο επίπεδο XY , αλληλοεξουδετερώνονται. Ο ραδιοπαλμός αναγκάζει τα πρωτόνια ν' αρχίσουν να περιστρέφονται συγχρονισμένα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι συνιστώσες των μαγνητικών ροπών των πρωτονίων που βρίσκονται πάνω στο XY επίπεδο, να συμπίσουν, να βρεθούν όλες με την ίδια φορά. Μ' αυτό τον τρόπο δεν αλληλοεξουδετερώνονται πια, αντίθετα προστίθενται και αποκτούν μια κοινή συνισταμένη, τη μαγνήτιση M_{xy} .



Αλλαγή του άξονα περιστροφής και συμφασικοποίηση των πρωτονίων μετά από ραδιοπαλμό.
(Συγκρίνεται με την διάταξη πριν το ραδιοπαλμό)

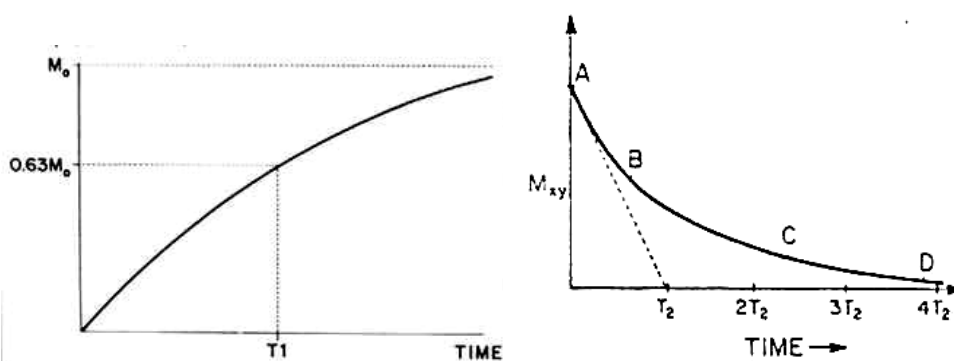
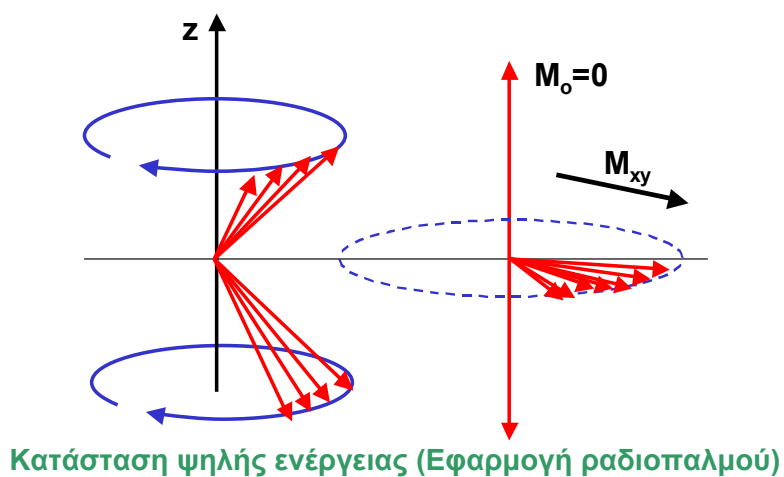
Τη στιγμή ακριβώς που σταματάει η εκπομπή του ραδιοπαλμού η κατάσταση έχει ως εξής:

- Κάποια πρωτόνια πήραν ενέργεια από τον ραδιοπαλμό, ο άξονας περιστροφής τους έχει αντιστραφεί και έχει εξαφανιστεί η διαμήκης μαγνήτιση M_0 .
- Τα πρωτόνια κινούνται στην ίδια φάση (in-phase), με αποτέλεσμα να έχει εμφανιστεί μια εγκάρσια μαγνήτιση M_{xy} .

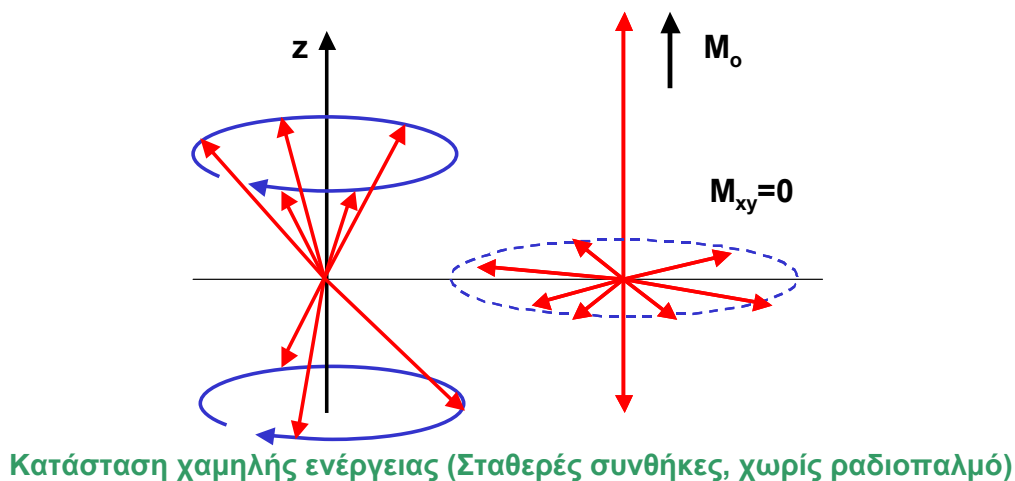
Αν το υλικό το οποίο εξετάζουμε βρισκόταν στο κενό, με την παύση του ραδιοπαλμού η κατάσταση δεν θα άλλαζε. Μια, όμως, σειρά από εξωτερικούς παράγοντες επιδρούν και μεταβάλλουν αυτή την κίνηση. Οι παράγοντες αυτοί είναι η θερμική κίνηση των σωματιδίων και τα μαγνητικά πεδία που προέρχονται από τα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα. Πάλι δυο ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά, ταυτόχρονα γεγονότα συμβαίνουν:

