

Μπατάκης Νικόλαος Δεληκανάκης Νικόλαος

ΝΕΩΤΕΡΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ



Ειδικότητα:
Βοηθών
Ακτινολογικών
Εργαστηρίων

Γ' ΕΠΑ.Λ.

ΤΟΜΕΑΣ ΥΓΕΙΑΣ - ΠΡΟΝΟΙΑΣ - ΕΥΕΞΙΑΣ

**ΝΕΩΤΕΡΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ**



Οι συγγραφείς θέλουν να ευχαριστήσουν τις εταιρίες General Electric, Philips και Siemens για την ευγενική παραχώρηση φωτογραφικού υλικού καθώς και τον τεχνολόγο – ακτινολόγο Θαναασούλα Κώστα για τη βοήθειά του. Θέλουν ακόμα να ευχαριστήσουν τη φιλόλογο Παπαμαχάλη Ισιδώρα για την φιλολογική επιμέλεια του κειμένου καθώς και την επιτροπή κρίσης και τους υπεύθυνους του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου για τη συνεργασία τους σε όλη τη διάρκεια της συγγραφής του βιβλίου.

ΑΤΕΛΙΕ:
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ ΕΠΕ

Με απόφαση της ελληνικής κυβέρνησης τα διδακτικά βιβλία Δημοτικού, Γυμνασίου, Λυκείου και Τ.Ε.Ε. τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Μπατάκης Νικόλαος Δεληκανάκης Νικόλαος

ΝΕΩΤΕΡΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

2ος Κύκλος

Ειδικότητα: Βοηθών Ακτινολογικών Εργαστηρίων



ΤΟΜΕΑΣ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

ΑΘΗΝΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Μπατάκης Νικόλαος, Ιατρός Ακτινολόγος, Διευθυντής ΕΣΥ
Δελφρανάκης Νικόλαος, Τεχνολόγος Ακτινολόγος, M.Sc.

ΚΡΙΤΕΣ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

Δημακοπούλου Βασιλική, Ιατρός, Τεχνολόγος Ακτινολόγος
Παπαηλιού Ιωάννης, Ιατρός Ακτινολόγος, Διευθυντής ΕΣΥ
Ταμπάκη Ευγενία, Εκπαιδευτικός ΠΕ 18 Ραδιολογίας - Ακτινολογίας

Μενεγάκης Γεώργιος, Οδοντίατρος Εκπαιδευτικός ΠΕ14, MSc, Βιολογικών
υπεύθυνος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ

Παπαϊωάννου Πηνελόπη, Φιλολόγος, αποσπασμένη στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

Ματίνα Στάππα

Πάρεδρος ε.θ. του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	13
1.1 Εισαγωγή	14
1.2 Αρχή λειτουργίας.....	15
1.2.1 Δημιουργία της εικόνας	15
1.2.2 Η κλίμακα του Hounsfield	16
1.2.3 Εξέλιξη της ΥΤ	16
1.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ΥΤ	18
1.3 Βασικά μέρη Υπολογιστικού Τομογράφου	19
1.3.1 Σκελετός (Gantry) και εξεταστικό τραπέζι	19
1.3.2 Γεννήτρια	20
1.3.3 Υπολογιστής.....	20
1.3.4 Κονσόλα χειρισμού και επεξεργασίας	21
1.3.5 Συστήματα καταγραφής και φωτογράφισης	21
1.4 Τεχνικές παράμετροι της εξέτασης	21
1.4.1 Τοπογράφημα	21
1.4.2 Πάχος τομής (Slice thickness)	22
1.4.3 Βήμα τραπεζιού και βήμα σάρωσης	22
1.4.4 Πεδίο απεικόνισης	23
1.4.5 Αλγόριθμος ανασύνθεσης	23
1.4.6 Σκιαγραφικά μέσα	24
1.4.7 Παράθυρο	24
1.4.8 Ψευδενδείξεις (Artifacts).....	25
1.5 Πρωτόκολλα εξετάσεων	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	31
2.1 Εισαγωγή	32
2.2 ΥΤ Εγκεφάλου.....	32
2.3 ΥΤ Βάσης κρανίου	33
2.4 ΥΤ Σπλαχνικού κρανίου.....	34

2.5	ΥΤ Υπόφυσης	35
2.6	ΥΤ Κόγχων	35
2.7	ΥΤ Τραχήλου	36
2.8	ΥΤ Θώρακα – Μεσοθωρακίου	37
2.9	ΥΤ Άνω και κάτω κοιλίας	39
2.10	ΥΤ Άνω και κάτω άκρων	40
2.11	ΥΤ Σπονδυλικής στήλης	41
2.12	Αγγειογραφία ΥΤ (computed Tomography Angiography – CTA)	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ		47
3.1	Εισαγωγή	48
3.2	Μαγνητικές ιδιότητες του ανθρώπινου σώματος	48
3.3	Συχνότητα Larmor	50
3.4	Το βασικό πείραμα μαγνητικού συντονισμού	50
3.4.1	Παλμοί ραδιοσυχνότητας	50
3.4.2	Χαλάρωση – Χρόνοι χαλάρωσης	51
3.4.3	Το σήμα ελεύθερης απόσβεσης επαγωγής (F.I.D.)	53
3.5	Αλληλουχίες παλμών	54
3.5.1	Ανάκτηση Αναστροφής – (Inversion Recovery - IR)	54
3.5.2	Ηχώ spin (Spin Echo - SE)	55
3.6	Σχηματισμός εικόνας	56
3.7	Τεχνικές ταχείας απεικόνισης	57
3.8	Σκιαγραφικά	57
3.9	Ψευδενδείξεις (Artefacts)	57
3.9.1	Ψευδενδείξεις λόγω παρουσίας λίπους	57
3.9.2	Ψευδενδείξεις δειγματοληψίας (Aliasing-Wrap around)	58
3.9.3	Ψευδενδείξεις εισόδου στην τομή (Entry slice)	58
3.9.4	Ψευδενδείξεις ξένου σώματος	59
3.10	Βασικά μέρη μαγνητικού τομογράφου	59
3.10.1	Ο μαγνήτης	59
3.10.2	Πηνία	60
3.11	Ασφάλεια	62
3.12	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Μαγνητικής Τομογραφίας	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ MRI		67
4.1	Εισαγωγή	68
4.2	Εφαρμογές MRI στον εγκέφαλο	68

4.3	Εφαρμογές MRI στη σπονδυλική στήλη.....	70
4.4	Εφαρμογές MRI στο μυοσκελετικό σύστημα	71
4.5	Εφαρμογές MRI στην καρδιά	73
4.6	Αγγειογραφία μαγνητικού συντονισμού.....	75
4.7	Εφαρμογές MRI για την κοιλιά.....	76
4.8	Μελέτη των μαστών με MRI	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΤΕΦΑΝΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		81
5.1	Εισαγωγή	82
5.2	Υλικά που χρησιμοποιούνται	82
5.2.1	Καθετήρες	82
5.2.2	Μικροκαθετήρες	83
5.2.3	Βελόνες.....	84
5.2.4	Θηκάρια	84
5.2.5	Σύρματα – οδηγοί	84
5.3	Διαδικασία	86
5.3.1	Αρτηριακή παρακέντηση	86
5.3.2	Σκιαγραφικά μέσα	87
5.3.3	Εργασία σε αποστειρωμένο περιβάλλον	87
5.4	Σύστημα κινηματοακτινοσκόπησης	89
5.4.1	Ακτινολογική λυχνία και γεννήτρια	89
5.4.2	Ενισχυτής εικόνας.....	89
5.4.3	Βραχίονας	89
5.4.4	Ακτινολογική τράπεζα	90
5.4.5	Video camera και οθόνη.....	90
5.4.6	Cine camera	90
5.4.7	Σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης	91
5.5	Τεχνική στεφανιογραφίας	91
5.5.1	Αριστερός καρδιακός καθετηριασμός	91
5.5.2	Προβολές στεφανιαίων αρτηριών	92
5.5.3	Διαγνωστική αξία και ενδείξεις	93
5.5.4	Επιπλοκές.....	94
5.6	Άλλες εφαρμογές.....	94
5.6.1	Κοιλιογραφία.....	94
5.6.2	Δεξιός καρδιακός καθετηριασμός	95
5.6.3	Αγγειογραφία πνευμονικών αρτηριών	95
5.6.4	Αγγειοπλαστική.....	96

5.6.5	Αθηροεκτομή	97
5.6.6	Βαλβιδοπλαστική.....	97
5.6.7	Τοποθέτηση βηματοδότη	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΓΓΕΙΟΓΡΑΦΙΑ		101
6.1	Εισαγωγή	102
6.2	Ψηφιακή αγγειογραφία	102
6.2.1	Σχηματισμός ψηφιακής εικόνας	102
6.2.2	Τεχνική ψηφιακής αφαίρεσης	103
6.2.3	Δυνατότητες επεξεργασίας	104
6.3	Εξοπλισμός εργαστηρίου	107
6.3.1	Κονσόλα ελέγχου	107
6.3.2	Σύστημα καταγραφής	108
6.3.3	Αυτόματος εγχυτής	108
6.4	Διαγνωστικές εφαρμογές	109
6.4.1	Αγγειογραφία εγκεφάλου	109
6.4.2	Αγγειογραφία κοιλιακής αορτής.....	110
6.4.3	Αγγειογραφία νεφρικών αρτηριών.....	110
6.4.4	Αγγειογραφία περιφερειακών αγγείων	111
6.5	Θεραπευτικές εφαρμογές.....	111
6.5.1	Αγγειοπλαστική	112
6.5.2	Ενδοαυλικές ενδοπροσθέσεις (stents)	112
6.5.3	Θρομβόλυση.....	113
6.5.4	Αρτηριακός εμβολισμός	113
6.5.5	Χημειοεμβολισμός.....	113
6.6	Φροντίδα του εξεταζόμενου.....	113
6.7	Ακτινοπροστασία στα επεμβατικά εργαστήρια	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ		119
7.1	Εισαγωγή	120
7.2	Ραδιοφάρμακα	120
7.3	γ- κάμερα	122
7.3.1	Ανιχνευτής	124
7.3.2	Κατευθυντήρας	124
7.3.3	Φωτοπολλαπλασιαστές	125
7.3.4	Ηλεκτρονικό κύκλωμα καταγραφής	125
7.4	Τομογραφικά συστήματα πυρηνικής ιατρικής	126

7.4.1 Τομογραφία εκπομπής φωτονίων (SPECT)	126
7.4.2 Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET)	126
7.5 Εργαστήριο πυρηνικής ιατρικής	127
7.6 Εφαρμογές απεικόνισης με εκπομπή φωτονίων	128
7.6.1 Σπινθηρογράφημα οστών	128
7.6.2 Σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς	129
7.6.3 Σπινθηρογράφημα αιμάτοξης και αερισμού των πνευμόνων	130
7.6.4 Σπινθηρογράφημα αιμάτοξης μυοκαρδίου	131
7.6.5 Κοιλιογραφία	132
7.6.6 Σπινθηρογράφημα νεφρών	132
7.7 Εφαρμογές απεικόνισης με εκπομπή ποζιτρονίων	133
7.7.1 Ογκολογικές εφαρμογές	134
7.7.2 Καρδιολογικές εφαρμογές	134
7.7.3 Νευρολογικές εφαρμογές	134
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ	139
8.1 Αντικείμενο και σημασία της μαστογραφίας	140
8.2 Αρχή λειτουργίας	140
8.3 Χαρακτηριστικά συστήματος μαστογραφίας	141
8.3.1 Γεννήτρια και λυχνία ακτίνων Χ	141
8.3.2 Σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης	142
8.3.3 Σύστημα ενισχυτικών πινακίδων – φίλμ	142
8.3.4 Αντιδιαχτυτικό διάφραγμα	142
8.3.5 Σύστημα συμπίεσης μαστού	143
8.4 Τεχνική της εξέτασης	143
8.4.1 Συμπίεση μαστού	143
8.4.2 Βασικές προβολές	143
8.4.3 Συμπληρωματικές προβολές	144
8.5 Ειδικές τεχνικές	146
8.5.1 Γάλακτογραφία	146
8.5.2 Κατευθυνόμενη βιοψία	147
8.5.3 Ανίχνευση με τη βοήθεια υπολογιστή	148
8.6 Ψηφιακή μαστογραφία	149
8.7 Φροντίδα εξεταζόμενης	149
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ	153
9.1 Εισαγωγή	154

9.2	Αρχές λειτουργίας	154
9.2.1	Φυσικά χαρακτηριστικά υπερήχων	154
9.2.2	Αλληλεπίδραση των υπερήχων με τους ιστούς	155
9.3	Χρήση των υπερήχων στην απεικόνιση	156
9.3.1	Παραγωγή και ανίχνευση των υπερήχων	156
9.3.2	Υπολογισμός του σημείου προέλευσης του σήματος	156
9.3.3	Μέθοδοι απεικόνισης	157
9.4	Χαρακτηριστικά υπερηχοτομογράφου	159
9.5	Διαγνωστικές εφαρμογές των υπερήχων	160
9.5.1	Υπερηχογράφημα κοιλιάς	160
9.5.2	Μαιευτικός υπέρηχος	161
9.5.3	Υπερηχογράφημα αγγείων	161
9.5.4	Υπερηχογράφημα καρδιάς	162
9.6	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου	163
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΣΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ		167
10.1	Εισαγωγή	168
10.2	Η μέθοδος απορρόφησης διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων -X (Dual Energy X- Ray Absorptiometry - DEXA)	168
10.2.1	Αρχή της μεθόδου	168
10.2.2	Συστήματα DEXA	169
10.3	Εκτίμηση του βαθμού οστεοπόρωσης	170
10.4	Εφαρμογές της μεθόδου DEXA	171
10.4.1	Μέτρηση ισχίου	171
10.4.2	Μέτρηση σπονδυλικής στήλης	172
10.4.3	Μέτρηση αντιβραχίου	172
10.4.4	Ολόσωμη μέτρηση	173
10.5	Άλλες μέθοδοι μέτρησης οστικής πυκνότητας	173
10.5.1	Μέτρηση με χρήση ακτινογραφίας	173
10.5.2	Ποσοτική υπολογιστική τομογραφία	174
10.5.3	Μέτρηση με χρήση υπερήχων	174
ΓΛΩΣΣΑΡΙ		177
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		181

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από τα τέλη του 19ου αιώνα, όταν και έγινε η ανακάλυψη των ακτίνων - Χ και για πολλές δεκαετίες, η απεικόνιση της εσωτερικής δομής του ανθρώπινου σώματος για διαγνωστικούς σκοπούς βασιζονταν αποκλειστικά στη λήψη ακτινολογικών προβολών σε ένα επίπεδο. Χρειάστηκε να περάσουν πολλές δεκαετίες μέχρι να αναπτυχθούν νέες τεχνικές, αλλά από τη στιγμή που αυτό επιτεύχθηκε και απέδειξε την κλινική σημασία που μπορεί να έχει, η ανάπτυξη του κλάδου ήταν και συνεχίζει να είναι ραγδαία. Οι νέες τεχνικές εφαρμόσαν διάφορες φυσικές αρχές και φαινόμενα και δεν περιορίστηκαν μόνο στη χρήση ακτινοβολίας. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξή τους έπαιξε η αλματώδης εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, οι οποίοι έχουν γίνει βασικό τμήμα των περισσότερων σύγχρονων μηχανημάτων ιατρικής απεικόνισης.

Η πρόοδος αυτή, εκτός από την αύξηση των διαγνωστικών δυνατοτήτων, δημιούργησε και την ανάγκη υψηλής κατάρτισης όλων των επαγγελματιών του χώρου. Σήμερα, ο χειριστής των απεικονιστικών συσκευών χρειάζεται να έχει καλή γνώση των βασικών αρχών που εφαρμόζονται αλλά και διάθεση για διαρκή ενημέρωση πάνω στις εξελίξεις της τεχνολογίας.

Το βιβλίο αυτό αποτελεί μια βασική προσέγγιση στις πιο σημαντικές από τις σύγχρονες τεχνικές απεικόνισης. Παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας και οι εφαρμογές της υπολογιστικής τομογραφίας, της μαγνητικής τομογραφίας, της στεφανιογραφίας, της ψηφιακής αγγειογραφίας, της απεικόνισης με ραδιοϊσότοπα, της μαστογραφίας, της απεικόνισης υπερήχων και της μέτρησης οστικής πυκνότητας. Όλες αυτές οι τεχνικές είναι πια καταξιωμένες στην καθημερινή κλινική πρακτική και έχουν πίσω τους ένα πλούσιο απόθεμα γνώσεων πάνω στον τρόπο λειτουργίας τους και στις εφαρμογές τους. Από όλον αυτόν τον τεράστιο όγκο γνώσεων, προσπαθήσαμε να συλλέξουμε αυτές που θα δώσουν στο μαθητή μια σφαιρική εικόνα για τη σύγχρονη πρακτική και την κατεύθυνση των εξελίξεων στις μεθόδους αυτές, ελπίζοντας ότι θα αποτελέσουν τη βάση αλλά και την προτροπή για μια μελλοντική βαθύτερη γνωριμία με όσες από αυτές κληθεί στο μέλλον να εφαρμόσει.

Οι συγγραφείς

1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

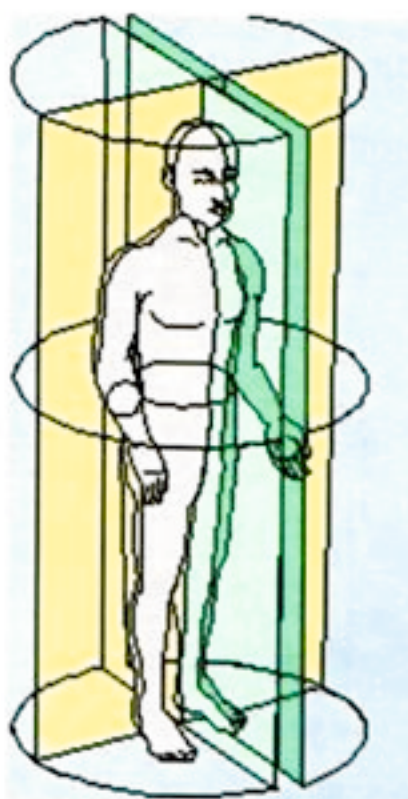
Σκοπός του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των βασικών αρχών και της τεχνικής της υπολογιστικής τομογραφίας. Μέσα από το κεφάλαιο αυτό ο μαθητής θα γνωρίσει

- τη βασική αρχή λειτουργίας και την εξέλιξη των συστημάτων υπολογιστικής τομογραφίας,
- την αξία αλλά και τα μειονεκτήματα της μεθόδου σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους απεικόνισης,
- τα τμήματα που συγκροτούν έναν υπολογιστικό τομογράφο και το ρόλο καθενός από αυτά,
- τα στάδια εκτέλεσης μιας εξέτασης,
- τις τεχνικές παραμέτρους της εξέτασης και πώς επηρεάζουν το αποτέλεσμα της,
- τη σημασία εφαρμογής συγκεκριμένων πρωτοκόλλων.

1.1 Εισαγωγή

Η υπολογιστική τομογραφία (ΥΤ) αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και αποτέλεσε ένα τεράστιο άλμα στην εξέλιξη της ιατρικής απεικόνισης, όχι μόνο για τις νέες δυνατότητες που έδωσε, αλλά και γιατί αποτέλεσε την αφετηρία για την ανάπτυξη πολλών απεικονιστικών τεχνικών που χρησιμοποίησαν τη δική της φιλοσοφία. Απόδειξη της σημασίας της είναι το γεγονός ότι οι δυο επιστήμονες που πρωτοστάτησαν στην ανακάλυψή της, ο Άγγλος Godfrey Hounsfield και ο Αμερικανός Alan Cormack, τιμήθηκαν το 1979 με το βραβείο Nobel Ιατρικής και Φυσιολογίας.

Η αξονική τομογραφία εφάρμοσε δυο σημαντικές καινοτομίες σε σύγκριση με τις μέχρι τότε απεικονιστικές τεχνικές. Πρώτον, απεικονίζει αξονικές (εγκάρσιες) τομές του εξεταζόμενου, χαρακτηριστικό που τις έδωσε το όνομα αξονική τομογραφία (Στο σχήμα 1.1 βλέπουμε ποιο επίπεδο ορίζουμε ως «εγκάρσιο» στο ανθρώπινο σώμα). Δεύτερον, χρησιμοποιεί ηλεκτρονικό υπολογιστή για να μετασχηματίζει τα δεδομένα που παίρνει από την ακτινοβολία του εξεταζόμενου σε εικόνα. Από το χαρακτηριστικό αυτό πήρε και τη δεύτερη ονομασία της, «υπολογιστική τομογραφία» (computed tomography - CT).



Σχήμα 1.1

Τα τρία επίπεδα: Εγκάρσιο (κίτρινο) – Οβελιαίο (Πρόσθια επιφάνεια) – Στεφανιαίο (Κίτρινη επιφάνεια)

1.2 Αρχές λειτουργίας ΥΤ

1.2.1 Δημιουργία της εικόνας

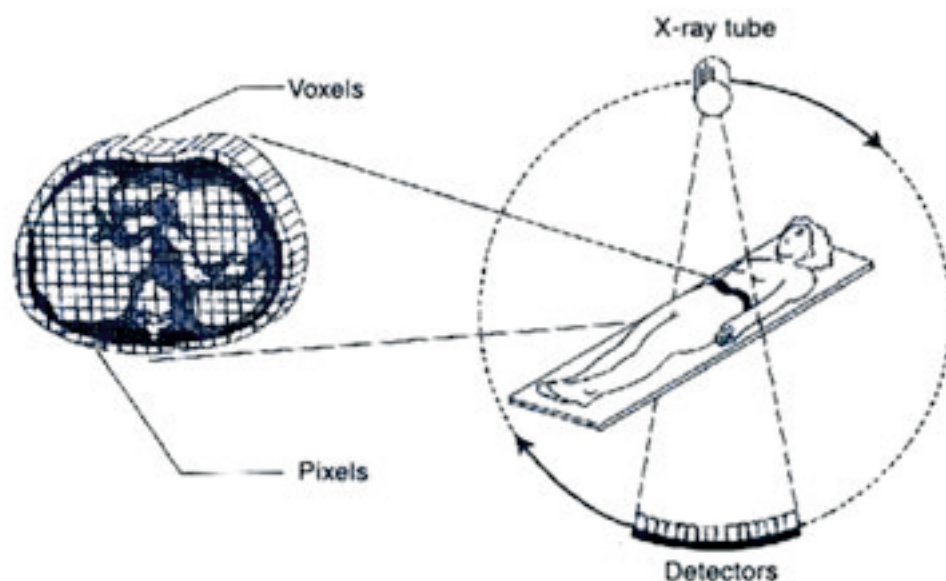
Η πραγματοποίηση μιας εξέτασης υπολογιστικής τομογραφίας είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει δυο βασικά στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η λήψη πολλών ακτινολογικών προβολών υπό διαφορετική γωνία ως προς τον άξονα του εξεταζόμενου. Οι προβολές αυτές γίνονται σε ένα περιορισμένο εγκάρσιο τμήμα του σώματος (Σχήμα 1.2). Η ακτινοβολία δεν δημιουργεί άμεσα την εικόνα, αλλά καταγράφεται από ανιχνευτές που βρίσκονται απέναντι από τη λυχνία. Ανάλογα με την ένταση της ακτινοβολίας που καταγράφουν, οι ανιχνευτές στέλνουν στον υπολογιστή του συστήματος ένα ηλεκτρικό σήμα αντίστοιχης έντασης, το οποίο καταγράφεται στη μνήμη του με μορφή ακέραιου αριθμού. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ψηφιοποίηση των δεδομένων.



Σχήμα 1.2

Η λυχνία περιστρέφεται γύρω από τον εξεταζόμενο

Το δεύτερο στάδιο γίνεται από έναν υπολογιστή, ο οποίος χρησιμοποιεί τα δεδομένα που παίρνει από τους ανιχνευτές και εφαρμόζει μια μαθηματική διαδικασία, που ονομάζεται αλγόριθμος ανασύνθεσης και με την οποία υπολογίζει πόσο πολύ απορροφήθηκε η ακτινοβολία σε κάθε τμήμα του σώματος. Με βάση αυτά τα δεδομένα φτιάχνει ένα είδος ψηφιακού «χάρτη» της τομής, την οποία διαιρεί σε μικρούς όγκους (volume elements ή voxels) και στο καθένα αντιστοιχεί κάποια τιμή που εκφράζει το συντελεστή απορρόφησης του συγκεκριμένου τμήματος. Ο χάρτης αυτός αποτελεί μια διδιάστατη προβολή της τομής, και οι τιμές των voxel σχηματίζουν έναν πίνακα που, αν απεικονιστεί γραφικά αντιστοιχίζοντας τις τιμές με αποχρώσεις του γκρι (από το άσπρο ως το μαύρο), δίνει την εικόνα του εσωτερικού της τομής. Κάθε τετραγωνάκι αυτής της εικόνας που αντιστοιχεί και σε κάθε voxel ονομάζεται pixel (picture element δηλαδή «στοιχείο εικόνας») (Εικόνα 1.3).



Σχήμα 1.3

Μετατροπή των δεδομένων από τη ληχνία σε τιμές των pixels

1.2.2 Η κλίμακα του Hounsfield

Όπως είδαμε, η τιμή που παίρνει κάθε pixel εξαρτάται από το συντελεστή απορρόφησης της αντίστοιχης περιοχής. Ο συντελεστής απορρόφησης, εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό του υλικού που απορροφά την ακτινοβολία αλλά και από την ενέργεια της ακτινοβολίας, άρα αλλάζει όταν αλλάζουμε το kVp. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται μια συμβατική κλίμακα, που ονομάζεται κλίμακα Hounsfield και στην οποία η απορρόφηση μετρείται σε μονάδες Hounsfield (Hounsfield units – HU). Ο ορισμός των τιμών γίνεται δίνοντας στον αέρα την τιμή -1000 και στο νερό την τιμή 0 . Με βάση αυτές τις τιμές υπολογίζονται και οι υπόλοιπες τιμές σε HU που αντιστοιχούν σε κάθε ιστό. Με τον τρόπο αυτό, η τιμή που δείχνει την ικανότητα απορρόφησης του κάθε ιστού δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την αλλαγή παραμέτρων στην εξέταση, ή ακόμα κι από μηχάνημα σε μηχάνημα. Η τιμή HU για τα οστά είναι περίπου 1000 , ενώ τα σύγχρονα συστήματα υπολογίζουν ένα εύρος τιμών μέχρι 4000 μονάδες. Στον πίνακα 1.1 βλέπουμε μερικές τυπικές τιμές που παίρνουν κάποια βασικά είδη ιστών στην κλίμακα Hounsfield.

1.2.3 Εξέλιξη της ΥΤ

Αρχικά και για πολλά χρόνια οι τομογράφοι ολοκλήρωναν μια πλήρη περιστροφή συλλέγοντας τα δεδομένα για μια τομή και στη συνέχεια ο εξεταζόμενος μετακινούνταν για να ληφθούν τα δεδομένα για την επόμενη τομή (Σχήμα 1.4). Η εξέλιξη στο σχεδιασμό των συστημάτων αφορούσε τη διάταξη της ληχνίας και των ανιχνευτών καθώς και τον τρόπο κίνησής τους. Η διάταξη που κατάφερε να λύσει σημαντικά προβλήματα και να καθιερωθεί την υπο-

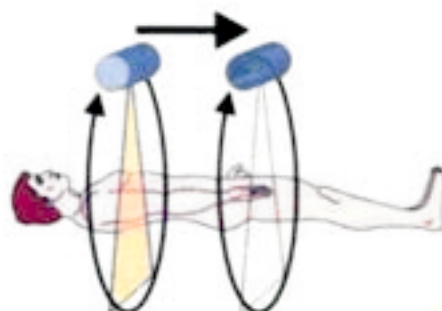
Ιστός	Τιμή HU
Οστό	1000
Ήπαρ	40-60
Λευκή ουσία εγκεφάλου	46
Φαία ουσία εγκεφάλου	43
Αίμα	40
Μύες	10-40
Νεφρά	30
Εγκεφαλονωτιαίο υγρό	15
Νερό	0
Λίπος	(-50) – (-100)
Αέρας	-1000

Πίνακας 1.1

Τυπικές τιμές HU για διάφορα είδη ιστών

λογιστική τομογραφία στην κλινική πρακτική ήταν με τη λυχνία να περιστρέφεται συγχρόνως με μια σειρά ανιχνευτών τοποθετημένων απέναντί της (Υπολογιστικοί τομογράφοι 3ης γενιάς). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η διάταξη με τη λυχνία να περιστρέφεται μέσα σε ένα σταθερό δακτύλιο από ανιχνευτές (τομογράφοι 4ης γενιάς) αλλά η βελτίωση δεν υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική.

Η επόμενη σημαντική εξέλιξη ήταν η ανάπτυξη της ελικοειδούς υπολογιστικής τομογραφίας (Spiral ή Helical CT). Η βασική διαφορά είναι ότι η λυχνία περιστρέφεται συνεχώς και ταυτόχρονα το τραπέζι με τον εξεταζόμενο κινείται και αυτό. Το αποτέλεσμα από αυτό το συνδυασμό των ταυτόχρονων κινήσεων είναι ότι η λυχνία εκτελεί ελικοειδή κίνηση ως προς το σώμα του εξεταζόμενου (Σχήμα 1.5). Με τη μέθοδο αυτή έχουμε δυο σημαντικά πλεονεκτήματα. Πρώτον, η διάρκεια της εξέτασης μειώνεται εντυπωσιακά. Δεύτερον, τα δεδομένα που παίρνει ο υπολογιστής καλύπτουν συνεχόμενα όλο το μήκος της περιοχής που εξετάζεται και όχι κατά τομές. Οι τομές δημιουργούνται συμβατικά κατά την ανασύνθεση και πλέον υπάρχει

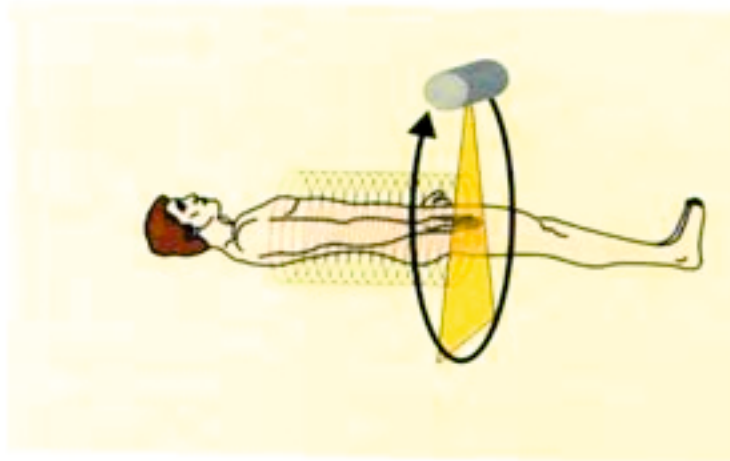


Σχήμα 1.4

Λήψη τομών κατά βήματα

η δυνατότητα να γίνει ανασύνθεση και σε άλλα επίπεδα εκτός από το εγκάρσιο. Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα να γίνει τριοδιάστατη ανασύνθεση, αν το σύστημα έχει κατάλληλο εξελιγμένο λογισμικό.

Η τελευταία εξέλιξη στους αξονικούς τομογράφους είναι η ανάπτυξη ελικοειδών τομογράφων πολλαπλών τομών (multi-slice spiral CT). Η διαφορά σε αυτούς, είναι ότι υπάρχουν περισσότερες από μια σειρές ανιχνευτών απέναντι από τη λυχνία, γεγονός που επιταχύνει ακόμα περισσότερο τη σάρωση της εξεταζόμενης περιοχής.



Σχήμα 1.5
Ελικοειδής ΥΤ : Συνεχής σάρωση του σώματος

1.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ΥΤ

Η υπολογιστική τομογραφία έχει πολλά πλεονεκτήματα και γι' αυτό έχει αναπτυχθεί και καθιερωθεί στην καθημερινή κλινική πρακτική. Βασικότερα πλεονεκτήματα είναι ότι είναι μη επεμβατική τεχνική που μπορεί να απεικονίσει σύνθετες εσωτερικές δομές του σώματος, δεν έχει αντενδείξεις και - ειδικά με τα σύγχρονα μηχανήματα - δεν είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Επίσης έχει μεγάλες δυνατότητες στον διαχωρισμό τόσο των περιοχών που έχουν μικρή διαφορά στην εξασθένιση της ακτινοβολίας όσο και των μικρών σε μέγεθος δομών. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί και η πλούσια εμπειρία που έχει συσσωρευτεί τα τελευταία χρόνια σχετικά με τη σωστή τεχνική της εξέτασης και την αξιολόγηση των εικόνων.

Σημαντικότερο μειονέκτημά της είναι η μεγάλη δόση ακτινοβολίας για τον εξεταζόμενο, γεγονός που επιβάλλει τον περιορισμό στη χρήση της και την ανάγκη για απόλυτη τεκμηρίωση της χρησιμότητάς της. Επίσης, επειδή βασίζεται αποκλειστικά στην απορρόφηση της ακτινοβολίας, δεν είναι δυνατό να απεικονίσει διαφορετικές δομές που απορροφούν την ακτινοβολία σε ίδιο βαθμό.

1.3 Βασικά μέρη Υπολογιστικού Τομογράφου

1.3.1 Σκελετός (Gantry) και εξεταστικό τραπέζι

Είναι τα μέρη του συστήματος που βρίσκονται μέσα στο χώρο εξέτασης. Ο σκελετός του τομογράφου, ο οποίος αναφέρεται συνήθως με την αγγλική του ονομασία Gantry, είναι ουσιαστικά ένα πλαίσιο που συγκρατεί όλα τα βασικά τμήματα παραγωγής και καταγραφής της ακτινοβολίας. Στο κέντρο του βρίσκεται ένα κυκλικό άνοιγμα μέσα από το οποίο μετακινείται ένα τραπέζι από ακτινοδιαπερατό υλικό, στο οποίο τοποθετείται ο εξεταζόμενος (εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1

Σκελετός και εξεταστικό τραπέζι συστήματος ΥΤ

Μέσα στο σκελετό (gantry) περιλαμβάνονται η ακτινολογική λυχνία, οι κατευθυντήρες, οι ανιχνευτές, το σύστημα απόκτησης δεδομένων καθώς και τα απαραίτητα ηλεκτρονικά, ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά εξαρτήματα για την παροχή ρεύματος, την κίνηση της λυχνίας και την αποστολή των δεδομένων. Επίσης υπάρχει σύστημα εκπομπής ακτίνας laser για την επικέντρωση. Ο σκελετός (gantry) έχει τη δυνατότητα να πάρει κλίση και προς τις δυο κατευθύνσεις ως προς το τραπέζι (συνήθως μέχρι 30ο ουραία ή κεφαλική).

Η λυχνία

Η λυχνία του υπολογιστικού τομογράφου, δεν διαφέρει στην αρχή λειτουργίας της από μια κλασική ακτινολογική λυχνία. Η μόνη ιδιαιτερότητα είναι ότι πρέπει να έχει μεγάλη αντοχή στη θερμότητα και δυνατότητα γρήγορης απαγωγής της, επειδή δέχεται μεγάλο φορτίο (υψηλές τιμές mA και kVp) σε μικρό χρόνο και για μεγάλη διάρκεια. Οι απαιτήσεις αυτές, αυξήθηκαν ιδιαίτερα με την ανάπτυξη των ελικοειδών τομογράφων, καθώς δεν υπάρχει χρονικό κενό μεταξύ της λήψης των τομών, που να επιτρέπει την ψύξη της λυχνίας.

Κατευθυντήρες (Collimators)

Υπάρχουν δυο ομάδες κατευθυντήρων. Αυτοί που βρίσκονται μεταξύ της λυχνίας και του

εξεταζόμενου περιορίζουν το πεδίο που ακτινοβολείται στα επιθυμητά όρια. Αυτοί που βρίσκονται μεταξύ του σώματος και των ανιχνευτών έχουν σκοπό να εμποδίσουν τη σχεδιαζόμενη ακτινοβολία να φτάσει στους ανιχνευτές, αφού αυτό θα υποβάθμιζε την αξιοπιστία των πληροφοριών που φτάνουν σε αυτούς.

Ανιχνευτές (Detectors)

Οι ανιχνευτές προσλαμβάνουν την ακτινοβολία που περνάει από το σώμα του εξεταζόμενου και στέλνουν ένα ηλεκτρικό σήμα με ένταση ανάλογη της ποσότητας της ακτινοβολίας που κατέγραψαν. Δυο είδη ανιχνευτών χρησιμοποιούνται κυρίως : οι ανιχνευτές στερεάς κατάστασης (solid state) και οι ανιχνευτές αερίων.

Σύστημα λήψης δεδομένων (Data Acquisition System – DAS)

Είναι το τμήμα του συστήματος όπου γίνεται η συλλογή των σημάτων που φθάνουν από τους ανιχνευτές και η μετατροπή τους σε αριθμούς που καταγράφονται από τον υπολογιστή.

Εξεταστικό τραπέζι (Couch)

Το εξεταστικό τραπέζι πάνω στο οποίο τοποθετείται ο εξεταζόμενος είναι φτιαγμένο από ακτινοδιαπερατό υλικό και έχει ειδική υποδοχή για να ακινητοποιεί το κεφάλι. Το τραπέζι κινείται οριζόντια κατά τη διάρκεια της εξέτασης μέσα από το άνοιγμα του σκελετού, ώστε να φέρει το υπό εξέταση τμήμα κάτω από τη λυχνία. Όταν δεν εκτελείται εξέταση, το τραπέζι μπορεί και να ανιψωθεί ή να χαμηλώσει για να διευκολύνει τη μετακίνηση από και προς αυτό. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνουμε στο μέγιστο βάρος που επιτρέπεται από τον κατασκευαστή να σηκώνει το τραπέζι, αφού το ακτινοδιαπερατό υλικό του δεν έχει απεριόριστη αντοχή και μπορεί να υποστεί σοβαρή ζημιά.

1.3.2 Γεννήτρια

Είναι η διάταξη που τροφοδοτεί τη λυχνία με το ρεύμα υψηλής τάσης που απαιτείται για την παραγωγή των ακτίνων X. Σε ορισμένους τομογράφους βρίσκεται κι αυτή μέσα στο σκελετό (gantry). Κι αυτή δεν παρουσιάζει σημαντικές ιδιαιτερότητες σε σχέση με τις γεννήτριες των κλασικών ακτινολογικών λυχνιών.

1.3.3 Υπολογιστής

Είναι ουσιαστικά το κεντρικό κομμάτι όλου του συστήματος. Όπως είδαμε, ο υπολογιστής είναι αυτός που σχηματίζει την εικόνα που παίρνουμε με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων τα οποία λαμβάνει από το σύστημα λήψης δεδομένων. Επιπλέον ελέγχει και κατευθύνει όλες τις λειτουργίες του συστήματος, όπως την κίνηση του τραπέζιου κατά τη διάρκεια της εξέτασης, το χρόνο και την ποσότητα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται κ.λπ. Η σημαντική επέκταση των δυνατοτήτων της υπολογιστικής τομογραφίας τα τελευταία χρόνια, συνδέεται στενά με την μεγάλη αύξηση της ταχύτητας και της αποθηκευτικής μνήμης των υπολογιστών.

1.3.4 Κονσόλα χειρισμού και επεξεργασίας

Είναι η σύνδεση μεταξύ του χρήστη και του υπολογιστή. Από το πληκτρολόγιο (ή- ανάλογα με την κονσόλα- την οθόνη αφής ή το ποντίκι) ο χειριστής μεταφέρει τις εντολές που ρυθμίζουν τις τεχνικές παραμέτρους της εξέτασης, ενώ στην οθόνη μπορεί να δει και να επεξεργαστεί τις εξετάσεις που έχουν γίνει. Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η παρουσία δεύτερης κονσόλας, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία των εξετάσεων χωρίς να διακόπτεται η ροή εργασίας.

1.3.5 Συστήματα καταγραφής και φωτογράφισης

Χρησιμοποιούνται για τη καταγραφή των εξετάσεων είτε σε ηλεκτρονικό μέσο καταγραφής (για το αρχείο του τμήματος) είτε σε φιλμ (hard copy) για τον εξεταζόμενο.

1.4 Τεχνικές παράμετροι της εξέτασης

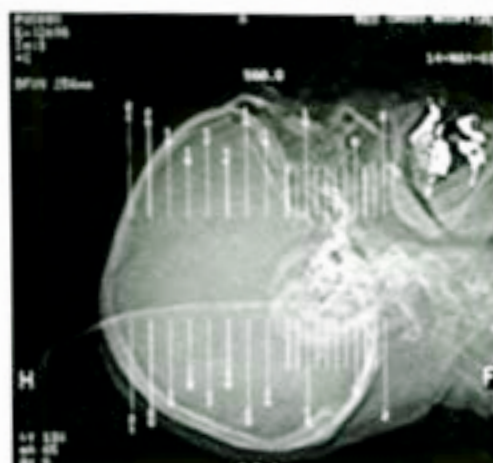
1.4.1 Τοπογράφημα

Το τοπογράφημα (αναφέρεται ως scanogram, topogram, scout ή pilot) αποτελεί το πρώτο βήμα της διαδικασίας της εξέτασης. Πρόκειται για μια πρώτη σάρωση της περιοχής που πρόκειται να εξεταστεί, χωρίς όμως να περιστρέφεται η λυχνία. Το αποτέλεσμα είναι μια ψηφιακή προβολή σε ένα επίπεδο (όπως μια ακτινογραφία), η οποία μπορεί να είναι προσθιοπίσθια ή πλάγια (εικόνας 1.2 και 1.3). Πάνω στην εικόνα αυτή ορίζονται τα όρια της περιοχής που θα εξεταστεί, το πάχος των τομών σε κάθε σημείο και η κλίση του σκελετού (gantry). Βασική προϋπόθεση, βέβαια, είναι ο εξεταζόμενος να μην μετακινηθεί καθόλου στο διάστημα μεταξύ της λήψης του τοπογραφήματος και της εξέτασης.