- Απόδοση της επιπλέον ενέργειας, που πήραν τα πρωτόνια από τον ραδιοπαλμό, στο περιβάλλον.
- Απώλεια του συγχρονισμού φάσης (out of phase), λόγω της αλληλεπίδρασης με τα μικρά τοπικά εξωτερικά μαγνητικά πεδία.

Πρώτα, η επιπλέον ενέργεια των πρωτονίων απορροφάται από το περιβάλλον. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όλο και περισσότερα πρωτόνια να αρχίσουν να στρέφονται προς τον άξονα Z και έτσι επανεμφανίζεται η διαμήκης μαγνήτιση M_0 . Η διαδικασία αυτή δεν ολοκληρώνεται αμέσως, αλλά απαιτείται κάποιος χρόνος. Ο χρόνος που απαιτείται για να επανέλθει το 63% της αρχικής τιμής της διαμήκους μαγνήτισης (το 63% της M_0), ονομάζεται χρόνος T_1 του συγκεκριμένου υλικού. Ο χρόνος T_1 εκφράζει την απώλεια ενέργειας στο πλέγμα (lattice) του περιβάλλοντος, γι' αυτό και αναφέρεται και ως χρόνος χαλάρωσης σπιν-πλέγματος (spin-lattice relaxation time.) Λόγω της μεταβαλλόμενης μαγνήτισης εκπέμπεται ραδιο-σήμα το οποίο και συλλέγεται από ειδική αντένα/πηνίο και μεταφέρεται στον υπολογιστή για ανάλυση.

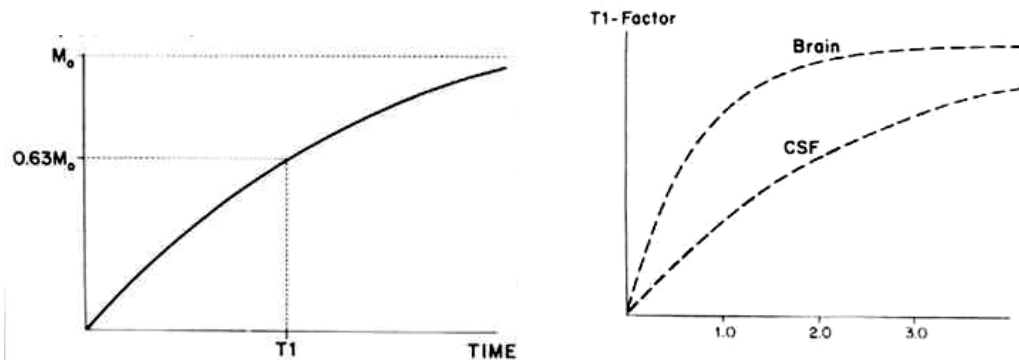


Απώλεια ενέργειας και συμφασικότητας (Αμέσως μετά το πέρας του ραδιοπαλμού)



Σταδιακή απώλεια της επιπλέον ενέργειας στο περιβάλλον και επιστροφή της μαγνήτισης στο M_0 (T_1), καθώς και του συγχρονισμού της περιστροφής των πρωτονίων ως προς το επίπεδο XY και απώλεια της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} (T_2)

Η μεταφορά ενέργειας από τα πρωτόνια προς το πλέγμα γίνεται τόσο πιο αποτελεσματικά, όσο πιο κοντά στην συχνότητα Larmor περιστρέφονται τα υλικά του πλέγματος. Π.χ. σ' ένα περιβάλλον από υγρό τα πρωτόνια δυσκολεύονται να αποδώσουν την ενέργειά τους, εξαιτίας της γρήγορης κίνησης των μικρών μορίων του νερού. Αυτό σημαίνει ότι ένα πρωτόνιο που βρίσκεται σε περιβάλλον νερού, θα δυσκολευτεί να αποδώσει την επιπλέον ενέργειά του, άρα θα έχει μεγάλο χρόνο T_1 . Ο μεγάλος χρόνος T_1 σημαίνει και αργή επανεμφάνιση της διαμήκουσ μαγνήτισης M_0 . Ιστοί όπως το εγκεφαλονωτιαίο υγρό (CSF) εμφανίζουν μακρύ T_1 χρόνο, της τάξης των 2000-3000msec. Αντίθετα πρωτόνια τα οποία βρίσκονται σε περιβάλλον το οποίο ευνοεί την γρήγορη μεταφορά ενέργειας θα έχουν βραχύ χρόνο T_1 , δηλαδή η αποκατάσταση της διαμήκουσ μαγνήτισής τους θα γίνεται πολύ γρήγορα. Παράδειγμα τέτοιων ιστών είναι το λίπος με χρόνο T_1 150-250msec. Παράδειγμα ιστών με μέσο χρόνο T_1 είναι η φαιή ουσία του εγκεφάλου με T_1 χρόνο, στο 1.5T, 920 msec και η λευκή ουσία του εγκεφάλου με 790 msec.



Απόδοση της επιπλέον ενέργειας στο περιβάλλον και επιστροφή της μαγνήτισης στο M_0 (αριστερά.)
Σύγκριση εγκεφάλου (brain) και εγκεφαλονωτιαίου υγρού (CSF) (δεξιά.)

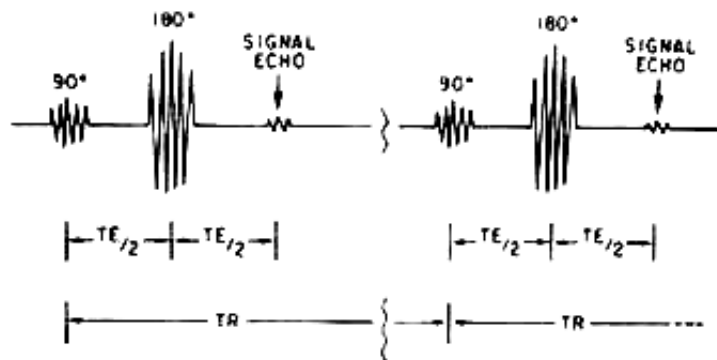
Εκτός από την απόδοση της επιπλέον ενέργειας στο περιβάλλον, μετά τον ραδιοπαλμό παρουσιάζεται και σταδιακή απώλεια της σύγχρονης περιστροφής των πρωτονίων ως προς το επίπεδο XY. Η κατάσταση αυτή περιγράφεται σαν αποσυμφασικοποίηση (out of phase). Το άμεσο αποτέλεσμα της είναι η σταδιακή μείωση της εγκάρσιας μαγνήτισης (M_{xy}). Ο ρυθμός με τον οποίο τα πρωτόνια χάνουν τον συγχρονισμό της φάσης τους εκφράζεται από τον χρόνο T_2 . Ο χρόνος T_2 είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το 37% των πρωτονίων έχουν χάσει τον συγχρονισμό της φάσης τους. Η μεταβολή της μαγνήτισης έχει και σε αυτή την περίπτωση ως αποτέλεσμα την εκπομπή ραδιο-σήματος το οποίο συλλέγεται και μεταφέρεται στον υπολογιστή για ανάλυση.

Ο χρόνος T_2 εξαρτάται από τις ανομοιογένειες του πεδίου, γι' αυτό και αναφέρεται και ως χρόνος χαλάρωσης σπιν-σπιν (spin-spin relaxation time.) Οι ανομοιογένειες αυτές έχουν δύο αιτίες, τις ανομοιογένειες του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου και τις τοπικές, μικρές ανομοιογένειες στο μοριακό περιβάλλον των ιστών. Οι πρώτες οφείλονται κατά κύριο λόγο στις γραμμικές μεταβολές που προκαλούνται στο μαγνητικό πεδίο και σκοπό έχουν στην χωρική κωδικοποίηση του σήματος (spatial encoding). Δευτερογενώς οφείλονται σε ατέλειες στην κατασκευή του μηχανήματος και σε ανομοιογένειες στην μαγνητική επιδεκτικότητα του χώρου. Οι ανομοιογένειες που οφείλονται στο χημικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται τα πρωτόνια είναι πολύ μικρότερες σε ένταση, αλλά καθοριστικές για το πόσο γρήγορα αποσυμφασικοποιούνται τα πρωτόνια. Σ' ένα περιβάλλον υγρού, όπως το νερό, τα ταχέως κινούμενα μόρια του νερού δεν έχουν μεγάλες διαφορές στα μαγνητικά πεδία τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αργούν να χάνουν τον συγχρονισμό τους, άρα να αργούν να αποσυμφασικοποιηθούν, άρα να έχουν μακρύ χρόνο T_2 . Αντίθετα σ' ένα περιβάλλον με στερεά οι διαφορές στα τοπικά μαγνητικά πεδία είναι μεγαλύτερες, με αποτέλεσμα τα πρωτόνια να αποσυμφασικοποιούνται πιο γρήγορα, άρα να έχουν βραχεί χρόνο T_2 .