Εικόνα 1.2

Προσθιοπίσθιο τοπογράφημα κοιλίας

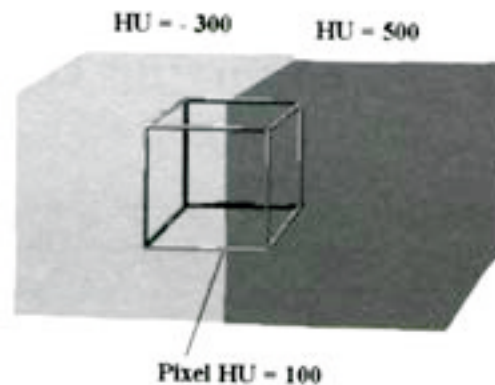


Εικόνα 1.3

Πλάγιο τοπογράφημα κρανίου

1.4.2 Πάχος τομής (Slice thickness)

Αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο που πρέπει να οριστεί γιατί επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της εξέτασης και λάθος επιλογή μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα. Για να καταλάβουμε τη σημασία του, ας φανταστούμε ένα voxel που αντιστοιχεί σε μια μικρή περιοχή του σώματος η οποία περιλαμβάνει δυο ιστούς με μεγάλη διαφορά στην απορρόφηση της ακτινοβολίας (σχήμα 1.6). Η τιμή HU που θα πάρει το αντίστοιχο pixel θα είναι μια τιμή ανάμεσα σε αυτές που χαρακτηρίζουν καθένα από τους δυο αυτούς ιστούς, άρα στην πραγματικότητα δεν θα αντιστοιχεί σε κανέναν από τους δυο. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «φαινόμενο μερικού όγκου» (partial volume effect). Αν το πάχος της τομής είναι μεγάλο σε σχέση με το μέγεθος των ανατομικών δομών ή των αλλοιώσεων που προσπαθούμε να εντοπίσουμε, τότε εξ αιτίας του φαινομένου αυτού μπορεί να χαθούν σημαντικές πληροφορίες.



Σχήμα 1.6

Φαινόμενο μερικού όγκου: Ένα voxel (και το αντίστοιχο pixel) που περιλαμβάνει δυο διαφορετικούς ιστούς παίρνει τιμή ανάμεσα στις τιμές HU των δυο ιστών

Από τα παραπάνω θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι όσο μικρότερο είναι το πάχος τομής τόσο καλύτερη η εξέταση. Όμως η μείωση του πάχους τομής έχει τίμημα, αφού αυξάνεται ο χρόνος εξέτασης και η δόση που παίρνει ο εξεταζόμενος. Γι' αυτό, το πάχος που πρέπει να επιλέγεται είναι το μεγαλύτερο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς σοβαρό κίνδυνο απώλειας σημαντικών πληροφοριών.

1.4.3 Βήμα τραπεζιού και βήμα σάρωσης

Βήμα τραπεζιού είναι η απόσταση στην οποία μετακινείται το τραπέζι μεταξύ της λήψης δυο διαδοχικών τομών. Αν το βήμα τραπεζιού είναι ίδιο με το πάχος τομής (που είναι και η πιο συνηθισμένη επιλογή), τότε οι τομές είναι συνεχείς, δηλαδή κάθε τομή ξεκινάει από εκεί που σταμάτησε η προηγούμενη. Αν επιλέξουμε μεγαλύτερο βήμα, τότε οι τομές θα έχουν κενό διάστημα μεταξύ τους, το οποίο δεν ελέγχεται. Με αυτόν τον τρόπο επιταχύνεται η εξέταση, αλλά

φυσικά μπορεί να μην εντοπίσουμε μικρές αλλοιώσεις, αν τύχει να βρεθούν μέσα σε αυτό το διάστημα. Αν το βήμα είναι μικρότερο από το πάχος τομής, τότε οι τομές επικαλύπτονται. Έτσι, μπορούμε να ελέγξουμε καλύτερα την περιοχή, αφού μειώνεται η επίπτωση του φαινομένου μερικού όγκου, αλλά αυξάνουμε το χρόνο εξέτασης και τη δόση στον ασθενή.

Στην ελικοειδή ΥΤ, το τραπέζι κινείται συνεχώς και έτσι δεν υπάρχει βήμα τραπεζιού, αλλά μια ανάλογη παράμετρος που ονομάζεται βήμα σάρωσης (pitch). Αυτή ορίζεται ως το διάστημα που διανύει το τραπέζι κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής της λινχίας, διά το πάχος τομής. Έτσι, για πάχος τομής 10 mm, αν ορίσουμε pitch=1, τότε κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής το τραπέζι θα έχει μετακινηθεί 10 mm, ενώ αν pitch =2, θα έχει διαγράψει 20mm. Η αναλογία αυτής της παραμέτρου με το βήμα τραπεζιού βρίσκεται στο αποτέλεσμα που έχει. Μεγάλη τιμή για το βήμα σάρωσης επιταχύνει την εξέταση αλλά υποβαθμίζει την ποιότητα της εικόνας κατά μήκος του εξεταζόμενου, ενώ μικρή τιμή έχει το αντίθετο αποτέλεσμα. Συνήθως, το βήμα σάρωσης ορίζεται με τιμή 1, ενώ γενικά δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 2.

1.4.4 Πεδίο απεικόνισης (F.O.V.)

Το πεδίο απεικόνισης (Field Of View – F.O.V.) είναι η διάμετρος της περιοχής που απεικονίζεται. Κι αυτή η παράμετρος πρέπει να ορίζεται με προσοχή. Πεδίο απεικόνισης μικρότερο από τη διάμετρο της περιοχής που μας ενδιαφέρει θα οδηγήσει στη μη απεικόνιση των ορίων της περιοχής. Τιμή πολύ μεγαλύτερη από τη διάμετρο της περιοχής προκαλεί άσκοπη υποβάθμιση στην ανάλυση της εικόνας.

1.4.5 Αλγόριθμος ανασύνθεσης

Όπως έχουμε πει, η εικόνα μιας τομής γίνεται με μια μαθηματική επεξεργασία που ονομάζεται αλγόριθμος ανασύνθεσης. Κάθε μηχανήμα δίνει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ ορισμένων αλγορίθμων, από τους οποίους ο καθένας δίνει εικόνα με λίγο διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Μια επιλογή είναι να απεικονίζονται όλες οι ανομοιογένειες που υπολογίζονται, ακόμα κι αν έχουν πολύ μικρό μέγεθος. Ένας αλγόριθμος που δημιουργεί μια τέτοια εικόνα ονομάζεται αλγόριθμος υψηλής ανάλυσης. Επειδή πολλές από τις μικρές ανομοιογένειες είναι στην πραγματικότητα τυχαίες διακυμάνσεις στην ακτινοβολία που ανιχνεύεται, η εικόνα θα εμφανίζει τέτοιες τυχαίες διακυμάνσεις (θόρυβος) που εμφανίζονται σαν διάσπαρτοι κόκκοι. Οι αλγόριθμοι υψηλής ανάλυσης είναι χρήσιμοι για να εντοπίσουμε μικρού μεγέθους σημεία που έχουν έντονη αντίθεση μεταξύ τους (μεγάλη διαφορά στην τιμή HU), οπότε η παρουσία του κόκκου δεν μας εμποδίζει να τα ξεχωρίσουμε. Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή τους είναι στον έλεγχο των οστών.

Αντίθετα με τα παραπάνω, μπορούμε να επιλέξουμε αλγόριθμο που να εξομαλύνει την εικόνα. Το αποτέλεσμα είναι να μην υπάρχει θόρυβος κι έτσι μπορούμε να διακρίνουμε σχετι-

κά μεγάλες δομές που έχουν μικρή αντίθεση, γι' αυτό και οι αλγόριθμοι αυτοί ονομάζονται «υψηλής αντίθεσης». Έχουν το μειονέκτημα, ότι με την «ομαλοποίηση» της εικόνας μπορεί να χαθούν μικρές αλλοιώσεις, ενώ δεν διακρίνονται με σαφήνεια τα όρια μεταξύ των δομών.

Αν οι ανάγκες της εξέτασης δεν απαιτούν κάποια από τις παραπάνω επιλογές, χρησιμοποιούμε έναν ενδιάμεσο (βασικό) αλγόριθμο.

1.4.6 Σκιαγραφικά μέσα

Τα σκιαγραφικά μέσα είναι ουσίες που εμφανίζουν υψηλή απορρόφηση της ακτινοβολίας. Προσλαμβάνονται από ορισμένους ιστούς ή ελικάζονται πάνω στην επιφάνειά τους και έτσι βελτιώνουν την απεικόνισή τους.

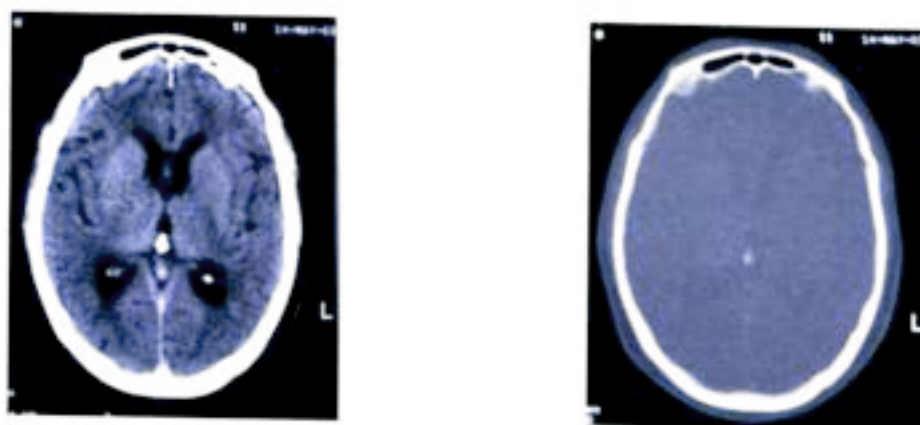
Τα σκιαγραφικά μέσα που χρησιμοποιούνται στην ΥΤ περιέχουν κατά κανόνα ιώδιο (ιωδιούχα σκιαγραφικά) και χορηγούνται με κατάποση ή με ενδοφλέβια έγχυση, ανάλογα με το που θέλουμε να προσληφθούν. Η ενδοφλέβια έγχυση, είναι δυνατόν να γίνει απ' ευθείας με σύριγγα, όμως είναι προτιμότερη η χρήση εγχυτή. Ο εγχυτής είναι μια συσκευή που ρέχνει καθορισμένη ποσότητα σκιαγραφικού με καθορισμένο σταθερό ρυθμό, μέσω ενός καθετήρα που τοποθετείται σε μια φλέβα του εξεταζόμενου. Τα σκιαγραφικά, εκτός από την ενίσχυση της αντίθεσης, δίνουν και μια βασική εικόνα της λειτουργίας των ιστών, αφού ανάλογα με το πόσο προσλαμβάνονται σε κάθε σημείο μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για τη λειτουργία του ιστού εκεί.

1.4.7 Παράθυρο

Όπως είπαμε, τα pixel μπορούν να πάρουν μέχρι και 4000 διαφορετικές τιμές. Όταν όμως γίνεται η αντιστοίχιση των τιμών αυτών με διαβαθμίσεις του γκρι ώστε να σχηματιστεί η εικόνα, δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί όλο αυτό το εύρος των τιμών. Οι οθόνες μπορούν να απεικονίσουν μέχρι 256 διαβαθμίσεις, ενώ το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να διακρίνει πάνω από 20. Έτσι αν αντιστοιχούσαμε την κλίμακα του γκρι σε όλο το εύρος των τιμών HU, δε θα μπορούσαμε να ξεχωρίσουμε δυο δομές με διαφορά μικρότερη από 200 HU. Για το λόγο αυτό, επιλέγουμε κάποια συγκεκριμένη περιοχή τιμών HU που μας ενδιαφέρει και αντιστοιχίζουμε μόνο αυτή στην κλίμακα του γκρι. Αυτό το εύρος τιμών ονομάζεται «παράθυρο» (window).

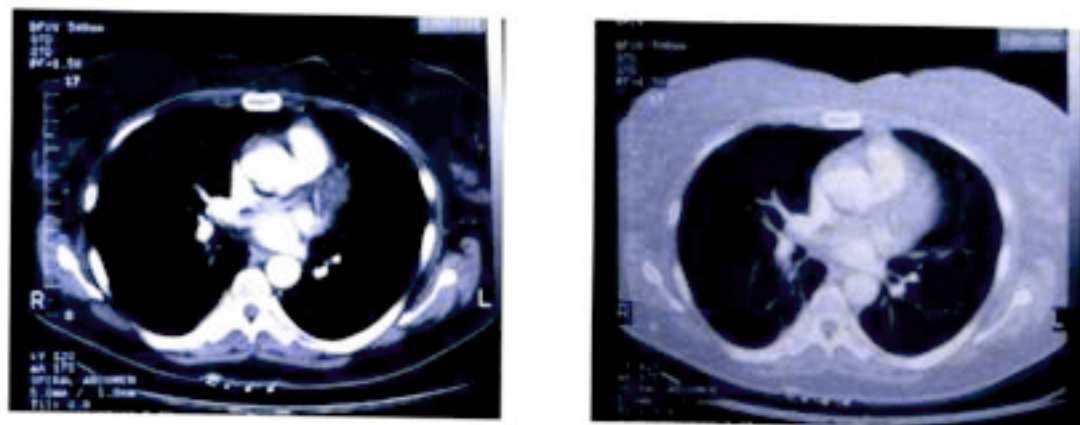
Το παράθυρο ορίζεται με δυο παραμέτρους : Το επίπεδο παραθύρου (Window Level - WL) και το εύρος του παραθύρου (Window Width - WW). Επίπεδο του παραθύρου ονομάζουμε την τιμή σε HU στην οποία θα αντιστοιχίσουμε τη μέση απόχρωση του γκρι, ενώ εύρος του παραθύρου ονομάζουμε το πλήθος των τιμών HU που θα κατανεμηθούν στις υπόλοιπες αποχρώσεις. Αν, για παράδειγμα, επιλέξουμε επίπεδο παραθύρου 100 και εύρος παραθύρου 400, τότε στην κλίμακα του γκρι θα αντιστοιχούν οι τιμές από -100 ως 300, με τη μέση απόχρωση να αντιστοιχεί στο 100. Οτιδήποτε έχει τιμή μικρότερη του -100 θα απεικονίζεται μαύρο και οτιδήποτε έχει τιμή μεγαλύτερη από 300 θα απεικονίζεται άσπρο.

Η επιλογή του επιπέδου και του εύρους του παραθύρου εξαρτώνται από τις τιμές HU που περιμένουμε περίπου να έχουν οι ιστοί που θέλουμε να ελέγξουμε. Πολλές φορές, χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα από ένα παράθυρα για να ελέγξουμε πλήρως κάποια περιοχή. Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα παράθυρο για να απεικονίσουμε τους μαλακούς ιστούς και ένα για να ελέγξουμε τα οστά (Εικόνα 1.4). Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο θώρακας, όπου χρησιμοποιούμε διαφορετικό παράθυρο για να ελέγξουμε το μεσοθωράκιο και άλλο για τους πνεύμονες (Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.4

Αριστερά : Τομή εγκέφαλου σε παράθυρο μαλακών μορίων. Δεξιά : Η ίδια τομή σε παράθυρο οστών



Εικόνα 1.5

Αριστερά : Τομή θώρακα σε παράθυρο μεσοθωρακίων. Δεξιά : Η ίδια τομή σε παράθυρο πνεύμονα

1.4.8 Ψευδενδείξεις (artifacts)

Οι ψευδενδείξεις αποτελούν στοιχεία που εμφανίζονται στην εικόνα, χωρίς στην πραγματικότητα να ανταποκρίνονται σε κάποια δομή του σώματος.

Οι πιο σημαντικές κατηγορίες ψευδενδείξεων που εμφανίζονται στην υπολογιστική τομογραφία είναι οι εξής:

Ψευδενδείξεις λόγω κίνησης

Εμφανίζονται με τη μορφή ραβδώσεων (Εικόνα 1.6 β) και οφείλονται στις κινήσεις του εξεταζόμενου ή τις φυσιολογικές κινήσεις των οργάνων που βρίσκονται στην περιοχή που εξετάζεται.

Ψευδενδείξεις λόγω απορρόφησης της ακτινοβολίας

Σε περίπτωση που η δέσμη συναντήσει κάποιο μεταλλικό αντικείμενο θα απορροφηθεί εντελώς και το σύστημα θα πάρει ελλιπή δεδομένα για τα σημεία της τομής που βρίσκονταν πίσω από το μεταλλικό αντικείμενο. Αυτό προκαλεί μια ψευδένδειξη που έχει τη μορφή γραμμώσεων σε σχήμα αστεριού (Εικόνα 1.6 α). Παρόμοιο φαινόμενο μπορεί να προκαλέσει και η μεγάλη συγκέντρωση σκιαγραφικού σε κάποιο σημείο

Ψευδενδείξεις λόγω σκλήρυνσης δέσμης

Κατά τη διέλευση της δέσμης από το σώμα, τα φωτόνια μικρής ενέργειας απορροφώνται σε μεγαλύτερο ποσοστό από ό,τι αυτά που έχουν υψηλή ενέργεια. Το αποτέλεσμα είναι η μέση ενέργεια της δέσμης να αυξάνεται (η ακτινοβολία γίνεται πιο «σκληρή») και στη συνέχεια της διαδρομής της απορροφάται λιγότερο. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση περιοχών που εμφανίζουν ψευδώς μικρότερη τιμή HU (εμφανίζονται πιο μαύρες – εικόνα 1.6 γ).

Ψευδενδείξεις λόγω του φαινομένου μερικού όγκου

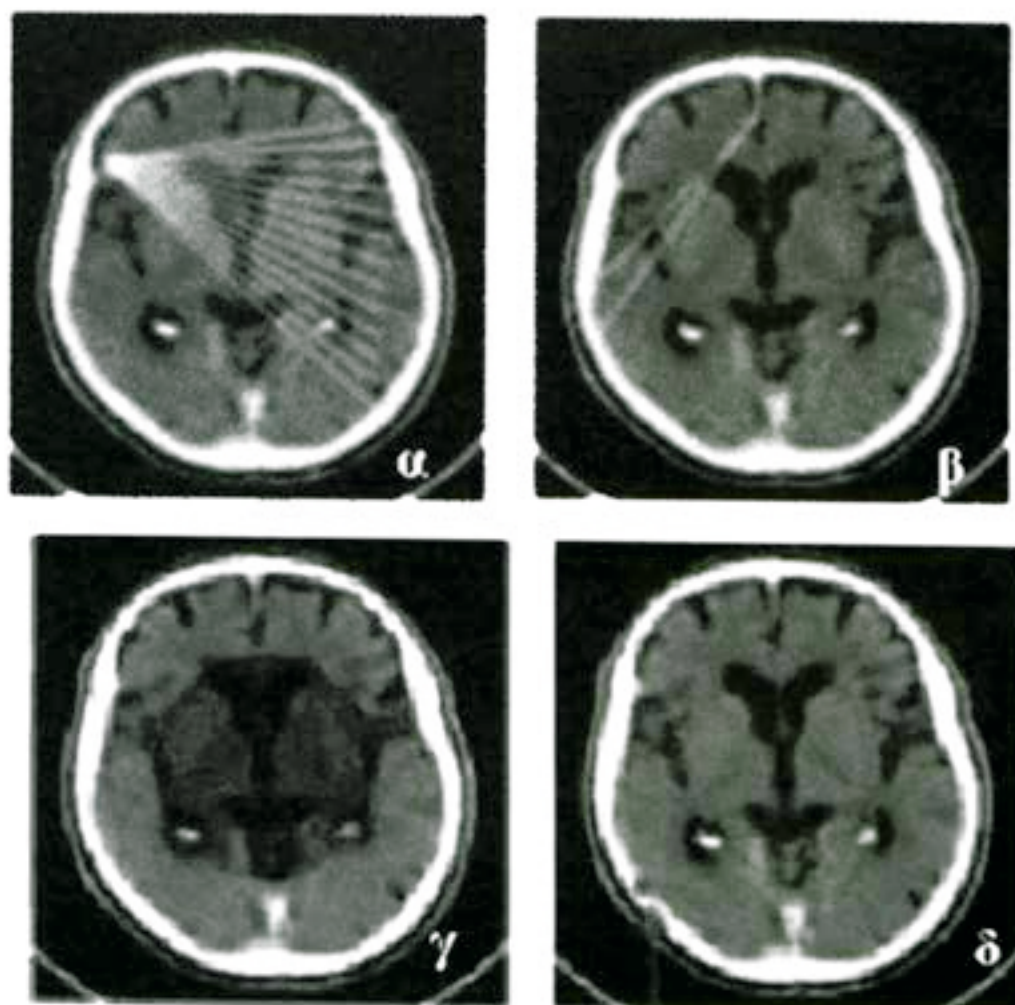
Οφείλονται στο φαινόμενο μερικού όγκου το οποίο, όπως είπαμε, μπορεί να εμφανίσει περιοχές με τιμή HU που δεν αντιστοιχεί σε κανέναν από τους ιστούς που βρίσκονται στην περιοχή εκείνη (εικόνα 1.6 δ).

Ψευδενδείξεις ανιχνευτών

Εμφανίζονται με τη μορφή ομόκεντρων δακτυλίων και οφείλονται σε ανομοιομορφίες στην απόδοση των ανιχνευτών του συστήματος.

1.5 Πρωτόκολλα εξετάσεων

Προκειμένου να αξιοποιηθούν σωστά όλες οι δυνατότητες που προσφέρει η χρήση της υπολογιστικής τομογραφίας, η επιλογή των σωστών τεχνικών παραμέτρων της εξέτασης είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η εξέταση πρέπει να γίνεται κατά τρόπο που να επιτυγχάνει τα καλύτερα διαγνωστικά αποτελέσματα με τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση του εξεταζόμενου σε ακτινοβολία. Για το λόγο αυτό, σε κάθε τμήμα υπολογιστικής τομογραφίας απαιτείται να υπάρχουν σαφή πρωτόκολλα για το πώς εκτελείται η εξέταση ανάλογα με τις κλινικές της ενδείξεις. Τα πρωτόκολλα αυτά περιλαμβάνουν όλες τις παραμέτρους, από την προετοιμασία του εξεταζόμενου, τις παραμέτρους της λήψης, τις εναλλακτικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μέχρι τον τρόπο με τον οποίο θα φωτογραφηθούν οι εικόνες στο φιλμ για να παραδο-



Εικόνα 1.6

Εικόνες από τυπικές ψευδενδείξεις που εμφανίζονται στην ΥΤ: α. Λόγω μεταλλικού αντικειμένου β. Κίνησης γ. Σκλήρυνσης δάμης δ. Μερικού όγκου (βέλος)

θούν. Οι τεχνικές παράμετροι για κάθε είδος εξέτασης αποθηκεύονται στη μνήμη του συστήματος, ώστε να ρυθμίζονται αυτόματα μόλις επιλέγεται το είδος της εξέτασης και να μη χρειάζεται να ορίζονται εξ αρχής, παρά μόνο αν υπάρχει ειδικός λόγος τροποποίησής τους.

Με την εφαρμογή των πρωτοκόλλων εξετάσεων, διατηρείται μια σταθερή ποιότητα στις εξετάσεις του εργαστηρίου και γίνεται δυνατή η αξιολόγησή τους με βάση την αποτελεσματικότητά τους.

Τα πρωτόκολλα των εξετάσεων διαμορφώνονται με βάση την κοινά αποδεκτή διεθνή πρακτική αλλά και τις ιδιαιτερότητες κάθε εργαστηρίου και κάθε συστήματος. Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε τις αρχές πάνω στις οποίες βασίζεται η δημιουργία αυτών των πρωτοκόλλων.

Περίληψη

Η υπολογιστική τομογραφία είναι μέθοδος απεικόνισης που χρησιμοποιεί ακτίνες - X και μαθηματικούς υπολογισμούς, για να απεικονίσει την εσωτερική δομή του σώματος κατά εγκάρσιες τομές. Η εικόνα δημιουργείται με βάση την απορρόφηση της ακτινοβολίας από κάθε σημείο, η οποία μετρείται σε μονάδες Hounsfield.

Στην κλασική μορφή της ΥΤ κάθε τομή λαμβάνεται χωριστά, όμως οι σύγχρονοι ελικοειδείς τομογράφοι σαρώνουν συνεχόμενα το σώμα επιταχύνοντας σημαντικά τη διαδικασία.

Τα βασικά τμήματα του συστήματος είναι ο σκελετός - που περιέχει τη λυχνία, τους κατευθυντήρες και τους ανιχνευτές- , το εξεταστικό τραπέζι, η γεννήτρια, ο υπολογιστής, η κονσόλα χειρισμού και τα συστήματα καταγραφής και αποθήκευσης.

Πρώτο στάδιο της εξέτασης είναι η λήψη τοπογραφήματος και με βάση αυτό ορίζουμε τις διάφορες παραμέτρους : το πάχος τομής, το βήμα τραπέζιού ή το βήμα σάρωσης, το πεδίο απεικόνισης, τον αλγόριθμο ανασύνθεσης. Οι εικόνες που λαμβάνονται, απεικονίζονται με ένα κατάλληλο παράθυρο που αναδεικνύει τις δομές που μας ενδιαφέρουν.

Όλες οι τεχνικές παράμετροι της εξέτασης ορίζονται με βάση συγκεκριμένα πρωτόκολλα, ανάλογα με το αντικείμενό της.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις.

1. Ποια είναι τα στάδια δημιουργίας της εικόνας μέσω ΥΤ;
2. Τι είναι voxel και τι pixel;
3. Πώς ορίζονται οι τιμές στην κλίμακα Hounsfield;
4. Ποια η βασική διαφορά μεταξύ των παλιότερων γενιών τομογράφων και των ελικοειδών;
5. Ποια τα βασικά τμήματα ενός υπολογιστικού τομογράφου;
6. Ποια είναι η χρησιμότητα του τοπογραφήματος;
7. Με βάση ποια κριτήρια επιλέγουμε τον αλγόριθμο αναπίνθησης;
8. Τι είναι το παράθυρο και σε τι μας διευκολύνει;
9. Τι είναι το φαινόμενο μερικού όγκου και πώς επηρεάζει την εικόνα;
10. Τι θα συνέβαινε, αν αφαιρούσαμε τους κατευθυντήρες που βρίσκονται ανάμεσα στη λυχνία και τον εξεταζόμενο και τι αν βγάλαμε αυτούς που είναι ανάμεσα στον εξεταζόμενο και τους ανιχνευτές;
11. Τι επιλογές έχουμε για να μειώσουμε τις ψευδενδείξεις λόγω κίνησης;

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Κατά τη διάρκεια μιας εξέτασης με ελικοειδή ΥΤ το τραπέζι με τον εξεταζόμενο:
 - A. Κινείται συνεχώς.
 - B. Κινείται με διαδοχικά βήματα για κάθε τομή.
 - Γ. Παραμένει ακίνητο.
2. Στην κλίμακα του Hounsfield, η τιμή 0 αντιστοιχεί
 - A. στο νερό,
 - B. στο αίμα,
 - Γ. στα οστά.
3. Αν επιλέξουμε θέση παραθύρου $WL = 200$ και εύρος $WW = 100$ θα απεικονίζονται ιστοί με τιμές
 - A. 100 – 200 HU
 - B. 100 – 300 HU
 - Γ. 200 – 300 HU.
4. Αν το βήμα του τραπέζιού είναι ίσο με το πάχος τομής, οι τομές:
 - A. Επικαλύπτονται.
 - B. Είναι διαδοχικές.
 - Γ. Έχουν κενό διάστημα ανάμεσά τους.

5. Η παρουσία έντονων άσπρων γραμμών με μορφή αστεριού είναι ψευδένδειξη που οφείλεται

- A. στο φαινόμενο μερικού όγκου,
- B. σε βλάβη των ανιχνευτών,
- Γ. στην παρουσία μεταλλικού αντικειμένου.

Επιλέξτε όσες φράσεις είναι σωστές.

1. Όταν αυξάνουμε το πάχος τομής:

- A. Αυξάνεται η δόση στον εξεταζόμενο.
- B. Μειώνεται ο χρόνος εξέτασης
- Γ. Υποβαθμίζεται η ποιότητα της εξέτασης.
- Δ. Μεγαλώνει το πεδίο απεικόνισης

2. Όταν χρησιμοποιούμε αλγόριθμο υψηλής ανάλυσης:

- A. Η εικόνα εμφανίζει διάσπαρτους κόκκους.
- B. Μπορούμε να διακρίνουμε καλύτερα δυο περιοχές με μικρή διαφορά στην απορρόφηση
- Γ. Αυξάνεται η δόση στον εξεταζόμενο.
- Δ. Διακρίνονται καλύτερα μικρές δομές.

Αντιστοιχίστε τα τμήματα ενός αξονικού τομογράφου που παρουσιάζονται στην αριστερή στήλη με τις λειτουργίες που παρουσιάζονται στη δεξιά:

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| A. Ανιχνευτές | 1. Τοποθέτηση εξεταζόμενου |
| B. Εξεταστικό τραπέζι | 2. Εκπομπή ακτίνων X |
| Γ. Υπολογιστής | 3. Κατεύθυνση ακτινοβολίας |
| Δ. Λυχνία | 4. Ανίχνευση ακτινοβολίας |
| E. Κατευθυντήρες | 5. Σχηματισμός εικόνας |

2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η σύντομη ανάπτυξη των πιο σημαντικών εφαρμογών της υπολογιστικής τομογραφίας. Ο μαθητής θα γνωρίσει την κλινική σημασία, την τεχνική και τα κριτήρια αξιολόγησης του αποτελέσματος για τις εξετάσεις ΥΤ

- εγκεφάλου
- βάσης κρανίου
- σπλαχνικού κρανίου
- υπόφυσης
- κόγχων προσώπου
- τραχήλου
- θώρακα και μεσοθωρακίου
- άνω και κάτω κοιλίας
- άνω και κάτω άκρων
- σπονδυλικής στήλης
- αγγείων

2.1 Εισαγωγή

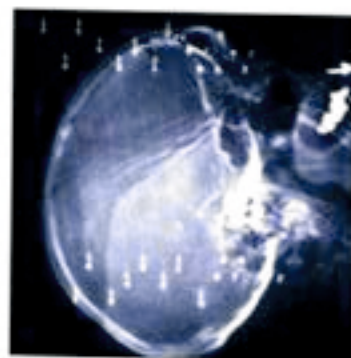
Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε σύντομα την τεχνική της εξέτασης της υπολογιστικής τομογραφίας για τις διάφορες ανατομικές περιοχές του σώματος.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αναφέρονται είναι ενδεικτικά και μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες κάθε μηχανήματος αλλά και κάθε εργαστηρίου. Έτσι κι αλλιώς, η ορθότητα των τεχνικών παραμέτρων μιας εξέτασης κρίνεται από την αποτελεσματικότητά της. Από το αν και πόσο, δηλαδή, απάντησε στα συγκεκριμένα κλινικά ερωτήματα για τα οποία πραγματοποιήθηκε. Για το λόγο αυτό, μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στην παρουσίαση του σκοπού κάθε εξέτασης και των κριτηρίων με βάση τα οποία κρίνεται επιτυχημένη. Από τις τεχνικές παραμέτρους τονίζονται αυτές που παίζουν σημαντικό ρόλο για κάθε εξέταση και θα δείξουν στην πράξη τη σημασία όσων αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

2.2 ΥΤ Εγκεφάλου

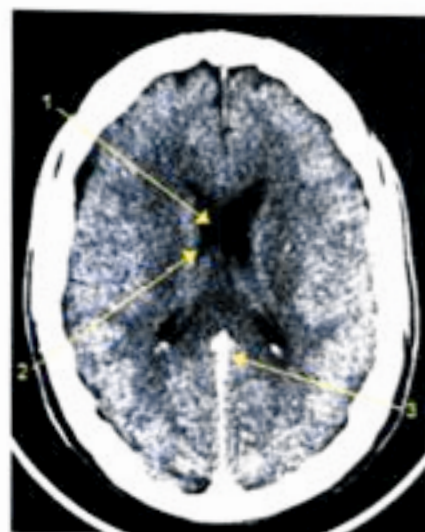
Η εξέταση του εγκεφάλου ήταν η πρώτη εφαρμογή της μεθόδου που απέδειξε τη μεγάλη κλινική σημασία της αξονικής τομογραφίας. Σήμερα παραμένει μια από τις πιο συχνές εξετάσεις που εκτελούνται. Μεταξύ άλλων, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση καταγμάτων του κρανίου και αιμορραγίας σε τραυματίες, τον εντοπισμό υποσκληριδίου ή επισκληριδίου αιματώματος, τον έλεγχο για ύπαρξη αιμορραγίας μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, τον εντοπισμό όγκων και το σχεδιασμό ακτινοθεραπείας, την ανίχνευση πιθανού εγκεφαλικού ανευρύσματος και σε πολλές άλλες παθήσεις που προέρχονται ή επηρεάζουν την περιοχή του εγκεφάλου.

Ο εξεταζόμενος τοποθετείται ύπτιος, με το κεφάλι του στην ειδική υποδοχή για να παραμένει ακίνητο. Λαμβάνουμε πλάγιο τοπογράφημα από τη βάση του εγκεφαλικού κρανίου ως την κορυφή του, αν και σε περίπτωση τραυματία είναι χρήσιμο να καλύψουμε όλη την περιοχή από τον πρώτο αυχενικό σπόνδυλο μέχρι την κορυφή του κρανίου (εικόνα 2.1). Επιλέγουμε συνεχείς τομές (ή βήμα σάρωσης = 1) από το ινιακό τρήμα μέχρι την κορυφή του κρανίου, με πάχος 5 mm στον οπίσθιο κρανιακό βόθρο και 10 mm στα ημισφαίρια. Συνήθως δίνεται ουραία κλίση περίπου 10ο για να μειώνεται η δόση στα μάτια.



Εικόνα 2.1

Τοπογράφημα ΥΤ εγκεφάλου. Οι τομές που έχουν σχεδιαστεί καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή από τον πρώτο αυχενικό σπόνδυλο μέχρι την κορυφή του κρανίου



Εικόνα 2.2

Τομή από ΥΤ εγκεφάλου. 1)Κοιλία, 2)Χοριοειδές πλέγμα 3)Εγκεφαλική φλέβα

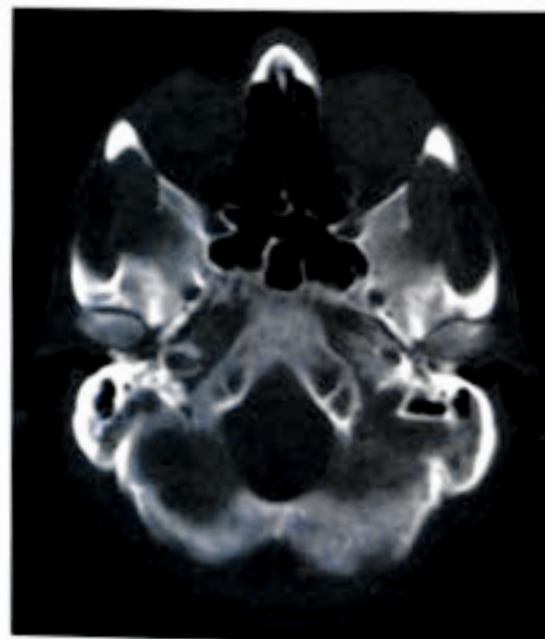
Η φωτογράφιση γίνεται πάντα σε παράθυρο μαλακών μορίων και σε περίπτωση τραυματιών γίνεται και σε οστικό. Ενδοφλέβιο σκιαγραφικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό αλλοιώσεων. Στο φιλμ πρέπει να διακρίνονται καθαρά τα όρια μεταξύ λευκής και γκρίζας ουσίας (εικόνα 2.3), τα βασικά γάγγλια, οι κοιλίες και σε περίπτωση χορήγησης σκιαγραφικού τα μεγάλα αγγεία και τα χοριοειδή πλέγματα (εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.3

Τμήμα τομής ΥΤ εγκεφάλου. Το βέλος δείχνει τα όρια μεταξύ λευκής και γκρίζας ουσίας

2.3 ΥΤ Βάσης κρανίου



Εικόνα 2.4

Τομή ΥΤ βάσης κρανίου

Δεν αποτελεί μια από τις εξετάσεις που χρησιμοποιούνται συχνά στην υπολογιστική τομογραφία. Είναι όμως ιδιαίτερα χρήσιμη σε ορισμένες νευρολογικές παθήσεις που αφορούν τα εγκεφαλικά νεύρα, και σε περιπτώσεις τραύματος, δυσπλασίας ή οστικών μεταστάσεων στην περιοχή της βάσης του κρανίου.

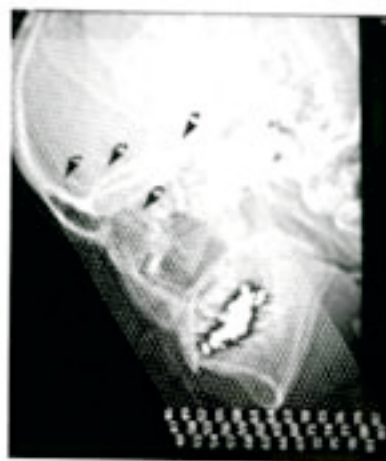
Χρησιμοποιούνται κι εδώ συνεχείς τομές, αλλά λεπτότερες απ' ό,τι στην εξέταση του εγκεφάλου (3-5 mm), χωρίς κλίση και καλύπτεται η περιοχή από τον πρώτο αυχενικό σπόνδυλο μέχρι την περιοχή πάνω από την υπόφυση.

Με την εξέταση πρέπει να ελέγχονται ικανοποιητικά οι αεροφόρες κοιλότητες, το τουρκικό εφίπτιο, το περίγραμμα της παρεγκεφαλίδας και τα όρια μεταξύ λευκής και φαιάς ουσίας.

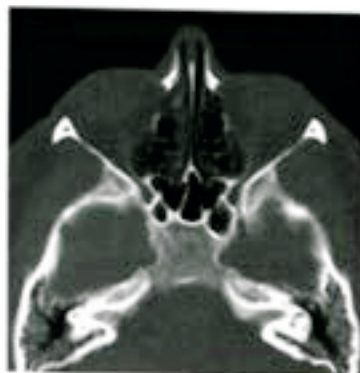
2.4 ΥΤ Σπλαχνικού κρανίου

Χρησιμοποιείται συχνά για την εκτίμηση φλεγμονών στους κόλπους του προσώπου, ενώ, όπως και οι περισσότερες εξετάσεις που αφορούν το κρανίο, είναι χρήσιμη σε περίπτωση τραύματος στην περιοχή.

Χρησιμοποιούνται κι εδώ συνεχείς τομές (pitch =1) πάχους 3-5 mm που λαμβάνονται με κεφαλική κλίση 10ο και καλύπτουν την περιοχή από την υπερώα μέχρι την κορυφή του μετωπιαίου κόλπου. Χρήσιμη είναι και η λήψη στεφανιαίων τομών, αν υπάρχει η δυνατότητα. Αυτό μπορεί να γίνει ή με τον εξεταζόμενο σε ύπια θέση, με το κεφάλι υπερηλωμένο και σε υπερέκταση προς τα πίσω, ή σε πρηνή θέση με υπερέκταση. Εναλλακτική



Εικόνα 2.5
Τοπογράφημα ΥΤ σπλαχνικού κρανίου



Εικόνα 2.6
Τομή από ΥΤ Σπλαχνικού κρανίου

λίσση, ιδιαίτερα στην ελικοειδή τομογραφία, είναι η ανασύνθεση των δεδομένων από τις εγκάρσιες τομές στο στεφανιαίο επίπεδο.

Οι τομές φωτογραφίζονται σε παράθυρο μαλακών μορίων και σε οστικό. Στην απεικόνιση πρέπει να αναδεικνύονται ικανοποιητικά οι μετωπιαίοι και οι σφηνοειδείς κόλποι, η ρινική κοιλότητα με το ρινοφάρυγγα, το ηθμοειδές και η άνω γνάθος.

2.5 Υ.Τ Υπόφυσης

Γίνεται σε περίπτωση ενδοκρινολογικών διαταραχών που δημιουργούν υποψία αλλοιώσεων στο τουρκικό εφύπιο και την υπόφυση. Ωστόσο, ο έλεγχος της υπόφυσης θεωρείται ότι γίνεται πολύ καλύτερα με τη χρήση μαγνητικής τομογραφίας, οπότε η ΥΤ πρέπει να χρησιμοποιείται όταν η μαγνητική τομογραφία δεν είναι εύκολα διαθέσιμη ή δεν ενδείκνυται για τον συγκεκριμένο εξεταζόμενο.

Στην εξέταση, λαμβάνονται συνεχείς εγκάρσιες τομές με πάχος 2-3 mm στο διάστημα από 0,5 cm πάνω ως 0,5 cm κάτω από την υπόφυση. Αν υπάρχει η δυνατότητα, χρησιμοποιούνται και στεφανιαίες τομές. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να χρησιμοποιήσουμε αλγόριθμο υψηλής ανάλυσης, καθώς επίσης να περιορίσουμε το πεδίο απεικόνισης στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Η φωτογράφιση γίνεται και σε παράθυρο μαλακών μορίων και σε οστικό. Κριτήρια σωστής εξέτασης είναι η καλή απεικόνιση των οστικών ορίων του εφυππίου, της υπόφυσης και του οπτικού χιάσματος.

2.6 ΥΤ Κόγχων

Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των οφθαλμικών κόγχων και των βολβών, κυρίως σε περιπτώσεις τραυματισμού και υποψίας παρουσίας ξένου σώματος. Ειδικά στην τελευταία περίπτωση είναι η εξέταση που εκτελείται αποκλειστικά, αφού η απλή ακτινογραφία πολύ δύσκολα μπορεί να αναδείξει μικρό σώμα μέσα στην πολύπλοκη οστική δομή της περιοχής ενώ η μαγνητική τομογραφία αντενδείκνυται.

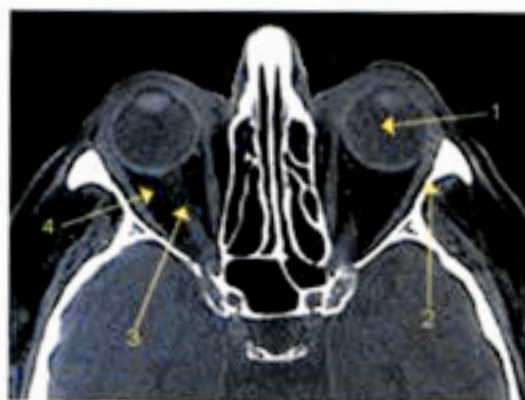
Η εξέταση γίνεται με μικρού πάχους (2-3 mm), συνεχείς τομές στο διάστημα 0,5 cm πάνω ως 0,5 cm κάτω από τα όρια των κόγχων (εικόνα 2.7). Και σε αυτήν την εξέταση είναι προτιμότερο να χρησιμοποιήσουμε αλγόριθμο υψηλής ανάλυσης και να περιορίσουμε το πεδίο απεικόνισης. Επίσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στεφανιαίες τομές, αν αυτό είναι εφικτό.