Μια σειρά από παραμέτρους επηρεάζει την ένταση του σήματος σε μια εξέταση MT. Οι παράμετροι αυτοί μπορεί να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στις παραμέτρους που αφορούν αυτούς καθαυτούς τους ιστούς και στις παραμέτρους που επιλέγει αυτός που κάνει την εξέταση. Οι πρώτες

αφορούν την πυκνότητα των πρωτονίων (proton density) των ιστών που εξετάζονται, τους χρόνους T_1 και T_2 και την ύπαρξη ή όχι ροής στην περιοχή που απεικονίζεται. Η πυκνότητα πρωτονίων αναφέρεται στην ποσότητα των πυρήνων που έχουν προσανατολιστεί με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο και άρα καθορίζει την συνολική μαγνήτιση M . Οι χρόνοι T_1 και T_2 εξαρτώνται από τη δομή και είναι χαρακτηριστικοί του ιστού ή οργάνου που μελετάται και καθορίζουν την αντίθεση μεταξύ αυτού του ιστού ή οργάνου και των παραπλήσιων του. Οι παράμετροι που επιλέγονται από αυτόν που κάνει την εξέταση είναι η ακολουθία παλμών που θα χρησιμοποιηθεί, τα στοιχεία της ακολουθίας και η χρήση ή όχι σκιαγραφικής ουσίας. Η τελική εικόνα και η κλίμακα του γκρι που χρησιμοποιείται βασίζεται στις μεταβολές της έντασης του σήματος που μετράται από το μηχάνημα. Όσο πιο υψηλή είναι η ένταση του σήματος που μετράει το μηχάνημα τόσο πιο προς το λευκό θα τείνει η αντίστοιχη θέση στην κλίμακα του γκρι που θα του αποδοθεί. Όσο πιο χαμηλή έντασης σήμα μετράει το μηχάνημα τόσο πιο σκούρα απόχρωση θα της αποδώσει.

Η πιο συνηθισμένη ακολουθία παλμών που χρησιμοποιείται είναι η Spin Echo. Η Spin Echo ακολουθία αποτελείται από έναν παλμό 90° που ακολουθείται από άλλον έναν παλμό 180° , σε χρόνο $TE/2$. Με τον πρώτο στρέφεται το άνυσμα της μαγνήτισης στο επίπεδο XY. Επειδή η διαδικασία της αποσυμφασικοποίησης είναι πολύ γρηγορότερη από την θερμική αποβολή της επιπλέον ενέργειας στο πλέγμα (χρόνος T_1 μεγαλύτερος από τον χρόνο T_2), ακολουθεί ο δεύτερος παλμός των 180° μετά από χρόνο $TE/2$, ο οποίος ξαναβάζει τα πρωτόνια σε φάση, αλλά σε αντίθετη φορά περιστροφής πάνω στο επίπεδο XY. Μετά από χρόνο TE (Echo Time, Χρόνος Ηχούς) λαμβάνουμε μια ηχώ (spin echo), ένα σήμα δηλαδή από το οποίο σχηματίζεται η τελική εικόνα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται πολλές φορές σε κάθε ακολουθία.



Η πιο συνηθισμένη ακολουθία παλμών, η Spin Echo. TE: Χρόνος ηχούς, TR: Χρόνος επανάληψης