Η φωτογράφιση γίνεται και σε τυπικό και σε οστικό παράθυρο. Ειδικά στην περίπτωση



Εικόνα 2.7
Τοπογράφημα ΥΤ κόγχων

ελέγχου για ξένο σώμα χρησιμοποιούμε και παράθυρο με το μέγιστο εύρος (4000). Αυτό γίνεται γιατί στο συνηθισμένο οστικό παράθυρο, τόσο τα οστά όσο και σιδήριτες έχει μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης από αυτά, εμφανίζονται άσπρα. Με τις εικόνες της εξέτασης πρέπει να ελέγχονται τα οστικά τοιχώματα των κόγχων, το οπτικό νεύρο, ο οφθαλμικός βολβός και το λίπος πίσω από αυτόν (εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8
1. Οφθαλμικός βολβός 2. Οστικό τοίχωμα κόγχων 3. Οπτικό νεύρο 4. Λίπος

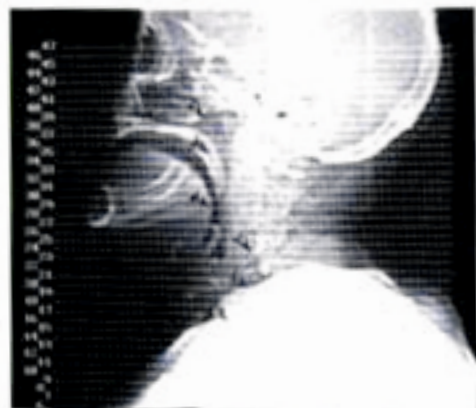
2.7 ΥΤ Τραχήλου

Χρησιμεύει στην ανίχνευση και εκτίμηση μαζών στην περιοχή, καθώς και στον έλεγχο των λεμφαδένων ή για την απεικόνιση συγγενών ή μετατραυματικών ανωμαλιών στις αεροφόρες οδούς.

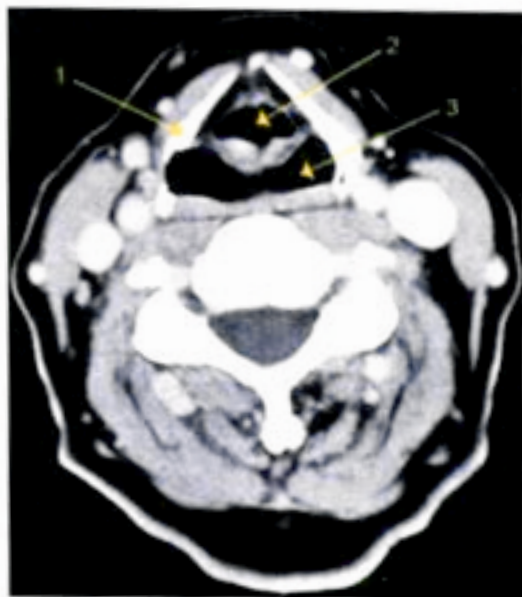
Η εξέταση καλύπτει ολόκληρη την περιοχή από την κορυφή των πνευμόνων μέχρι την αρχή

του σφηνοειδούς οστού (εικόνα 2.9). Χρησιμοποιούμε τομές 5 mm συνεχείς (ή pitch = 1) εκτός από την περίπτωση ελέγχου μεγάλης μάζας, οπότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεγαλύτερο βήμα τραπέζιου ή σάρωσης αντίστοιχα. Μπορεί να χρειαστεί να δώσουμε κατάλληλη κλίση στο gantry, ώστε να αποφύγουμε πιθανές ψευδενδείξεις από τα σφραγίσματα των δοντιών.

Σε μια σωστή εξέταση απεικονίζει ολόκληρα τα τοιχώματα του λάρινγγα και του φάρυγγα, τους μύες και τους λεμφαδένες της περιοχής τις φωνητικές χορδές και το θυρεοειδή (εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.9
Τομογράφημα ΥΤ τραχήλου



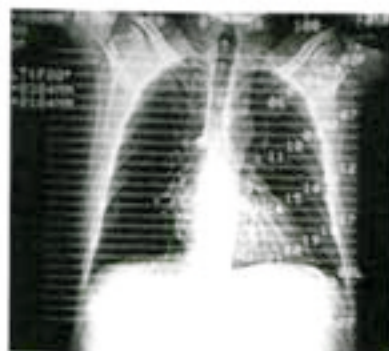
Εικόνα 2.10
Τομή από ΥΤ τραχήλου 1) Θυρεοειδής 2) Λάρυγγας 3) Φάρυγγας

2.8 ΥΤ Θώρακα – Μεσοθωρακίου

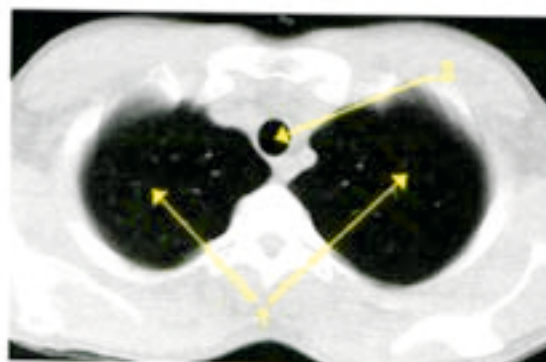
Αποτελεί πολύτιμη εξέταση για την ανίχνευση και αξιολόγηση πολλών παθολογικών καταστάσεων στους πνεύμονες, το θωρακικό τοίχωμα και τα μεγάλα αγγεία. Στην εξέταση αυτή, η ελικοειδής τομογραφία πλεονεκτεί σημαντικά λόγω της ταχύτητάς της, αφού μπορεί να καλύ-

πει ολόκληρο το θώρακα κατά τη διάρκεια μιας μόνο αναπνοής του εξεταζόμενου. Στην κλασική υπολογιστική τομογραφία κάθε τομή παίρνεται μετά από μια βαθιά εισπνοή, όμως κάθε διαφορά στο πόσο βαθιά ανάσα πήρε ο εξεταζόμενος μεταβάλλει και την πραγματική θέση των οργάνων που εξετάζονται ως προς τη λυχνία.

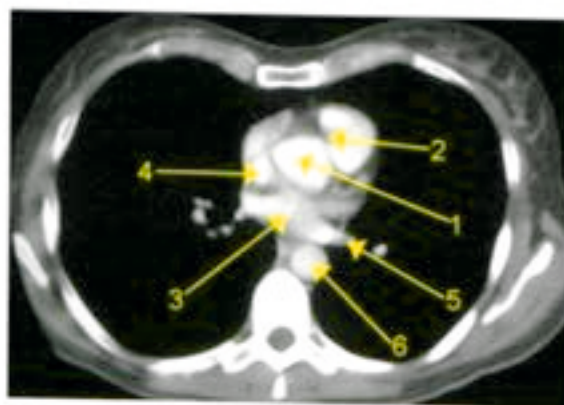
Στο βασικό πρωτόκολλο εξέτασης λαμβάνεται προσθιοπίσθιο τοπογράφημα σε βαθιά εισπνοή από το λαιμό ως την άνω κοιλία και με τη βοήθειά του ορίζουμε συνεχείς τομές (ή pitch=1) πάχους 7-10 mm από την κορυφή ως τη βάση των πνευμόνων (εικόνα 2.11). Μεγαλύτερο βήμα τραπεζιού (4-5 mm μεγαλύτερο από το πάχος τομής) ή βήμα σάρωσης μέχρι 1,5 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συντομεύσει την εξέταση αν γίνεται για την εκτίμηση μεγάλων αλλοιώσεων ή την ανίχνευση λεμφαδενοπάθειας, καθώς και για ασθενείς που είναι σε κακή κατάσταση και δεν συνεργάζονται. Χρήση ενδοφλέβιου σκιαγραφικού μπορεί να γίνει για την καλύτερη απεικόνιση των πνευμονικών αγγείων ή το χαρακτηρισμό αλλοιώσεων. Κάθε τομή φωτογραφίζεται σε παράθυρο μαλακών μοριών και σε παράθυρο κατάλληλο για το πνευμονικό παρέγχυμα, δηλαδή παράθυρο που εμφανίζει μικρές τιμές HU (π.χ. WL = -600 και WW= 1000). Κατά τη φωτογράφιση φροντίζουμε να αναδεικνύονται ικανοποιητικά τα όρια μεταξύ υπεζωκότα και θωρακικού τοιχώματος, ολόκληρο το πνευμονικό παρέγχυμα, τα μεγάλα και μεσαία πνευμονικά αγγεία, η τραχεία και οι κύριοι βρόγχοι, το θωρακικό τοίχωμα, η θωρακική αορτή και οι δομές του ανώτερου μεσοθωρακίου (εικόνες 2.12, 2.13, 2.14).



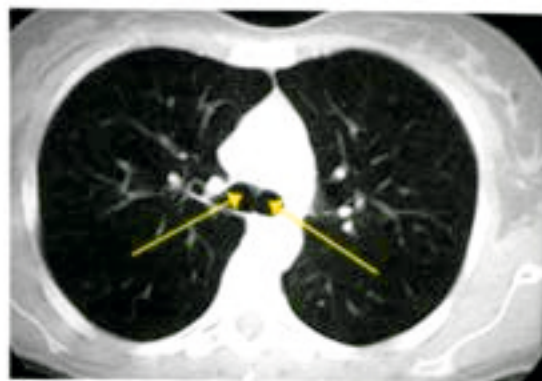
Εικόνα 2.11
 Τοπογράφημα ΥΤ θώρακα



Εικόνα 2.12
 Τομή ΥΤ θώρακα φωτογραφημένη σε πνευμονικό παράθυρο. 1) Πνευμονικό παρέγχυμα 2) Τραχεία



Εικόνα 2.13
 Τομή από ΥΤ θώρακα σε παράθυρο μαλακών μοριών.
 1) Στόμιο αορτής 2) Πνευμονική αρτηρία
 3) Αριστερός κόλπος 4) Άνω κοίλη φλέβα
 5) Κατιόσα αορτή 6) Πνευμονική φλέβα



Εικόνα 2.14

Τομή ΥΤ θώρακα σε πνευμονικό παράθυρο. Τα βέλη δείχνουν το αριστερό και δεξιό κύριο βρόγχο

Αν η εξέταση γίνεται για ανίχνευση πιθανού ανευρύσματος ή διαχωρισμού αγγείου, τότε μπορεί να περιοριστεί στη συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιώντας παράλληλα λεπτότερες τομές (4-5mm). Σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι απαραίτητη η φωτογράφιση σε παράθυρο για πνευμονικό παρέγχυμα. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται κατά τη φωτογράφιση για καλή παρουσίαση του περιγράμματος των μεγάλων αγγείων.

Μια ειδική τεχνική που μπορεί να εφαρμοσθεί στην ΥΤ θώρακα είναι η εξέταση θώρακα υψηλής ανάλυσης (High resolution chest CT). Σε αυτή χρησιμοποιείται πάχος τομής 1mm, αλλά οι τομές παίρνονται κάθε 10 mm. Κατά κάποιο τρόπο είναι μια «δειγματοληπτική» λεπτομερής εξέταση του πνευμονικού παρεγχύματος και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διάχτων πνευμονικών βλαβών όπως είναι το εμφύσημα και η βρογχιεκτασία.

2.9 ΥΤ Άνω και κάτω κοιλίας

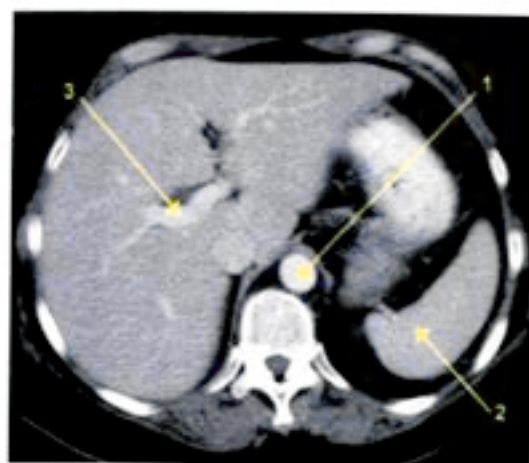
Αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές και συχνές εφαρμογές της υπολογιστικής τομογραφίας, καθώς στην κοιλία βρίσκονται πολλά σημαντικά όργανα με παραπλήσια απορρόφηση ακτινοβολίας τόσο μεταξύ τους όσο και με τους ιστούς που τα περιβάλλουν. Η εξέταση μπορεί να περιοριστεί σε μια περιοχή της κοιλίας ή σε ένα μόνο όργανο.

Όταν δεν χρησιμοποιείται για εκλεκτικό έλεγχο κάποιου συγκεκριμένου οργάνου όπως το ήπαρ, το πάγκρεας, τα νεφρά κ.λπ., τότε σαρώνουμε ολόκληρη την κοιλιά από την ηβική σύμφυση ως το διάφρα-



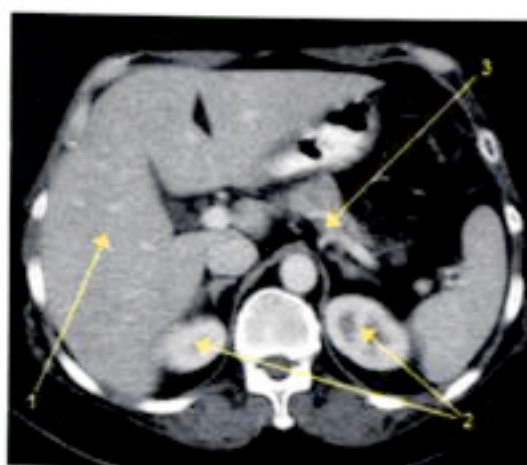
Εικόνα 2.15

Τοπογράφημα ΥΤ άνω και κάτω κοιλίας



Εικόνα 2.16

*Τομή ΥΤ στην περιοχή της άνω κοιλίας. 1) Αορτή
2) Σπλήνας 3) Ηπατικά αγγεία*



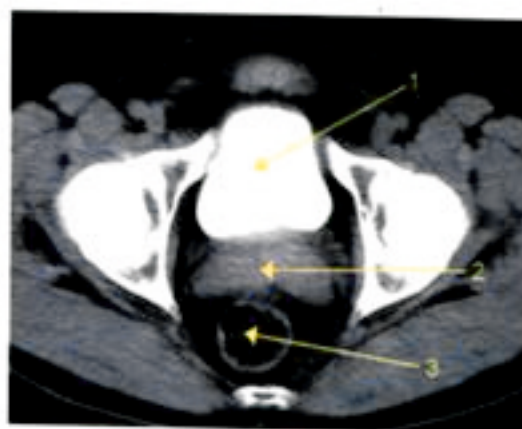
Εικόνα 2.17

*Τομή ΥΤ στην περιοχή της άνω κοιλίας
1) Ήπαρ 2) Νεφροί 3) Πάγκρεας*

γμα με συνεχείς τομές 10 mm (εικόνα 2.15). Συνήθως χορηγείται υγρό πόσιμο σκιαγραφικό 1 ώρα πριν την εξέταση για την καλύτερη σκιαγράφιση του εντέρου. Οι τομές λαμβάνονται σε φάση βαθιάς εκπνοής ώστε το διάφραγμα να βρίσκεται όσο πιο ψηλά γίνεται.

Η εξέταση πρέπει να επιτρέπει ικανοποιητικό έλεγχο όλων των σημαντικών δομών. Συγκεκριμένα, πρέπει να απεικονίζονται καθαρά το ήπαρ (ηπατικό παρέγχυμα και ενδοηπατικά αγγεία), το σπληνικό παρέγχυμα, ο οπισθοπεριτοναϊκός χώρος, τα όρια του παγκρέατος, η αορτή και ο αορτικός διχασμός, τα νεφρά οι ουρητήρες, το ορθό, ο προστάτης ή η μήτρα και το τοίχωμα της ουροδόχου κύστης (εικόνες 2.16, 2.17, 2.18).

Εκλεκτικός έλεγχος κάποιου από τα όργανα της κοιλίας γίνεται συνήθως για χαρακτηρισμό ή παρακολούθηση αλλοιώσεων (και ιδιαίτερα όγκων ύποπτων για κακοήθεια) του συγκεκριμένου οργάνου και συνήθως περιλαμβάνει χρήση ενδοφλέβιου σκιαγραφικού. Συχνά λήψεις επα-



Εικόνα 2.18

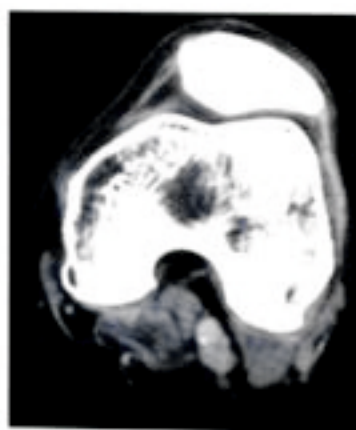
Τομή ΥΤ στην περιοχή της πυέλου 1) Ουροδόχος κύστη 2) Προστάτης 3) Ορθό

να λαμβάνονται μετά από συγκεκριμένα διαστήματα μετά τη χορήγηση του σκιαγραφικού. Μια τέτοια εξέταση σε περισσότερες από μια φάσεις μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη λειτουργικότητα ενός ιστού με βάση τον τρόπο που το σκιαγραφικό κινείται σε αυτόν σε σχέση προς τους γύρω ιστούς. Σε πολλές περιπτώσεις μια τέτοια δυναμική μελέτη μπορεί να δώσει αξιόπιστη απάντηση για τον τύπο του όγκου που διερευνάται. Παραδείγματα τέτοιων εξετάσεων είναι αυτές που εφαρμόζονται για τον έλεγχο όγκων του ήπατος, του παγκρέατος και των νεφρών.

2.10 ΥΤ Άνω και κάτω άκρων

Η εφαρμογή της υπολογιστικής τομογραφίας στην εξέταση των άκρων είναι αρκετά πιο περιορισμένη σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές του σώματος. Ο λόγος είναι ότι τα άκρα, στις περισσότερες περιπτώσεις, μπορούν να εκτιμηθούν ικανοποιητικά με τη χρήση των κατάλληλων ακτινολογικών προβολών. Η χρήση της ελικοειδούς υπολογιστικής τομογραφίας, πάντως, ενίσχυσε τη σημασία της χάρη στη δυνατότητα τριδιάστατης ανασύνθεσης ή ανασύνθεσης σε διαφορετικά επίπεδα. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη στην εκτίμηση τραυμάτων και την απεικόνιση σύνθετων καταγμάτων, ώστε να σχεδιαστεί καλύτερα η μέθοδος αποκατάστασής τους. Άλλες εφαρμογές της μεθόδου περιλαμβάνουν την ανίχνευση και εκτίμηση της έκτασης οστικών μεταστάσεων και των ελεγχό φλεγμονών του μυοσκελετικού συστήματος. Οι σχετικά πιο συχνές περιοχές που ελέγχονται είναι τα γόνατα, τα ισχία και κατά δεύτερο λόγο ο ώμος, η ποδοκνημική και ο καρπός.

Οι τεχνικές παράμετροι εξαρτώνται κυρίως από την περιοχή που εξετάζεται. Αν η εξέταση αφορά άρθρωση, όπως σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, πρέπει να καλύπτεται ολόκληρη η



Εικόνα 2.19
Τομή από ΥΤ γόνατου

περιοχή της άρθρωσης αυτής. Στις πιο σπάνιες περιπτώσεις εξέτασης μακρών οστών η εξέταση περιορίζεται στην περιοχή όπου υπάρχει υποψία παθολογίας. Οι τομές που λαμβάνονται είναι λεπτές – συνήθως 3 mm ενώ φτάνουν και το 1 mm σε εξετάσεις όπως αυτή του καρπού. Η επιλογή αλγόριθμου υψηλής ανάλυσης είναι κατάλληλη μόνο αν η εξέταση αφορά τον έλεγχο αποκλειστικά των οστών. Ενδοφλέβιο σκιαγραφικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις ελέγχου φλεγμονών των μαλακών μορίων, αφού βοηθάει στην καλή σκιαγράφιση των ορίων της φλεγμονής.

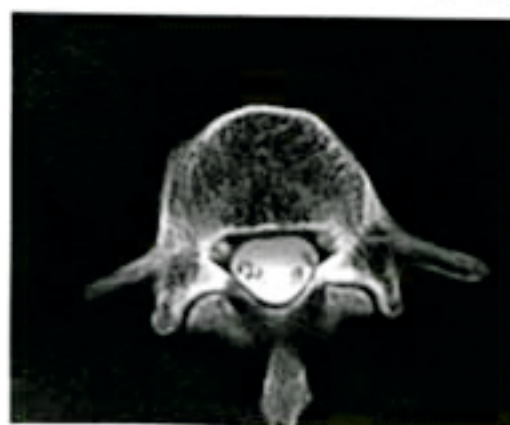
2.11 ΥΤ Σπονδυλικής στήλης

Συνήθως πραγματοποιείται είτε σε περίπτωση τραυματισμού ή για την εκτίμηση των μεσοσπονδυλίων διαστημάτων. Στην πρώτη περίπτωση, η εξέταση μπορεί να περιοριστεί μόνο στην περιοχή όπου υπάρχει υποψία βλάβης στο σώμα του σπονδύλου και οι τομές είναι συνεχείς, κάθετες. Στη δεύτερη περίπτωση, είναι χρήσιμο η κατεύθυνση της δέσμης να είναι παράλληλη με τη διεύθυνση των μεσοσπονδυλίων δίσκων για να διευκολύνεται η εκτίμηση πιθανής στένωσης του μεσοσπονδυλίου διαστήματος. Συνήθως απαιτείται διαφορετική κλίση για κάθε διάστημα. Η κλίση ορίζεται με βάση το πλάγιο τοπογράφημα που εκτελείται στην αρχή της εξέτασης (εικόνα 2.20). Για την εκτίμηση των σπονδυλικών σωμάτων η τεχνική είναι αντίστοιχη με



Εικόνα 2.20

Τοπογράφημα από εξέταση ΥΤ των κατωτέρων οσφυϊκών σπονδύλων. Το βέλος δείχνει τομή με κλίση ώστε να είναι παράλληλη με το μεσοσπονδυλίο διάστημα



Εικόνα 2.21

Τομή ΥΤ σε μεσοσπονδυλίο διάστημα της οσφυϊκής μοίρας της ΣΣ.

αυτές που χρησιμοποιούνται για όλα τα οστά και περιλαμβάνει χρήση οστικού αλγόριθμου ανασύνθεσης και οστικού παράθροου κατά τη φωτογράφιση.

Στην εξέταση της σπονδυλικής στήλης, έχει ιδιαίτερη σημασία η θέση του εξεταζόμενου, η οποία πρέπει να είναι τέτοια που να διευκολύνει το άνοιγμα των διαστημάτων μεταξύ των σπονδύλων. Αυτό αφορά κυρίως την οσφυϊκή μοίρα της Σ.Σ. η οποία είναι αυτή που συνήθερα ελέγχεται για πιθανό πρόβλημα στα μεσοσπονδύλια διαστήματα.

2.12 Αγγειογραφία ΥΤ (Computed Tomography Angiography - CTA)

Η αγγειογραφία με υπολογιστική τομογραφία είναι μια αρκετά καινούρια εφαρμογή της ΥΤ

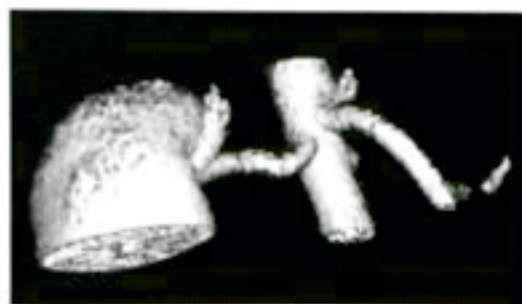


Εικόνα 2.22
Τομή από εξέταση CTA

για την απεικόνιση των αγγείων μιας περιοχής μετά από ενδοφλέβια χορήγηση σκιαγραφικού. Βασίζεται στη σάρωση μιας περιοχής κατά τη διάρκεια της διέλευσης του σκιαγραφικού από τα αγγεία (αρτηριακή φάση) και πριν αυτό αρχίσει να διαχέεται στο φλεβικό δίκτυο (φλεβική φάση) μέσα από το οποίο

απορροφάται από τους γύρω ιστούς (εικόνα 2.22). Επειδή η αρτηριακή φάση κρατάει για πολύ μικρό χρόνο, η τεχνική αυτή έγινε δυνατό να εφαρμοστεί μόνο μετά την ανάπτυξη της ελικοειδούς ΥΤ, η οποία έκανε δυνατή τη λήψη όλων των τομών σε τόσο μικρό διάστημα.

Η μελέτη των τομών μια-μια δεν είναι ωστόσο πρακτική για την εξαγωγή κλινικών συμπερασμάτων. Αφ' ενός οι τομές που λαμβάνονται είναι πάρα πολλές, αλλά το σημαντικότερο είναι ότι είναι δύσκολο να παρακολουθήσουμε την πορεία ενός αγγείου από τη μια εγκάρσια τομή στην επόμενη. Η αγγειογραφία με ΥΤ έχει ουσιαστική κλινική αξία όταν τα δεδομένα από τις εγκάρσιες τομές ανασυνθέτονται για την δημιουργία τρισδιάστατης απεικόνισης. Κατά την ανασύνθεση, χρησιμοποιείται ένας μαθηματικός αλγόριθμος, με τον οποίο αναγνωρίζεται η εικόνα του αγγείου σε κάθε τομή και μόνο τα δικά του δεδομένα χρησιμοποιούνται για την τρισδιάστατη ανασύνθεση. Το αποτέλεσμα είναι η σαφής απεικόνιση της πορείας του αγγείου και η ανάδειξη τυχόν βλαβών (στένωση, αιμορραγία, ανεύρυσμα κ.λπ.) (εικόνα 2.23).



Εικόνα 2.23
Τρισδιάστατη απεικόνιση του αγγείου που εμφανίζεται στην εικόνα 2.22

Περίληψη

Η υπολογιστική τομογραφία βρίσκει εφαρμογή σχεδόν σε όλες τις περιοχές του σώματος, κυρίως για την εξέταση τραυματιών ή τοπικών αλλοιώσεων και κυρίως όγκων. Σε ορισμένες περιοχές όπως το εγκεφαλικό κρανίο, ο θώρακας και η κοιλία είναι ιδιαίτερη σημαντική και συνηθισμένη εξέταση, ενώ αντίθετα υπάρχουν περιοχές όπως τα άκρα στις οποίες η εφαρμογή της είναι πιο περιορισμένη.

Οι τεχνικές παράμετροι καθορίζονται από τις ανατομικές ιδιαιτερότητες της εξεταζόμενης περιοχής αλλά και τα χαρακτηριστικά της βλάβης που προσπαθούμε να ανιχνεύσουμε.

Ιδιαίτερη σημασία έχει να είμαστε σίγουροι ότι οι τελικές εικόνες δίνουν όλες τις απαραίτητες διαγνωστικές πληροφορίες. Αυτό αφορά την επιλογή, τόσο των τομών, όσο και του παραθύρου με το οποίο φωτογραφίζουμε τις εικόνες. Όταν οι δομές που θέλουμε να εξετάσουμε έχουν μεγάλες διαφορές στην απορρόφηση της ακτινοβολίας, τότε η φωτογράφιση γίνεται σε περισσότερα από ένα παράθυρα. Έτσι, η εξέταση εγκεφάλου φωτογραφίζεται σε τυπικό και οστικό παράθυρο, η εξέταση θώρακα σε τυπικό και πεννομικό κ.λπ.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις.

1. Περιγράψτε σύντομα την τεχνική της ΥΤ εγκεφάλου.
2. Ποια περιοχή καλύπτουμε σε μια ΥΤ σπλαχνικού κρανίου;
3. Με ποιους τρόπους μπορούμε να έχουμε στεφανιαίες τομές του κρανίου;
4. Ποια παράθυρα φωτογράφισης χρησιμοποιούνται σε μια εξέταση ΥΤ κόγχων προσώπου για ανίχνευση ξένου σώματος στο βολβό;
5. Πότε δίνουμε κλίση στο gantry σε μια εξέταση τραχήλου;
6. Ποια τα πλεονεκτήματα χρήσης ελικοειδούς ΥΤ για την εξέταση θώρακα;
7. Περιγράψτε τις ιδιαιτερότητες της ΥΤ θώρακα υψηλής ανάλυσης σε σχέση με τη βασική τεχνική ΥΤ θώρακα
8. Τι σκιαγραφικά χρησιμοποιούνται στην ΥΤ κοιλίας και ποια η σημασία τους;
9. Με βάση ποια κριτήρια επιλέγουμε την περιοχή της κοιλίας που θα καλύψουμε;
10. Αναφέρετε μερικές εφαρμογές της ΥΤ στα άκρα.
11. Πότε δίνουμε κλίση στον σκελετό (gantry) σε μια εξέταση σπονδυλικής στήλης;

Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις

1. Σε μια εξέταση εγκεφάλου σε τραυματία, η φωτογράφιση γίνεται σε παράθυρο μαλακών μορίων και σε παράθυρο
2. Η φωτογράφιση μιας εξέτασης θώρακα σεπαράθυρο δεν είναι απαραίτητη όταν γίνεται για ανίχνευση πιθανού ανευρύσματος
3. Για την μελέτη των οστών είναι καλύτερα να χρησιμοποιείται αλγόριθμος υψηλής
4. Για την καλύτερη μελέτη της πορείας ενός αγγείου συνιστάται η τρισδιάστατη των εγκάρσιων τομών
5. Σε ορισμένες εξετάσεις του κρανίου εκτός από τη λήψη εγκάρσιων, είναι χρήσιμη και η λήψητομών

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Ποιο είναι το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης μεγάλου βήματος τραπέζιου ή βήματος σάρωσης σε μια εξέταση θώρακα;
 - A. η βελτίωση της ποιότητας της εικόνας.
 - B. η ελάττωση του χρόνου εξέτασης.
 - Γ. Η σάρωση μεγαλύτερης περιοχής.
2. Η δυναμική μελέτη ενός οργάνου της κοιλίας γίνεται
 - A. με την πραγματοποίηση μιας σάρωσης μετά από χορήγηση σκιαγραφικού .
 - B. με τη λήψη εικόνων πριν και μετά τη χορήγηση σκιαγραφικού.

- Γ. με τη λήψη εικόνων σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα μετά τη χορήγηση σκιαγραφικού.
3. Το τοπογράφημα για μια εξέταση ΥΤ στο θώρακα λαμβάνεται
- Α. σε βαθιά εισπνοή.
 - Β. σε βαθιά εκπνοή.
 - Γ. με τον εξεταζόμενο να αναπνέει ελεύθερα.

3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η ανάπτυξη των βασικών αρχών της απεικόνισης με μαγνητικό συντονισμό. Στο κεφάλαιο αυτό ο μαθητής πρέπει να κατανοήσει

- τη συμπεριφορά των πρωτονίων του σώματός μας μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο
- το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού
- τον τρόπο δημιουργίας και καταγραφής επαγωγικού σήματος κατά την εμφάνιση μαγνητικού συντονισμού
- τι είναι οι χρόνοι χαλάρωσης και τι σημασία έχουν
- τι είναι οι ακολουθίες παλμών και τι δυνατότητες προσφέρουν
- πώς εντοπίζεται το σημείο προέλευσης κάθε σήματος
- τα είδη των μαγνητών που χρησιμοποιούνται
- τους κινδύνους που προκαλεί η παρουσία του μαγνητικού πεδίου
- τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου σε σχέση με τις άλλες απεικονιστικές μεθόδους.

3.1 Εισαγωγή

Η μαγνητική τομογραφία είναι μια μέθοδος απεικόνισης που σε μια πρώτη ματιά φαίνεται να έχει πολλές ομοιότητες με αυτή της υπολογιστικής τομογραφίας. Απεικονίζει κι αυτή τομές του ανθρώπινου σώματος χρησιμοποιώντας μαθηματικές διαδικασίες που εκτελούνται από υπολογιστή. Στην ουσία της όμως διαφέρει ριζικά από την ΥΤ αφού δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία, αλλά χρησιμοποιεί ένα φαινόμενο που ονομάζεται Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός (Nuclear Magnetic Resonance – NMR). Ο όρος «πυρηνικός» δεν οφείλεται σε κάποια σχέση της μεθόδου με τη χρήση ραδιενεργών υλικών, αλλά στο ότι το φαινόμενο αυτό αφορά τους πυρήνες των ατόμων της ύλης.

Ο μαγνητικός συντονισμός χρησιμοποιούνταν για αρκετές δεκαετίες στη χημεία. Έτσι, από τη στιγμή που το 1980 αναπτύχθηκε η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (Magnetic Resonance Imaging – MRI), υπήρξε σημαντικό υπόβαθρο γνώσεων που βοήθησε στην γρήγορη ανάπτυξη της. Σήμερα, η μαγνητική τομογραφία εξακολουθεί να αναπτύσσεται ραγδαία και να βρίσκει νέα πεδία εφαρμογής της. Χάρη στη μεγάλη αξία που απέκτησε σε αυτά τα χρόνια, οι βασικοί πρωτεργάτες της δημιουργίας της μεθόδου, ο Αμερικανός Paul Lauterbur και ο Άγγλος Peter Mansfield, τιμήθηκαν με το βραβείο Nobel για το 2003.

Επειδή η μέθοδος είναι αρκετά περίπλοκη και οι φυσικές αρχές της πολύ διαφορετικές από τις οικείες μεθόδους απεικόνισης με ακτίνες Χ, θα περιοριστούμε στην απλουστευμένη ανάπτυξη των βασικών της αρχών.

3.2 Μαγνητικές ιδιότητες του ανθρώπινου σώματος

Στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού, χρησιμοποιούμε τις μαγνητικές ιδιότητες των πυρήνων υδρογόνου (H^1) που βρίσκονται σε αφθονία στο ανθρώπινο σώμα και τα οποία αποτελούνται μόνο από ένα πρωτόνιο. Όπως ξέρουμε, τα πρωτόνια είναι σωματίδια που έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο και περιστρέφονται διαρκώς γύρω από τον άξονά τους, όπως ακριβώς περιστρέφεται η γη. Η κίνηση αυτή ονομάζεται ιδιοπεριστροφή (spin) και επειδή αυτή ακριβώς η κίνηση είναι η αφετηρία του φαινομένου του μαγνητικού συντονισμού, πολλές φορές στα σχετικά κείμενα, τα πρωτόνια αναφέρονται απλά σαν spin.

Σύμφωνα με τις βασικές αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού, κάθε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Έτσι, τα πρωτόνια που είναι θετικά φορτισμένα και περιστρέφονται εμφανίζουν κι αυτά γύρω τους μαγνητικό πεδίο σαν μικροσκοπικοί μαγνήτες. Αυτό το μαγνητικό πεδίο περιγράφεται από ένα διανυσματικό μέγεθος που ονομάζεται μαγνη-

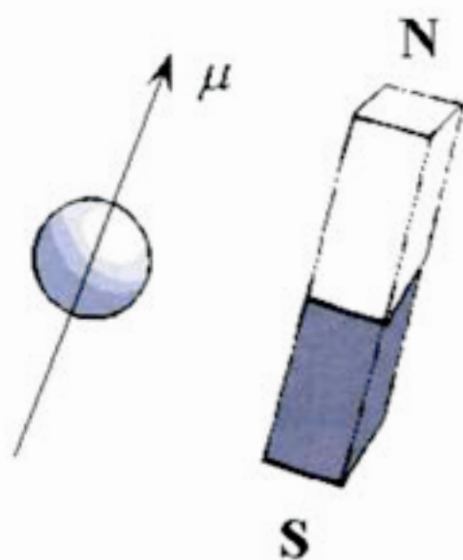
τική ροπή και συμβολίζεται με το γράμμα μ . Το μήκος του διανύσματος δείχνει πόσο ισχυρό είναι αυτό το πεδίο και η φορά του δείχνει την κατεύθυνση από το νότο στο βορρά του μαγνήτη (Σχήμα 3.1).

Φυσικά, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί κάθε πρωτόνιο χωριστά είναι πάρα πολύ ασθενές για να ανιχνευθεί. Αυτό που μπορούμε να εντοπίσουμε είναι το συνολικό μαγνητικό πεδίο που εμφανίζεται σε ένα τμήμα του σώματος, να μετρήσουμε δηλαδή το άθροισμα των μαγνητικών ροπών. Το άθροισμα αυτό ονομάζεται μαγνήτιση του τμήματος που μετράμε και συμβολίζεται με το γράμμα M . Όταν το σώμα δεν δέχεται επίδραση από κάποιο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, οι μαγνητικές ροπές των πρωτονίων είναι προσανατολισμένες τυχαία και αλληλοεξουδετερώνονται. Δεν εμφανίζεται δηλαδή συνολική μαγνήτιση (Σχήμα 3.2α).



Σχήμα 3.2

α. Χωρίς παρουσία μαγνητικού πεδίου τα πρωτόνια προσανατολιούνται τυχαία. β. Όταν υπάρχει μαγνητικό πεδίο παραλληλίζονται με αυτό.



Σχήμα 3.1

Τα τρία επίπεδα: Εγκάρσιο (x

Αν το σώμα μας μπει σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο, τότε κάποια από τα πρωτόνια επηρεάζονται και οι μαγνητικές τους ροπές παραλληλίζονται με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Τα περισσότερα παίρνουν φορά ίδια με αυτή του μαγνητικού πεδίου ενώ τα υπόλοιπα παίρνουν αντίθετη φορά (Σχήμα 3.2 β). Τώρα οι μαγνητικές ροπές δεν αλληλοαναιρούνται τελείως και εμφανίζεται μαγνήτιση (M) με διεύθυνση και φορά ίδια με το μαγνητικό πεδίο.

Η τιμή της μαγνήτισης που εμφανίζεται είναι ανάλογη της έντασης του μαγνητικού πεδίου και του αριθμού των πυρήνων που υπάρχουν στο δείγμα. Τα μαγνητικά πεδία που χρησιμοποιούνται στη μαγνητική τομογραφία είναι πολύ ισχυρά - φτάνουν σε ένταση τα 2 Tesla, ($1 \text{ Tesla} = 1 \text{ T} = 10.000 \text{ Gauss}$). Το μαγνητικό πεδίο της γης είναι



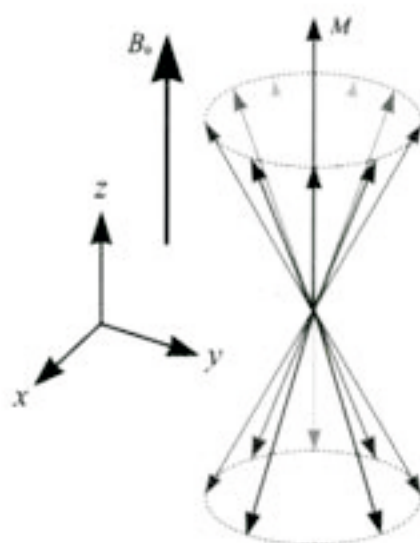
Σχήμα 3.3

Το B_0 στο τρισδιάστατο σύστημα αξόνων x, y, z

περίπου 0,5 Gauss, άρα τα πεδία που χρησιμοποιούμε είναι μέχρι και 20.000 φορές ισχυρότερα. Αυτό το κύριο μαγνητικό πεδίο θα το ονομάζουμε B_0 . Για να μπορούν πιο εύκολα να περιγραφούν τα φαινόμενα που θα περιγράψουμε, θα χρησιμοποιήσουμε το τρισδιάστατο σύστημα αξόνων που θα τους αποκαλούμε x, y και z οι οποίοι περιγράφουν τον τρισδιάστατο χώρο. Σε αυτό το σύστημα θα θεωρούμε ότι το μαγνητικό πεδίο B_0 είναι παράλληλο με τον άξονα z (Σχήμα 3.3).

3.3 Συχνότητα Larmor

Στην πραγματικότητα, κάθε μαγνητική ροπή δεν παραλληλίζεται πλήρως με το μαγνητικό πεδίο B_0 (και τον άξονα z), αλλά περιστρέφεται γύρω από αυτό υπό μια μικρή γωνία και με μια συχνότητα (ω_L) η οποία εξαρτάται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου και ονομάζεται συχνότητα Larmor. Η συχνότητα της περιστροφής όλων των μαγνητικών ροπών των πρωτονίων του δείγματος είναι η ίδια (ω_L), αλλά κάθε μαγνητική ροπή βρίσκεται σε τυχαία φάση (Σχήμα 3.4). Το αποτέλεσμα είναι ότι η συνολική μαγνήτιση (M) δεν έχει συνιστώσα στο επίπεδο xy - είναι, δηλαδή, παράλληλη με το μαγνητικό πεδίο B_0 .



Σχήμα 3.4

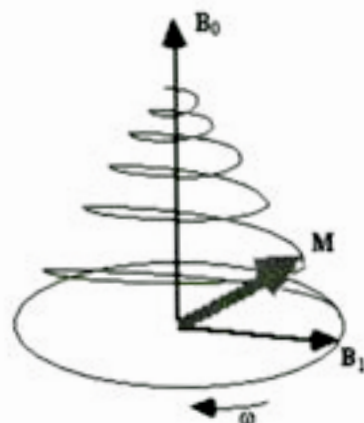
Οι μαγνητικές ροπές περιστρέφονται γύρω από τον άξονα z με τυχαία φάση

3.4 Το βασικό πείραμα μαγνητικού συντονισμού

3.4.1 Παλμοί ραδιοσυχνότητας

Προκειμένου να αποκτήσουμε κάποια πληροφορία από την ύπαρξη της μαγνήτισης, χρησιμοποιούμε ένα δεύτερο μαγνητικό πεδίο, το οποίο συμβολίζουμε B_1 και το οποίο είναι κάθετο

στο αρχικό και η τιμή του είναι πολύ μικρότερη. Το πεδίο αυτό κάνει τη μαγνήτιση να στραφεί προς το οριζόντιο επίπεδο. Το πρόσθετο μαγνητικό πεδίο B_1 μεταβάλλεται με συχνότητα ίση με τη συχνότητα Larmor και έτσι συντονίζεται με τις μαγνητικές ροπές και τις κάνει να περιστρέφονται με την ίδια φάση. Έτσι η συνολική μαγνήτιση εκτός από τη στροφή προς το οριζόντιο επίπεδο εμφανίζεται και να περιστρέφεται εκτελώντας συνολικά μια κίνηση σαν αυτή της σβούρας (σχήμα 3.5)



Σχήμα 3.5
Μεταπτωτική κίνηση της μαγνήτισης

Επειδή η συχνότητα με την οποία μεταβάλλεται το πρόσθετο μαγνητικό πεδίο βρίσκεται στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων, αυτό ονομάζεται και παλμός ραδιοσυχνότητας (παλμός ΡΣ). Ο παλμός ραδιοσυχνότητας εφαρμόζεται για μικρό χρονικό διάστημα και στο τέλος του η μαγνήτιση σχηματίζει με τον άξονα z κάποια γωνία, η οποία εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια του παλμού. Η γωνία αυτή ονομάζεται γωνία στροφής (flip angle) και συμβολίζεται με το γράμμα α . Επειδή, τα χαρακτηριστικά του παλμού (ένταση και διάρκεια) δεν μας ενδιαφέρουν τα ίδια παρά μόνο το αποτέλεσμα τους, οι παλμοί «βαφτίζονται» ανάλογα με τη γωνία στροφής που προκαλούν. Έτσι αν η μαγνήτιση στραφεί κατά 30° τότε ο παλμός ονομάζεται παλμός 30° , αν στραφεί 90° ο παλμός ονομάζεται παλμός 90° κ.ο.κ.

Με την εφαρμογή του παλμού ραδιοσυχνότητας, η μαγνήτιση αποκτά συνιστώσες (προβολές) και στους δυο άξονες. Μια στον άξονα z (M_z), που ονομάζεται διαμήκης μαγνήτις, και μια που περιστρέφεται στο επίπεδο xy (M_{xy}) η οποία ονομάζεται εγκάρσια μαγνήτιση.

3.4.2 Χαλάρωση – Χρόνοι χαλάρωσης

Μετά το τέλος της εφαρμογής του παλμού ΡΣ, η μαγνήτιση που δέχεται πάλι μόνο την επίδραση του αρχικού μαγνητικού πεδίου B_0 , τείνει να επιστρέψει στην κατάσταση που ήταν πριν την εφαρμογή του παλμού. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται χαλάρωση. Η χαλάρωση είναι στην πραγματικότητα το αποτέλεσμα δυο διεργασιών: της αποκατάστασης της αρχικής τιμής της διαμήκους μαγνήτισης M_z (διαμήκης χαλάρωση) και της εξαφάνισης της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} (εγκάρσια χαλάρωση).

Η διαμήκης χαλάρωση προέρχεται από την τάση που εμφανίζουν οι μαγνητικές ροπές να τοποθετηθούν πάνω στον άξονα z, παράλληλα ή αντιπαράλληλα με το μαγνητικό πεδίο.

Η εγκάρσια χαλάρωση, εκτός από την τάση των μαγνητικών ροπών να επιστρέψουν στον άξονα z, οφείλεται και στην απώλεια της συμφασικότητας στην περιστροφή των μαγνητικών

ροπών. Αυτή η απώλεια της συμφαικότητας είναι αποτέλεσμα κάποιων μικρών ανομοιογενειών στο μαγνητικό πεδίο που επιδρά πάνω σε κάθε πυρήνα και οι οποίες οφείλονται σε δυο παράγοντες:

- α. Τις - ανατόφενκτες - μικρές ατέλειες του μαγνητικού πεδίου που χρησιμοποιούμε.
- β. Τις διαφορές που προκαλούν στο τοπικό μαγνητικό πεδίο οι ίδιοι οι πυρήνες, αφού κάθε πυρήνας θα δημιουργεί διαφορετικό πεδίο ανάλογα με το μόριο στο οποίο είναι συνδεδεμένος.

Η ταχύτητα με την οποία η μαγνήτιση επιστρέφει στην κατάσταση που ήταν πριν την εφαρμογή του παλμού ΡΣ περιγράφεται από δυο σταθερές, τον χρόνο χαλάρωσης T_1 και το χρόνο χαλάρωσης T_2 . Οι τιμές T_1 και T_2 είναι δυο σταθερές, που εξαρτώνται από το είδος των πυρήνων τόσο του δείγματος όσο και του περιβάλλοντός του. Ο χρόνος T_1 περιγράφει την ταχύτητα με την οποία η διαμήκης μαγνήτιση M_z ανακάτ την αρχική της τιμή και ονομάζεται διαμήκης χρόνος χαλάρωσης. Ο χρόνος T_2 περιγράφει την ταχύτητα με την οποία η εγκάρσια μαγνήτιση M_{xy} μηδενίζεται και ονομάζεται εγκάρσιος χρόνος χαλάρωσης. Όσο μικρότεροι είναι οι χρόνοι αυτοί, τόσο ταχύτερη είναι η διαδικασία της χαλάρωσης. Και οι δυο σταθερές έχουν διαστάσεις χρόνου και συνήθως μετρώνται σε msec.

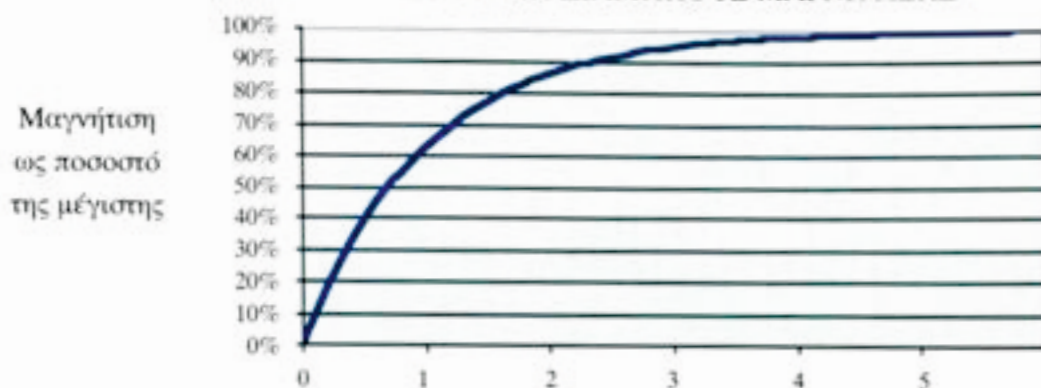
Οι χρόνοι χαλάρωσης, αποτελούν σημαντική πηγή πληροφοριών, αφού είναι διαφορετικοί για τα διάφορα είδη ιστών, αλλά και για όμοιους ιστούς που βρίσκονται σε διαφορετικό περιβάλλον (πίνακας 3.1). Ειδικά για την εγκάρσια χαλάρωση, θα θέλαμε να μην επηρεάζουν τις πληροφορίες αυτές οι ενδογενείς ατέλειες του B_0 , με άλλα λόγια μας ενδιαφέρει ο χρόνος χαλάρωσης (T_2) που θα εμφανιζόταν αν το πεδίο ήταν τέλεια ομοιογενές. Συνήθως, τον T_2 που περιλαμβάνει και την επίδραση των τοπικών ανομοιογενειών τον συμβολίζουμε T_2^* . Οι χρόνοι χαλάρωσης εξαρτώνται και από τη θερμοκρασία του δείγματος, ενώ ο χρόνος T_1 εξαρτάται και από την ένταση του B_0 .

Ιστός	T_1 (msec)	T_2 (ms)
Εγκεφαλονωτιαίο υγρό	800 - 2000	110 - 2000
Λευκή ουσία	760 - 1080	61 - 100
Φαία ουσία	1090 - 2150	61 - 109
Μήνιγγες	500 - 2200	50 - 165
Μύες	950 - 1820	20 - 67
Λίπος	200 - 750	53 - 94

Πίνακας 3.1
Τυπικές τιμές χρόνων χαλάρωσης ιστών του εγκεφάλου

Οι T_1 και T_2 δεν είναι οι πραγματικοί χρόνοι που απαιτούνται για την επαναφορά της μαγνήτισης στην αρχική τους κατάσταση, αλλά απλώς σταθερές που περιγράφουν τη διαδικασία αυτή. Αν π.χ. ένας πυρήνας έχει $T_1 = 500$ msec, η διαμήκης μαγνήτιση δεν θα χρειαστεί 500 msec για να αποκαταστήσει την αρχική της τιμή αλλά μεγαλύτερο χρόνο (Σχήματα 3.6 και 3.7).

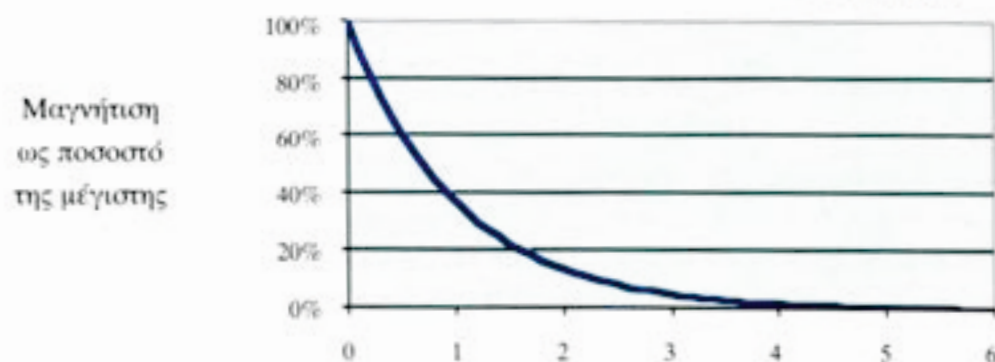
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΜΑΓΝΗΤΙΣΗΣ



Σχήμα 3.6

Ρυθμός επαναφοράς της διαμήκουσ μαγνήτισης μετά το τέλος του παλμού ΡΣ

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΓΚΑΡΙΣΑΣ ΜΑΓΝΗΤΙΣΗΣ



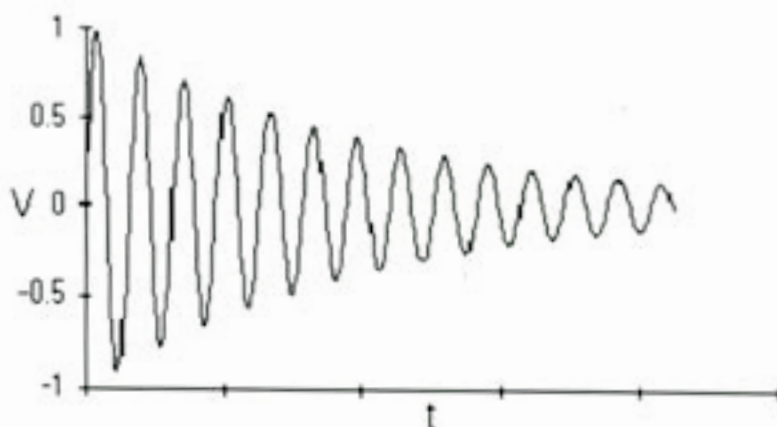
Σχήμα 3.7

Σταδιακή εξαφάνιση της εγκάριας μαγνήτισης μετά το τέλος του παλμού ΡΣ

3.4.3 Το σήμα ελεύθερης απόσβεσης επαγωγής (F.I.D.)

Μετά το τέλος ενός παλμού, η μαγνήτιση (η οποία όπως είπαμε μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας μαγνήτης) προκαλεί, καθώς περιστρέφεται, τη δημιουργία ενός μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου. Αν τοποθετήσουμε ένα πηνίο κάθετα στον άξονα περιστροφής της (τον άξονα z), τότε το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί την εμφάνιση ενός εναλλασσόμενου ηλε-

πρικού ρεύματος που θα διαρρέει το πηνίο. Το ρεύμα αυτό θα έχει συχνότητα ίδια με τη συχνότητα περιστροφής της μαγνήτισης (ωL) και ένταση ανάλογη της τιμής της. Καθώς η μαγνήτιση θα επιστρέφει στον άξονα z , η τιμή της M_{xy} θα τείνει να μηδενιστεί και το ρεύμα θα σβήνει. Η μορφή λουπόν που θα έχει το ηλεκτρικό σήμα που καταγράφεται είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 3.8. Το σήμα αυτό ονομάζεται σήμα ελεύθερης απόσβεσης επαγωγής (Free Induction Decay - FID).



Σχήμα 3.8
Μορφή του σήματος FID

3.5 Αλληλουχίες παλμών

Προκειμένου να μετρήσουμε - ή συνηθέσουμε - τους χρόνους χαλάρωσης διαφορετικών ιστών, χρησιμοποιούμε μια σειρά από παλμούς ραδιοσυχνότητας που εφαρμόζονται με συγκεκριμένη χρονική διαφορά του ενός από τον επόμενο. Μια τέτοια τεχνική ονομάζεται αλληλουχία ή ακολουθία παλμών (pulse sequence).

3.5.1 Ανάκτηση Αναστροφής - (Inversion Recovery - IR)

Η ακολουθία παλμών Inversion Recovery (Ανάκτηση Αναστροφής - IR) αποτελείται από διαδοχικά ζεύγη παλμών τα οποία εφαρμόζονται κατά ίσα χρονικά διαστήματα TR. Το κάθε ζεύγος αποτελείται από έναν παλμό 180° , ο οποίος μετά από χρόνο TI (Inversion Time - Χρόνος αναστροφής) ακολουθείται από έναν παλμό 90° .

Μετά την εφαρμογή του παλμού 180° , το διάνυσμα της μαγνήτισης αντιστρέφεται. Μετά την πάυση του παλμού η μαγνήτιση αρχίζει να επανέρχεται στην αρχική της θέση. Η ένταση του σήματος θα εξαρτάται από το πόσο αργά επιστρέφει η διαμήκης μαγνήτιση στον z άξονα από χρόνο T_1 του δείγματος, γεγονός που μπορούμε να αξιοποιήσουμε με δύο τρόπους:

α. Στην απεικόνιση με μαγνητικό συντονισμό για να δημιουργήσουμε αντίθεση μεταξύ δυο ιστών με διαφορετικό T_1 .

β. Στη φασματοσκοπία με μαγνητικό συντονισμό για τον υπολογισμό του T_1 κάποιου δείγματος, παίρνοντας σήματα του ίδιου δείγματος μετά από διαφορετικό χρόνο κάθε φορά.

3.5.2 Ηχώ spin (Spin Echo - SE)

Η αλληλουχία παλμών Spin-Echo αποτελείται από διαδοχικά ζεύγη παλμών, τα οποία ζεύγη αποτελούνται από έναν παλμό 90° και έναν παλμό 180° , οι οποίοι εφαρμόζονται με μια χρονική διαφορά τ .

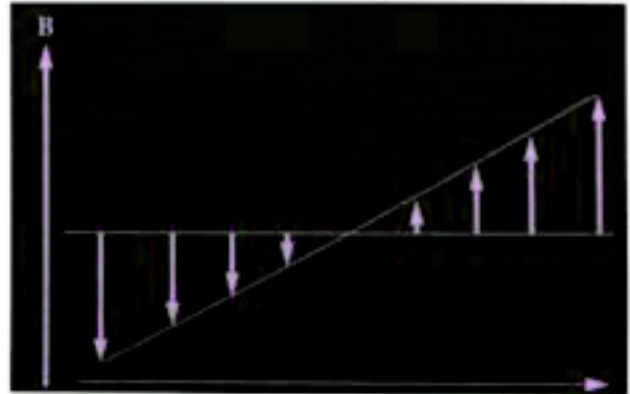
Μετά το τέλος του πρώτου παλμού (90°) ο οποίος φέρνει τη μαγνήτιση στο επίπεδο xy , η εγκάρσια μαγνήτιση αρχίζει να μειώνεται εκθετικά και με ρυθμό που καθορίζεται από το χρόνο χαλάρωσης T_2^* . Αυτό όπως είπαμε συμβαίνει επειδή οι μαγνητικές ροπές των πρωτονίων χάνουν τη συμφασική τους κίνηση λόγω τόσο των ανομοιογενειών του εξωτερικού πεδίου Β0 όσο και των ανομοιογενειών του χημικού τους περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα οι μαγνητικές ροπές να περιστρέφονται με διαφορετική ταχύτητα. Μετά την εφαρμογή του παλμού 180° , οι μαγνητικές ροπές αντιστρέφονται με αποτέλεσμα αυτές που κινούνται πιο γρήγορα να βρίσκονται τώρα πίσω από τις πιο αργές. Αφού οι ταχύτητες με τις οποίες περιστρέφονται οι μαγνητικές ροπές δεν έχει αλλάξει, οι ταχύτερες αρχίζουν τώρα να πλησιάζουν τις αργές με την ίδια ταχύτητα με την οποία προηγουμένως απομακρύνονταν. Έτσι μετά από χρόνο ίσο με 2τ οι προβολές των μαγνητικών ροπών στον άξονα xy θα συμπίψουν και πάλι και η εγκάρσια μαγνήτιση M_{xy} θα αποκτήσει ξανά τη μέγιστη τιμή της. Αυτή η επανεμφάνιση της συμφασικής κίνησης των μαγνητικών ροπών ονομάζεται επανεστίαση (refocusing). Αφού η εγκάρσια μαγνήτιση αποκτά και πάλι τη μέγιστη τιμή της, είναι προφανές ότι και το σήμα F.I.D. αποκτά και αυτό τη μέγιστη έντασή του. Δημιουργείται, δηλαδή, ένα είδος «ηχούς» του αρχικού σήματος F.I.D. η οποία ονομάζεται ηχώ spin (spin-echo).

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της έναρξης της διαδικασίας, δηλαδή από την εφαρμογή του παλμού 90° μέχρι την επανεστίαση ονομάζεται χρόνος ηχούς (echo time - TE). Τα ζεύγη παλμών ($90^\circ - 180^\circ$) εφαρμόζονται πολλές φορές προκειμένου να ενισχυθεί το σήμα F.I.D. Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ την εφαρμογή ενός παλμού 90° και του επόμενου παλμού 90° ονομάζεται χρόνος επανάληψης (Repetition time - TR).

Αφού η αλληλουχία αυτή δίνει σήμα που εξαρτάται (και) από το χρόνο T_2 και όχι τον λιγότερο χρήσιμο T_2^* , μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρησή του, με την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιούμε αρκετά μεγάλο TR κάθε φορά ώστε να ολοκληρωθεί η διαμήκης μαγνήτιση και να εξαφανιστεί η επίδραση των χρόνων T_1 στο σήμα.

3.6 Σχηματισμός εικόνας

Μέχρι τώρα, με το πείραμα που εκτελέσαμε καταφέρουμε να πάρουμε κάποιο μετρήσιμο σήμα το οποίο είδαμε ότι μπορεί να δώσει πολλές πληροφορίες για το δείγμα από το οποίο προέρχεται. Για να έχουμε απεικόνιση όμως, χρειαζόμαστε ένα τρόπο να ανιχνεύουμε από ποιο σημείο του σώματος προέρχεται το σήμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση άλλων μαγνητικών πεδίων τα οποία ονομάζονται βαθμιδωτά (field gradients). Η ένταση αυτών των πεδίων μεταβάλλεται κατά μήκος ενός άξονα (σχήμα 3.9) και καθώς



Σχήμα 3.19
Μεταβολή του βαθμιδωτού πεδίου κατά μήκος ενός εγκάρσιου άξονα

προστίθενται στο κύριο μαγνητικό πεδίο B_0 έχουν σαν αποτέλεσμα τα πρωτόνια σε κάθε σημείο αυτού του άξονα να έχουν διαφορετική συχνότητα περιστροφής, άρα να εκπέμπουν σήματα διαφορετικής συχνότητας. Αυτή η ιδιότητα μας επιτρέπει να διαχωρίζουμε τα σήματα ανάλογα με τη θέση τους κατά μήκος ενός άξονα. Οι βαθμίδες εφαρμόζονται και στους τρεις άξονες. Με τη μια επιλέγουμε την τομή, και με τις άλλες δυο σχηματίζουμε τη διδιάστατη προβολή της. Αντίθετα με την αξονική τομογραφία, εδώ μπορούμε να επιλέξουμε οποιοδήποτε από τα τρία επίπεδα θέλουμε ως επίπεδο τομής.

Συνδυάζοντας τη μέθοδο αυτή με την κατάλληλη αλληλουχία παλμών, σχηματίζουμε εικόνες όπου η αντίθεση να εξαρτάται από οποιαδήποτε παράμετρο των μαγνητικών ιδιοτήτων των ιστών (T_1 , T_2 ή πυκνότητα πρωτονίων ρ). Ανάλογα με την παράμετρο που συνεισφέρει περισσότερο στο σήμα, οι εικόνες χαρακτηρίζονται ως εικόνες με T_1 -βαρύτητα (weighting), T_2 -βαρύτητα ή με βαρύτητα πυκνότητας πρωτονίων. Για παράδειγμα, στον πίνακα 3.2 φαίνονται οι τιμές που πρέπει να έχουν οι χρόνοι TE και TR σε μια ακολουθία spin - echo για να πετύχουμε την κατάλληλη βαρύτητα.

Βαρύτητα	TR	TE
T_1	$< = T_1$	$< < T_2$
T_2	$> > T_1$	$> = T_2$
ρ	$> > T_1$	$< < T_2$

Πίνακας 3.2

Σχέση που πρέπει να έχουν οι παράμετροι TR και TE με τους χρόνους χαλάρωσης ώστε να επιτύχουμε κατάλληλη βαρύτητα στην εικόνα

3.7 Τεχνικές ταχείας απεικόνισης

Ένα βασικό μειονέκτημα της απεικόνισης με μαγνητικό συντονισμό όπως την περιγράψαμε ως τώρα, είναι η μεγάλη διάρκεια της εξέτασης. Αποτέλεσμα αυτής της μεγάλης διάρκειας ήταν η υποβάθμιση της ποιότητας των εξετάσεων λόγω κίνησης του εξεταζόμενου, και το μικρό αριθμό εξετάσεων που μπορούσαν να εκτελεστούν σε ένα τμήμα, γεγονός που αυξάνει το κόστος της εξέτασης. Επιπλέον, η μεγάλη διάρκεια λήψης της κάθε εικόνας κάνει εξαιρετικά δύσκολη την απεικόνιση περιοχών που παρουσιάζουν κάποια φυσιολογική κίνηση ιστών. Για τους λόγους αυτούς αναπτύχθηκαν ορισμένες τεχνικές που επιτρέπουν τη γρήγορη λήψη των δεδομένων οι οποίες, αν και γενικά έχουν μικρότερες δυνατότητες διαμορφωσής της αντίθεσης της εικόνας, ωστόσο επιτρέπουν τη λήψη της σε χρόνους ακόμα και κάτω από 1 sec. Όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο, οι τεχνικές αυτές συνέβαλαν σημαντικά στην επέκταση των κλινικών εφαρμογών της μαγνητικής τομογραφίας.

3.8 Σκιαγραφικά

Όπως ακριβώς και στις απεικονιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούν ακτίνες $-X$, έτσι και στην απεικόνιση MRI μπορούμε να ενισχύσουμε το σήμα που δίνουν ορισμένοι ιστοί ή όργανα, με τη χορήγηση σκιαγραφικών ουσιών. Βέβαια, η σκιαγραφική δράση των ουσιών αυτών δεν βασίζεται στην υψηλή απορρόφηση της ακτινοβολίας, αλλά στις μαγνητικές τους ιδιότητες που προκαλούν μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο στην περιοχή που βρίσκονται. Η πιο διαδεδομένη σκιαγραφική ουσία είναι το στοιχείο γαδολίνιο (Gd).

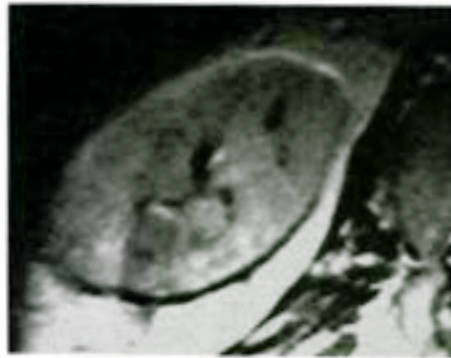
3.9 Ψευδενδείξεις (Artefacts)

Λόγω της εξάρτησης της απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, υπάρχουν πάρα πολλές περιπτώσεις όπου ο σχηματισμός της εικόνας επηρεάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθούν ψευδείς ενδείξεις. Οι πιο σημαντικές κατηγορίες από αυτές είναι οι εξής.

3.9.1 Ψευδενδείξεις λόγω παρουσίας λίπους

Εμφανίζονται στα όρια μεταξύ λίπους και άλλου ιστού. Επειδή για τον εντοπισμό της θέσης προέλευσης του σήματος χρησιμοποιείται η συχνότητά του, καθώς το λίπος έχει άλλη συχνότη-

τα συντονισμού από το νερό των ιστών, το σύστημα νομίζει ότι βρίσκεται σε άλλη θέση. Το αποτέλεσμα είναι ότι ιστοί που περιέχουν λίπος να παρουσιάζονται ελαφρά μετατοπισμένοι σε σχέση με την πραγματική τους θέση (εικόνα 3.1).

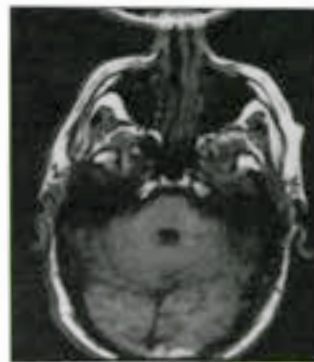


Εικόνα 3.1

Ψευδένδειξη λόγω παρουσίας λίπους σε εγκάρσια τομή νεφρού. Ο νεφρός έχει μετατοπισθεί προς τα κάτω γι' αυτό το κάτω τοίχωμα φαίνεται παχύτερο από το άνω.

3.9.2 Ψευδενδείξεις δειγματοληψίας (Aliasing - Wrap around)

Εμφανίζεται όταν το μέγεθος του πεδίου (FOV) που επιλέγουμε είναι μικρότερο από το τμήμα του σώματος που απεικονίζεται. Το σύστημα τοποθετεί αυτό το τμήμα του σώματος που «προεξέχει» στην αντίθετη άκρη της εικόνας. (εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2

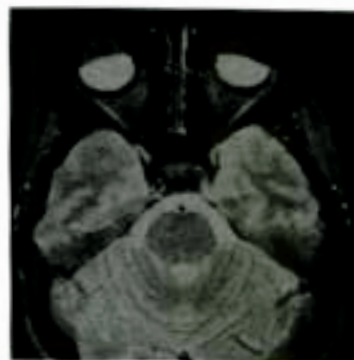
Ψευδένδειξη δειγματοληψίας. Το πίσω τμήμα του κεφαλιού εμφανίζεται μπροστά και επιπροβάλλει με τη μύτη.

3.9.3 Ψευδενδείξεις εισόδου στην τομή (Entry slice)

Εμφανίζονται όταν πρωτόνια που δεν έχουν δεχτεί την επίδραση του αρχικού παλμού ΡΣ εισέρχονται στην τομή (π.χ το αίμα). Τα πρωτόνια αυτά, καθώς διατηρούν ολόκληρη τη διαμήκη μαγνήτιση, δίνουν πιο ισχυρό σήμα.

3.9.4 Ψευδενδείξεις ξένου σώματος

Ωφελούνται στην παρουσία κάποιου υλικού που αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο και προκαλεί σε αυτό τοπική ανομοιομορφία. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση φωτεινών και σκούρων περιοχών και παραμόρφωση της ανατομίας της περιοχής (εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3

Ψευδένδειξη ξένου σώματος στο προσκίνο μέρος των οφθαλμικών κόγχων λόγω της μάσκαρας που φορούσε η εξεταζόμενη

3.10 Βασικά μέρη μαγνητικού τομογράφου

3.10.1 Ο μαγνήτης

Βασική προϋπόθεση για την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού είναι η δημιουργία ισχυρού μαγνητικού πεδίου το οποίο να είναι ομοιογενές (ίδια ένταση σε όλα τα σημεία) και σταθερό (να μη μεταβάλλεται με το χρόνο). Για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρεις τύποι μαγνητών.

Μόνιμοι μαγνήτες.

Ο πιο απλός τύπος μαγνήτη, αποτελείται από υλικά που έχουν μόνιμες μαγνητικές ιδιότητες. Μεγάλο του πλεονέκτημα είναι το μικρό κόστος λειτουργίας του (δεν καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα για τη δημιουργία του πεδίου!). Ωστόσο, είναι πρακτικά αδύνατο να δημιουργήσουμε πολύ ισχυρό μαγνητικό πεδίο με αυτή τη μέθοδο (συνήθως δεν ξεπερνάει τα 0,2 T), γεγονός που περιορίζει το εύρος των πιθανών εφαρμογών του, ενώ και αυτό που καταφέρνουμε να έχουμε επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία του υλικού και γι αυτό το μαγνητικό πεδίο των μόνιμων μαγνητών είναι χρονικά ασταθές. Ένα άλλο μειονέκτημα των μόνιμων μαγνητών είναι το τεράστιο βάρος τους που δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις στο χώρο εγκατάστασής τους.



Εικόνα 3.4
Μαγνητικός τομογράφος

Αγώγιμοι μαγνήτες

Πρόκειται για πηνία τα οποία, όταν διαρρέονται από ρεύμα, προκαλούν τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου. Έχουν το πλεονέκτημα ότι το μαγνητικό πεδίο μπορεί να σβήσει και έτσι μειώνεται ο κίνδυνος ατυχημάτων. Ωστόσο, η κατανάλωση ρεύματος για τη δημιουργία ενός τόσο ισχυρού μαγνητικού πεδίου είναι τεράστια, ενώ απαιτεί και εξαιρετική σταθερότητα στην παροχή ρεύματος που είναι δύσκολο να επιτευχθεί.

Υπεραγώγιμοι μαγνήτες

Και αυτοί χρησιμοποιούν διάταξη πηνίου για να δημιουργήσουν το μαγνητικό πεδίο, όμως το σύρμα είναι κατασκευασμένο από υλικό που, όταν βρίσκεται σε πάρα πολύ χαμηλή θερμοκρασία, δεν εμφανίζει αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα (γίνεται υπεραγώγιμο). Το σύρμα βρίσκεται μέσα σε υγρό ήλιο το οποίο έχει θερμοκρασία -257o C και έτσι διατηρείται στην υπεραγώγιμη κατάσταση. Ο υπεραγώγιμος μαγνήτης δεν έχει κατανάλωση ρεύματος, πρέπει όμως να τροφοδοτείται με αέριο ήλιο.

Καθώς οι μαγνήτες παράγουν μαγνητικό πεδίο εξαιρετικά μεγάλης έντασης, είναι απαραίτητο το πεδίο αυτό να περιορίζεται μόνο στην αίθουσα όπου βρίσκεται το σύστημα. Αν δε γίνει αυτό, το μαγνητικό πεδίο θα επηρεάζει μεταλλικά αντικείμενα και συσκευές σε μεγάλη ακτίνα γύρω του αλλά και θα επηρεάζεται από αυτά, με αποτέλεσμα να χάσει τη σταθερότητά του. Ο περιορισμός του πεδίου επιτυγχάνεται με μια ειδική θωράκιση του χώρου στον οποίο βρίσκεται ο μαγνήτης και η οποία ονομάζεται κλωβός Faraday.

3.10.2 Πηνία

Εκτός από το πηνίο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του βασικού μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιούνται και πηνία μικρότερης έντασης για την παραγωγή μικρότερης έντασης πεδίων και την καταγραφή των σημάτων. Τα πηνία αυτά είναι τα πηνία ραδιοσυχνότητας, τα πεδία βαθμίδων και τα πεδία παρέμβασης.

Πηνία Ραδιοσυχνότητας

Τα πηνία ραδιοσυχνότητας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των παλμών RF αλλά και την καταγραφή του σήματος FID. Η ικανότητα ενός συστήματος να επιτυγχάνει υψηλή ένταση καταγραφόμενου σήματος και επομένως καλή ποιότητα εικόνας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόδοση αυτών των πηνίων. Αρχικά, ένα μεγάλο πηνίο χρησιμοποιούνταν για την εκπομπή του παλμού και τη λήψη του σήματος από οποιαδήποτε περιοχή. Η απόδοση όμως των πηνίων στην ανίχνευση του σήματος χειροτερεύει σημαντικά όταν αυτό προέρχεται από ιστό που βρίσκεται μακριά από το πηνίο.

Η λύση που δόθηκε αρχικά ήταν η δημιουργία πηνίων ειδικών για την ανίχνευση του σήματος από μια συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι υπάρχουν πηνία ειδικά για την απεικόνιση του κρανίου, του λαιμού, των άκρων κ.λπ. Καθώς όμως οι κλινικές εφαρμογές του μαγνητικού συντονισμού επεκτείνονταν, φάνηκε ότι η λύση αυτή, αν και έχει αξία για πολλές εφαρμογές, δεν ήταν αρκετά ευέλικτη για να αντιμετωπίσει όλες τις ανάγκες.

Ένα πιο ευέλικτο είδος πηνίων είναι τα πηνία επιφάνειας, τα οποία όμως μπορούν να καλύψουν ένα μικρό μόνο πεδίο.

Η μεγαλύτερη πρόοδος σημειώθηκε με την ανάπτυξη της τεχνικής της παράταξης πηνίων (multi-coil array ή phased array) η οποία χρησιμοποιεί πολλά πηνία επιφάνειας τα οποία συνδυάζονται με οποιονδήποτε τρόπο χρειάζεται, προκειμένου να καλύψουν την εξεταζόμενη περιοχή



Εικόνα 3.5
Διάφοροι τύποι πηνίων ΡΣ

Πηνία βαθμίδων (Gradient coils)

Είναι τα πηνία που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των βαθμιδαστών πεδίων. Τα πηνία αυτά πρέπει να χαρακτηρίζονται από πολύ καλή γραμμικότητα στις μεταβολές που προκαλούν

στο μαγνητικό πεδίο και να μη μεταβάλλεται η ένταση του πεδίου που προκαλούν με το χρόνο. Η ανάπτυξη των τεχνικών ταχείας απεικόνισης δημιούργησε επίσης την ανάγκη για την ανάπτυξη πεδίων βαθμίδας τα οποία να μπορούν να μεταβάλλουν την τιμή του πεδίου που δημιουργούν από το μηδέν στη μέγιστη τιμή, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Πηνία παρέμβασης (shim coils)

Τα πηνία αυτά χρησιμοποιούνται για να διορθώνουν τις μικρές ανομοιογένειες του βασικού μαγνητικού πεδίου.

3.11 Ασφάλεια

Όπως είπαμε, η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού δεν χρησιμοποιεί ιοντιζουσες ακτινοβολίες και γι' αυτό δεν έχει βλαβερές επιπτώσεις στον εξεταζόμενο. Όμως, η ύπαρξη ενός εξαιρετικά ισχυρού μαγνητικού πεδίου μπορεί να προκαλέσει άμεσους κινδύνους λόγω της ισχυρής του επίδρασης στα μεταλλικά αντικείμενα που βρίσκονται κοντά του.

Οι βηματοδότες καρδιάς είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στην παρουσία μαγνητικών πεδίων και ένα τόσο ισχυρό μαγνητικό πεδίο όπως αυτό του μαγνητικού τομογράφου μπορεί να απορυθμίσει αμέσως τη λειτουργία τους και να θέσει σε άμεσο κίνδυνο τη ζωή αυτού που φέρει το βηματοδότη. Οι άνθρωποι αυτοί δεν είναι δυνατό ποτέ να υποβληθούν στην εξέταση, χωρίς να υπάρχει κανένα περιθώριο εξαίρεσης από αυτόν τον περιορισμό. Ο χειριστής του μαγνητικού τομογράφου έχει ευθύνη να σιγουρευτεί ότι αυτός που πρόκειται να υποβληθεί στην εξέταση δεν έχει βηματοδότη και να μη βασίζεται στην παραπομπή από τον κλινικό γιατρό. Για όσους έχουν κάποιο μεταλλικό εμφύτευμα (από ορθοπεδικά χειρουργεία, χειρουργικά κλιπ κ.λπ.) πρέπει να εξετάζεται κατά πόσο το μαγνητικό πεδίο μπορεί να προκαλέσει βλάβη, πριν τους επιτραπεί να κάνουν την εξέταση. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζονται οι τραυματίες που μπορεί να έχουν μεταλλικά θραύσματα, ειδικά στο μάτι.

Η παρουσία μεταλλικών αντικειμένων στο χώρο δημιουργεί τον κίνδυνο να παρασυρθούν αυτά από το μαγνήτη τραυματίζοντας κάποιον που βρίσκεται στο χώρο. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι σύγχρονοι μαγνητικοί τομογράφοι έχουν ιδιαίτερα ισχυρά πεδία και έχουν συμβεί ατυχήματα όχι μόνο με μικρά μεταλλικά αντικείμενα (ιδίως εργαλεία) αλλά ακόμα και με φιάλη οξυγόνου.

3.12 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μαγνητικής τομογραφίας

Η μαγνητική τομογραφία έχει αντίστοιχη χρησιμότητα με την υπολογιστική τομογραφία, αφού δίνει εικόνα των εσωτερικών δομών του σώματος με μη επεμβατική διαδικασία, ενώ σε σχέση με την ΥΤ έχει και άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα: Δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία, δίνει δυνατότητα απ' ευθείας λήψης τομών και στους τρεις άξονες και κυρίως, χρησιμοποιεί πολλές παραμέτρους για να σχηματίσει την εικόνα δίνοντας έτσι πολύ περισσότερες δυνατότητες. Βασικότερα μειονεκτήματά της είναι η αδυναμία της να απεικονίσει καλά τα οστά, η απόλυτη αντένδειξη της για όσους έχουν βηματοδότη και οι περιορισμοί στην παρουσία εργαλείων και συσκευών στο χώρο εξέτασης λόγω του μαγνητικού πεδίου. Επίσης, έχει υψηλό κόστος και μεγάλες απαιτήσεις στο χώρο εγκατάστασής της.

Περίληψη

Η μαγνητική τομογραφία είναι μια απεικονιστική μέθοδος που χρησιμοποιεί τις μαγνητικές ιδιότητες του σώματος όταν αυτό βρίσκεται σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο.

Πηγή πληροφοριών της είναι το σήμα FID που δημιουργείται όταν η μαγνήτιση των ιστών εκτρέπεται από τον κάθετο άξονα με την εφαρμογή ενός παλμού ραδιοσυχνότητας και στη συνέχεια αφήνεται να επανέλθει σε αυτόν.

Οι εικόνες που δημιουργούνται μπορεί να βασίζονται σε διάφορες ιδιότητες των ιστών, όπως την πυκνότητα των πρωτονίων και τους χρόνους χαλάρωσης T1 και T2. Η παράμετρος που υπερισχύει στο σχηματισμό της εικόνας εξαρτάται από την ακολουθία παλμών ΡΣ που χρησιμοποιούμε.

Η μαγνητική τομογραφία δεν έχει βλαβερές επιδράσεις στον άνθρωπο. Όμως, το ισχυρό μαγνητικό πεδίο που χρησιμοποιεί μπορεί να δημιουργήσει κινδύνους αν ο εξεταζόμενος έχει βηματοδότη ή αν υπάρχουν μεταλλικά αντικείμενα στο χώρο.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις.

1. Τι είναι η μαγνητική ροπή ενός πυρήνα;
2. Από τι εξαρτάται η συχνότητα με την οποία περιστρέφονται οι μαγνητικές ροπές πρωτονίων που βρίσκονται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο;
3. Τι είναι ένας παλμός ραδιοσυχνότητας;
4. Τι μορφή έχει το σήμα ελεύθερης απόσβεσης επαγωγής;
5. Τι κερδίζουμε με τη δημιουργία μιας ηκούς spin;
6. Ποια είδη μαγνητών χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του κύριου μαγνητικού πεδίου;
7. Για ποια πράγματα πρέπει να σιγουρευτούμε πριν επιτρέψουμε σε κάποιον να μπει στο χώρο του μαγνήτη;
8. Με βάση τις τιμές του πίνακα 3.1, με τι εικόνα μπορούμε να ξεχωρίσουμε καλύτερα τη λευκή από τη φαιά ουσία: με εικόνα T_1 -βαρύτητας ή T_2 -βαρύτητας;
9. Για ποιο λόγο δεν μπορούμε να πάρουμε σήμα από τη μαγνήτιση όταν είναι παράλληλη στο B_0 ;

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Όταν το ανθρώπινο σώμα δέχεται την επίδραση ισχυρού μαγνητικού πεδίου, οι μαγνητικές ροπές των πρωτονίων:
 - A. Γίνονται όλες παράλληλες με τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου.
 - B. Μερικές γίνονται παράλληλες με τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου.
 - Γ. Δεν επηρεάζονται.
2. Η συχνότητα με την οποία περιστρέφονται οι μαγνητικές ροπές εξαρτάται:
 - A. από την ένταση του μαγνητικού πεδίου.
 - B. από τον αριθμό των πυρήνων που υπάρχουν στην περιοχή.
 - Γ. και από τα δυο παραπάνω.
3. Αν κάποιος έχει εμφαντευμένο βηματοδότη:
 - A. Μπορεί να κάνει μαγνητική τομογραφία μόνο σε περιοχές μακριά από την καρδιά.
 - B. Μπορεί να κάνει μαγνητική τομογραφία μόνο αν το επιτρέψει ο καρδιολόγος του.
 - Γ. Δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να κάνει μαγνητική τομογραφία.
4. Αν ένας ιστός έχει χρόνο χαλάρωσης $T_1 = 800$ msec, μετά από έναν παλμό 90°, η διαμήκης μαγνήτιση επανέρχεται στην αρχική της τιμή:
 - A. σε λιγότερο από 800 msec,
 - B. σε 800 msec,
 - Γ. σε περισσότερο από 800 msec.
5. Τα πηνία ραδιοσυχνότητας χρησιμοποιούνται
 - A. για την παραγωγή των παλμών ραδιοσυχνότητας,

- B. για την καταγραφή του σήματος F.I.D.,
- Γ. και για τα δυο παραπάνω.

Επιλέξτε όσες φράσεις είναι σωστές.