Βιβλιογραφία

1. O. G. Glasser. Wilhelm Conrad Roentgen and the Early History of the Roentgen Rays. Jeremy Norman Co, 1992. ISBN: 0930405226
2. T.R. Yochum, 1895-1995: diagnostic imaging in its first century. J Manipulative Physiol Ther. 1995 Nov-Dec;18(9):618-25.
3. A. Macovski, Medical Imaging Systems. Prentice Hall. ISBN: 0135726859.
4. G. du Boulay, Imaging in medicine through the 20th century. J R Coll Physicians Lond. 2000 Jul-Aug;34(4):357-62.
5. Vladimirov LV, Kanter BM. Analysis of the Dose Load on Patients and Medical Personnel Exerted by the FSTs-U-01 Photoroentgenograph with an X-Ray Image Intensifier. Biomed Eng. 2002 May;36(3):140-144.
6. P. Brown, American martyrs to radiology. Mihran Krikor Kassabian (1870-1910). AJR Am J Roentgenol. 1995 May;164(5):1285-9.
7. J.B. Little, Radiation-induced genomic instability. Int J Radiat Biol. 1998 Dec;74(6):663-71.
8. L. Tabar, P.B. Dean. Mammography and breast cancer: the new era. Int J Gynaecol Obstet. 2003 Sep;82(3):319-26.
9. Nathanson KL, Wooster R, Weber BL. Breast cancer genetics: what we know and what we need. Nat Med. 2001 May;7(5):552-6.
10. Alberts MJ. Diagnosis and treatment of ischemic stroke. Am J Med. 1999 Feb;106(2):211-21.
11. Zeki S, Ashburner JT, Penny WD, Frackowiak RSJ. Human Brain Function. Academic Press, 2003. ISBN: 0122648412
12. Poole RM, Chimowitz MI. Geriatrics. Ischemic stroke and TIA: clinical clues to common causes. 1994 Jun;49(6):37-42.
13. Bronner LL, Kanter DS, Manson JE. Medical Progress: Primary Prevention of Stroke. N Engl J Med 1995; 333:1392-1400, Nov 23, 1995.
14. Yang GZ, Firmin DN. The birth of the first CT scanner. IEEE Eng Med Biol Mag. 2000 Jan-Feb;19(1):120-5.
15. A.M. Cormack, "Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications," J Appl Phys, vol. 34, pp. 2722-2727, 1963.
16. G.N. Hounsfield, "Computerized transverse axial scanning (tomography). I. Description of system," Br J Radiol, vol. 46, pp. 1016-1022, 1973.
17. Fuchs T, Kachelriess M, Kalender WA. Technical advances in multi-slice spiral CT. Eur J Radiol. 2000 Nov;36(2):69-73.
18. Sampath S. The history of MRI. IEEE Eng Med Biol Mag. 2000 Jan-Feb;19(1):26.
19. Lauterbur PC. Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance. Nature. 1973 Mar 16;242(5394):190-1.
20. Asner FM. High Field Superconducting Magnets. Oxford University Press, 1999. ISBN: 0198517645
21. Bosmans H, Wilms G, Dymarkowski S, Marchal G. Basic principles of MRA. Eur J Radiol. 2001 Apr;38(1):2-9.
22. Wade G. Human uses of ultrasound: ancient and modern. Ultrasonics. 2000 Mar;38(1-8):1-5.
23. Newman PG, Rozycki GS. The history of ultrasound. Surg Clin North Am. 1998 Apr;78(2):179-95.
24. Kurjak A. Ultrasound scanning - Prof. Ian Donald (1910-1987). Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2000 Jun;90(2):187-9.
25. Ziskin MC. Fundamental physics of ultrasound and its propagation in tissue. Radiographics. 1993 May;13(3):705-9.
26. State, Andrei, David T. Chen, Chris Tector, Andrew Brandt, Hong Chen, Ryutarou Ohbuchi, Mike Bajura, and Henry Fuchs. "Case Study: Observing a Volume-Rendered Fetus within a Pregnant Patient." Proceedings of IEEE Visualization '94 (Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society Press, 1994): 364-368.
27. W.W. Orrison, Jr., J.D. Lewine, J.A. Sanders, M.F. Hartshorne, Functional Brain Imaging. St. Louis, MO: Mosby-Year Book, Inc., 1995, pp. 187-189.

28. A. Alavi, M. Reivich, Positron Emission Tomography. New York:Alan R. Liss, Inc., 1985, pp. 43-44.
29. J.C. Mazziotta, M.E. Phelps, H.R. Schelbert, Positron Emission Tomography and Autoradiography : Principles and Applications for the Brain and the Heart. New York:Raven Press., 1986. pp. 238-239.
30. A. Kertesz, Localization and Neuroimaging in Neuropsychology. San Diego, California: Academic Press, 1994, pp. 26-28, 124-125, 152, 624-625.
31. M.R. Trimble, New Brain Imaging Techniques and Psychopharmacology. Great Britain:St. Edmundsbury Press, 1985.
32. K. Motsumura, M. Bergstrom, H. Onoe, "In vitro positron emissions tomography (PET): use of positron emission tracers in functional imaging in living brain slices," Neuroscience Research, vol 22, pp. 219-229, 1995.
33. F. Pedersen, M. Bergstrom, E. Bengtsson, "Principal component analysis of dynamic positron emission tomography images," Eur J Nucl Med vol. 21, pp. 1285-1292, 1994.
34. C.Y. Shiue, G.G. Shiue, K.G. Cornish, "PET Study of the Distribution of L[carbon-11] Fluoxetine in a Monkey Brain," Nucl Med Biol vol. 22, no. 5, pp. 613-616, 1995.
35. J.W. Braams, J. Pruim, N.J.M. Freling, "Detection of Lymph Node Metastases of Squamous-Cell Cancer of the Head and Neck with FDG-PET and MRI," J Nucl Med vol. 36, pp. 211-216, 1995.
36. H. Iida, P.M. Bloomfield, S. Miura, "Effect of Real-Time Weighted Integration System for Rapid Calculation of Functional Images in Clinical Positron Emission Tomography," IEEE Transactions on Medical Imaging vol. 14, no. 1 pp. 116-121, 1995.
37. R.E. Coleman, R.A. Blinder, R.J. Jaszczak, "Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) Part II: Clinical Applications," Inv Radiol, vol 21, no. 1, pp. 1- 11, 1986.
38. R.J. Jaszczak, "Tomographic radiopharmaceutical imaging," Proc IEEE, vol. 76, no. 9, pp. 1079-1094, 1988.
39. D.E. Kuhl and R.Q. Edwards, "Image separation radioisotope scanning," Radiol, vol 80, pp. 653-662, 1963.
40. R.J. Jaszczak, P.H. Murphy, D. Huard, J.A. Burdine, "Radionuclide emission computed tomography of the head with Tc-99m and a scintillation camera," J Nucl Med Inst Phys, vol. 18, no. 4, pp. 373- , 1977.
41. P.V. Harper, K.A. Lathrop, F. Jaminez, R. Fink, A. Gottschalk, "Technetium-99m as a scanning agent," Radiol, vol. 85, pp. 101-109, 1965.
42. H.O. Anger, "Scintillation camera with multichannel collimators," J Nucl Med, vol. 5, pp. 515-531, 1964.
43. C.E. Floyd, R.J. Jaszczak, C.C. Harris, R.E. Coleman, "Energy and spatial distribution of multiple order Compton scatter in SPECT: a Monte Carlo investigation," Phys. Med. Biol., vol 29, no. 10, pp. 1217-1230, 1984.
44. Z. Liang, T.G. Turkington, D.R. Gilland, R.J. Jaszczak, R.E. Coleman, "Simultaneous compensation for attenuation, scatter and detector response for SPECT reconstruction in three dimensions," Phys Med Biol, vol. 37, no. 3, pp. 587-603, 1992.
45. Matsunari I, Taki J, Nakajima K, Tonami N, Hisada K. Myocardial viability assessment using nuclear imaging. Ann Nucl Med. 2003 May;17(3):169-79.
46. Sumiya H, Taki J, Higuchi T, Tonami N. Nuclear imaging of bone tumors: thallium-201 scintigraphy. Semin Musculoskelet Radiol. 2001 Jun;5(2):177-82.
47. Moka D, Dietlein M, Schicha H. Radioiodine therapy and thyrostatic drugs and iodine.Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2002 Aug;29 Suppl 2:S486-91.
48. Riedel M. Diagnosing pulmonary embolism. Postgrad Med J. 2004 Jun;80(944):309-19.
49. Kumar AM, Parker JA. Ventilation/perfusion scintigraphy. Emerg Med Clin North Am. 2001 Nov;19(4):957-73.

Περίληψη Απεικονιστικών Μεθόδων

Μέθοδος	Λειτουργία	Χρήση/ Προτερήματα	Ασφάλεια	Μειονεκτήματα / Προβλήματα
Ακτινογραφία	Μετρά εξασθένιση / απορρόφηση ακτινών Χ μέσα από το σώμα. Η εικόνα είναι μια προβολή του σώματος σε δισδιάστατο φιλμ.	Παραμένουν μια από τις πιο χρήσιμες εξετάσεις. Χρησιμοποιούνται παντού στο σώμα, όπως στα δόντια και τα οστά (κατάγματα, εξάρθρωσεις, κλπ) και για εξέταση του κρανίου, της σπονδυλικής στήλης, των πνευμόνων και της καρδιάς. Η μαστογραφία είναι κατάλληλη για πρόληψη του καρκίνου του μαστού. Μπορεί να μετρήσει την πυκνότητα των οστών.	Πολύ χαμηλός κίνδυνος αλλά οι ανησυχίες υπάρχουν. 2-3 ασθενείς σε 1 εκατομμύριο πληθυσμό. Ο ατομικός κίνδυνος είναι απειροελάχιστος. (δηλαδή, αν η εξέταση ενδείκνυται πρέπει να γίνει.) Έγκυες γυναίκες πρέπει να έχουν ακτινογραφίες της κοιλιακής χώρας και πυέλου μόνο όταν είναι απόλυτα αναγκαίες.	Χρησιμοποιεί ιονίζουσα ακτινοβολία. Η μετάδοση των ακτινών Χ δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα.
Ακτινοσκόπηση	Ακτινογραφία πραγματικού χρόνου. Ακτίνες Χ διαπερνούν το σώμα και καταλήγουν σε οθόνη. Σκιαγραφικό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η κινούμενη εικόνα επιτρέπει στους γιατρούς να δουν την λειτουργία και την ροή κάποιων μερών του σώματος.	Υπερτερεί της συνηθισμένης ακτινογραφίας στην απεικόνιση του στομάχου, εντέρων, και αιμοφόρων αγγείων. Μπορεί να αναγνωρίσει έλκη, όγκους, καρκίνο, στενώσεις και αποφράξεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκιαγραφικό από το στόμα (βάριο) για το πεπτικό σύστημα ή ενδοφλέβιο για την αγγειογραφία.	Η δόση ακτινοβολίας είναι περισσότερη από την συνηθισμένη ακτινογραφία αλλά μικρή. Σπανίως το βάριο μπορεί να προκαλέσει μόλυνση ή απόφραξη των εντέρων. Μόνο όταν είναι απόλυτα αναγκαία κατά την εγκυμοσύνη.	Χρησιμοποιεί ιονίζουσα ακτινοβολία. Η μετάδοση των ακτινών Χ δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα.
Αξονική Τομογραφία	Ανακατασκευάζει τομογραφικές εικόνες από μια σειρά από προβολές ακτινών Χ. Ο ασθενής ξαπλώνει και κινείται μέσα στη συσκευή. Μια δέσμη από ακτίνες γυρίζει γύρω από την περιοχή που εξετάζεται. Οι ανιχνευτές μετρούν την απορρόφηση των ακτινών από τους ιστούς.	Μπορεί να εντοπίσει όγκους (πνεύμονες, συκώτι, πάγκρεας), προβλήματα στο κρανίο (θρόμβωση, αιμορραγία, κατάγματα, όγκους πολύ καλύτερα από την ακτινογραφία), προβλήματα σπονδυλικής στήλης και τραύματα σε εσωτερικά όργανα και αγγεία (γρήγορα σε έκτακτες περιπτώσεις.) Χρησιμοποιείται για καθορισμό της δόσης της ακτινοθεραπείας και για να καθοδηγεί βιοψίες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκιαγραφικό από το στόμα ή ενδοφλέβιο. Μπορεί να απεικονίσει πολύ μικρά οστά και κατάγματα και να μετρήσει την πυκνότητα των οστών.	Η δόση ακτινοβολίας είναι περισσότερη από ότι στη συνηθισμένη ακτινογραφία αλλά λιγότερη από ότι δεχόμαστε από το περιβάλλον μέσα σε περίπου 3 χρόνια. Μόνο όταν είναι απόλυτα αναγκαία κατά την εγκυμοσύνη.	Τα οστά μπορεί να αποκρύψουν κάποιους μαλακούς ιστούς. Γενικά η ΑΤ δεν είναι κατάλληλη για την απεικόνιση μαλακών ιστών (π.χ. λεπτομέρειες της κλείδωσης του γονάτου.)