1. Τα πρωτόνια

- A. έχουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο
- B. περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους
- Γ. συμπεριφέρονται σαν μικροί μαγνήτες
- Δ. δεν επηρεάζονται από κάποιο μαγνητικό πεδίο

2. Ο παλμός ραδιοσυχνότητας

- A. είναι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο
- B. προκαλεί στροφή της μαγνήτισης προς το εγκάρσιο επίπεδο
- Γ. κάνει τις μαγνητικές ροπές να περιστρέφονται με την ίδια συχνότητα
- Δ. Εφαρμόζεται για σύντομο χρονικό διάστημα

3. Τα βαθμιδατά πεδία

- A. προκαλούν τη δημιουργία ηχούς σπιν
- B. είναι πολύ ασθενέστερα από το κύριο μαγνητικό πεδίο
- Γ. επηρεάζουν την αντίθεση της εικόνας που παίρνουμε
- Δ. χρησιμοποιούνται για την επιλογή της τομής

Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις

1. Μαγνήτιση είναι το άθροισμα των που βρίσκονται μέσα στο δείγμα
2. Η ηχώ σπιν εμφανίζεται όταν οι μαγνητικές ροπές περιστρέφονται πάλι όλες με την ίδια
3. Το υλικό των πηνίων των μαγνητών δεν εμφανίζει αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα που το διαρρέει
4. Η ψευδένδειξη εμφανίζεται όταν επιλέγουμε πεδίο απεικόνισης μικρότερο από τη διάμετρο του σώματος που εξετάζεται
5. Ο χρόνος χαλάρωσης T1 εκφράζει την ταχύτητα με την οποία η μαγνήτιση ανακάμπτει την αρχική της τιμή

Αντιστοιχίστε τα τμήματα ενός μαγνητικού τομογράφου που παρουσιάζονται στην αριστερή στήλη με τις λειτουργίες που παρουσιάζονται στη δεξιά:

- | | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| A. Πηνία βαθμίδων | 1. Δημιουργία μαγνητικού πεδίου |
| B. Πηνία ραδιοσυχνότητας | 2. Διόρθωση μαγνητικού πεδίου |
| Γ. Μαγνήτης | 3. Καταγραφή έντασης σήματος |
| Δ. Πηνία παρέμβασης | 4. Εντοπισμός της θέσης του σήματος |

4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ MRI

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η γνωριμία του μαθητή με το εύρος των εφαρμογών της απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού. Μέσα από το κεφάλαιο αυτό, ο μαθητής θα δει μια περιγραφή των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για

- την απεικόνιση του κρανίου
- την απεικόνιση της σπονδυλικής στήλης
- τη μελέτη των οστών και των αρθρώσεων
- την ανατομική και λειτουργική μελέτη της καρδιάς
- την απεικόνιση των αγγείων
- την απεικόνιση των οργάνων της κοιλιάς και τη μελέτη των χοληφόρων οδών
- την απεικόνιση των μαστών.

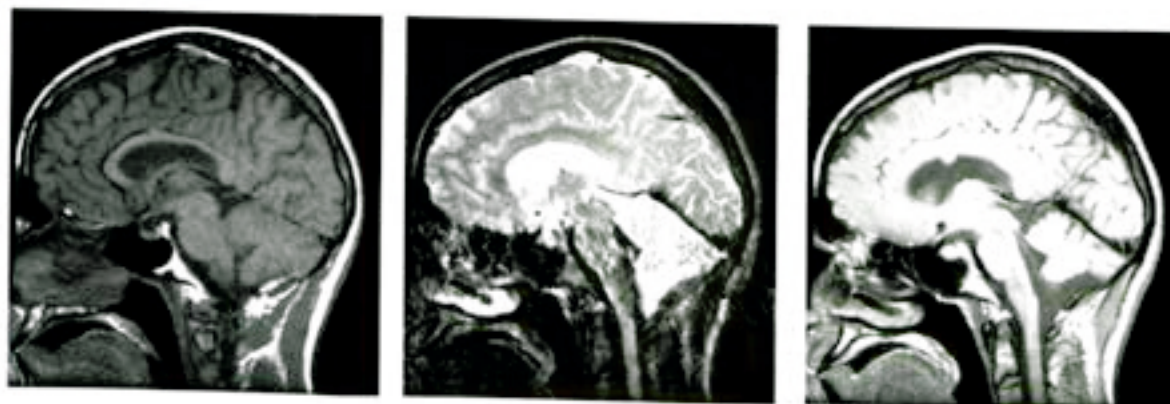
4.1 Εισαγωγή

Η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού είναι μια μέθοδος που βασίζεται σε ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων και γι' αυτόν το λόγο οι κλινικές της εφαρμογές είναι πάρα πολλές και βασίζονται σε πολλές διαφορετικές τεχνικές. Στο κεφάλαιο αυτό θα πάρουμε μια εικόνα για το εύρος των εφαρμογών της μεθόδου και κυρίως για εκείνες που προσέφεραν εντελώς νέες δυνατότητες στην απεικονιστική μελέτη κάθε συστήματος.

4.2 Εφαρμογές MRI για το κρανίο

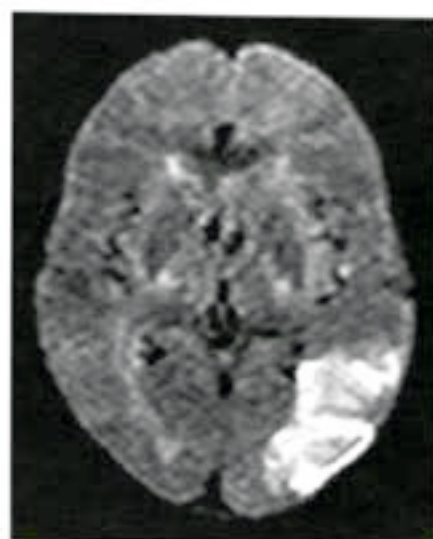
Η εξέταση του εγκεφάλου αποτελεί το σημαντικότερο πεδίο εφαρμογών για την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού. Η ευαισθησία του στην ανίχνευση πολύ μικρών διαφορών ως προς τη σύσταση και τη δομή των νευρικών ιστών τον κάνει την πιο κατάλληλη μέθοδο για την απεικόνιση των περισσότερων νευρολογικών διαταραχών. Ειδικά στη μελέτη της σκλήρυνσης κατά πλάκας, όχι μόνο αποτελεί ουσιαστικά τη μοναδική αξιόπιστη μέθοδο, αλλά έχει βοηθήσει και στην καλύτερη κατανόηση της ίδιας της νόσου. Επίσης χρησιμοποιείται για τη μελέτη φλεγμονών και την ανίχνευση και παρακολούθηση της εξέλιξης όγκων του εγκεφάλου. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή του και στη μελέτη της άνοιας.

Στη μελέτη κρανιοεγκεφαλικών κακώσεων, η μαγνητική τομογραφία έχει το μειονέκτημα σε σχέση με την ΥΤ ότι δεν απεικονίζει τόσο καλά τις οστικές βλάβες, αλλά από την άλλη είναι πολύ πιο ευαίσθητη στην ανίχνευση τραυματικών βλαβών στα μαλακά μέρη του νευρικού ιστού.



Εικόνα 4.1

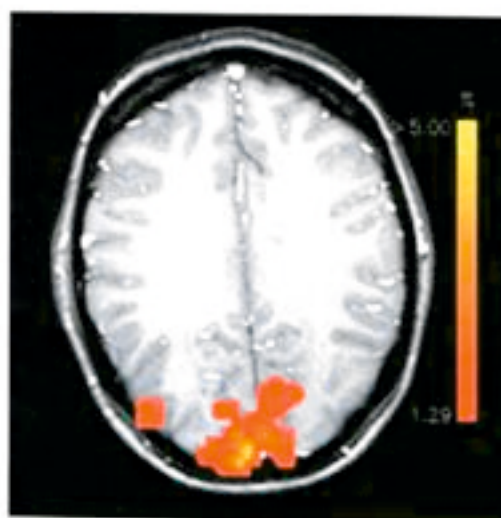
T-1, T-2 και PD οβελιαίες τομές του εγκεφάλου



Εικόνα 4.2

Εγκάρσια τομή εγκεφάλου με απεικόνιση διάχυσης. Η περιοχή έντονου σήματος στο πίσω μέρος αποκαλύπτει βλάβη

Μια τυπική εξέταση εγκεφάλου περιλαμβάνει τη λήψη T_1 και T_2 εικόνων τουλάχιστον στο εγκάρσιο και το οβελιαίο επίπεδο. Ωστόσο, καθώς ο εγκέφαλος είναι το πεδίο εφαρμογής που συγκέντρωσε εξ αρχής το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, πολλά πρωτόκολλα και τεχνικές ακολουθιών έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τη διαγνωστική αξία της εξέτασης για κάθε πάθηση. Έτσι, για να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες αυτές, πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη το κλινικό ιστορικό και τα στοιχεία από τυχόν άλλες εξετάσεις. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η χρήση ειδικών πηνίων ραδιοσυχρότητας για το κεφάλι βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα των εικόνων που παίρνουμε.



Εικόνα 4.3

Απεικόνιση f-MRI

Ιδιαίτερα σημαντική διαγνωστική αξία για την αξιολόγηση του ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου έχει η μέθοδος απεικόνισης της αιμάτωσης (perfusion) και διάχυσης (diffusion - εικόνα 4.2). Αιμάτωση είναι η πρόσληψη αίματος από έναν ιστό ενώ η διάχυση είναι μια διεργασία ανταλλαγής υγρών ανάμεσα στους ιστούς. Η απεικόνιση της αιμάτωσης γίνεται με ταχεία δυναμική εξέταση του εγκεφάλου μετά από χορήγηση σκιαγραφικού (Gd - DTPA), ενώ η διάχυση γίνεται με μια κατάλληλη ακολουθία παλμών. Ο συνδυασμός αυτών των τεχνικών επιτρέπει την αξιολόγηση της έκτασης της βλάβης αλλά και την εκτίμηση σχετικά με τη δυνατότητα αποκατάστασης του ιστού που έχει υποστεί βλάβη.

Μια ιδιαίτερα σημαντική σύγχρονη εφαρμογή είναι η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (functional MRI - fMRI), με την οποία παίρνουμε πληροφορίες σχετικά με το ποιες περιοχές του εγκεφάλου λειτουργούν, όταν ο εξεταζόμενος δέχεται ένα συγκεκριμένο ερέθισμα. Το ερέθισμα αυτό μπορεί να είναι οπτικό, ηχητικό, αφής, αλλά μπορεί να είναι και η επίδραση κάποιου φαρμάκου που του χορηγείται. Η μέθοδος στηρίζεται στο γεγονός ότι, όταν μια περιοχή του εγκεφάλου αυξάνει την κατανάλωση σε οξυγόνο και τη ροή του αίματος που την τροφοδοτεί, οι μαγνητικές ιδιότητες του ιστού αλλάζουν. Για την ανίχνευση αυτών των αλλαγών χρησιμοποιείται μια ακολουθία που είναι γνωστή με τα αρχικά B.O.L.D. (Blood Oxygenation Level Dependant, δηλαδή εξαρτώμενη από το επίπεδο οξυγόνωσης του αίματος). Μια σειρά εικόνων B.O.L.D. χαμηλής ανάλυσης λαμβάνονται με και χωρίς την παρουσία του ερεθίσματος και από τη διαφορά στην ένταση του σήματος σχηματίζονται οι περιοχές που αυξάνουν τη λειτουργία τους. Οι περιοχές αυτές προβάλλονται με χρώμα πάνω σε μια κανονική τομή υψηλής ανάλυσης, για να παρουσιαστεί η ακριβής θέση και έκτασή τους (εικόνα 4.3).

Εκτός της μελέτης του εγκεφάλου, άλλες σημαντικές εφαρμογές της απεικόνισης MRI στο κρανίο είναι η μελέτη της υπόφυσης και η εξέταση των οφθαλμικών κόγχων.

4.3 Εφαρμογές MRI για τη σπονδυλική στήλη

Η μέθοδος MRI είναι αυτή που προσφέρει τις περισσότερες διαγνωστικές πληροφορίες για οποιαδήποτε πάθηση της σπονδυλικής στήλης εκτός των καταγμάτων των σπονδυλικών σωμάτων. Όπως είδαμε και στην απεικόνιση του εγκεφάλου, έχει πολύ μεγάλη ευαισθησία στον εντοπισμό των αλλοιώσεων των ιστών του κεντρικού νευρικού συστήματος, γι' αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον έλεγχο του νωτιαίου μυελού. Εκτός από αυτό, όμως, αποτελεί την καλύτερη μέθοδο για την ανίχνευση οποιασδήποτε φλεγμονώδους αλλοίωσης στα σώματα των σπονδύλων, τους μεσοσπονδύλιους δίσκους και στα μαλακά μέρη γύρω από τη σπονδυλική στήλη, καθώς και των πρωτογενών ή μεταστατικών όγκων στην περιοχή. Στον έλεγχο της σπον-



Εικόνα 4.4
T-1 και T-2 οβελιαίες εικόνες της ΣΣ

δύλικής στήλης είναι επίσης απαραίτητη η απεικόνιση τόσο στο εγκάρσιο όσο και στο οβελιαίο επίπεδο και για την καλύτερη απεικόνισή χρησιμοποιούνται είτε ειδικά πηνία για το λαιμό, προκειμένου για την αυχενική μοίρα, είτε πηνία επιφάνειας για την υπόλοιπη σπονδυλική στήλη.

4.4 Εφαρμογές MRI για το μυοσκελετικό σύστημα

Μετά τη μελέτη του ΚΝΣ, οι εξετάσεις που αφορούν το μυοσκελετικό σύστημα αποτελούν την πιο σημαντική εφαρμογή της μαγνητικής τομογραφίας. Η απεικόνιση με χρήση ακτίνων Χ είναι επαρκής για την ανάδειξη οποιασδήποτε ανωμαλίας αφορά τα οστά, δεν μπορεί όμως να απεικονίσει τους ιστούς που βρίσκονται γύρω από αυτά, όπως είναι οι μύες, οι σύνδεσμοι, οι τένοντες και οι χόνδροι των αρθρώσεων, κάτι που μπορεί να πετύχει η απεικόνιση MRI. Η μέθοδος χρησιμοποιείται για την απεικόνιση οποιασδήποτε παθολογικής κατάστασης γύρω από τα οστά, όπως είναι φλεγμονές και όγκοι των μαλακών μορίων, αλλά η μεγάλη της αξία βρίσκεται στον έλεγχο των αρθρώσεων.

Επειδή η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού μπορεί να απεικονίσει μαλακούς ιστούς, χρησιμοποιείται για τη διάγνωση αθλητικών κακώσεων ιδιαίτερα αυτών που αφορούν το γόνατο, τον ώμο, το ισχίο, τον αγκώνα και τον καρπό. Οι εικόνες δίνουν τη δυνατότητα να εντοπιστούν ακόμα και πολύ μικρές κακώσεις στους συνδέσμους και τους μύες.

Η απεικόνιση των αρθρώσεων γίνεται συνήθως με λήψη τομών και στα τρία επίπεδα λόγω της πολύπλοκης ανατομίας τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στη μελέτη της άρθρωσης του

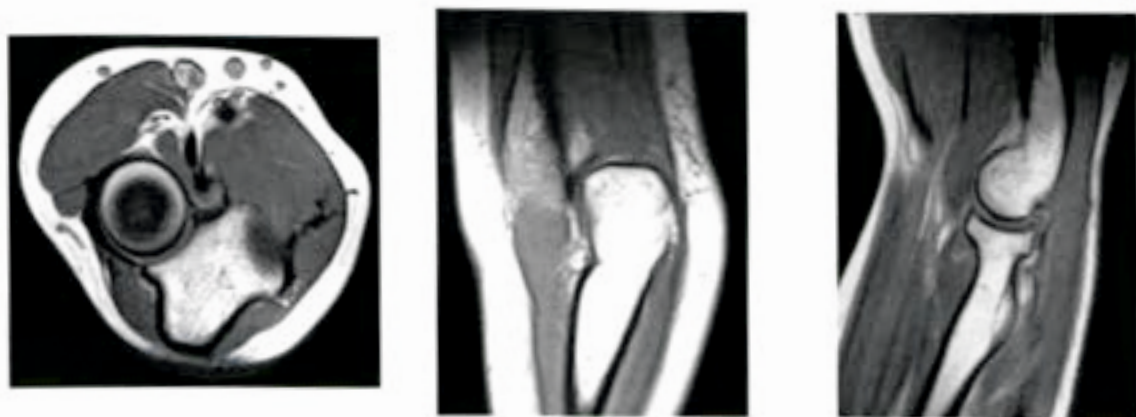
ώμου, δεν επιλέγονται τα συμβατικά επίπεδα, αλλά λοξές τομές κατά τρόπο που να ακολουθούν συγκεκριμένες ανατομικές δομές της περιοχής. Σημαντική είναι η χρήση ειδικών πηνίων μικρής διαμέτρου ή πηνίων επιφανείας κατάλληλων για κάθε άρθρωση, αφού οι περισσότερες αρθρώσεις βρίσκονται μακριά από το μέσο οβελιαίο επίπεδο του σώματος άρα και μακριά από το κέντρο του μαγνητικού πεδίου.



Εικόνα 4.5

T₁ εικόνες της άρθρωσης του γονάτου στα τρία επίπεδα

Προκειμένου να εξεταστεί καλύτερα, όχι μόνο η ανατομία των αρθρώσεων, αλλά και η λειτουργία τους, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές δυναμικής απεικόνισης. Σε αυτές, εκτελείται λήψη στατικών εικόνων με γρήγορες ακολουθίες απεικόνισης. Κάθε εικόνα λαμβάνεται σε διαδοχικά στάδια κάποιας από τις συνηθισμένες κινήσεις της άρθρωσης. Οι εικόνες αυτές προβάλλονται στη συνέχεια διαδοχικά και γρήγορα στην οθόνη παρουσιάζοντας τη συμπεριφορά της άρθρωσης κατά την κίνηση. Προκειμένου να εξασφαλισθεί η σωστή εκτέλεση της κίνησης αλλά και για να διατηρείται σταθερό το άκρο κατά τη διάρκεια της λήψης της



Εικόνα 4.6

Εικόνες πυκνότητας πρωτονίων της άρθρωσης του γονάτου

εικόνας, υπάρχουν ειδικές διατάξεις τοποθέτησης για κάθε άρθρωση. Η δυναμική απεικόνιση μπορεί να δώσει πολύτιμες κλινικές πληροφορίες, ιδίως για το γόνατο, τον καρπό και την ποδοκνημική άρθρωση.

4.5 Εφαρμογές MRI για την καρδιά

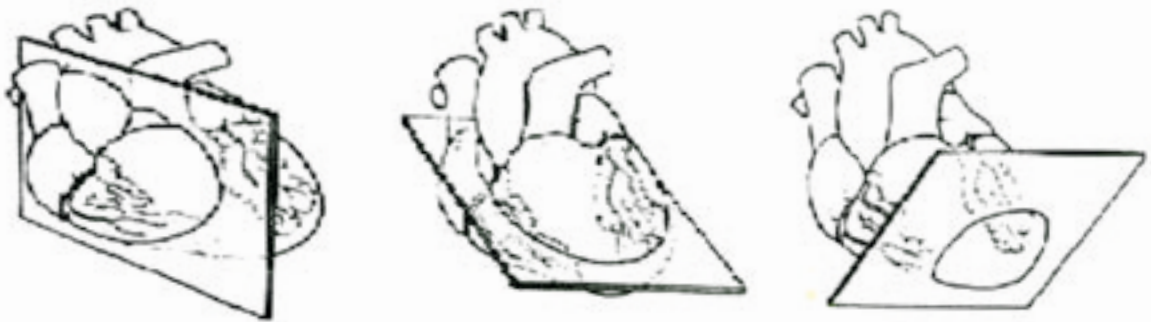
Η απεικόνιση της καρδιάς παρουσιάζει διαφορετικές δυσκολίες από την απεικόνιση των υπόλοιπων οργάνων λόγω της κίνησής της, η οποία δεν ελέγχεται από τον εξεταζόμενο (όπως γίνεται με την αναπνοή) και δεν γίνεται να διακοπεί κατά τη διάρκεια λήψης της εικόνας. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος γίνεται με το συγχρονισμό της διαδικασίας λήψης της εικόνας με το ρυθμό της καρδιάς. Κάθε βήμα κωδικοποίησης συχνότητας εφαρμόζεται στο ίδιο χρονικό σημείο του καρδιακού κύκλου και έτσι, σε κάθε σάρωση, τα τοιχώματα και οι ιστοί της καρδιάς βρίσκονται στην ίδια θέση. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται δημιουργία πύλης (gating). Για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός, χρησιμοποιείται ηλεκτροκαρδιογράφος (ΗΚΓ) ο οποίος παρακολουθεί την καρδιακή λειτουργία και δίνει το σήμα στο σύστημα για το πότε πρέπει να εφαρμόσει τη βαθμίδα ανάγνωσης. Σε μια πιο εξελιγμένη παραλλαγή αυτής της τεχνικής, η λήψη των δεδομένων γίνεται συνεχώς και το σήμα του ΗΚΓ χρησιμοποιείται για να δείξει στο σύστημα σε ποιο σημείο του καρδιακού κύκλου αναλογούν τα δεδομένα που λαμβάνονται κάθε στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα συλλέγει λίγα δεδομένα για κάθε στιγμιότυπο σε κάθε λήψη σήματος ΡΣ και σταδιακά συμπληρώνει την πλήρη εικόνα της κίνησης της καρδιάς.

Από τη στιγμή που το πρόβλημα της κίνησης αντιμετωπίστηκε, η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού άρχισε να βρίσκει σημαντικές κλινικές εφαρμογές, αφού μπορεί να επιτύχει καλή απεικόνιση των τοιχωμάτων της καρδιάς και να δώσει μια καθαρή εικόνα της ανατομίας της.



Εικόνα 4.7
Εγκάρσια τομή της καρδιάς με MRI

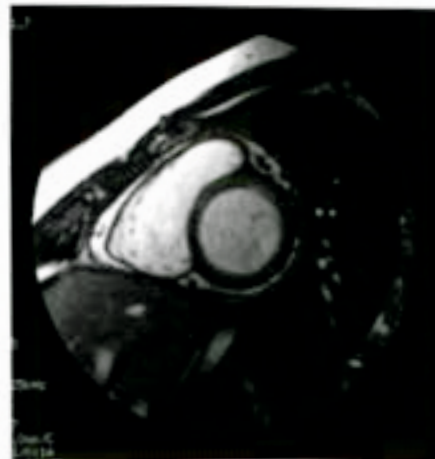
Μεγάλη σημασία έχει η δυνατότητα απεικόνισης της καρδιάς όχι μόνο με τομές πάνω στους τρεις κλασικούς άξονες αλλά και κατά μήκος των βασικών αξόνων της καρδιάς, δηλαδή τον μεγάλο και το μικρό άξονα (σχήμα 4.1). Τα επίπεδα επιλέγονται με βάση ανατομικά σημάδια που λαμβάνουμε από τις αρχικές εικόνες στο εγκάρσιο επίπεδο.



Σχήμα 4.1

Από αριστερά : Κάθετο επίπεδο μεγάλου άξονα, οριζόντιο επίπεδο μεγάλου άξονα, επίπεδο μικρού άξονα

Ακόμα πιο σημαντικές είναι οι εφαρμογές που αναπτύχθηκαν για τη λειτουργική μελέτη του μυοκαρδίου και των κοιλοτήτων. Αυτές βασίζονται στην ανάλυση των τομών που λαμβάνονται με τη χρήση μιας μεθόδου η οποία ονομάζεται επισήμανση (tagging). Στην τεχνική αυτή, κάποια σημεία – οδηγοί πάνω στα τοίχωμα της καρδιάς δέχονται την επίδραση ενός παλμού ΡΣ πριν την εφαρμογή της βασικής ακολουθίας, με αποτέλεσμα να μη δίνουν σήμα (να εμφανίζονται μαύρα) στην τελική εικόνα. Τα σημεία αυτά εντοπίζονται σε ολόκληρη τη σειρά των εικόνων που έχουμε πάρει και έτσι διαγράφεται ολόκληρο το εύρος της κίνησης που εκτελούν.



Εικόνα 4.8

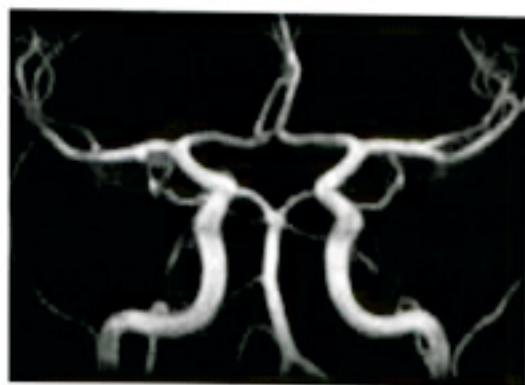
Τομή της καρδιάς στο οριζόντιο επίπεδο του μεγάλου άξονα

Με βάση αυτά τα δεδομένα και με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, μπορεί να εντοπιστούν περιοχές του μυοκαρδίου που δεν συσπώνται φυσιολογικά και να γίνει εκτίμηση λειτουργικών παραμέτρων όπως ο τελοσυστολικός και τελοδιαστολικός όγκος και το κλάσμα εξώθησης.

4.6 Αγγειογραφία μαγνητικού συντονισμού (MRA)

Όπως είδαμε και στην παράγραφο για τις ψευδενδείξεις, η παρουσία ροής αίματος στην τομή μεταβάλλει την ένταση του σήματος που λαμβάνουμε. Το γεγονός αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί για να εντοπίσουμε τα σημεία που εμφανίζουν ροή και τα οποία φυσικά αντιστοιχούν στη ροή αίματος, για να απεικονίσουμε την πορεία των αγγείων αλλά και για να εκτιμήσουμε το ρυθμό της ροής του αίματος μέσα σε αυτά.

Ανάλογα με το είδος και τις παραμέτρους της ακολουθίας που θα χρησιμοποιήσουμε, η παρουσία ροής μπορεί να οδηγεί σε ενίσχυση ή σε εξασθένηση του σήματος από το σημείο εκείνο. Στην πρώτη περίπτωση το αίμα απεικονίζεται πιο φωτεινό από τους γύρω ιστούς και οι αντίστοιχες τεχνικές αναφέρονται με το όνομα *bright blood* (φωτεινό αίμα), ενώ στη δεύτερη το αίμα παρουσιάζεται σκοτεινό και οι τεχνικές αυτές ονομάζονται *black blood* (μαύρο αίμα). Η χρήση των επιπτώσεων της ροής για την απεικόνιση των αγγείων έχει το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί σκιαγραφικό, αλλά το μειονέκτημά της είναι ότι εξαρτάται από την κατεύθυνση της ροής. Τα αγγεία που είναι κάθετα στην τομή απεικονίζονται πιο καθαρά, ενώ αυτά που είναι παράλληλα δεν απεικονίζονται.



Εικόνα 4.9
MRA των καροτίδων

Η άλλη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η σκιαγράφιση με τη χρήση ενδοφλέβιου γαδολινίου (Gd).

Οι τομές που λαμβάνονται για την απεικόνιση των αγγείων μπορούν να αναλυθούν με αλγόριθμο ανάλογο με αυτόν που χρησιμοποιείται στην υπολογιστική τομογραφία και να δώσουν τριδιάστατη απεικόνιση της πορείας των αγγείων χωρίς την εμφάνιση των παρακείμενων ιστών στην εικόνα.

Η αγγειογραφία με μαγνητικό συντονισμό έχει το πλεονέκτημα ότι είναι μη επεμβατική τεχνική και γι' αυτό δεν έχει τους κινδύνους και τις επιπλοκές που εμφανίζουν οι κλασσικές τεχνικές απεικόνισης των αγγείων και τις οποίες θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο. Η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί για τον έλεγχο των αγγείων οποιασδήποτε περιοχής, όπως είναι τα αγγεία του εγκεφάλου, οι στεφανιαίες αρτηρίες που αιματώνουν την καρδιά, οι πνευμονικές αρτηρίες, η αορτή, τα αγγεία που αιματώνουν τα όργανα της κοιλιάς και τα περιφερειακά αγγεία. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι η μελέτη της αγγείωσης ενός οργάνου, μπορεί να γίνει ταυτόχρονα με την κλασσική ανατομική του μελέτη.

4.7 Εφαρμογές MRI για την κοιλιά

Η απεικόνιση των οργάνων της κοιλιάς με μαγνητικό συντονισμό δεν είχε αρχικά τόσο μεγάλες κλινικές εφαρμογές όπως στο ΚΝΣ και στο μυοσκελετικό. Ένας βασικός λόγος ήταν ότι οι μεγάλοι χρόνοι εξέτασης που απαιτούνταν, οδηγούσαν σε προβλήματα λόγω της αναπνευστικής κίνησης αλλά και των ακούσιων κινήσεων, όπως αυτή που κάνουν τα τοιχώματα του εντέρου. Η μείωση του χρόνου εξέτασης επέτρεψε την ανάπτυξη εφαρμογών που να αξιοποιούν τις μεγάλες δυνατότητες της μεθόδου για τη μελέτη διάχυτων ή εστιακών βλαβών σε όλα τα βασικά όργανα της κοιλιάς όπως το ήπαρ, το πάγκρεας και τους νεφρούς. Κατά κανόνα, οι εξετάσεις αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση σκιαγραφικού, συχνά σε περισσότερα από ένα στά-



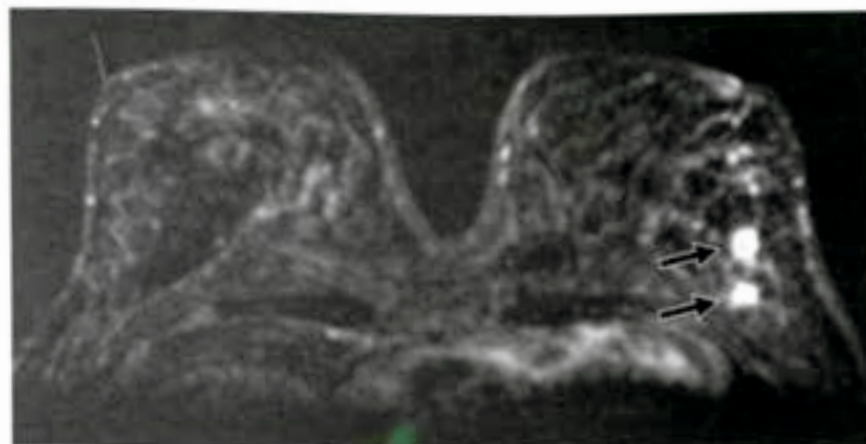
Εικόνα 4.10
Εικόνα MRCP

δια (δυναμικές μελέτες). Με αυτόν τον τρόπο παίρνουμε λειτουργικές πληροφορίες σχετικά με την αιμάτωση των οργάνων της κοιλιάς, αλλά γίνεται και καλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ φυσιολογικού και παθολογικού ιστού. Σημαντικές δυνατότητες δημιούργησε η εμφάνιση ουσιών που ενώνονται με Gd και οι οποίες προσλαμβάνονται εκλεκτικά από ορισμένα κύτταρα, όπως ουσίες που προσλαμβάνονται από τα ηπατοκύτταρα και άλλες που προσλαμβάνονται από τα κύτταρα του δικτυοενδοθηλιακού συστήματος.

Μια ειδική τεχνική είναι και η χολαγγειοπαγκρεατογραφία μαγνητικού συντονισμού, ή οποία αναφέρεται συνήθως με τα αρχικά MRCP (Magnetic resonance Cholangiopancreatography) και είναι μια μέθοδος για την εκτίμηση του χοληφόρου δένδρου και του παγκρεατικού πόρου. Η μέθοδος βασίζεται στη λήψη εικόνων με πολύ μεγάλη εξάρτηση από το χρόνο T2. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το σήμα που λαμβάνεται από τους περισσότερους ιστούς της περιοχής, όπως το ήπαρ και το πάγκρεας, να είναι εξαιρετικά αδύναμο και η εικόνα να σχηματίζεται μόνο από το σήμα που προέρχεται από τις δομές που περιέχουν υγρό, δηλαδή τη χολή. Η MRCP έχει το πλεονέκτημα ότι δεν είναι επεμβατική τεχνική όπως η καθιερωμένη εξέταση των χοληφόρων, η ERCP.

4.8 Μελέτη των μαστών με MRI

Η αντίθεση που προκαλούν οι χρόνοι χαλάρωσης T1 και T2 δεν αρκεί για να εντοπίσει περιοχές των μαστών με αλλοιώσεις που να δημιουργούν υποψία παρουσίας όγκου. Έτσι απαιτείται η χορήγηση σκιαγραφικού Gd το οποίο προσλαμβάνεται από τον παθολογικό ιστό και έτσι δημιουργεί ισχυρή αντίθεση με το γύρω φυσιολογικό. Τομές λαμβάνονται και στα τρία επί-



Εικόνα 4.11

Απεικόνιση των μαστών με MRI και χρήση σκιαγραφικού. Τα βέλη δείχνουν σημεία αυξημένης πρόσληψης που υποδηλώνουν όγκο

πεδα με αντίθεση T1, αφού η παρουσία του σκιαγραφικού επηρεάζει κυρίως το T1 σήμα. Για την απεικόνιση των μαστών χρησιμοποιούνται πηνία ειδικά για τη συγκεκριμένη εξέταση, τα οποία περιβάλλουν και τους δυο μαστούς επιτρέποντας την ταυτόχρονη εξέτασή τους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γιατί το σκιαγραφικό διαχέεται στο παρέγχυμα και απεικονίζεται για πολλές ώρες μετά τη χορήγησή του. Έτσι, για να γίνει εξέταση του κάθε μαστού ξεχωριστά πρέπει να γίνει σε διαφορετική μέρα για τον καθένα.

Η μαγνητική μαστογραφία μπορεί να βοηθήσει στο χαρακτηρισμό μιας εστίας ως καλοήθους ή κακοήθους, στον καλύτερο καθορισμό των ορίων της εστίας, προκειμένου να γίνει σχεδιασμός της εγχείρισης και στον εντοπισμό τοπικών υποτροπών. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην εξέταση των μαστών μετά από εγχείριση, γιατί τότε με τη μαστογραφία δεν μπορούν να διαχωριστεί τυχόν παθολογικός ιστός που έχει απομείνει από τις φλεγμονώδεις αλλοιώσεις οι οποίες είναι αποτέλεσμα της επέμβασης. Χρησιμοποιείται επίσης στη μελέτη των προσθετικών εμφυτευμάτων του μαστού. Πάντως, μέχρι σήμερα, δεν θεωρείται ότι μπορεί να υποκαταστήσει τη μαστογραφία αλλά χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική με αυτή μέθοδος.

Περίληψη

Οι δυνατότητες που προσφέρει η μαγνητική τομογραφία για καθορισμό των παραμέτρων οι οποίες θα καθορίσουν την αντίθεση, της δίνει μεγάλες δυνατότητες για τη μελέτη όλων των περιοχών του ανθρώπινου σώματος.

Οι δυνατότητες αυτές βρίσκουν ιδιαίτερα μεγάλη εφαρμογή στη μελέτη των ιστών του νευρικού συστήματος κι έτσι οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές είναι για τον εγκέφαλο και τη σπονδυλική στήλη.

Στη μελέτη του μυοσκελετικού, προσφέρει μοναδική δυνατότητα μελέτης των δομών γύρω από το οστό και ιδιαίτερα αυτών που συμμετέχουν στις αρθρώσεις.

Η μελέτη της καρδιάς και των αγγείων με μαγνητικό συντονισμό προσφέρει μια εναλλακτική μη επεμβατική μέθοδο που μπορεί να δώσει τόσο ανατομικές όσο και λειτουργικές πληροφορίες.

Η απεικόνιση με MRI των οργάνων της κοιλιάς αναπτύσσεται γρήγορα τα τελευταία χρόνια με τη χρήση γρήγορων τεχνικών προσφέροντας μια εναλλακτική λύση στη μελέτη παθήσεων που δεν απεικονίζονται εύκολα με τη χρήση ακτίνων - X, ενώ η μελέτη του χοληφόρου δέντρου με MRCP είναι μια ακόμα τεχνική που μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή χρήσης επεμβατικής διαδικασίας

Τέλος, η μελέτη των μαστών, αν και δεν μπορεί ακόμα να εκτοπίσει τη μαστογραφία, δίνει σημαντικές συμπληρωματικές πληροφορίες.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις.

1. Για ποιους λόγους η απεικόνιση MRI είναι σημαντική για τη μελέτη του κεντρικού νευρικού συστήματος;
2. Τι είναι η απεικόνιση της αιμάτωσης και η απεικόνιση διάχυσης;
3. Με ποια τεχνική μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για τη λειτουργία του εγκεφάλου, όταν αυτός δέχεται διάφορα ερεθίσματα;
4. Τι παραπάνω προσφέρει η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού από την απεικόνιση με ακτίνες – Χ στη μελέτη του μυοσκελετικού συστήματος;
5. Τι πλεονεκτήματα έχει η δυναμική μελέτη των αρθρώσεων;
6. Περιγράψτε την τεχνική με την οποία αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα της κίνησης της καρδιάς.
7. Σε ποια επίπεδα παίρνουμε εικόνες της καρδιάς;
8. Με ποιες μεθόδους μπορεί να γίνει η απεικόνιση των αγγείων με μαγνητικό συντονισμό;
9. Τι είναι η MRCP;
10. Τι προσφέρει η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού στη μελέτη των μαστών;
11. Περιγράψτε μερικές εφαρμογές στις οποίες απαιτείται χρήση τεχνικών ταχείας απεικόνισης.
12. Αναφέρετε μερικές εφαρμογές στις οποίες είναι σημαντική η χρήση σκιαγραφικού Gd.

5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΤΕΦΑΝΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των αρχών της επεμβατικής απεικόνισης των αγγείων γενικά, και των διαγνωστικών και θεραπευτικών τεχνικών που εφαρμόζονται για τα αγγεία της καρδιάς ειδικότερα. Κατά τη διάρκεια του κεφαλαίου αυτού ο μαθητής θα γνωρίσει:

- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις τεχνικές αυτές και τα χαρακτηριστικά που έχουν
- Τη διαδικασία του καθετηριασμού των αγγείων.
- Τους κανόνες εργασίας σε χώρους όπου εφαρμόζεται χειρουργική ασηψία.
- Τα μέρη και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων κινηματοακτινοσκόπησης.
- Τον τρόπο εκτέλεσης και τη σημασία της στεφανιογραφίας.
- Τις άλλες εξετάσεις εκτός της στεφανιογραφίας που εκτελούνται με καθετηριασμό της καρδιάς.
- Τις θεραπευτικές μεθόδους για τα στεφανιαία αγγεία που γίνονται με ακτινοσκοπική καθοδήγηση.

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό και το επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις μεθόδους απεικόνισης των αγγείων με επεμβατικές τεχνικές, τεχνικές δηλαδή κατά τις οποίες, προκειμένου να πετύχουμε την απεικόνιση των οργάνων που μας ενδιαφέρουν, χρειάζεται να περάσουμε υλικά στο εσωτερικό του σώματος του εξεταζόμενου. Τη γνωριμία αυτή θα την κάνουμε μέσα από την πιο σημαντική και διαδεδομένη επεμβατική τεχνική, την απεικόνιση των στεφανιαίων αρτηριών, η οποία ονομάζεται στεφανιογραφία.

Η στεφανιογραφία αποτελεί την πιο αξιόπιστη μέθοδο για την διάγνωση και εκτίμηση της στεφανιαίας νόσου, δηλαδή της στένωσης των στεφανιαίων αρτηριών που έχει σαν συνέπεια τη μείωση της ροής του αίματος που τροφοδοτεί το μυοκάρδιο. Η στεφανιογραφία είναι επεμβατική τεχνική και πραγματοποιείται μέσω μιας διαδικασίας η οποία ονομάζεται αριστερός καρδιακός καθετηριασμός που σημαίνει την καθοδήγηση ενός καθετήρα μέχρι το αριστερό τμήμα της καρδιάς. Ο καθετήρας φτάνει εκεί μέσα από κάποιο αγγείο στο οποίο εισέρχεται με διαδερμική παρακέντηση.

5.2 Υλικά που χρησιμοποιούνται

Η εκτέλεση μιας στεφανιογραφίας ή κάποιας άλλης εξέτασης που χρησιμοποιεί την είσοδο καθετήρα στα αγγεία, απαιτεί καλή συνεργασία μεταξύ του προσωπικού που εργάζεται στο τμήμα. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η κατανόηση τόσο του σκοπού και της διαδικασίας της εξέτασης, όσο και των υλικών που χρησιμοποιούνται. Τα υλικά αυτά, παρ' ό,τι φαίνονται αρχικά απλά, πρέπει να ανταποκρίνονται στις υψηλές απαιτήσεις της εξέτασης και να είναι κατασκευασμένα με πολύ ανσθηρές προδιαγραφές, έτσι το κόστος τους είναι εξαιρετικά υψηλό.

5.2.1 Καθετήρες

Οι καθετήρες είναι αποστειρωμένοι σωλήνες μεγάλου μήκους, οι οποίοι αποτελούν τη δίοδο για τη διοχέτευση του σκιαγραφικού στο αγγείο. Είναι φτιαγμένοι από συνθετικό πλαστικό, συνήθως από πολυαιθυλένιο, διαποτισμένο με κάποιο υλικό μεγάλου ατομικού αριθμού, έτσι ώστε να είναι ακτινοσκοπικοί και να μπορούν να παρακολουθούνται ακτινοσκοπικά.

Το σχήμα, το μέγεθος και η διάμετρος του καθετήρα εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία προορίζεται. Υπάρχουν καθετήρες με διάφορα έτοιμα διαμορφωμένα σχήματα τα οποία είναι γνωστά με χαρακτηριστικά ονόματα. Οι πιο συνηθισμένοι είναι οι τύποι cobra (κόμπρα), sidewinder (κροταλιάς) και headhunter (κυνηγός κεφαλών !) για την εκλεκτική

σκιαγράφηση αρτηριών και το σχήμα pigtail (ουρά γουρουνιού) για χειμαρρώδη (flush) έγχυση σε κάποιο μεγάλο αγγείο (εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1

Καθετήρες που χρησιμοποιούνται για αρτηριακό καθετηριασμό. Από αριστερά προς τα δεξιά : Cobra, headhunter, sidewinder, pigtail

Οι καθετήρες που χρησιμοποιούνται έχουν διάφορα μεγέθη. Η διάμετρος τους υπολογίζεται με βάση μια κλίμακα που ονομάζεται γαλλική κλίμακα και γι' αυτό η μονάδα που χρησιμοποιείται ονομάζεται French. Ένα French αντιστοιχεί σε διάμετρο περίπου 1/3 mm.

Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά των καθετήρων είναι ο συντελεστής τριβής ο οποίος εκφράζει το πόσο εύκολα ο καθετήρας κινείται μέσα στο αγγείο, η ροπή στρέψης η οποία εκφράζει την ικανότητα του καθετήρα να περιστρέφεται ή να στρίβει και η μνήμη η οποία εκφράζει την ικανότητά του να διατηρεί το σχήμα του.

5.2.2 Μικροκαθετήρες

Είναι πολύ λεπτοί καθετήρες που χρησιμοποιούνται για τον εκλεκτικό καθετηριασμό πολύ μικρών αγγείων, όπου οι κοινοί καθετήρες δεν μπορούν να φτάσουν. Για να το πετύχουν αυτό, προωθούνται μέσα από τους συνηθισμένους καθετήρες μέχρι την αρχή των αγγείων που θέλουν να σκιαγραφήσουν και εισέρχονται από εκεί (εικόνα 5.2).

Ένας ειδικός τύπος μικροκαθετήρων είναι οι κατευθυνόμενοι από τη ροή (flow directed) μικροκαθετήρες, οι οποίοι έχουν στρογγυλεμένο άκρο που παρασύρεται από τη ροή του αίματος στο αγγείο προκειμένου να προωθηθεί σε αυτό.



Εικόνα 5.2

Μικροκαθετήρας

5.2.3 Βελόνες

Οι βελόνες χρησιμοποιούνται για να τρυπήσουν το δέρμα και να δημιουργήσουν τη δίοδο μέχρι τον αυλό του αγγείου. Στην αγγειογραφία, χρησιμοποιούνται συνήθως βελόνες με λεπτό τοίχωμα και σπρόφιγγα στο πάνω μέρος.



Εικόνα 5.3

Βελόνες που χρησιμοποιούνται για διαδερμική παρακέντηση

5.2.4 Θηκάρια

Τα θηκάρια περιβάλλουν τη βελόνα όταν αυτή εισέρχεται στο αγγείο και παραμένουν στην είσοδο που έχει δημιουργηθεί, ώστε να διευκολύνουν τη διέλευση των καθετήρων και των οδηγών. Επίσης προστατεύουν τα τοιχώματα του αγγείου κατά τη διάρκεια των χειρισμών που γίνονται για να προωθηθούν ή να αφαιρεθούν οι οδηγοί και οι καθετήρες. Συνήθως, στην άκρη τους έχουν ένα διάφραγμα το οποίο εμποδίζει την απώλεια αίματος από το καθετηριασμένο αγγείο (Εικ. 5.4).



Εικόνα 5.4

Θηκάρια με διάφραγμα που εμποδίζει την απώλεια αίματος

5.2.5 Σύρματα - οδηγοί

Τα σύρματα - οδηγοί είναι αυτά που μπαίνουν πρώτα στο αγγείο και προωθούνται μέχρι το σημείο που θέλουμε να σκιαγραφήσουμε. Ο καθετήρας περνάει στη συνέχεια πάνω από το σύρμα ώστε να καθοδηγηθεί μέχρι το επιθυμητό σημείο. Η χρήση οδηγού είναι απαραίτητη, αφού η διάμετρος των αγγείων είναι πολύ μικρή για να επιτρέψει την άμεση καθοδήγηση του

καθετήρα. Επιπλέον, οι οδηγοί είναι μεταλλικοί και έτσι παρακολουθούνται πιο εύκολα ακτινολογικά. Τα βασικά χαρακτηριστικά των οδηγιών είναι τα παρακάτω.

Επίστρωση

Επηρεάζει τη συμπεριφορά του οδηγού καθώς γλιστράει μέσα στο αγγείο. Για να μειωθεί η τριβή με τα τοιχώματα των αγγείων και να αποφευχθεί ο σχηματισμός θρόμβων από την πίεση που ασκεί το σύρμα, χρησιμοποιείται μια επίστρωση κάποιου υδρόφιλου πολυμερούς και ηπατικής η οποία είναι μια ουσία που εμποδίζει το αίμα να πήξει και να σχηματίζει θρόμβους.

Διάμετρος

Η διάμετρος του οδηγού αναφέρεται συνήθως σε ίντσες. Μια ίντσα είναι περίπου ίση με 25,4 mm. Οι λεπτότεροι οδηγοί μπορούν να κινηθούν σε μικρότερης διαμέτρου αγγεία αλλά δυσκολεύονται περισσότερο να προωθηθούν αν συναντήσουν κάποιο εμπόδιο.

Μήκος

Το μήκος του οδηγού εκφράζεται σε cm και επιλέγεται ανάλογα με την απόσταση του αγγείου που θα σκιαγραφηθεί από το σημείο εισόδου.

Σχήμα

Αναφέρεται στο σχήμα της άκρης που εισέρχεται πρώτη και βρίσκεται μπροστά, καθώς ο οδηγός προωθείται μέσα στον αυλό. Οι περισσότεροι οδηγοί έχουν σχήμα σαν ανάποδο αγγλικό γράμμα J (εικόνα 5.5). Έχει το πλεονέκτημα ότι οποιοδήποτε εμπόδιο βρεθεί στην πορεία του έρχεται σε επαφή με τη στρογγυλεμένη επιφάνεια μπροστά, και έτσι μειώνεται ο κίνδυνος να τραυματιστούν τα τοιχώματα του αγγείου. Η ακτίνα της καμπύλης διαφέρει ανάλογα με την ανατομία του αγγείου στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί.

Ακαμψία

Το πόσο εύκολο είναι να λυγίσει ο οδηγός εξαρτάται από το υλικό του πυρήνα του. Η επιλογή γίνεται ανάλογα με την αντίσταση που βρίσκει. Οι πιο εύκαμπτοι καθετήρες κατευθύνονται πιο εύκολα.

Ροπή στρέψης

Εκφράζει την ευκολία με την οποία ο καθετήρας μπορεί να στρίψει μέσα στο αγγείο.

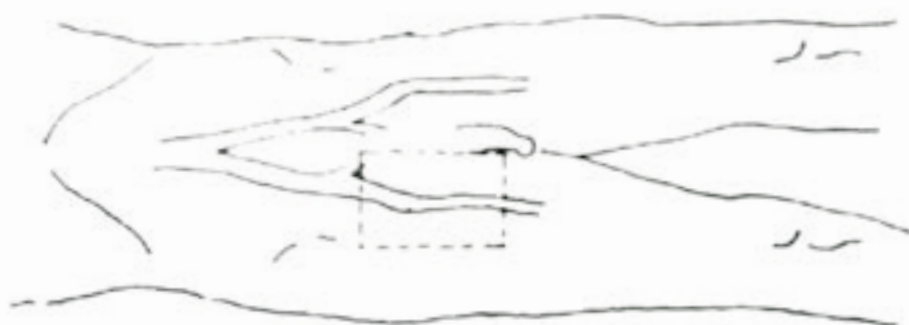


Εικόνα 5.5
Σύρματα - οδηγοί

5.3 Διαδικασία

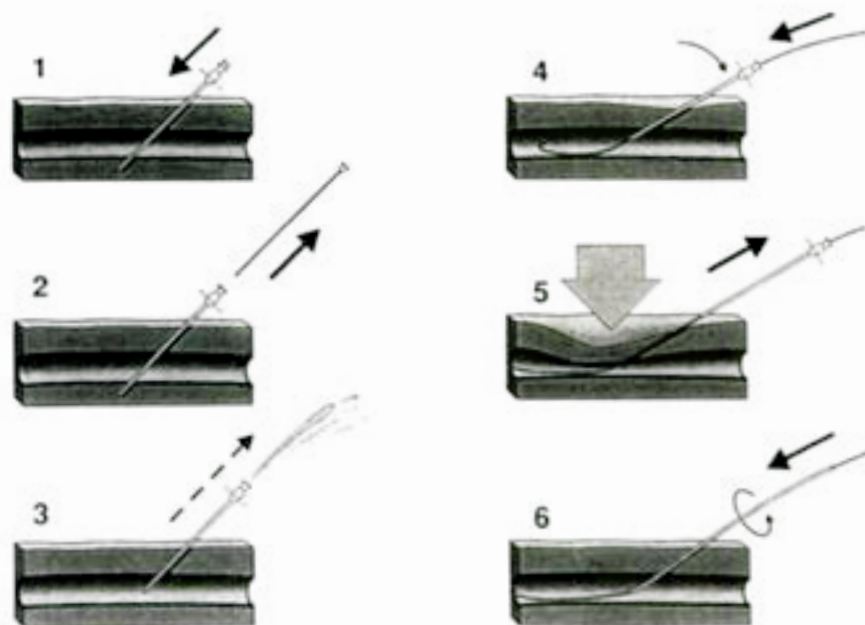
5.3.1 Αρτηριακή παρακέντηση

Όπως είπαμε, το πρώτο βήμα της εξέτασης είναι η δημιουργία και εξασφάλιση μιας διόδου προς τον αυλό ενός αγγείου. Το αγγείο που συνήθως επιλέγεται είναι η μηριαία αρτηρία στην περιοχή της βουβωνικής χώρας (σχήμα 5.1). Η μηριαία αρτηρία έχει αρκετά μεγάλη διάμετρο που διευκολύνει την προώθηση του οδηγού, ο σφυγμός πάνω από αυτήν εντοπίζεται χωρίς δυσκολία και από αυτήν μπορούμε εύκολα να φτάσουμε μέχρι το αορτικό τόξο που αποτελεί κομβικό σημείο του κυκλοφοριακού συστήματος.



Σχήμα 5.1

Σχηματική απεικόνιση της θέσης όπου γίνεται η παρακέντηση της μηριαίας αρτηρίας



Σχήμα 5.2

Περιγραφή της τεχνικής Seldinger

Αρχικά εντοπίζεται η αρτηρία με ψηλάφηση μέχρι να ανιχνευτεί ο σφυγμός. Η περιοχή του δέρματος πάνω από την αρτηρία, ξυρίζεται και καθαρίζεται με αντισηπτικό για να αποφευχθεί πιθανή μόλυνση. Μετά από τοπική αναισθησία, γίνεται μια μικρή τομή στο δέρμα και στη συνέχεια μέσω αυτής η βελόνα προωθείται προς τα κάτω με γωνία περίπου 45ο. (σχήμα 5.2-1). Η βελόνα τραβιέται προς τα πίσω (σχήμα 5.2-2) μέχρι να δούμε αίμα να πετάγεται (σχήμα 5.2-3). Το αν η βελόνα βρίσκεται πράγματι μέσα στην αρτηρία και όχι σε φλέβα γίνεται εύκολα κατανοητό από το χαρακτηριστικό ανοιχτό κόκκινο χρώμα του αρτηριακού αίματος (σε αντίθεση με το σκούρο χρώμα του φλεβικού) και από τη μεγάλη πίεση με την οποία τινάζεται το αίμα. Στη συνέχεια, ένα σύρμα – οδηγός με ελαστικό άκρο προωθείται μέσα στο αγγείο (σχήμα 5.2-4). Πιέζοντας με το χέρι πάνω από το σημείο εισόδου, ο γιατρός αφαιρεί τη βελόνα (σχήμα 5.2-5) και ένας καθετήρας προωθείται πάνω από το σύρμα μέσα στην αρτηρία και μέχρι το σημείο που θέλουμε να σκιαγραφήσουμε (σχήμα 5.2-6). Όταν αφαιρεθεί ο οδηγός ο καθετήρας ελέγχεται για να δούμε αν αίμα επιστρέφει μέσα από αυτόν και ξεπλένεται με ορό. Η τεχνική αυτή, ονομάζεται τεχνική Seldinger προς τιμή του Σουηδού ακτινολόγου Sven – Ivar Seldinger που ήταν ο πρώτος που την εφάρμοσε.

5.3.2 Σκιαγραφικά μέσα

Για την απεικόνιση των αγγείων χρησιμοποιούνται ιωδιούχα σκιαγραφικά. Τα σκιαγραφικά που χρησιμοποιούνται σήμερα δεν παρουσιάζουν συχνά σοβαρές αλλεργικές αντιδράσεις ούτε προκαλούν συχνά δυσλειτουργία στα νεφρά, όπως συνέβαινε παλιότερα, και αυτό οδήγησε σε μείωση του κινδύνου και των επιπλοκών που εμφανίζονται με τις επεμβατικές τεχνικές.

5.3.3 Εργασία σε αποστειρωμένο περιβάλλον

Όπως είναι γνωστό, το δέρμα αποτελεί μια βασική ασπίδα που μας προστατεύει από την είσοδο παθογόνων μικροοργανισμών μέσα στο σώμα μας και την εμφάνιση μόλυνσης. Όταν γίνεται η τομή στο δέρμα και η είσοδος του καθετήρα μέσα στο αγγείο, πρέπει να εξασφαλισθεί ότι αυτό δεν θα επιτρέψει την είσοδο τέτοιων μικροοργανισμών. Για το λόγο αυτό, όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε μια αγγειογραφία πρέπει να είναι αποστειρωμένα και για να εξασφαλιστεί ότι δεν πρόκειται να μολυνθούν κατά τη διάρκεια της εξέτασης, πρέπει να έρχονται σε επαφή μόνο με άλλα αποστειρωμένα αντικείμενα. Όσοι πρόκειται να τα ακουμπήσουν, δηλαδή ο γιατρός που πραγματοποιεί την εξέταση και όποιοι τον βοηθάνε δίνοντάς του τα υλικά, εφαρμόζουν χειρουργική ασηψία. Αρχικά, πλένουν καλά τα χέρια τους αγκώνες χρησιμοποιώντας ειδικά αντισηπτικά διαλύματα, και φορτάνε αποστειρωμένα χειρουργικά γάντια και χειρουργική ρόμπα η οποία δεν έχει άνοιγμα μπροστά αλλά στην πλάτη. Αποστειρωμένες επιφάνειες για κάποιον που έχει κάνει αυτήν τη διαδικασία θεωρούνται τα χέρια και το μπροστινό μέρος του σώματος ως τη μέση.

Η περιοχή που πρόκειται να γίνει η είσοδος του καθετήρα καθαρίζεται και αυτή με αντι-

σηπτικό. Μόνο το δέρμα στην περιοχή που αποστειρώθηκε μένει εκτεθειμένο ενώ η γύρω επιφάνεια του σώματος καλύπτεται με αποστειρωμένα, μη απορροφητικά πανιά.

Τα υλικά (π.χ. καθετήρες, βελόνες, σύρματα) που χρησιμοποιούνται είναι μιας χρήσεως, αποστειρωμένα από τον κατασκευαστή και βρίσκονται μέσα σε αεροστεγείς πλαστικές συσκευασίες που τα προστατεύουν από μόλυνση. Προκειμένου να δώσουμε κάποιο από αυτά τα υλικά στο γιατρό ή σε άλλον αποστειρωμένο εργαζόμενο, ανοίγουμε τη συσκευασία τραβώντας τις προεξοχές που έχει στην άκρη της και κρατώντας τη συσκευασία από αυτές, χωρίς να ακουμπήσουμε το εργαλείο ή την εσωτερική επιφάνεια της θήκης, το κρατάμε μπροστά από αυτόν που θα το παραλάβει.

Εκτός από τα τυποποιημένα υλικά που είναι μιας χρήσης, υπάρχουν και υλικά που αποστειρώνονται στο νοσοκομείο και ξαναχρησιμοποιούνται. Τέτοια υλικά είναι χειρουργικές λαβίδες, σύριγγες και δοχεία που περιέχουν αποστειρωμένα υγρά (φυσιολογικό ορό, διάλυμα ηπαρίνης, σκιαγραφικό). Επίσης χρησιμοποιούνται γάζες και αποστειρωμένα πανιά για την προστασία κάποιας επιφάνειας. Τα υλικά που αποστειρώνονται στο νοσοκομείο βρίσκονται μέσα σε μεγάλους ανοξείδωτους δίσκους οι οποίοι παραλαμβάνονται τυλιγμένοι από το τμήμα αποστείρωσης. Οι δίσκοι ανοίγονται κατά τρόπο που να μην μολυνθεί η εσωτερική επιφάνεια του πανιού και τοποθετούνται σε τραπέζακι με ρόδες δίπλα στο γιατρό (εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.6

Δίσκος με αποστειρωμένα υλικά

Σε όλη τη διάρκεια της εξέτασης, μεγάλη προσοχή απαιτείται για να μην μολύνουμε κάποιο αποστειρωμένο αντικείμενο ή επιφάνεια χωρίς να το αντιληφθούμε, ειδικά με κάποια μικρή επαφή των ρούχων μας. Για το λόγο αυτό, όποιος δεν έχει αποστειρωθεί πρέπει να πλησιάζει τις αποστειρωμένες περιοχές όσο το δυνατόν λιγότερο και μόνο όταν είναι ανάγκη. Αν δεν είμαστε σίγουροι για κάποιο αποστειρωμένο αντικείμενο ότι έχει προφυλαχθεί από επαφή με μη αποστειρωμένο, τότε θεωρούμε ότι έχει μολυνθεί και το αντικαθιστούμε.

5.4 Σύστημα κινηματοσκοπίησης

Για την απεικόνιση των αγγείων χρησιμοποιούνται ειδικά συστήματα ακτινοσκόπησης τα οποία καταγράφουν την εξέταση σε φιλμ σαν να το κινηματογραφούν, γι' αυτό και η διαδικασία ονομάζεται κινηματοσκοπίηση (cinefluoroscopy). Τα βασικά μέρη ενός τέτοιου συστήματος είναι τα εξής.

5.4.1 Ακτινολογική λυχνία και γεννήτρια

Τα ακτινοσκοπικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στις ελεμβατικές τεχνικές έχουν μεγάλες απαιτήσεις όσον αφορά την απόδοση της λυχνίας και της γεννήτριας. Η λυχνία πρέπει να μπορεί να εκπέμπει ακτινοβολία με μεγάλο ρυθμό δόσης και για μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς να υπερθερμαίνεται. Συνήθως η ακτινοβολία δεν εκπέμπεται συνεχόμενα, αλλά σε παλμούς με μεγάλη συχνότητα (30 – 60 παλμούς/ sec), προκειμένου να μειώνεται η δόση ακτινοβολίας στον εξεταζόμενο και το προσωπικό. Ο ρυθμός εκπομπής των παλμών πρέπει να συγχρονίζεται με το ρυθμό καταγραφής των εικόνων.

Στη λυχνία υπάρχουν μολύβδινα διαφράγματα τα οποία επιτρέπουν τον περιορισμό της δέσμης στα όρια της περιοχής που μας ενδιαφέρει. Η χρήση μεγαλύτερου πεδίου ακτινοβολίας, εκτός από άσκοπη επιβάρυνση σε ακτινοβολία, οδηγεί και σε αύξηση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας που υποβαθμίζει την τελική ποιότητα της εικόνας.

Η λειτουργία της λυχνίας ελέγχεται με ποδοδιακόπτη, ώστε να μπορεί να ενεργοποιείται εύκολα από το γιατρό την ώρα που εκτελεί τον καθητηριασμό ή την έγχυση του σκιαγραφικού.

5.4.2 Ενισχυτής εικόνας

Ο ενισχυτής εικόνας, καταγράφει την ακτινοβολία που εξέρχεται από το σώμα και τη μετατρέπει σε πολλαπλάσιας έντασης φωτεινή δέσμη. Στην είσοδο του ενισχυτή υπάρχει αντιδιαχτικό διάφραγμα.

Πολλά ακτινοσκοπικά συστήματα έχουν δυνατότητα για διάφορα επίπεδα μεγέθυνσης. Η μεγέθυνση επιτυγχάνεται με τη χρήση μικρότερης επιφάνειας εισόδου του ενισχυτή αλλά διατηρώντας το ίδιο μέγεθος εικόνας.

Αντίθετα με τα συνηθισμένα ακτινοσκοπικά συστήματα, στην αγγειογραφία ο ενισχυτής εικόνας βρίσκεται πάνω από τον εξεταζόμενο ενώ η λυχνία κάτω από την ακτινολογική τράπεζα.

5.4.3 Βραχίονας

Ο βραχίονας του ακτινοσκοπικού συστήματος έχει σχήμα C και στη μια άκρη έχει τη λυχνία, ενώ στην άλλη τον ενισχυτή εικόνας τα οποία με αυτόν τον τρόπο διατηρούνται επικεντρωμένα μεταξύ τους.



Εικόνα 5.7

Σύστημα κινηματοοακτινοσκόπησης

Ο βραχίονας μπορεί να περιστραφεί πλήρως γύρω από την τράπεζα ώστε να φέρνει τη λυχνία σε πλάγια ή λοξή θέση ως προς τον εξεταζόμενο, καθώς επίσης και να γείρει και προς τις δυο κατευθύνσεις ώστε να δώσει κεφαλική ή ουραία κλίση στη λυχνία. Οι κινήσεις του βραχίονα ελέγχονται από μοχλό που βρίσκεται δίπλα στην ακτινολογική τράπεζα, ώστε ο γιατρός που πραγματοποιεί την εξέταση να μπορεί να τον χειρίζεται εύκολα.

Υπάρχουν συστήματα με δυο βραχίονες και αντίστοιχα δυο λυχνίες και ενισχυτές οι οποίοι λαμβάνουν συγχρόνως εικόνες σε δυο κάθετα επίπεδα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά ο χρόνος της εξέτασης και η ποσότητα του σκιαγραφικού που χορηγείται κατά την εξέταση, αλλά φυσικά το κόστος τους είναι πολύ υψηλότερο.

5.4.4 Ακτινολογική τράπεζα

Η ακτινολογική τράπεζα πάνω στην οποία τοποθετείται ο εξεταζόμενος είναι από ακτινοδιαπερατό υλικό και έχει τη δυνατότητα να μετακινείται προς τους δυο άξονες του οριζώντιου επιπέδου. Η δυνατότητα κλίσης του τραπεζιού δεν χρειάζεται και συνήθως δεν υπάρχει στα συστήματα αυτά.

5.4.5 Video camera και οθόνη

Η κάμερα video καταγράφει οπτικά την εικόνα που παράγεται από τον ενισχυτή εικόνας και την μεταφέρει σε οθόνες. Συνήθως υπάρχει μια οθόνη στην αίθουσα ελέγχου του εργαστηρίου και μια οθόνη δίπλα στην τράπεζα την οποία παρακολουθεί ο γιατρός που εκτελεί την εξέταση.

5.4.6 Cine camera

Η εικόνα που παράγεται από τον ενισχυτή καταγράφεται και από μια δεύτερη κάμερα η οποία την αποτυπώνει σε φιλμ προκειμένου να καταγραφεί η εξέταση για παρατέρα μελέτη. Η κάμερα λειτουργεί με την ίδια αρχή όπως και μια κινηματογραφική κάμερα και γι' αυτό ονομάζεται cine κάμερα. Μέσα σε αυτήν υπάρχει φιλμ πλάτους 35mm. Σε κάθε παλμό εκπομπής

ακτινοβολίας από τη λυχνία, το διάφραγμα της κάμερας ανοίγει και η εικόνα αποτυπώνεται στο φιλμ. Στη συνέχεια το διάφραγμα κλείνει και το φιλμ προωθείται για να ληφθεί η επόμενη εικόνα.

Η λειτουργία της κάμερας ελέγχεται και αυτή με ποδοδιακόπτη που βρίσκεται δίπλα σε αυτόν της ακτινοσκόπησης και που μπορεί να πατήσει ο γιατρός, όταν θέλει να καταγράψει τις εικόνες που βλέπει στην οθόνη.

5.4.7 Σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης (Automatic Exposure Control AEC)

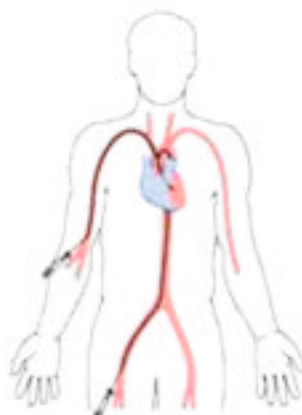
Η ένταση της ακτινοβολίας που φτάνει στον ενισχυτή εικόνας εξαρτάται σημαντικά από την περιοχή του σώματος που παρεμβάλλεται. Για να διατηρείται σταθερή η φωτεινότητα της εικόνας που παίρνουμε, χρησιμοποιείται μια διάταξη η οποία μετράει την ακτινοβολία στην είσοδο του ενισχυτή και ρυθμίζει ανάλογα το ρυθμό έκθεσης της λυχνίας. Το σύστημα αυτό αναφέρεται ως σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης (AEC) ή δόσης (ADC) ή φωτεινότητας (ABC).

Όταν χρησιμοποιούμε μεγέθυνση, η ακτινοβολία που καταγράφεται στον ενισχυτή εικόνας μειώνεται σημαντικά, αφού μόνο ένα τμήμα της εισόδου του αξιοποιείται. Έτσι το AEC αυξάνει ανάλογα την ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται έτσι ώστε να διατηρήσει σταθερή τη φωτεινότητα της οθόνης.

5.5 Τεχνική σιεφανιογραφίας

5.5.1 Αριστερός καρδιακός καθετηριασμός

Η εκλεκτική απεικόνιση των στεφανιαίων αρτηριών γίνεται με τη χρήση ειδικά διαμορφωμένων καθετήρων. Οι καθετήρες είναι ειδικά προδιαμορφωμένοι ανάλογα με το αν θα σκιαγραφήσουν τη δεξιά ή την αριστερή στεφανιαία. Ο καθετήρας εισέρχεται στη μηριαία αρτηρία με την τεχνική Seldinger και προωθείται με ακτινοσκοπική καθοδήγηση μέχρι την ανιούσα αορτή. Μια εναλλακτική λύση είναι η είσοδος από τη βραχιόνια αρτηρία με παρακέντηση στην πρόσθια επιφάνεια της άρθρωσης του αγκώνα (σχήμα 5.3). Όταν ο καθετήρας φτάσει στην



Σχήμα 5.3
Πορεία του καθετήρα μέχρι την αορτή

περιοχή, γίνεται μια πρώτη έγχυση σκιαγραφικού για να εντοπιστεί η πορεία των αγγείων και στη συνέχεια γίνεται εκλεκτικός καθετηριασμός για κάθε μια από τις στεφανιαίες. Επειδή με τη διαδικασία αυτή ο καθετήρας προχωράει προς την αριστερή κοιλία της καρδιάς από όπου ξεκινάει η αορτή, η διαδικασία αυτή ονομάζεται αριστερός καρδιακός καθετηριασμός.

5.5.2 Προβολές των στεφανιαίων αρτηριών

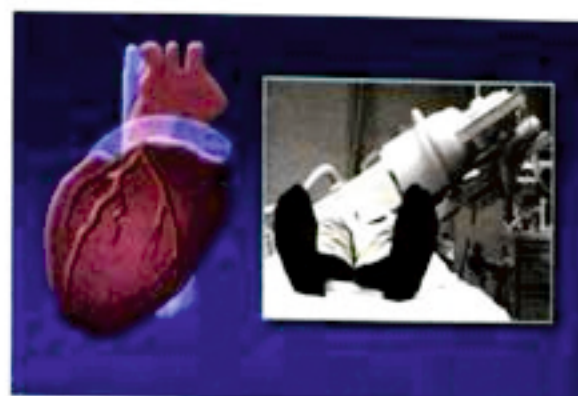
Μετά την έγχυση του σκιαγραφικού, η λυχνία περιστρέφεται γύρω από το σώμα του εξεταζόμενου εκτελώντας κινήσεις τόσο από τα δεξιά προς τα αριστερά όσο και με κλίση προς το κεφάλι ή τα πόδια. Η μελέτη των στεφανιαίων από διάφορες γωνίες επιτρέπει την καλύτερη εκτίμηση του βαθμού πιθανής στένωσης και συνεπώς την κλινική σημασία της και το σχεδιασμό του τρόπου αντιμετώπισης. Σε κάθε θέση που επιλέγεται, γίνεται έγχυση του σκιαγραφικού και μπαίνει σε λειτουργία η κάμερα, για να καταγράψει την εικόνα των αγγείων.



Εικόνα 5.8

Κλίση της λυχνίας και εικόνα κατά την RAO λήψη

Οι διάφορες λήψεις περιγράφονται ανάλογα με τη θέση της λυχνίας ως προς τον εξεταζόμενο. Οι πιο βασικές λήψεις είναι η δεξιά πρόσθια λοξή (Right Anterior Oblique – RAO) με γωνία 30 ο και η αριστερή πρόσθια λοξή (Left Anterior Oblique – LAO) με γωνία 60ο, δηλαδή δύο λήψεις σε ορθή γωνία μεταξύ τους. Η θέση της λυχνίας στις λήψεις αυτές και η εικόνα που παίρνουμε φαίνονται στις εικόνες 5.8 και 5.9 αντίστοιχα. Μια πιο αναλυτική εξέταση μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερες λήψεις, από τις οποίες κάποιες γίνονται με κεφαλική ή ουραία κλίση της λυχνίας. Κατάλληλες λήψεις για τη δεξιά στεφανιαία αρτηρία είναι η 60ο αριστερή πρόσθια λοξή (LAO) και η 30 ο δεξιά πρόσθια λοξή (RAO), όπως δηλαδή οι βασικές αλλά με μεγάλη κεφαλική κλίση. Για την αριστερή στεφανιαία, χρησιμοποιούνται οι 45ο και 60ο αριστερές πρόσθιες λοξές (LAO), η πλάγια αριστερή με μικρή κεφαλική κλίση και δυο 30ο δεξιές πρόσθιες λοξές (RAO) η μια με 30ο ουραία και η άλλη με 20ο κεφαλική.



Εικόνα 5.9

Κλίση της λιγνιάς και εικόνα κατά την LAO λήψη

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ο καθετήρας είναι συνδεδεμένος, μέσω υδραυλικής σύνδεσης, με ένα σύστημα που καταγράφει την αρτηριακή πίεση των αρτηριών.

5.5.3 Διαγνωστική αξία και ενδείξεις

Η στεφανιογραφία βοηθάει στη διάγνωση πολλών ανωμαλιών των στεφανιαίων αρτηριών, όπως στένωσης, θρόμβωσης, αγγειακού σπασμού και ύπαρξης ανευρύσματος ή εκτασίας. Χρησιμοποιείται επίσης για να κατευθύνει και να αξιολογήσει τα αποτελέσματα της αγγειοπλαστικής, η οποία είναι μια θεραπευτική μέθοδος που θα εξετάσουμε αργότερα.

Η στένωση των στεφανιαίων αγγείων δημιουργείται από την επικάλυψη στα τοιχώματά τους στοιχείων που προέρχονται από την καταστροφή του επιθηλίου και τα οποία σχηματίζουν μια πλάκα. Αυτή ονομάζεται αθηροματική πλάκα και η παθολογική κατάσταση των αρτηριών, αθηροσκλήρωση. Η στένωση μπορεί να είναι έκκεντρος, δηλαδή να προέρχεται από σχηματισμό πλάκας στη μια πλευρά του αγγείου ή ομόκεντρος όταν η πλάκα εμφανίζεται και στις δυο πλευρές.

Η εκτίμηση του βαθμού στένωσης μιας στεφανιαίας αρτηρίας γίνεται με σύγκριση της διαμέτρου στο σημείο της στένωσης με τη διάμετρο που η ίδια αρτηρία έχει σε ένα σημείο όπου δεν υπάρχει παθολογική κατάσταση. Η στένωση χαρακτηρίζεται σημαντική όταν προκαλεί μείωση στη διάμετρο του αγγείου τουλάχιστον κατά 50% η οποία αντιστοιχεί σε μείωση της επιφάνειας μια εγκάρσια τομής του αγγείου κατά 75%.

Ο αγγειακός σπασμός είναι στένωση του αγγείου που δεν προκαλείται από μηχανική απόφραξη από πλάκα, αλλά από το ίδιο το αγγείο που ελαττώνει τη διάμετρό του ως αντίδραση σε διάφορα ερεθίσματα.

Το ανεύρυσμα είναι μια κύστη που σχηματίζεται στα τοιχώματα ενός αγγείου και η οποία επικοινωνεί με το αίμα που βρίσκεται μέσα στον αυλό του. Πάντως, η παρουσία ανευρύσματος στις στεφανιαίες αρτηρίες είναι αρκετά σπάνια.

Εκτασία είναι η διάχυτη ή εστιακή αύξηση της διαμέτρου του αγγείου. Έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας ροής του αίματος η οποία αυξάνει την πιθανότητα σχηματισμού θρόμβων.

Η στεφανιογραφία μετά από αγγειοπλαστική χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του περιορισμού της στένωσης και την ανίχνευση πιθανών τραυματισμών του τοιχώματος των στεφανιαίων.

5.5.4 Επιπλοκές

Ο καρδιακός καθετηριασμός, χωρίς να είναι διαδικασία με μεγάλο κίνδυνο, είναι ωστόσο μια επεμβατική τεχνική και είναι δυνατό να παρουσιάσει επιπλοκές.

Οι επιπλοκές που είναι δυνατό να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια της στεφανιογραφίας συνήθως δεν είναι σημαντικές και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν απαιτούν ιδιαίτερη αντιμετώπιση. Τέτοιες μπορεί να είναι υπόταση, αρρυθμία ή πόνος στο στήθος. Ο εξεταζόμενος πρέπει να έχει προειδοποιηθεί πριν από την εξέταση για την πιθανότητα τέτοιων μη σημαντικών και παροδικών παρενεργειών, ώστε να μην πανικοβληθεί. Πιο σπάνια, εμφανίζονται επιπλοκές όπως ταχυκαρδία ή συμφορητικό καρδιακό επεισόδιο που απαιτούν διακοπή της διαδικασίας και άμεση χορήγηση φαρμάκων.

Οι πιο συχνές επιπλοκές αφορούν τη διαδικασία της εισόδου του καθετήρα στην αρτηρία και περιλαμβάνουν τη δημιουργία θρομβώσεων, τον αρτηριακό διαχωρισμό, τη δημιουργία ψευδοανευρύσματος και την αιμορραγία ή την εμφάνιση αιματώματος.

5.6 Άλλες εφαρμογές

Εκτός της στεφανιογραφίας, μέσω του καρδιακού καθετηριασμού πραγματοποιούνται και άλλες διαγνωστικές διαδικασίες καθώς και ορισμένες θεραπευτικές τεχνικές με σημαντικότερη την αγγειοπλαστική με μπαλόνι.

5.6.1 Κοιλιογραφία

Κοιλιογραφία ονομάζεται η μελέτη της αριστερής κοιλίας που γίνεται με την έγχυση σκιαγραφικού μέσα σε αυτήν. Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της συνολικής λειτουργίας της αλλά και της λειτουργίας των διαφόρων περιοχών του μυοκαρδίου ξεχωριστά. Ο υπολογισμός του συστολικού και διαστολικού όγκου επιτρέπει τον προσδιορισμό του κλάσματος εξώθησης, το οποίο είναι μια σημαντική παράμετρος που περιγράφει την καρδιακή λειτουργία.

Ο καθετήρας προωθείται στην αριστερή κοιλία μέσω της αορτικής βαλβίδας. Γίνεται μέτρηση της συστολικής και διαστολικής πίεσης της αριστερής κοιλίας και γίνεται έγχυση σκιαγραφικού μέσα σε αυτή. Η λήψη γίνεται σε 30ο δεξιά πρόσθια λοξή (RAO) προβολή και κατά τη διάρκειά της ο εξεταζόμενος πρέπει να κρατήσει την αναπνοή του, για να μην υπάρξει ασάφεια από την κίνηση του διαφράγματος.

Πριν την εξέταση πρέπει να προειδοποιήσουμε τον εξεταζόμενο ότι κατά τη διάρκεια της έγχυσης μπορεί να νιώσει μια παροδική έξαψη και μια αίσθηση ακράτειας των ούρων (το οποίο δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα).

5.6.2 Δεξιός καρδιακός καθετηριασμός

Εκτός από τον καθετηριασμό με κατεύθυνση την αριστερή κοιλία, μπορεί να τοποθετηθεί καθετήρας και στη δεξιά, οπότε η διαδικασία ονομάζεται δεξιός καρδιακός καθετηριασμός. Χρησιμοποιείται για την απεικόνιση και την εκτίμηση της λειτουργίας της δεξιάς κοιλίας και εφαρμόζεται συχνά σε περιπτώσεις σοβαρής καρδιακής ανεπάρκειας ή υπότασης. Ο καθετήρας δεν φτάνει στην κοιλία μέσω αρτηρίας αλλά μέσω της δεξιάς μηριαίας φλέβας.

Στον δεξιό και αριστερό καθετηριασμό παίρνονται επίσης δείγματα αίματος από ποικίλες θέσεις και μετριέται ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο. Κανονικά, από τις πνευμονικές φλέβες όπου προσλαμβάνεται το οξυγόνο ως την αορτή, το αίμα είναι σχεδόν κορεσμένο (περίπου 95%-97%) ενώ από τις κοιλίες φλέβες ως την πνευμονική αρτηρία μερικώς κορεσμένο (περίπου 70%). Από την διαφορά κορεσμού και από την κατανάλωση οξυγόνου σε ένα λεπτό υπολογίζεται ο κατά λεπτό όγκος αίματος.

Μία απότομη μεταβολή του κορεσμού σε μία θέση σημαίνει ανάμειξη φλεβικού και αρτηριακού αίματος που αποτελεί ένδειξη ανώμαλης επικοινωνίας.

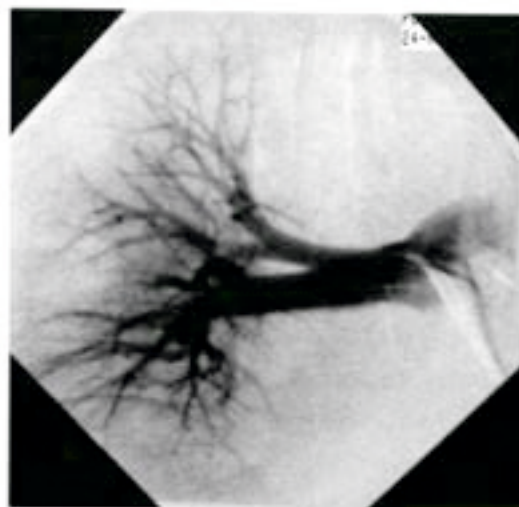
5.6.3 Αγγειογραφία πνευμονικών αρτηριών

Η αγγειογραφία των πνευμονικών αρτηριών γίνεται με δεξιό καρδιακό καθετηριασμό. Η πιο βασική εφαρμογή της είναι ο εντοπισμός πνευμονικής εμβολής. Ο καθετήρας οδηγείται μέσω της δεξιάς κοιλίας στις πνευμονικές βαλβίδες. Έγχυση σκιαγραφικού μπορεί να γίνει στην κύρια πνευμονική αρτηρία, αλλά προτιμότερη είναι η εκλεκτική σκιαγράφηση της δεξιάς ή της αριστερής πνευμονικής, έτσι ώστε να σκιαγραφούνται όλοι οι λοβοί ενός πνεύμονα. Πιο εκλεκτική σκιαγράφηση μπορεί να γίνει με τη χρήση μικρότερης ποσότητας σκιαγραφικού. Η λήψη των εικόνων γίνεται σε προσθιοπίθια ή σε λοξές προβολές, ανάλογα με τις ενδείξεις της εξέτασης.

Κατά τη διάρκεια της αγγειογραφίας, μέσω του καθετήρα καταγράφεται η αρτηριακή πίεση στις πνευμονικές αρτηρίες.



Εικόνα 5.10
Κοιλιογραφία



Εικόνα 5.11

Αγγειογραφία πνευμονικής αρτηρίας

5.6.4 Αγγειοπλαστική

Η διαδερμική ενδοαυλική στεφανιαία αγγειοπλαστική ή, όπως αναφέρεται συνήθως, αγγειοπλαστική με μπαλόνι, είναι μια θεραπευτική τεχνική που μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τη στεφανιαία νόσο σε πολλούς ασθενείς, γλιτώνοντάς τους από μια χειρουργική επέμβαση. Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ένα μπαλόνι που φουσκώνει στο σημείο της στένωσης και συμπιέζοντας την αθηροματική πλάκα τη σπάει, ανοίγοντας έτσι τον αυλό της αρτηρίας. Το μπαλόνι οδηγείται στο σημείο της στένωσης με τη γνωστή διαδικασία του καρδιακού καθετηριασμού και φουσκώνεται με τη χορήγηση ενός διαλύματος σκιαγραφικού και φυσιολογικού ορού.

Οι καθετήρες που χρησιμοποιούνται έχουν έναν ή περισσότερους αυλούς, μέσω των οποίων μπορούν να φουσκωθούν ένα ή περισσότερα μπαλόνια. Ένας πρόσθετος αυλός χρησιμο-



Εικόνα 5.12

Καθετήρες με μπαλόνι

ποιείται για τη διέλευση του οδηγού και για την έγχυση σκιαγραφικού προκειμένου να εντοπιστεί η θέση του καθετήρα και της στένωσης.

Το βασικότερο μειονέκτημα της αγγειοπλαστικής σε σχέση με τη χειρουργική αντιμετώπιση είναι το αρκετά υψηλό ποσοστό ασθενών που παρουσιάζουν επαναστένωση της αρτηρίας.

5.6.5 Αθηρεκτομή

Ένας άλλος τρόπος καταστροφής της πλάκας που φράζει τη ροή μιας στεφανιαίας αρτηρίας είναι με τη χρήση κάποιου μηχανικού μεταλλικού εξαρτήματος που περιστρέφεται στο σημείο της στένωσης και ξύνει την πλάκα. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται αθηρεκτομή. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται φτάνει και σε αυτήν την περίπτωση στο σημείο της στένωσης μέσω ειδικού καθετήρα. Βασικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής, είναι ότι υπάρχει κίνδυνος τα κομμάτια της πλάκας που σπάει να παρασυρθούν από τη ροή του αίματος και να φράξουν κάποιο άλλο μικρότερο αγγείο.

5.6.6 Βαλβιδοπλαστική

Όπως ακριβώς η αγγειοπλαστική χρησιμοποιείται για να ανοίξει κάποιο αγγείο, η βαλβιδοπλαστική είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί μπαλόνι για να ανοίξει κάποια βαλβίδα της καρδιάς που παρουσιάζει στένωση. Χρησιμοποιούνται καθετήρες με μπαλόνι με μεγαλύτερη διάμετρο από τους αντίστοιχους της αγγειοπλαστικής. Η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις βαλβίδες, όμως οι βαλβίδες της αορτής εμφανίζουν μεγάλο ποσοστό επαναστένωσης και γι' αυτό πιο συχνά εφαρμόζεται χειρουργική αντικατάστασή τους.

5.6.7 Τοποθέτηση Βηματοδότη

Τα εργαστήρια που πραγματοποιούν καρδιακούς καθετηριασμούς χρησιμοποιούνται και για την τοποθέτηση βηματοδοτών που γίνεται επίσης με ακτινοσκοπική καθοδήγηση.

Οι βηματοδότες είναι συσκευές που τοποθετούνται για να ρυθμίζουν την καρδιακή λειτουργία, όταν ο ρυθμός της είναι πολύ αργός. Η ρύθμιση επιτυγχάνεται με τη εφαρμογή κατάλληλων ηλεκτρικών παλμών στις κοιλότητες της καρδιάς. Ο βηματοδότης αποτελείται από μια μπαταρία, κάποια κυκλώματα που ελέγχουν τη λειτουργία του και τα ηλεκτρόδια που μεταφέρουν τα ηλεκτρικά ερεθίσματα από τη μπαταρία στον δεξιό κόλπο ή την δεξιά κοιλία ή και στα δυο.