Μέθοδος	Λειτουργία	Χρήση/ Προτερήματα	Ασφάλεια	Μειονεκτήματα / Προβλήματα
Μαγνητική Τομογραφία	Μετρούμε τις ραδιοσυχνότητες που επανεκπέμπονται από τους πυρήνες των ατόμων των ιστών οι οποίες είναι ανάλογες του μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο βρίσκονται (θέση) καθώς και των γύρω πυρήνων, περιβάλλοντος και της ακολουθίας των παλμών διέγερσης (ένταση.) Από το σήμα υπολογίζονται οι χρόνοι χαλάρωσης T1 και T2. Ο ασθενής ξαπλώνει και κινείται μέσα στη συσκευή.	Διάγνωση όγκων, λοιμώξεων, και άλλων ασθενειών ή προβλημάτων των μαλακών ιστών και οργάνων, συμπεριλαμβανομένων και του εγκεφάλου, της σπονδυλικής στήλης, των αρθρώσεων, των πνευμόνων, συκωτιού, νεφρών και παγκρέατος. Παράγει εικόνες των μαλακών ιστών πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας από άλλες μεθόδους και ειδικά όσο αφορά δυσδιάκριτα προβλήματα σε τένοντες και μύες. Πολύ χρήσιμο στην διάγνωση πρώιμων εγκεφαλικών επεισοδίων καθώς και πρώιμων καρκίνων. Μπορεί επίσης να διακρίνει προβλήματα που αποκρύπτονται από τα οστά με άλλες μεθόδους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκιαγραφικό υλικό. Απεικόνιση σε οποιοδήποτε επίπεδο ή κατεύθυνση.	Δεν εκθέτει τον ασθενή σε ακτινοβολία. Το μαγνητικό πεδίο δεν φαίνεται να είναι επικίνδυνο. Οι ραδιοσυχνότητες σε πολύ υψηλά επίπεδα μπορεί να διεγείρουν τα νεύρα και συνήθως προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού $< 1^{\circ}\text{C}$. Δεν ενδείκνυται για άτομα με μεταλλικά αντικείμενα στο σώμα τους, όπως πλάκες ή βίδες, καθώς και βηματοδότες. Πρέπει να αποφεύγεται κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης αλλά δεν έχει φανεί ότι είναι επικίνδυνη.	Ακατάλληλο για άτομα με μεταλλικές προσθήκες. Μερικοί ασθενείς αισθάνονται κλειστοφοβικά μέσα στο μηχάνημα και ενοχλούνται από τον δυνατό ήχο. Δεν είναι η πιο κατάλληλη για οστά. Τα συστήματα είναι ακριβά και η λίστες αναμονής πολύ μεγάλες (μη διαθέσιμο για επείγοντα περιστατικά.)
Υπερηχογράφημα	Μετρούμε την ένταση ή την συχνότητα των ηχητικών κυμάτων που ανακλούνται από διάφορους ιστούς μέσα στο σώμα. Ένα ζελέ εναποτίθεται στο δέρμα και ένας ηχοβολέας μεταδίδει και λαμβάνει ηχητικά κύματα.	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση διαφόρων οργάνων συμπεριλαμβανομένης της καρδιάς, μαστού (και βιοψίας του μαστού), συκωτιού, σπλήνας, νεφρών, ωοθηκών (μέσω του κόλπου) και ουροδόχου κύστης. Επίσης μπορεί να μετρήσει ροές στα αγγεία και στην καρδιά. Είναι πολύ σημαντική στους προγεννητικούς ελέγχους. Είναι ανώδυνη, ακίνδυνη και φτηνή μέθοδος. Παρέχει την δυνατότητα απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο.	Είναι ανώδυνη και ακίνδυνη. Δεν γίνεται έκθεση σε ακτινοβολία.	Απεικόνιση αδύνατη σε διεπαφές με οστά ή αέρα. Χρησιμοποιείται μόνο όπου υπάρχει συνέχεια μεταξύ μαλακών ιστών και υγρών. Ακατάλληλη μέθοδος για οστά.
Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (ΤΕΠ)	Μετρούμε τα φωτόνια (ακτίνες γ), που εκπέμπονται σε κατεύθυνση 180° ή μια από την άλλη, από την εξαύλωση ενός ποζιτρονίου (που εκπέμπεται από τον πυρήνα ενός ραδιονουκλεϊδίου) και ενός ηλεκτρονίου από τους γύρω ιστούς. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στην συγκέντρωση του ραδιονουκλεϊδίου στο κάθε σημείο.	Χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει βιοχημικές αλλαγές και μπορεί να ανιχνεύσει περιοχές με βιοχημικές ανωμαλίες, όπως π.χ. στον καρκίνο, νευρολογικές ασθένειες, εγκεφαλικά επεισόδια, επιληψία, όγκους στον εγκέφαλο, στα οστά και αλλού και εντοπισμό των λυμφογενών μεταστάσεων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη της κατανομής φαρμάκων, τη φαρμακοκινητική και τη φαρμακοδυναμική.	Στις περισσότερες περιπτώσεις η ραδιενέργεια στην οποία εκτίθεται ο οργανισμός είναι λιγότερη από αυτή που θα λάμβανε από το περιβάλλον μέσα σε δυο χρόνια. Μητέρες που θηλάζουν πρέπει να αποφύγουν εκτεταμένη επαφή με τα παιδιά τους για το υπόλοιπο της ημέρας.	Ψηλότερη ευκρίνεια από την ΤΜΦΕ αλλά χαμηλότερη από άλλες μεθόδους. Δεν διακρίνονται πολλές ανατομικές λεπτομέρειες. Έκθεση σε ραδιενέργεια (λιγότερη από την ΤΜΦΕ) Χρειάζεται επιταχυντής σωματιδίων.
Τομογραφία μονοφotonικής εκπομπής (ΤΜΦΕ)	Μετρούμε τα φωτόνια (ακτίνες γ), που εκπέμπονται προς την κατεύθυνση μιας ειδική κάμερας από τα ραδιονουκλεϊδια. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στην συγκέντρωση του ραδιονουκλεϊδίου στο κάθε σημείο.	Χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει βιοχημικές αλλαγές και μπορεί να ανιχνεύσει περιοχές με βιοχημικές ανωμαλίες. Χρησιμοποιείται συνήθως για να βοηθήσει στη διάγνωση και σταδιοποίηση του καρκίνου και των μεταστάσεων, εγκεφαλικού επεισοδίου, ασθένειας ήπατος, ασθένειας πνευμόνων, προβλημάτων στην αιμάτωση του μυοκαρδίου και ένας πλήθος άλλων λειτουργικών ανωμαλιών. Δεν χρειάζεται επιταχυντής σωματιδίων.	Στις περισσότερες περιπτώσεις η ραδιενέργεια στην οποία εκτίθεται ο οργανισμός είναι λιγότερη από αυτή που θα λάμβανε από το περιβάλλον μέσα σε δυο χρόνια. Μητέρες που θηλάζουν πρέπει να αποφύγουν εκτεταμένη επαφή με τα παιδιά τους για το υπόλοιπο της ημέρας.	Χαμηλότερη από άλλες μεθόδους. Δεν διακρίνονται πολλές ανατομικές λεπτομέρειες. Έκθεση σε ραδιενέργεια.