Η εμφύτευσή γίνεται με μια απλή χειρουργική επέμβαση η οποία γίνεται με τοπική αναισθησία και απαιτεί πολύ μικρό χρόνο ανάρρωσης στο νοσοκομείο. Αρχικά, ένας καθετήρας εισάγεται στο στήθος, συνήθως μέσω της υποκλείδιας φλέβας. Μέσω αυτού του καθετήρα τα ηλεκτρόδια κατευθύνονται με ακτινοσκοπική καθοδήγηση μέσα στην κοιλότητα ή τις κοιλότητες και έρχονται σε επαφή με το εσωτερικό τους τοίχωμα. Η μπαταρία τοποθετείται μέσω μιας μικρής τομής στο πάνω μέρος του θώρακα, ακριβώς κάτω από το δέρμα.

Οι επιπλοκές που εμφανίζονται κατά την εμφύτευση βηματοδότη είναι πολύ σπάνιες και είναι αντίστοιχες με αυτές που μπορεί να προκαλέσει ένας αρτηριακός καθετηριασμός, όπως αιμορραγία ή μόλυνση στην περιοχή εισόδου.

Περίληψη

Η απεικόνιση των αγγείων γίνεται με έγχυση σκιαγραφικού μέσω καθετήρα που εισέρχεται στον αυλό τους υπό ακτινοσκοπική καθοδήγηση. Για την τοποθέτηση του καθετήρα χρησιμοποιούνται διάφορα αποστειρωμένα υλικά, με χαρακτηριστικά που επιλέγονται ανάλογα με την εξέταση. Το ακτινοσκοπικό σύστημα, χρησιμοποιείται και για τη δημιουργία και καταγραφή σε φιλμ των εικόνων των αγγείων.

Η πιο σημαντική εξέταση των αγγείων είναι η στεφανιογραφία που γίνεται με αριστερό καρδιακό καθετηριασμό, με την οποία ελέγχουμε τη ροή του αίματος στις στεφανιαίες αρτηρίες της καρδιάς. Άλλες απεικονιστικές μέθοδοι που γίνονται με καρδιακό καθετηριασμό είναι η κοιλιογραφία και η αγγειογραφία των πνευμονικών αρτηριών, ενώ η είσοδος του καθετήρα χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της πίεσης στα αγγεία και τις κοιλότητες της καρδιάς.

Εκτός από την απεικόνιση, ο καρδιακός καθετηριασμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για θεραπευτικές τεχνικές, όπως είναι η αγγειοπλαστική με μπαλόνι και η αθηρεκτομή. Στα ίδια εργαστήρια και με ακτινοσκοπική καθοδήγηση γίνονται και οι τοποθετήσεις βηματοδοτών.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις.

1. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν τα διάφορα είδη καθετήρων;
2. Περιγράψτε την τεχνική του Seldinger για την είσοδο καθετήρα μέσα στην μηριαία αρτηρία.
3. Με ποιόν τρόπο παραδίνουμε ένα αποστειρωμένο υλικό που είναι συσκευασμένο από τον κατασκευαστή του;
4. Ποια η σημασία του περιορισμού του πεδίου ακτινοβολίας;
5. Ποια είναι η σημασία του συστήματος αυτόματου ελέγχου έκθεσης;
6. Αναφέρετε μερικές λήψεις που χρησιμοποιούνται συχνά στη στεφανιογραφία.
7. Ποιες επιπλοκές μπορούν να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας στεφανιογραφίας;
8. Τι είναι ο βηματοδότης και ποια είναι η λειτουργία του;

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Όταν χρησιμοποιούμε μεγέθυνση, η δόση ακτινοβολίας που δέχεται ο εξεταζόμενος:
 - A. αυξάνεται
 - B. μειώνεται
 - Γ. δεν αλλάζει.
2. Το πιο συνηθισμένο σημείο εισόδου του καθετήρα για τη στεφανιογραφία είναι:
 - A. η μηριαία αρτηρία
 - B. η μηριαία φλέβα
 - Γ. η βραχιόνια αρτηρία.
3. Η συσκευασία των αποστειρωμένων υλικών:
 - A. Ανοίγεται μόνο από το γιατρό που εκτελεί την εξέταση.
 - B. Ανοίγεται μόνο από κάποιον που έχει αποστειρωθεί.
 - Γ. Ανοίγεται από κάποιον που δεν έχει αποστειρωθεί προσέχοντας να μην ακουμπήσει το εσωτερικό της συσκευασίας.
4. Τα σκιαγραφικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα:
 - A. δεν παρουσιάζουν ποτέ αλλεργική αντίδραση
 - B. παρουσιάζουν πιο σπάνια αλλεργική αντίδραση σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούνταν παλιότερα
 - Γ. παρουσιάζουν διαφορετικού είδους αλλεργική αντίδραση σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούνταν παλιότερα

Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις

1. Η αγγειογραφία πνευμονικών αρτηριών χρησιμοποιείται συνήθως για τη διάγνωση πιθανής πνευμονικής
2. Η ηπαρίνη χρησιμοποιείται σαν υλικό επίστρωσης των οδηγών γιατί εμποδίζει τη δημιουργίαμέσα στο αγγείο
3. Η ακτινοβολία εκπέμπεται από τη λυχνία των συστημάτων κινηματοακτινοσκόπησης κατά που συγχρονίζονται με το ρυθμό εναλλαγής φιλμ στην κάμερα
4. Η κοιλιογραφία πραγματοποιείται με καρδιακό καθετηριασμό
5. Η αγγειοπλαστική έχει το μειονέκτημα ως προς τη χειρουργική διάνοιξη του αγγείου, ότι υπάρχει πιθανότητα
6. Μετά την παρακέντηση ενός αγγείου, προωθείται ένα μέσα σε αυτό για να χρησιμοποιήσει σαν οδηγός για τον καθετήρα που θα εισέλθει μετά

Επιλέξτε όσες φράσεις είναι σωστές.

1. Όταν ο ενισχυτής εικόνας απομακρύνεται από τον εξεταζόμενο:
 - A. υπάρχει σμίκρυνση της εικόνας
 - B. αυξάνεται η δόση ακτινοβολίας που εκπέμπεται
 - Γ. υποβαθμίζεται η ευκρίνεια της εικόνας.
 - Δ. μειώνεται η φωτεινότητα της εικόνας στην οθόνη
2. Αριστερός καρδιακός καθετηριασμός γίνεται για την απεικόνιση
 - A. της αριστερής κοιλίας
 - B. της δεξιάς κοιλίας
 - Γ. της αριστερής στεφανιαίας αρτηρίας.
 - Δ. της δεξιάς στεφανιαίας αρτηρίας

6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΓΓΕΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της τεχνικής της απεικόνισης των αγγείων, εκτός από αυτών της καρδιάς, με τη χρήση της ψηφιακής αφαιρετικής αγγειογραφίας. Ο μαθητής θα γνωρίσει:

- Την αρχή λειτουργίας της μεθόδου.
- Τις δυνατότητες επεξεργασίας που προσφέρει η μέθοδος.
- Τα μέρη του ψηφιακού αγγειογράφου.
- Τις σημαντικότερες διαγνωστικές και θεραπευτικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τα αγγεία.
- Τον τρόπο με τον οποίο προετοιμάζεται ο ασθενής για τις τεχνικές αυτές και τη φροντίδα που χρειάζεται κατά τη διάρκειά τους.
- Τους κινδύνους από τις υψηλές δόσεις ακτινοβολίας αυτών των τεχνικών και τις αρχές προστασίας από αυτή, τόσο για τον εξεταζόμενο όσο και για το προσωπικό.

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στην απεικόνιση των άλλων αγγείων του σώματος, εκτός από αυτά της καρδιάς. Η βασική τεχνική είναι η ίδια με αυτήν που εξετάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή η εκλεκτική έγχυση σκιαγραφικού στο αγγείο που θέλουμε να εξετάσουμε μέσω ενός καθετήρα ο οποίος οδηγείται εκεί ακτινοσκοπικά. Η βασική διαφορά είναι ότι για την εξέταση ή, ακόμα περισσότερο, για τη θεραπευτική αντιμετώπιση των υπόλοιπων αγγείων, οι απαιτήσεις του απεικονιστικού συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερες. Η αντίθεση που παρουσιάζουν τα αγγεία - ειδικά τα μικρά - σε σχέση τους ιστούς γύρω τους, είναι συχνά πολύ μικρή, αφού τις περισσότερες φορές επιπροβάλλονται οστά. Έτσι, οι τεχνικές αυτές αναπτύχθηκαν σημαντικά με τη διάδοση των ψηφιακών αγγειογραφικών συστημάτων με τα οποία εφαρμόζεται μια μέθοδος που «απομονώνει» την εικόνα των αγγείων και διευκολύνει σε τεράστιο βαθμό τη μελέτη τους. Η τεχνική αυτή, ονομάζεται ψηφιακή αφαιρετική αγγειογραφία (Digital Subtraction Angiography – DSA)

6.2 Ψηφιακή αγγειογραφία

6.2.1 Σχηματισμός ψηφιακής εικόνας

Τα περισσότερα συστήματα ψηφιακής αγγειογραφίας είναι ίδια με τα κλασικά όσον αφορά τη λυχνία, τη γεννήτρια, τον ενισχυτή εικόνας, το βραχίονα και την τράπεζα (εικόνα 6.1). Ωστόσο, στα ψηφιακά συστήματα η εικόνα που παράγεται στην έξοδο του ενισχυτή εικόνας



Εικόνα 6.1
Ψηφιακός αγγειογράφος

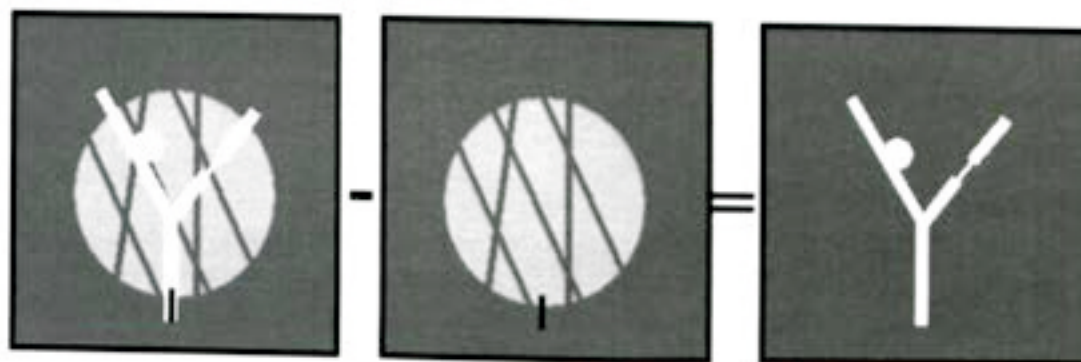
δεν καταγράφεται με οπτικά μέσα αλλά ψηφιοποιείται. Η ένταση της ακτινοβολίας που καταγράφεται σε κάθε σημείο του ενισχυτή εικόνας, εκφράζεται με μια ακέραια τιμή. Η ψηφιοποίηση περιλαμβάνει δυο στάδια: Τη δειγματοληψία του σήματος (sampling), δηλαδή τη μέτρηση της έντασής του σε τακτά χρονικά διαστήματα, και την αντιστοίχισή του σε μια ακέραια τιμή (Quantification).

Η δειγματοληψία γίνεται από μια ειδική κάμερα η οποία καταγράφει το οπτικό σήμα που προέρχεται από τον ενισχυτή εικόνας και στέλνει ένα ηλεκτρικό παλμό αντίστοιχης έντασης.

Η ψηφιοποίηση γίνεται από μια ειδική ηλεκτρονική διάταξη, τον αναλογικό - ψηφιακό μετατροπέα (Analog - Digital Converter - ADC), οποίος συλλέγει το ηλεκτρικό σήμα της κάμερας και ανάλογα με την έντασή του το αντιστοιχεί σε μια ακέραια τιμή. Οι τιμές αποθηκεύονται στη μνήμη του συστήματος και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία και την επεξεργασία της εικόνας

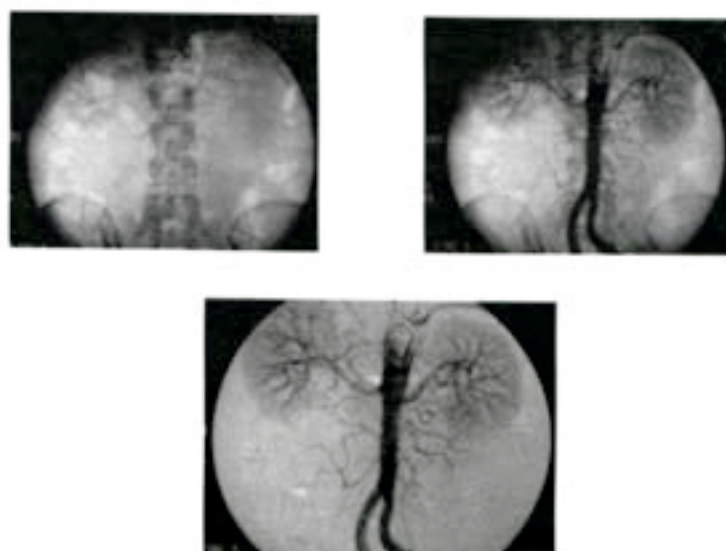
6.2.2 Τεχνική της ψηφιακής αφαίρεσης

Η διαδικασία της ψηφιακής αφαίρεσης των εικόνων της αγγειογραφίας περιλαμβάνει τρία στάδια. Αρχικά λαμβάνεται μια σειρά από εικόνες της περιοχής που πρόκειται να εξετασθεί, χωρίς χρήση σκιαγραφικού. Οι εικόνες αυτές ονομάζονται μάσκα και αφού ψηφιοποιηθούν, αποθηκεύονται στη μνήμη του συστήματος. Στη συνέχεια, γίνεται η έγχυση σκιαγραφικού και λαμβάνεται μια δεύτερη σειρά εικόνων οι οποίες επίσης ψηφιοποιούνται και αποθηκεύονται. Το τρίτο στάδιο πραγματοποιείται από τον υπολογιστή του συστήματος, ο οποίος αφαιρεί τη μάσκα από την αντίστοιχη εικόνα. Η διαφορά που προκύπτει από την αφαίρεση των δυο εικόνων οφείλεται στην παρουσία του σκιαγραφικού που είναι το μοναδικό αντικείμενο που υπάρχει μόνο στη δεύτερη εικόνα (σχήμα 6.1). Έτσι το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει από την αφαίρεση, αντιστοιχεί στην παρουσία του σκιαγραφικού. Η εικόνα που σχηματίζεται από τη διαδικασία αυτή απεικονίζει μόνο το σκιαγραφικό. (Εικόνα 6.2).



Σχήμα 6.1

Αρχή της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας. Αν από την εικόνα που περιέχει τα αγγεία και τις γύρω δομές αφαιρέσουμε αυτή που περιέχει μόνο τις δομές, παίρνουμε την εικόνα των αγγείων.



Εικόνα 6.2

Πάνω αριστερά: Η μάσκα. Πάνω δεξιά : Η εικόνα με την παρουσία των σκιαγραφικών.
 Κάτω: Το αποτέλεσμα της ψηφιακής αφαίρεσης.

6.2.3 Δυνατότητες επεξεργασίας

Το γεγονός ότι οι εικόνες που λαμβάνονται είναι αποθηκευμένες σε ψηφιακή μορφή, μας δίνει δυνατότητες να τις επεξεργαστούμε μετά τη λήψη τους προκειμένου να βελτιώσουμε το διαγνωστικό αποτέλεσμα της εξέτασης. Οι σημαντικότερες δυνατότητες επεξεργασίας είναι:

Ρύθμιση του παραθύρου

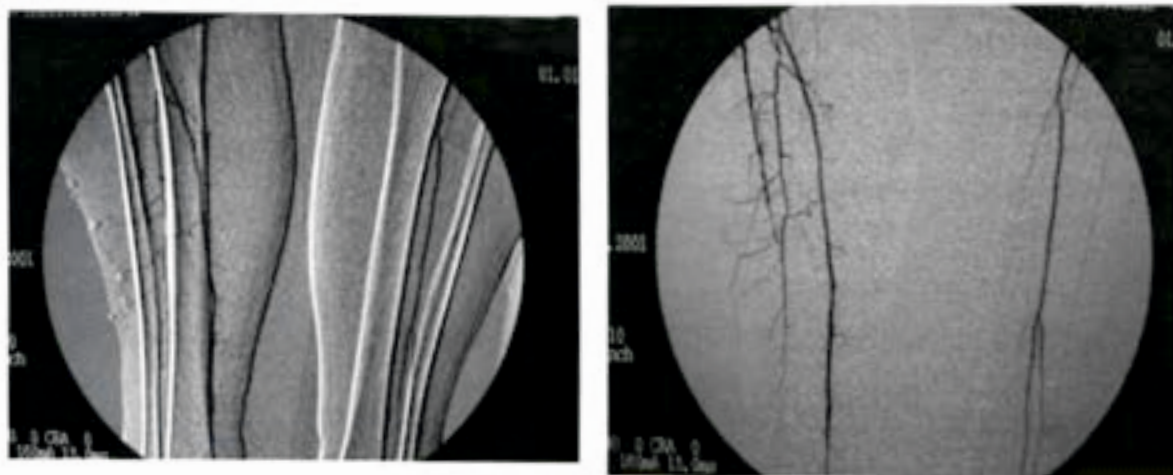
Η πιο απλή επεξεργασία που μπορεί να γίνει στην εικόνα είναι η ρύθμιση της θέσης και του εύρους του παραθύρου. Όπως ακριβώς και με την εφαρμογή της αντίστοιχης δυνατότητας στην υπολογιστική τομογραφία, έτσι και στην αγγειογραφία μπορούμε να επιλέξουμε ποιο εύρος από τις τιμές που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη θα εμφανιστεί στην οθόνη ως διαβαθμίσεις του γκρι. Με τον τρόπο αυτό, μπορούμε να βελτιώσουμε την απεικόνιση των αντικειμένων που μας ενδιαφέρουν.

Ενίσχυση ορίων (Edge enhancement)

Είναι ένας μαθηματικός αλγόριθμος που μπορεί να εφαρμοστεί στην εικόνα και προκαλεί την ενίσχυση της αντίθεσης στα όρια μεταξύ γειτονικών περιοχών. Με αυτό τον τρόπο γίνεται πιο εύκολη η αναγνώριση των λεπτομερειών που απεικονίζονται. Η δυνατότητα αυτή υπάρχει σε όλα τα ψηφιακά απεικονιστικά συστήματα, αλλά στην αγγειογραφία μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη, αφού υπάρχει η απαίτηση για καθαρή απεικόνιση μικρών αντικειμένων που εισέρχονται στα αγγεία, όπως είναι οι καθετήρες και οι οδηγοί.

Μετατόπιση pixel (pixel shift)

Αν ο εξεταζόμενος κινηθεί -έστω και λίγο- κατά το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της λήψης της μάσκας και της λήψης της εικόνας με το σκιαγραφικό, οι εικόνες που θα προκύψουν από τη διαδικασία της αφαίρεσης δεν θα είναι εντελώς καθαρές αφού τα ανατομικά στοιχεία στις εικόνες πριν και μετά την έγχυση δεν θα συμπίπτουν απόλυτα. Στην περίπτωση αυτή, είναι δυνατόν να μετατοπίσουμε τη μάσκα σε σχέση με την τελική εικόνα κατά τρόπο που οι αντίστοιχες ανατομικές δομές να συμπέσουν και πάλι και η αφαίρεση να οδηγήσει στην απάλειψή τους (Εικόνα 6.3). Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μετατόπιση pixel (pixel shift).



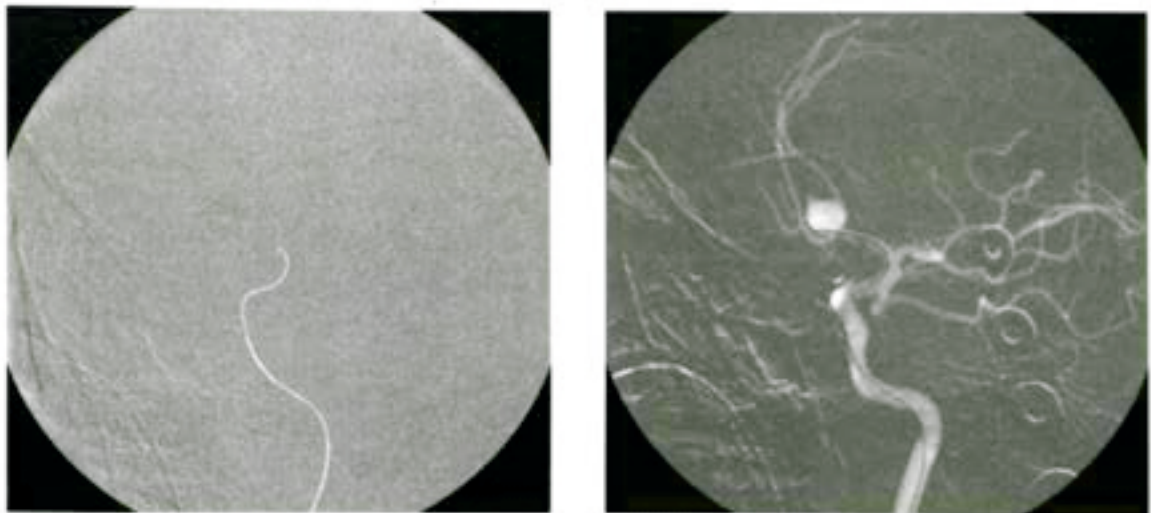
Εικόνα 6.3
Διόρθωση της αφαίρεσης με μετατόπιση pixel

Εντοπισμός περιοχής (Land marking)

Με τις εικόνες που προκύπτουν από την αφαίρεση, μπορούμε να διακρίνουμε καθαρά τα αγγεία αλλά δεν μπορούμε να καταλάβουμε την ακριβή θέση τους μέσα στο σώμα, αφού τα ανατομικά στοιχεία της γύρω περιοχής δεν απεικονίζονται. Αν προσθέσουμε στην εικόνα που έχει προκύψει από τη διαδικασία της αφαίρεσης την αρχική εικόνα (δηλαδή, τη μάσκα), χωρίς αυτή να έχει ενισχυθεί, τότε στην τελική εικόνα θα απεικονίζονται αγνά οι ανατομικές δομές της περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο, τα αγγεία εξακολουθούν να απεικονίζονται καθαρά αλλά συγχρόνως φαίνεται και η ακριβής θέση τους.

Χαρτογράφηση διαδρομής (Road mapping)

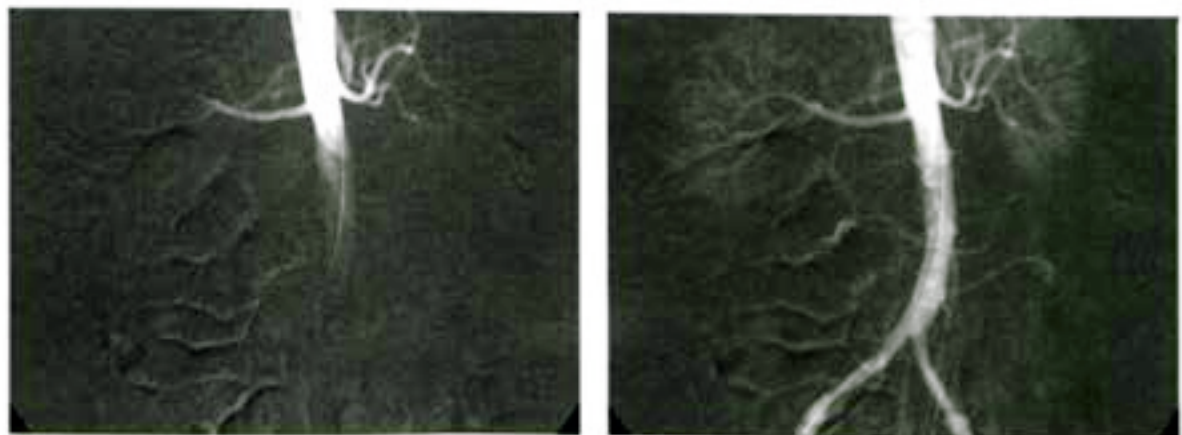
Κατά τη διάρκεια της ακτινοσκόπησης, ο γιατρός βλέπει στην οθόνη σε πραγματικό χρόνο το σύρμα οδηγό αλλά όχι και τα αγγεία, αφού αυτά δεν έχουν ακόμα σκιαγραφικό. Αυτό κάνει δύσκολη τη σωστή καθοδήγηση του οδηγού μέσα στο αγγείο που θέλουμε να σκιαγραφήσουμε, ειδικά αν το αγγείο είναι μικρό ή αν η περιοχή έχει πολύπλοκη αγγείωση. Για να μπορέσει ο



Εικόνα 6.4

Αριστερά: Εικόνα μετά από αφαίρεση. Δεξιά: Εικόνα με εφαρμογή Road mapping

γιατρός να δει την εικόνα του αγγείου, πραγματοποιεί μια μικρή έγχυση σκιαγραφικού με την οποία σκιαγραφούνται τα αγγεία μπροστά από την περιοχή στην οποία βρίσκεται. Η εικόνα που λαμβάνεται από αυτήν την έγχυση, διατηρείται στη μνήμη και αφαιρείται από την εικόνα που καταγράφεται από τον ενισχυτή κατά τη διάρκεια της ακτινοσκόπησης και στην οθόνη προβάλλεται η εικόνα που προκύπτει από αυτήν την αφαίρεση (εικόνα 6.4). Όποιο αντικείμενο υπήρχε και στις δυο εικόνες σβήνεται και παραμένει μόνο η εικόνα του σκιαγραφικού που αποτυπώνει τη δομή των αγγείων και η εικόνα του οδηγού. Με αυτή τη διαδικασία «χαρτογραφείται» η πορεία που πρέπει να ακολουθήσει ο οδηγός και για το λόγο αυτό η τεχνική αυτή ονομάζεται road mapping.



Εικόνα 6.5

*Αριστερά : Εικόνα από αγγειογραφία αορτής.
Δεξιά : Αθροισή εικόνων της εξέτασης απεικονίζει όλο το μήκος της αορτής*

Άθροιση εικόνων (image summation)

Όταν η ροή αίματος σε ένα αγγείο είναι πολύ γρήγορη, όπως για παράδειγμα στην αορτή, τότε το σκιαγραφικό μένει για πολύ λίγο σε κάθε τμήμα του αγγείου. Έτσι, σε κάθε μια από τις εικόνες που παίρνουμε, μόνο ένα τμήμα του αγγείου απεικονίζεται. Προκειμένου να δούμε ολόκληρη τη δομή του αγγείου μπορούμε να αθροίσουμε ψηφιακά τις διαδοχικές εικόνες και τις παρουσιάσουμε σαν μια (εικόνα 6.5).

Μετρήσεις

Από τις εικόνες που λαμβάνονται, ο υπολογιστής του συστήματος μπορεί να υπολογίσει κάποιο διάστημα, όπως τη διάμετρο ενός αγγείου. Επειδή η εικόνα θα είναι μεγεθυμένη ανάλογα με τη θέση του αντικειμένου που μετράμε, για να υπολογισθεί το πραγματικό μήκος που ζητάμε πρέπει να δοθεί στον υπολογιστή το μήκος κάποιου γνωστού αντικειμένου που απεικονίζεται στο ίδιο επίπεδο.

6.3 Εξοπλισμός εργαστηρίου

6.3.1 Κονσόλα ελέγχου και επεξεργασίας

Η κονσόλα ελέγχου του αγγειογράφου, βρίσκεται σε ξεχωριστό χώρο που έχει οπτική επαφή με το ακτινοσκοπικό σύστημα μέσω μολυβδύαλου. Από αυτήν, γίνεται η επιλογή των παραμέτρων της ακτινοσκόπησης, η πρόσβαση στις εξετάσεις που αποθηκεύονται στη μνήμη



Εικόνα 6.6
Κονσόλα ελέγχου αγγειογράφου

του υπολογιστή και γίνεται η επεξεργασία των εικόνων. Η κονσόλα περιλαμβάνει συνήθως δυο οθόνες, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας μιας προηγούμενης εξέτασης κατά τη διάρκεια της εισόδου του οδηγού. Η μια οθόνη δείχνει την εικόνα που λαμβάνεται εκείνη τη στιγμή από την ακτινοσκόπηση, ενώ η άλλη παρουσιάζει όποιες εικόνες επιλέγουμε από τη μνήμη του συστήματος. Επίσης, περιλαμβάνει τον έλεγχο του συστήματος φωτογράφισης των εξετάσεων σε φιλμ.



Εικόνα 6.7
Αυτόματος εγχυτής

6.3.2 Σύστημα καταγραφής

Κατά τη διάρκεια μιας αγγειογραφίας μπορεί να λαμβάνονται λήψεις για διάφορα αγγεία και συχνά από διάφορες γωνίες για κάθε ένα από αυτά. Σε κάθε λήψη λαμβάνονται επίσης πολλά «στιγμιότυπα», δηλαδή διαδοχικές εικόνες κατά τη διάρκεια της διέλευσης του σκιαγραφικού. Από όλες αυτές τις εικόνες, επιλέγονται αυτές που σκιαγραφούν καλύτερα τα αγγεία που μας ενδιαφέρουν και ειδικά αυτές που αναδεικνύουν καλύτερα τυχόν βλάβη σε αυτά και αυτές αποτυπώνονται σε φιλμ. Η αποτύπωση των εικόνων σε φιλμ κάνει πολύ πιο εύκολη τη μελέτη της εξέτασης σε σχέση με τη μελέτη του κινηματογραφικού φιλμ. Απαιτεί όμως μεγάλη ικανότητα και εμπειρία από τον χειριστή που θα αναλάβει να επιλέξει και -αν χρειάζεται- να επεξεργαστεί τις εικόνες, ώστε να μην χαθεί κάποια σημαντική πληροφορία για πιθανή βλάβη ή, αντίθετα, δοθεί παραπλανητική εικόνα παθολογίας.

6.3.3 Αυτόματος εγχυτής

Ο αυτόματος εγχυτής σκιαγραφικού είναι μια συσκευή που επιτρέπει τη χορήγηση καθορισμένης ποσότητας σκιαγραφικού με σταθερό ρυθμό. Περιλαμβάνει μια υποδοχή για την αποστειρωμένη σύριγγα μιας χρήσης που περιέχει το σκιαγραφικό, ένα μηχανισμό θέρμανσης του σκιαγραφικού για να μειώνεται το ιξώδες του, έναν ηλεκτρομαγνητικό μηχανισμό που πιέζει το έμβολο μέσα στη σύριγγα για να προωθηθεί το σκιαγραφικό και ένα πίνακα ελέγχου, από τον οποίο ρυθμίζουμε και παρακολουθούμε τις παραμέτρους λειτουργίας του εγχυτή. Οι παράμετροι λειτουργίας που μπορούμε να ρυθμίσουμε είναι ο ρυθμός ροής, η πίεση με την οποία χορηγείται το σκιαγραφικό και η καθυστέρηση έγχυσης (injection delay). Καθυστέρηση της έγχυσης είναι ο χρόνος που θα περάσει από την αρχή της λήψης εικόνων μέχρι την έναρξη της έγχυσης του σκιαγραφικού. Η καθυστέρηση είναι απαραίτητη για τη συλλογή των εικόνων που θα αποτελέσουν τη μάσκα.

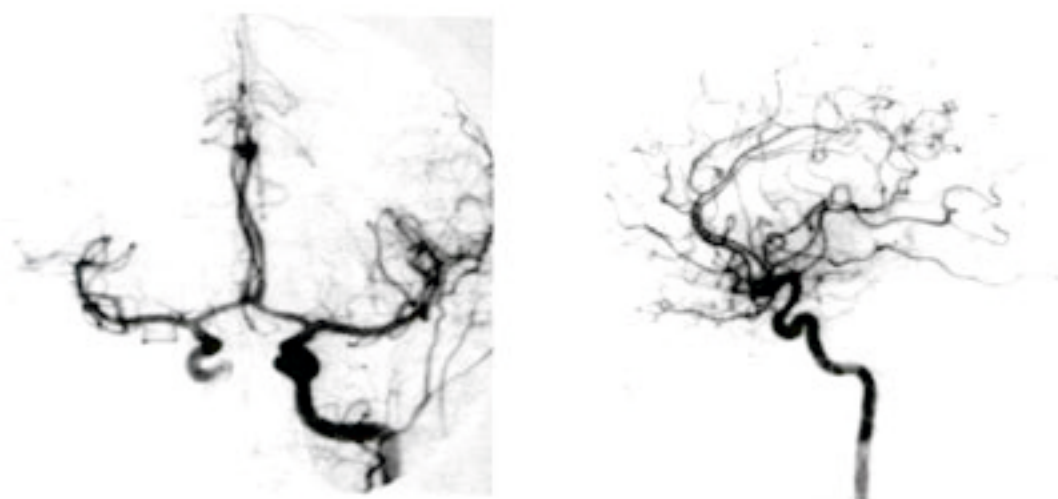
6.4 Διαγνωστικές εφαρμογές

Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε τις εφαρμογές της ψηφιακής αγγειογραφίας που έχουν τη μεγαλύτερη κλινική σημασία και εφαρμόζονται πιο συχνά.

6.4.1 Αγγειογραφία εγκεφάλου

Η αγγειογραφία εγκεφάλου αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές αλλά και απαιτητικές εξετάσεις και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των αγγείων που αιματώνουν το κεφάλι και το λαιμό. Οι σημαντικότερες ενδείξεις για την πραγματοποίησή της είναι η ύπαρξη στένωσης ή απόφραξης, ανευρύσματος ή αρτηριοφλεβικού συρριγγίου καθώς και η παρουσία εξωκρανιακών ή ενδοκρανιακών όγκων με πυκνή αγγείωση.

Ο καθετήρας εισάγεται συνήθως από τη μηριαία αρτηρία και στη συνέχεια, μέσω του σύρματος - οδηγού, προωθείται μέχρι την αορτή και το αορτικό τόξο. Εκεί γίνεται μια πρώτη έγχυση σκιαγραφικού για να απεικονιστεί η αρχή των αγγείων που ξεκινούν από εκεί. Η έγχυση αυτή μπορεί ακόμα να αναδειξει παρουσία αθηροσκλήρωσης στο διχασμό των καρωτίδων. Στη συνέχεια, ο καθετήρας προωθείται για να σκιαγραφήσει εκλεκτικά κάποιο από τα αγγεία που αιματώνουν τον εγκέφαλο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε ένα από τα 4 μεγάλα αγγεία που τροφοδοτούν το κεφάλι, δηλαδή, τη δεξιά και αριστερή σπονδυλική αρτηρία και τη δεξιά και αριστερή καρωτίδα. Μόλις ο καθετήρας εισέλθει σε μια από τις αρτηρίες αυτές, γίνεται έγχυση 5 - 15 ml σκιαγραφικού, ενώ εικόνες λαμβάνονται με ρυθμό τουλάχιστον 3 εικόνες / sec. Εικόνες λαμβάνονται οπωσδήποτε στο προσθιοπίσθιο και το πλάγιο επίπεδο (εικόνα 6.8), αλλά ανάλογα με την παθολογία της περιοχής, είναι πιθανό να απαιτούνται



Εικόνα 6.8

Αγγειογραφία εγκεφάλου.

Αριστερά: Προσθιοπίσθια προβολή. Δεξιά: Πλάγια προβολή

εικόνες και σε διάφορες άλλες γωνίες. Έγχυση σκιαγραφικού στις καρωτίδες γίνεται για τον έλεγχο της κυκλοφορίας στα πρόσθια αγγεία, ενώ η έγχυση στις σπονδυλικές γίνεται για τον έλεγχο των οπίσθιων αγγείων. Η πρώτη φάση είναι η αρτηριακή και ακολουθεί η τριχοειδής και τέλος η φλεβική φάση. Κάθε μια διαρκεί περίπου 2 sec.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην επιλογή και την επεξεργασία των εικόνων που θα φωτογραφηθούν, αφού η αγγείωση του εγκεφάλου είναι πολύπλοκη, η διάμετρος ακόμα και των μεγαλύτερων αγγείων δεν ξεπερνάει τα 5 mm και το σχήμα του κρανίου οδηγεί σε συχνές επι-προβολές.

6.4.2 Αγγειογραφία κοιλιακής αορτής

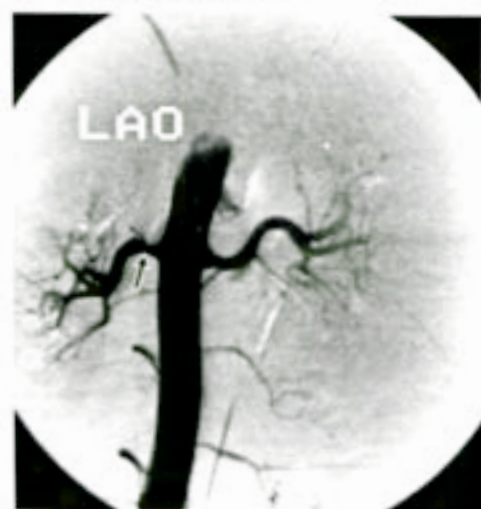
Είναι η απεικόνιση της κοιλιακής αορτής και των κύριων κλάδων της από το διάφραγμα μέχρι το διχασμό της. Συχνά, με την ίδια εξέταση ελέγχονται και οι λαγόνιες αρτηρίες.

Η ανάπτυξη μη επεμβατικών τεχνικών απεικόνισης των αγγείων, όπως οι υπέρηχοι, η αξονική και η μαγνητική τομογραφία, μείωσε σημαντικά την αξία της εξέτασης και περιορίσε τη χρήση της σε περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα των άλλων εξετάσεων είναι ασαφή ή όταν πρόκειται να εφαρμοστεί κάποια θεραπευτική τεχνική. Επίσης χρησιμοποιείται για τη σκιαγράφιση της αορτής προκειμένου να ακολουθήσει εκλεκτικός καθετηριασμός κάποιου από τους βασικούς κλάδους της, οι οποίοι τροφοδοτούν τα όργανα της κοιλιάς. Η σκιαγράφιση γίνεται με καθετηριασμό μέσω της μηριαίας αρτηρίας και οι εικόνες λαμβάνονται σε προσθιο-πίσθια προβολή. Λοξές προβολές χρησιμοποιούνται για την καλύτερη ανάδειξη της αρχής κάποιου βασικού κλάδου όπως είναι οι νεφρικές αρτηρίες και η άνω μεσεντέρια αρτηρία.

6.4.3 Αγγειογραφία νεφρικών αρτηριών

Και αυτή η εφαρμογή της αγγειογραφίας έχει μειωμένη σημασία σε σχέση με παλιότερα, λόγω της ανάπτυξης άλλων, μη επεμβατικών τεχνικών. Έτσι, χρησιμοποιείται πλέον σαν πρώτο στάδιο επεμβατικών τεχνικών και στη μελέτη της αγγείωσης των νεφρών προεγχειρητικά ή πριν από μεταμόσχευση.

Για την εξέταση χρησιμοποιούνται καθετήρες με ειδικό σχήμα. Λοξές προβολές και ιδιαίτερα η αριστερή πρόσθια λοξή (LAO) (εικόνα 6.9) χρησιμοποιούνται για την καλή απεικόνιση όλων των αγγείων του οργάνου.



Εικόνα 6.9

Αριστερή πρόσθια λοξή (LAO) προβολή της νεφρικής αρτηρίας

6.4.4 Αγγειογραφία περιφερειακών αγγείων

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή για τα περιφερειακά αγγεία αφορά τα αγγεία των κάτω άκρων και εφαρμόζεται για την εκτίμηση της κυκλοφορίας σε περιπτώσεις απόφραξης, ανευρύσματος, τραύματος και δυσπλασίας των αγγείων. Αν η εξέταση περιλαμβάνει και τα δυο πόδια, η έγχυση του σκιαγραφικού γίνεται ακριβώς πάνω από το διχασμό της. Αλλιώς, για την απεικόνιση του ενός ποδιού η έγχυση μπορεί να γίνει απ' ευθείας στο σημείο παρακέντησης της μηριαίας αρτηρίας. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στη ρύθμιση της ροής του σκιαγραφικού, αφού απαιτούνται διαδοχικές λήψεις κατά μήκος του κάτω άκρου, ανάμεσα στα οποίες η λυχνία μετακινείται κατά μήκος του σώματος του εξεταζόμενου (εικόνα 6.10).



Εικόνα 6.10

Διαδοχικές εικόνες από σκιαγράφιση των αγγείων των κάτω άκρων

6.5 Θεραπευτικές εφαρμογές

Εκτός από την απεικόνιση των αγγείων, η ενδοαγγειακή εισαγωγή των καθετήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αντιμετώπιση ορισμένων παθολογικών καταστάσεων οι οποίες θα έπρεπε διαφορετικά να αντιμετωπισθούν χειρουργικά. Αυτές οι θεραπευτικές ενδοαγγειακές τεχνικές γίνονται επίσης υπό ακτινοσκοπική καθοδήγηση και ουσιαστικά μπορούν να

χωριστούν σε δυο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με το στόχο που επιδιώκουμε. Η μια κατηγορία περιλαμβάνει τεχνικές που αποσκοπούν στη διάνοιξη κάποιου αγγείου που παρουσιάζει στένωση ή απόφραξη (αγγειοπλαστική, τοποθέτηση ενδοπρόσθεσης) και η άλλη αυτές που, αντίθετα, επιδιώκουν αποκλεισμό από την κυκλοφορία του αίματος κάποιου αγγείου το οποίο αιμορραγεί, αναπτύσσει ανεύρυσμα ή τροφοδοτεί κάποιον όγκο (εμβολισμός, χημειοεμβολισμός).

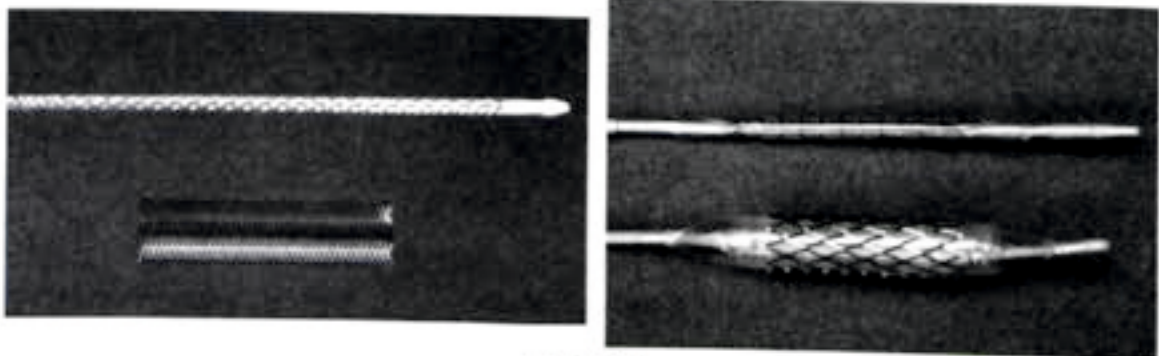
6.5.1 Αγγειοπλαστική

Για την διάνοιξη κάποιου αγγείου με τη μέθοδο της αγγειοπλαστικής με μπαλόνι μιλήσαμε ήδη στο κεφάλαιο της στεφανιογραφίας. Εκτός από τις στεφανιαίες αρτηρίες, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται και σε πολλά άλλα αγγεία του σώματος.