Περίληψη Χρήσης των Απεικονιστικών Μεθόδων

	Θώρακας	Κοιλιακή Χώρα	Κρανίο	Κυκλοφοριακό	Σκελετός/Μύες	Τιμή (Συσκευής Τεστ)
Ακτινογραφία	+ ευρέως σε όλα τα όργανα	+ μόνο με σκιαγραφικό υλικό	+ μόνο στα οστά	+ ευρέως, μόνο με σκιαγραφικό υλικό	+ ευρέως στα οστά	10-50K 25-100
Αξονική Τομογραφία	+ εξαιρετική σε όλα τα όργανα	+ εξαιρετική σε όλα τα όργανα	+ τραυματισμοί, αιμορραγίες	+ ευρέως, μόνο με σκιαγραφικό υλικό	+ ευρέως	300K 300-500
Μαγνητική Τομογραφία	+ αυξανόμενη εφαρμογή στην καρδιολογία	- περιορισμένη χρήση	+ η προτιμώμενη μέθοδος!	+ αυξανόμενη εφαρμογή	+ εξαιρετική στους μύες	2M 600-800
Υπέρηχοι	- καθόλου στους πνευμονες + μόνο στην καρδιολογία	+ σπλήνα, συκώτι, νεφροί - αέρας στα έντερα προκαλεί προβλήματα	- καθόλου	+ μη επεμβατικοί, πραγματικού χρόνου φθινοί - χαμηλότερη ποιότητα εικόνας	- καθόλου	1-5K 50-250
Πυρηνική Ιατρική	+ εφαρμογή στην καρδιολογία	+ καρκίνος, μεταστάσεις	+ ΤΕΠ	+ λειτουργία και αιμάτωση	+ λειτουργία του μυελού των οστών, καρκίνος	100K-2M 300-1500