Η πιο συχνή εφαρμογή είναι στα αγγεία των κάτω άκρων. Το πιο συνηθισμένο σημείο εισόδου του καθετήρα είναι η μηριαία αρτηρία του άλλου ποδιού. Στις νεφρικές αρτηρίες χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της υπέρτασης λόγω νεφρικής δυσλειτουργίας που προκαλεί η στένωση και μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στην πλήρη θεραπεία. Συχνή εφαρμογή της μεθόδου είναι και η αντιμετώπιση της στένωσης που εμφανίζεται συχνά στο σημείο του διαχωμού της κοιλιακής αορτής.

6.5.2 Ενδοαυλικές ενδοπροσθέσεις (stents)

Όπως είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το σημαντικότερο μειονέκτημα της αγγειοπλαστικής με μπαλόνι είναι η σημαντική πιθανότητα επαναστένωσης του αγγείου. Για τη βελτίωση του αποτελέσματος της αγγειοπλαστικής χρησιμοποιούνται κάποιες διατάξεις οι οποίες τοποθετούνται στο τοίχωμα του αυλού και το υποστηρίζουν. Αυτές οι ενδοπροσθέσεις ή stents όπως αναφέρονται πιο συχνά, έχουν ένα μεταλλικό σκελετό και ένα ελαστικό κυρίως σώμα (εικόνα 6.11). Τα stent κατευθύνονται στο σημείο του αγγείου όπου υπήρχε στένωση και διαστέλλονται μέσα σε αυτό, μόνα τους ή με τη βοήθεια μπαλονιού αγγειοπλαστικής.



Εικόνα 6.11
Είδη ενδοπροσθέσεων

6.5.3 Θρομβόλυση

Θρομβόλυση είναι η καταστροφή ενός θρόμβου που φράζει τη ροή του αίματος σε κάποιο αγγείο, η οποία επιτυγχάνεται με τη χορήγηση κάποιας θρομβολυτικής ουσίας μέσα από καθετήρα που οδηγείται στο σημείο της θρόμβωσης. Η δράση της ουσίας αυξάνεται και με τη μηχανική διάσπαση του θρόμβου από το σύρμα ή τον καθετήρα.

6.5.4 Αρτηριακός εμβολισμός

Εμβολισμός είναι η θεραπευτική απόφραξη ενός αγγείου, η οποία μπορεί να είναι προσωρινή ή μόνιμη. Η απόφραξη του αγγείου μπορεί να είναι επιθυμητή για διάφορους λόγους όπως για την αντιμετώπιση αιμορραγίας, τη διακοπή της αιμάτωσης κάποιου όγκου ή την απόφραξη κάποιας περιοχής όπου εμφανίζεται επικοινωνία μεταξύ της αρτηριακής και της φλεβικής ροής και η οποία ονομάζεται αρτηριοφλεβικό σφίγγιο.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία υλικών που χρησιμοποιούνται για εμβολισμό αγγείων. Τα υλικά αυτά επιλέγονται ανάλογα με την παθολογική κατάσταση και το αγγείο που πρόκειται να εμβολιστεί, με βάση πολλά χαρακτηριστικά τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν το μηχανισμό δράσης, το μέγεθος των σωματιδίων, τη βιολογική τους συμπεριφορά, το ιξώδες των υγρών στοιχείων τους και πολλά άλλα. Επίσης, για εμβολισμό μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ειδικά μεταλλικά σύρματα τυλιγμένα σε σχήμα πηνίου.

6.5.5 Χημειοεμβολισμός

Ο χημειοεμβολισμός είναι ένας συνδυασμός θεραπευτικών τεχνικών που περιλαμβάνει τη χορήγηση χημειοθεραπευτικών φαρμάκων μαζί με το υλικό του εμβολισμού. Σκοπός της τεχνικής είναι να αυξήσει την επίδραση της χημειοθεραπείας σε καρκινικά κύτταρα, εμποδίζοντας την αιμάτωσή τους. Η βασική εφαρμογή του είναι στην αντιμετώπιση κακοήθων όγκων του ήπατος και ιδίως του ηπατοκυτταρικού καρκινώματος. Μπορεί να εφαρμοστεί προεγχειρητικά για να μειώσει το μέγεθος του όγκου, μετεγχειρητικά για να εμποδίσει την εμφάνιση υποτροπών ή ως παρηγορητική θεραπεία για τη μείωση του πόνου σε ασθενείς που δεν μπορούν να εγχειριστούν.

6.6 Φροντίδα του εξεταζόμενου

Οι επεμβατικές τεχνικές δεν είναι τόσο απλές στη διαδικασία τους, όπως οι κλασικές απεικονιστικές τεχνικές και, όπως είδαμε, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν επιπλοκές. Οι κίνδυνοι της εξέτασης πρέπει οπωσδήποτε να εξηγούνται στον ασθενή πριν αυτός πάρει την απόφαση να κάνει την εξέταση. Επίσης, απαιτείται η παρακολούθηση και φροντίδα του καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.

Πριν την εξέταση, απαιτούνται ορισμένες εργαστηριακές εξετάσεις για να εξεταστεί η νε-

φρική λειτουργία (μέτρηση κρεατινίνης και ουρικού οξέος στο αίμα) καθώς και ο αιματοκρίτης και οι παράγοντες που επηρεάζουν την πήξη του αίματος. Επίσης εκτελείται ηλεκτροκαρδιογράφημα και ακτινογραφία θώρακα και δίνονται οδηγίες ώστε ο εξεταζόμενος να μην έχει φάει τίποτα από το πρωί της μέρας της εξέτασης.

Συνήθως δεν απαιτείται νάρκωση για την εκτέλεση μιας αγγειογραφίας, εκτός από μια τοπική αναισθησία στο σημείο τομής όπου θα μπει ο καθετήρας. Επίσης, χορηγείται ήπια καταστολή, δηλαδή φάρμακα που βοηθούν τον εξεταζόμενο να χαλαρώσει αλλά διατηρούν την ικανότητά του να συνεχίζει την αναπνευστική λειτουργία χωρίς υποστήριξη και να ανταποκρίνεται σε προφορικές οδηγίες που του δίνονται. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης, οι βασικές λειτουργίες του παρακολουθούνται με τη βοήθεια ενός αυτόματου πιεσόμετρου, ενός μόνιτορ που παρακολουθεί την καρδιακή λειτουργία και ενός οπτικού οξύμετρου που μετράει τα επίπεδα του οξυγόνου στο αίμα. Όμως, εκτός από τις μετρήσεις που είναι αυτόματες, απαιτείται και η φυσική παρακολούθηση και η επικοινωνία μαζί του για να εντοπιστεί άμεσα οποιαδήποτε πιθανή επιπλοκή. Για την περίπτωση που κάποια επιπλοκή εμφανιστεί, πρέπει να υπάρχουν πάντα διαθέσιμα τα απαραίτητα φάρμακα και ο εξοπλισμός για ανάνηψη.

Μετά το τέλος της διαδικασίας, το σημείο της παρακέντησης πιέζεται για 10α προκειμένου να σταματήσει η αιμορραγία και στη συνέχεια δένεται σφιχτά με ελαστικό επίδεσμο. Στον ασθενή δίνονται οδηγίες ότι πρέπει να μείνει ακίνητος στο κρεβάτι του για μερικές ώρες. Η παρακολούθησή του πρέπει να συνεχιστεί και γι' αυτό το διάστημα προκειμένου να εντοπιστεί τυχόν αιμορραγία, εμφάνιση αιματώματος, μόλυνση ή εμφάνιση εμβολής λόγω της δημιουργίας κάποιου θρόμβου κατά τη διαδικασία της εξέτασης.

6.7 Ακτινοπροσασία στα επεμβατικά εργαστήρια

Τόσο οι διαγνωστικές αλλά κυρίως οι θεραπευτικές πράξεις που εκτελούνται σε ένα τμήμα επεμβατικής ακτινολογίας, επιβαρύνουν με μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας τόσο τον εξεταζόμενο όσο και το προσωπικό. Η συνολική δόση που φτάνει στην επιφάνεια του σώματος του εξεταζόμενου μπορεί να είναι αρκετές εκατοντάδες φορές περισσότερη από αυτή που δέχεται σε μια απλή ακτινοβολία και σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει να προκαλέσει ακόμα και ορατές βλάβες στο δέρμα (εικόνα 6.12). Αυτό συμβαίνει για δυο βασικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ότι η καλή απεικόνιση των αγγείων απαιτεί υψηλή ανάλυση η οποία επιτυγχάνεται μόνο με την εκπομπή υψηλού ρυθμού δόσης ακτινοβολίας προκειμένου να λαμβάνεται ισχυρό σήμα από τον ενισχυτή εικόνας. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι οι δυσκολίες που συχνά παρουσιάζει ο καθετηριασμός των αγγείων απαιτούν την χρήση της ακτινοσκοπικής καθοδήγησης της διαδικασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για τους λόγους αυτούς, είναι απαραίτητη η προσπάθεια να περιορίζεται η δόση στα χαμηλότερα όρια που είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση της εξέτασης ή της θεραπείας.

Η βασικότερη μέθοδος μείωσης της δόσης είναι ο περιορισμός του χρόνου κατά τον οποίο λειτουργεί η ακτινοσκόπηση (beam-on time) αυστηρά στα απαραίτητα όρια. Σημαντική βοήθεια για να επιτευχθεί αυτό, προσφέρουν τα συστήματα που έχουν τη δυνατότητα μετά τη διακοπή της ακτινοσκόπησης να διατηρούν την τελευταία εικόνα στην οθόνη (last image hold). Έτσι, ο γιατρός μπορεί να μελετήσει την εικόνα για να αποφασίσει για τον τρόπο που θα συνεχίσει χωρίς η λυχνία να ακτινοβολεί. Σημαντικό είναι και να μπορεί ο γιατρός να αντιλαμβάνεται γρήγορα την εικόνα στην οθόνη, αλλιώς η διαδικασία παρατείνεται άσκοπα. Γι' αυτό, προσοχή χρειάζεται τόσο στη θέση που τοποθετείται η οθόνη και στη ρύθμιση της φωτεινότητάς της, όσο και στη διαμόρφωση του φωτισμού της αίθουσας.

Ο περιορισμός του εύρους της δέσμης στην περιοχή που ενδιαφέρει μειώνει τόσο τη συνολική δόση που βγαίνει από τη λυχνία όσο και τη δημιουργία δευτερογενούς και σκεδαζόμενης ακτινοβολίας που επιβαρύνει το προσωπικό που βρίσκεται γύρω από τον ασθενή. Η χρήση της μεγέθυνσης πρέπει να γίνεται μόνο όταν είναι απόλυτα απαραίτητη, αφού αυξάνει σημαντικά το ρυθμό έκθεσης. Ο ενισχυτής εικόνας πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σώμα του ασθενούς, αλλιώς η δόση που φθάνει στην είσοδο του ενισχυτή μειώνεται και το αυτόματο σύστημα ελέγχου θα αυξήσει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη λυχνία.

Σε ορισμένες εξετάσεις, είναι δυνατό να αφαιρέσουμε το αντιδιαχυτικό διάφραγμα χωρίς να υποβαθμίσουμε πολύ την ποιότητα της τελικής εικόνας. Αν αυτό είναι εφικτό, μπορεί να μειώσει σημαντικά τη συνολική δόση από την εξέταση.

Ο γιατρός και το υπόλοιπο προσωπικό που παραμένουν μέσα στο χώρο του αγγειογράφου πρέπει να φοράνε πάντα μολύβδινες ποδιές και προστατευτικά για το λαιμό. Ακόμα, να προσπαθούν να απομακρύνονται από την πρωτεύουσα δέσμη όση ώρα δεν χρειάζεται να βρίσκονται δίπλα στον ασθενή και αν είναι δυνατό να καλύπτονται πίσω από προστατευτικό πέτασμα.

Τέλος είναι απαραίτητο να καταγράφονται οι δόσεις ακτινοβολίας που δέχεται τόσο ο ασθενής όσο και το προσωπικό. Για τον ασθενή, συνήθως υπολογίζεται με ειδική συσκευή η συνολική δόση επί την επιφάνεια που ακτινοβολείται (Dose Area Product – DAP). Αν σε ένα εργαστήριο καταγράφονται συχνά τιμές πολύ υψηλότερες από αυτές που αναφέρονται από τους αρμόδιους φορείς ακτινοπροστασίας, πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά η τεχνική που εφαρμόζεται για να βρεθούν τρόποι ελάττωσής της. Ο έλεγχος της δόσης για το προσωπικό γίνεται με τη χρήση των προσωπικών δοσιμέτρων.



Εικόνα 6.12

Καταστροφή του δέρματος στην περιοχή εισόδου της δέσμης μετά από μια στεφανιογραφία και δυο αγγειοπλαστικές. Διακρίνονται οι αποφύσεις της σπονδυλικής στήλης

Περίληψη

Η ψηφιακή αφαιρετική αγγειογραφία είναι μια τεχνική που προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης απεικόνισης των αγγείων, χωρίς να παρεμβάλλονται στην εικόνα οι γύρω ιστοί. Δίνει επίσης τη δυνατότητα για επεξεργασία της εικόνας με διάφορες τεχνικές που μπορούν να βελτιώσουν τη διαγνωστική αξία.

Τα συστήματα ψηφιακής αγγειογραφίας διαφέρουν από τα κλασικά μόνο στο σύστημα καταγραφής των εικόνων, η οποία γίνεται σε ψηφιακή μορφή.

Η ψηφιακή αγγειογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση των περισσότερων αγγείων, αλλά οι πιο συχνές εφαρμογές της είναι για τα αγγεία του εγκεφάλου, την κοιλιακή αορτή, τις νεφρικές αρτηρίες και τα περιφερειακά αγγεία.

Ο ψηφιακός αγγειογράφος χρησιμοποιείται και για να κατευθύνει θεραπευτικές τεχνικές όπως είναι η αγγειοπλαστική με ή χωρίς τοποθέτηση ενδοπρόσθεσης στο αγγείο, ο εμβολισμός και ο χημειοεμβολισμός.

Όλες οι τεχνικές που χρησιμοποιούν ακτινοσκοπικά καθοδηγούμενη σκιαγράφιση κάποιων αγγείων εμφανίζουν κινδύνους επιπλοκών και γι' αυτό ο εξεταζόμενος πρέπει να έχει την κατάλληλη φροντίδα και παρακολούθηση πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από την εξέταση.

Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν υψηλές δόσεις ακτινοβολίας και γι' αυτό απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και σχολαστική εφαρμογή των κανόνων ακτινοπροστασίας, για να μην επιβαρύνονται άσκοπα τόσο οι ασθενείς όσο και το προσωπικό.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις.

1. Ποια είναι τα βασικά στάδια της τεχνικής της ψηφιακής αφαίρεσης;
2. Τι είναι η τεχνική μετατόπισης pixel;
3. Ποιες παραμέτρους του εγχυτή πρέπει να ρυθμίσουμε πριν την εξέταση;
4. Τι είναι οι ενδοαυλικές ενδοπροσθέσεις και σε τι χρησιμεύουν;
5. Ποιες προβολές χρησιμοποιούμε σε μια αγγειογραφία εγκεφάλου;
6. Ποια η διαφορά ανάμεσα στον εμβολισμό και τον χημειοεμβολισμό;
7. Ποιος είναι ο ρόλος του ψηφιακού – αναλογικού μετατροπέα;
8. Ποιες τεχνικές επεξεργασίας μπορούμε να εφαρμόσουμε, όταν ο γιατρός δεν μπορεί να δει καθαρά τον οδηγό;
9. Τι πρέπει να κάνουμε αν στην εικόνα που προκύπτει από την αφαίρεση απεικονίζονται παρακείμενοι ιστοί;
10. Αναφέρετε μερικούς τρόπους με τους οποίους μπορούμε να μειώσουμε την ακτινοβολία που χρησιμοποιείται σε μια αγγειογραφία.
11. Σε τι βοηθάει η δυνατότητα του συστήματος να διατηρεί στην οθόνη την τελευταία εικόνα που πήρε με ακτινοσκόπηση;

Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις

1. Η τελική εικόνα που παίρνουμε στην ψηφιακή αφαιρετική αγγειογραφία προκύπτει από την αφαίρεση της από την εικόνα που καταγράφεται στον ενισχυτή.
2. Με τον αυτόματο εξασφαλίζεται η σταθερή ροή του σκιαγραφικού στο αγγείο
3. Στην αγγειογραφία εγκεφάλου γίνεται εκλεκτικός καθετηριασμός καθεμιάς από τις και τις καρωτίδες
4. Με τον εμβολισμό προκαλούμε ενός αγγείου
5. Για τη σκιαγράφιση των αρτηριών που τροφοδοτούν τα όργανα της κοιλιάς, ο καθετήρας προωθείται μέσω της

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Μάσκα ονομάζεται η εικόνα
 - A. που παίρνουμε πριν την έγχυση σκιαγραφικού
 - B. που παίρνουμε μετά την έγχυση σκιαγραφικού
 - Γ. που προκύπτει από την αφαίρεση των δυο παραπάνω.
2. Όταν απομακρύνουμε τον ενισχυτή εικόνας από το σώμα του εξεταζόμενου, η ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται
 - A. μειώνεται,

- B. αυξάνεται,
- Γ. μένει σταθερή.

3. Με την τεχνική της χαρτογράφησης της διαδρομής (road mapping):
- A. Καθαρίζουμε την εικόνα από τους παρακείμενους ιστούς.
 - B. Δείχνουμε τη θέση του αγγείου ως προς τους γύρω ιστούς.
 - Γ. Δείχνουμε την πορεία των αγγείων μπροστά από τον οδηγό.

Επιλέξτε όσες φράσεις είναι σωστές.

1. Η δόση ακτινοβολίας που λαμβάνει ο εξεταζόμενος μειώνεται
 - A. όταν μειώνεται η διάρκεια που χρησιμοποιούμε ακτινοσκόπηση
 - B. όταν απομακρύνουμε τον ενισχυτή εικόνας από το σώμα του
 - Γ. όταν δεν χρησιμοποιούμε αντιδιαχυτικό διάφραγμα
 - Δ. όταν χρησιμοποιείται ακτινοσκοπικό σύστημα με δυο λυχνίες.
2. Κατά τον χημειοεμβολισμό ενός αγγείου
 - A. τοποθετείται ενδοαυλική ενδοπρόσθεση
 - B. προκαλείται τεχνητή απόφραξη του αγγείου
 - Γ. καταστρέφονται οι θρόμβοι που φράζουν το αγγείο
 - Δ. χορηγούνται χημειοθεραπευτικά φάρμακα.

7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των μεθόδων απεικόνισης πυρηνικής ιατρικής. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν την ακτινοβολία την οποία εκπέμπουν ραδιενεργά ισότοπα που εισάγονται στο σώμα. Ειδικότερα, ο μαθητής θα γνωρίσει:

- τα ραδιενεργά ισότοπα που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση και τη σημασία της ένωσής τους με άλλες ουσίες,
- την αρχή λειτουργίας και τα τμήματα μιας γ - κάμερας,
- τα συστήματα τομογραφικής απεικόνισης (PET και SPECT),
- τους χώρους και τις απαιτήσεις λειτουργίας ενός εργαστηρίου πυρηνικής ιατρικής,
- την τεχνική μερικών βασικών εξετάσεων με ισότοπα που εκπέμπουν ακτινοβολία γ και συγκεκριμένα τα σπινθηρογραφήματα οστών, θυρεοειδούς, αιμάτωσης και αερισμού πνευμόνων, αιμάτωσης του μυοκαρδίου, κοιλιών της καρδιάς και νεφρών,
- τις εφαρμογές της απεικόνισης με ισότοπα που εκπέμπουν ποζιτρόνια.

7.1 Εισαγωγή

Πυρηνική ιατρική ονομάζεται η χρήση ραδιενεργών ισότοπων για διαγνωστικούς ή θεραπευτικούς σκοπούς. Οι σημαντικότερες εφαρμογές αυτού του κλάδου αφορούν τις απεικονιστικές τεχνικές οι οποίες βασίζονται στην εισαγωγή ενός ραδιενεργού ισότοπου στο ανθρώπινο σώμα και την εξωτερική καταγραφή της ακτινοβολίας που εκπέμπει το ισότοπο από την περιοχή της εισαγωγής.

Παρά το γεγονός ότι οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιούν καταγραφή ιοντίζουσας ακτινοβολίας, διαφέρουν ριζικά ως προς τη λογική τους από την απεικόνιση με ακτίνες - X. Στην πυρηνική ιατρική, η ακτινοβολία που ανιχνεύεται δεν χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η απορρόφησή της από τους ιστούς αλλά για να εντοπιστεί η κατανομή της ραδιενεργής ουσίας σε κάθε σημείο της περιοχής που εξετάζεται. Αυτή η κατανομή δεν εξαρτάται τόσο από την ανατομία των ιστών αλλά κυρίως από τη λειτουργία τους. Έτσι, η απεικόνιση πυρηνικής ιατρικής προσφέρει κυρίως λειτουργικές πληροφορίες του ανθρώπινου σώματος, γι' αυτό και έχει τη δική της ξεχωριστή σημασία.

7.2 Ραδιοφάρμακα

Ο πιο σημαντικός παράγοντας σε μια εξέταση πυρηνικής ιατρικής είναι η χρήση του κατάλληλου ραδιοφαρμάκου, δηλαδή της ουσίας που εισάγεται στον εξεταζόμενο, συνήθως ενδοφλέβια. Το ραδιοφάρμακο έχει δυο συστατικά τα οποία ενώνονται χημικά. Το ένα είναι ένα ραδιενεργό ισότοπο που εκπέμπει την ακτινοβολία που θα ανιχνεύσουμε. Το δεύτερο είναι κάποια ουσία η οποία απορροφάται από τον οργανισμό και συγκεντρώνεται στα διάφορα σημεία του σώματος, ανάλογα με συγκεκριμένες λειτουργίες του.

Ισότοπα ενός στοιχείου ονομάζονται τα άτομα που έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων στον πυρήνα τους. Ορισμένα ισότοπα είναι ασταθή και κάποια στιγμή διασπώνται εκπέμποντας ακτινοβολία. Τα ισότοπα αυτά ονομάζονται ραδιενεργά. Ο αριθμός των ατόμων που διασπώνται σε ένα δείγμα κάθε sec ονομάζεται ραδιενέργεια και μετριέται σε Becquerel (Bq). Ραδιενέργεια ενός Bq σημαίνει ότι γίνεται μια διάσπαση ανά sec.

Ο ρυθμός με τον οποίο διασπώνται τα ραδιενεργά ισότοπα είναι χαρακτηριστικός για κάθε ένα από αυτά και εκφράζεται με το χρόνο υποδιπλασιασμού ή χρόνο ημιζωής ($t_{1/2}$). Αυτός είναι ο χρόνος που απαιτείται για να διασπαστούν οι μισοί από έναν δοσμένο αριθμό πυρήνων.

Τα ισότοπα που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση πυρηνικής ιατρικής εκπέμπουν στην πλειοψηφία τους ακτινοβολία γ η οποία και ανιχνεύεται. Τα ισότοπα που επιλέγονται πρέπει

να εκπέμπουν ακτινοβολία κατάλληλης ενέργειας, ώστε να ανιχνεύονται ικανοποιητικά από τα όργανα που χρησιμοποιούνται. Συνήθως οι ενέργειες αυτές κυμαίνονται μεταξύ 80 – 200 keV. Πρέπει, επίσης, να έχουν χρόνο ημιζωής αρκετά μεγάλο για να επιτρέψει την ολοκλήρωση της εξέτασης, αλλά όχι υπερβολικά μεγάλο, ώστε να μην εκπέμπουν πολύ ακτινοβολία για μεγάλο διάστημα μετά το τέλος της. Σημαντικό ρόλο για την επιλογή παίζουν και οι χημικές ιδιότητες του στοιχείου που πρέπει να του επιτρέπουν να ενώνεται εύκολα με την ουσία που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε για το σχηματισμό του ραδιοφαρμάκου.

Το ισότοπο που χρησιμοποιείται στις περισσότερες εξετάσεις είναι το ^{99m}Tc το οποίο έχει χρόνο υποδιπλασιασμού περίπου 6 ώρες και εκπέμπει φωτόνια ενέργειας 140 keV. Ένα σημαντικό πλεονέκτημά του είναι ότι παράγεται εύκολα στο χώρο της εξέτασης από γεννήτριες, οι οποίες είναι φορητές και διαρκούν περίπου για μια εβδομάδα. Στον πίνακα 7.1 βλέπουμε και μερικά άλλα ισότοπα που εκπέμπουν ακτινοβολία γ και έχουν εφαρμογές στην απεικόνιση.

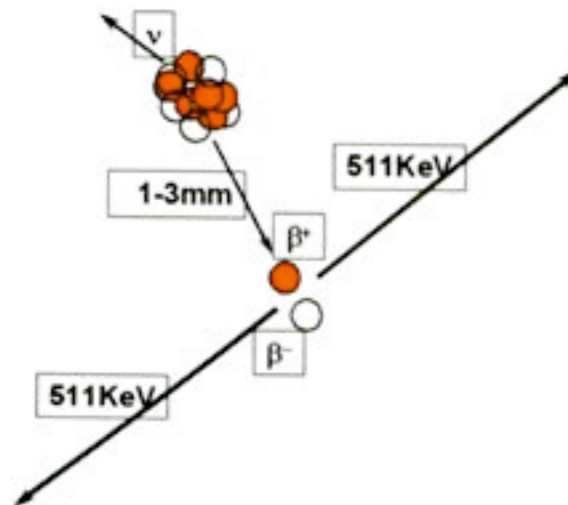
Ισότοπο	Χρόνος ημιζωής
Γάλλιο - 67 (^{67}Ga)	78 hr
Κρυπτό - 81m (^{81m}Kr)	13 sec
Τεχνητίο - 99m (^{99m}Tc)	6 hr
Ιώδιο - 123 (^{123}I)	13 hr
Ιώδιο - 131 (^{131}I)	8 μέρες
Θάλλιο - 201 (^{201}Tl)	72,5 hr

Πίνακας 7.1

Χρόνοι ημιζωής των ισωτόπων που εκπέμπουν ακτινοβολία γ και χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση

Σχετικά πρόσφατα αναπτύχθηκαν συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν ισότοπα που εκπέμπουν ποζιτρόνια (θετικά φορτισμένα ηλεκτρόνια). Το ποζιτρόνιο, σχεδόν αμέσως μόλις απομακρυνθεί από τον πυρήνα, ανταλλάσσει φορτία με κάποιο ηλεκτρόνιο και στη συνέχεια και τα δυο εξαφανίζονται εκπέμποντας δυο φωτόνια ενέργεια 511 keV σε αντίθετες κατευθύνσεις (Σχήμα 7.1). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται εξαθλώση. Το ζεύγος των φωτονίων που παράγεται είναι αυτό που ανιχνεύεται και αποκαλύπτει τη θέση του ισωτόπου.

Τα ραδιοϊσότοπα που εκπέμπουν ποζιτρόνια και χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση, έχουν συνήθως πολύ μικρούς χρόνους ημιζωής (πίνακας 7.2) και παράγονται είτε σε κύκλωτρα εγκατεστημένα πολύ κοντά στον τόπο χορήγησης, είτε από μικρές γεννήτριες μέσα στο κέντρο απεικόνισης. Εξαιρεση αποτελεί το ^{18}F , που έχει σχετικά μεγάλο χρόνο ημιζωής και μπορεί να μεταφερθεί σε μακρινές αποστάσεις.



Σχήμα 7.1

Σχηματική απεικόνιση της εξαβλάωσης. Με κόκκινο απεικονίζονται τα ποζιτρόνια (β^+) και με άσπρο το ηλεκτρόνιο (β^-)

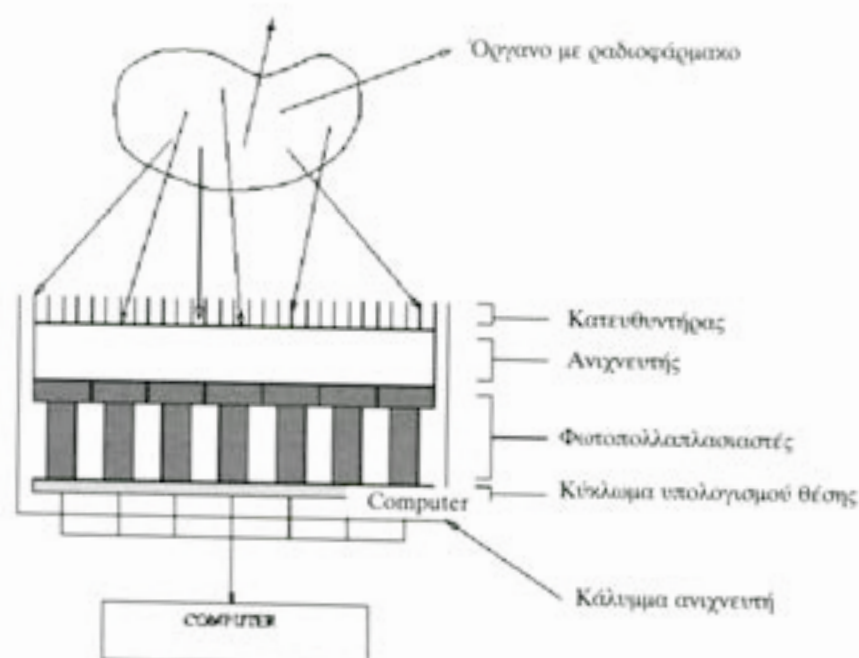
Ισότοπο	Χρόνος ημιζωής
Ανθρακας - 11 (^{11}C)	20 min
Αζωτο - 13 (^{13}N)	10 min
Οξυγόνο - 15 (^{15}O)	2 min
Φθόριο - 18 (^{18}F)	108 min
Ρουβίδιο - 82 (^{82}Rb)	2 min

Πίνακας 7.2

Χρόνοι ημιζωής των ισοτόπων που εκπέμπουν ποζιτρόνια και χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση

7.3 γ -Κάμερα

Η γ -κάμερα, η οποία ονομάζεται και κάμερα Anger προς τιμή του H. Anger που τη σχεδίασε τη δεκαετία του 1960, αποτελείται από μια κεφαλή η οποία περιέχει όλο το σύστημα ανίχνευσης της ακτινοβολίας και έναν βραχίονα ο οποίος της επιτρέπει να κινείται. Η βασική κίνηση που μπορεί να εκτελέσει είναι η κατακόρυφη, ώστε να τοποθετείται πάντα όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σώα του εξεταζόμενου. Οι σύγχρονες κάμερες έχουν επίσης τη δυνατότητα γραμμικής κίνησης κατά μήκος του σώματος και περιστροφής γύρω από αυτό. Μέσα στην κεφαλή υπάρχει ο ανιχνευτής, ο κατευθυντήρας, οι φωτοπολλαπλασιαστές και τα ηλεκτρονικά



Σχήμα 7.2
Σχηματική παράσταση της λειτουργίας της γ - κάμερας

κινκλώματα που επεξεργάζονται το σήμα που δημιουργείται. Τα δεδομένα που λαμβάνονται στέλνονται στον υπολογιστή του συστήματος για παρουσίαση και επεξεργασία (Σχήμα 7.2). Ορισμένα σύγχρονα συστήματα έχουν δυο ή περισσότερες κεφαλές που λαμβάνουν εικόνα συγχρόνως σε διαφορετικά επίπεδα (εικόνα 7.1)



Εικόνα 7.1
γ-κάμερα με δυο κεφαλές

7.3.1 Ανιχνευτής

Η ανίχνευση της ακτινοβολίας γίνεται στα περισσότερα συστήματα με τη χρήση ενός μεγάλου κρυστάλλου ιωδιούχου νατρίου με προσμίξεις θαλίου (NaI (Tl)). Ο κρύσταλλος απορροφάει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από το ραδιοφάρμακο και εκπέμπει ένα σύντομο φωτεινό παλμό. Η ένταση του παλμού είναι ανάλογη με την ενέργεια του φωτονίου που απορροφήθηκε. Κάθε εκπομπή παλμού που υποδηλώνει την απορρόφηση ενός φωτονίου από τον ανιχνευτή, αναφέρεται σαν κρούση.

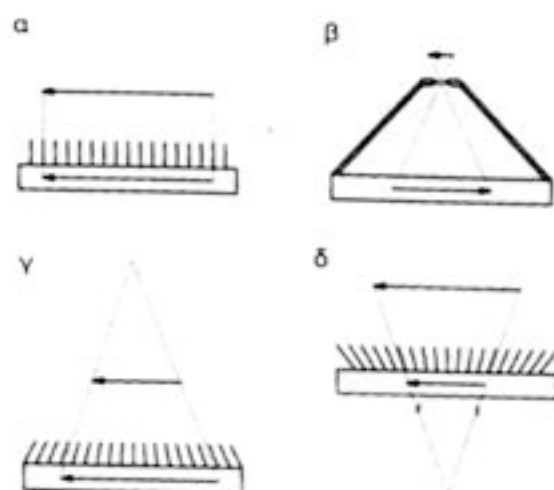
Το ποσοστό της ακτινοβολίας που καταγράφεται, εξαρτάται από την ικανότητα του υλικού του ανιχνευτή να απορροφάει την ακτινοβολία, το πάχος του κρυστάλλου και την απόστασή του από την πηγή.

7.3.2 Κατευθυντήρας (collimator)

Η ακτινοβολία που προέρχεται από το φάρμακο μέσα στο σώμα του εξεταζόμενου εκπέμπεται εξ ίσου προς όλες τις κατευθύνσεις. Για να μπορέσουμε να αναγνωρίσουμε από ποιο σημείο του σώματος προέρχεται κάθε κρούση που καταγράφεται, χρησιμοποιούνται διατάξεις που ονομάζονται κατευθυντήρες και οι οποίοι τοποθετούνται πριν από τον ανιχνευτή. Οι κατευθυντήρες είναι μολύβδινοι και με αρκετό πάχος, ώστε να απορροφούν αποτελεσματικά την ακτινοβολία, και έχουν ανοίγματα (οπές) με συγκεκριμένο προσανατολισμό. Με αυτόν τον τρόπο, μόνο όσα φωτόνια κινούνται με μια συγκεκριμένη διεύθυνση φτάνουν στον ανιχνευτή, ενώ όλα τα υπόλοιπα αποκρίπτονται. Ανάλογα με τον προσανατολισμό των οπών τους, οι κατευθυντήρες διακρίνονται σε κατευθυντήρες παραλλήλων οπών, οπής καρφίτσας (pinhole), συγκλίνοντες ή αποκλίνοντες.

Οι κατευθυντήρες παραλλήλων οπών (σχήμα 7.3 - α) που χρησιμοποιούνται για τις περισσότερες εξετάσεις δεν προκαλούν καμιά αλλοίωση στην εικόνα. Οι συγκλίνοντες (σχήμα 7.3 - γ) προβάλλουν την πηγή της ακτινοβολίας σε ένα μεγαλύτερο τμήμα του κρυστάλλου και έτσι δίνουν μεγεθυσμένη εικόνα, περίπου κατά 15%. Έτσι μπορούν να απεικονίσουν μικρότερες δομές από την πραγματική διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή. Προκαλούν, όμως, παραμόρφωση στην εικόνα, καθώς η μεγέθυνση αλλάζει ανάλογα με το βάθος κάθε σημείου της πηγής. Οι αποκλίνοντες κατευθυντήρες (σχήμα 7.3 - δ), αντίθετα, προκαλούν σμίκρυνση των αντικειμένων ενώ και αυτοί παραμορφώνουν την εικόνα. Χρησιμοποιούνται μόνο για να απεικονίσουν μια περιοχή μεγαλύτερη από τις διαστάσεις του ανιχνευτή. Οι κατευθυντήρες οπής καρφίτσας (σχήμα 7.3 - β) χρησιμοποιούνται και αυτοί για μεγέθυνση ενώ η εικόνα αποτυπώνεται ανεστραμμένη. Η μεγέθυνση αυξάνει όσο πιο κοντά βρίσκεται το αντικείμενο στην άκρη του κατευθυντήρα και όσο περισσότερο απέχει η οπή από τον ανιχνευτή. Οι κατευθυντήρες αυτοί είναι κατάλληλοι για την απεικόνιση μικρών και λεπτών δομών.

Ο κατευθυντήρας είναι απαραίτητο εξάρτημα για τη λειτουργία της γ - κάμερας, αλλά απο-



Σχήμα 7.3

Διατάξεις κατευθυντήριων γ -κάμερας: α) Παράλληλων οπών, β) Οπής κορυφότητας, γ) Αποκλίνων, δ) Συγκλίνων

τελεί και βασικό της μειονέκτημα, αφού μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό από την ακτινοβολία που εκπέμπει το ραδιοφάρμακο αξιοποιείται για το σχηματισμό της εικόνας.

7.3.3 Φωτοπολλαπλασιαστές

Οι φωτοπολλαπλασιαστές είναι διατάξεις που βρίσκονται πίσω από τον κρύσταλλο. Καταγράφουν τον φωτεινό παλμό που εκπέμπεται και δημιουργούν ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογης έντασης.

7.3.4 Ηλεκτρονικό κύκλωμα καταγραφής

Οι ηλεκτρικοί παλμοί που δημιουργούνται από τους φωτοπολλαπλασιαστές περνάνε από ηλεκτρικά κυκλώματα που σκοπό έχουν να τους μετατρέψουν σε σήμα, να το ενισχύσουν και να υπολογίσουν τις συντεταγμένες πρόσκρουσης της ακτίνας- γ πάνω στον κρύσταλλο. Επίσης ελέγχουν την ενέργεια που είχε το φωτόνιο που ανιχνεύτηκε, υπολογίζοντας την ένταση του παλμού που προκάλεσε. Με αυτόν τον τρόπο απορρίπτονται τα φωτόνια που έχουν υποστεί σκέδαση και έχουν χάσει ένα μέρος της ενέργειάς τους. Επίσης, εξασφαλίζουμε ότι καταγράφονται μόνο τα φωτόνια από το ισότοπο που έχουμε εισαγάγει στον εξεταζόμενο και όχι άλλη ακτινοβολία από το περιβάλλον.

7.4 Τομογραφικά συστήματα πυρηνικής ιατρικής

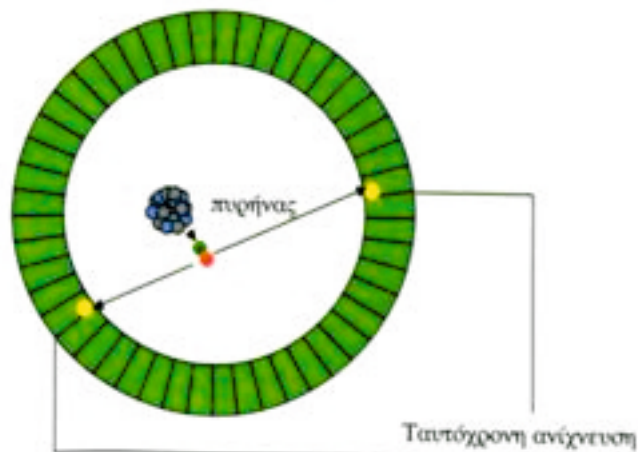
7.4.1 Τομογραφία εκπομπής φωτονίων (SPECT)

Η τομογραφία εκπομπής φωτονίων (Single Photon Emission Computed Tomography – SPECT) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδος με πολλές εφαρμογές στην καθημερινή κλινική πρακτική. Στα συστήματα SPECT πραγματοποιείται περιστροφή της κεφαλής της γ -camera γύρω από τον κεντρικό άξονα του σώματος του ασθενή και λαμβάνονται συμβατικές εικόνες σε διαδοχικές θέσεις της κεφαλής επάνω στην περιφέρεια περιστροφής. Κάθε μια από τις εικόνες αποθηκεύεται στη μνήμη του υπολογιστή. Με διαδικασία ανακατασκευής εικόνας βάσει κατάλληλων αλγορίθμων σχηματίζεται η τελική εικόνα μιας εγκάρσιας τομής.

Η τομογραφία εκπομπής φωτονίων έχει το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί ξεχωριστό εξοπλισμό, αφού μπορεί να γίνει με μια γ – κάμερα που να έχει δυνατότητα περιστροφής και το κατάλληλο λογισμικό το οποίο θα κάνει την ανασύνθεση. Κατά κανόνα, όλες οι σύγχρονες γ – κάμερες έχουν τη δυνατότητα να εφαρμόσουν τομογραφικές τεχνικές.

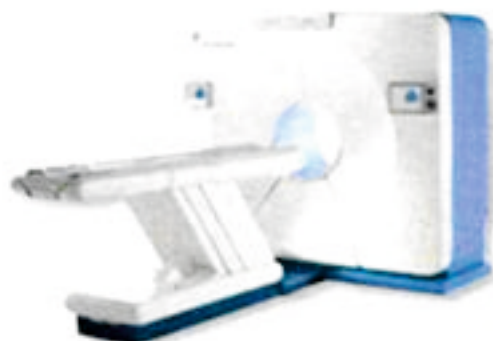
7.4.2 Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET)

Η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography – PET) χρησιμοποιείται για την απεικόνιση ισotόπων που εκπέμπουν ποζιτρόνια. Η λειτουργία της βασίζεται στην αρχή της ταυτόχρονης ανίχνευσης των δύο φωτονίων που γεννιούνται κατά την εξαύλωση. Για την ανίχνευση των φωτονίων δεν χρησιμοποιούνται κατευθυντήρες αλλά μόνο κρύσταλλοι - ανιχνευτές, τοποθετημένοι είτε σε μορφή δακτυλίου γύρω από το σώμα του εξεταζόμενου, είτε σε δύο επίπεδες κεφαλές τοποθετημένες σε αντίθετες πλευρές. Όταν δυο φωτόνια ανιχνεύονται ταυτόχρονα, σημαίνει ότι κάποια εκπομπή ποζιτρονίου και στη συνέχεια εξαύλωσή του



Σχήμα 7.4

Αρχή λειτουργίας του PET. Η εκπομπή του ποζιτρονίου αποκαλύπτεται από την ταυτόχρονη καταγραφή των δυο φωτονίων που εκπέμπονται



Εικόνα 7.2

Σύστημα PET με ανιχνευτές σε διάταξη δακτυλίου

συνέβη πάνω στον άξονα ο οποίος συνδέει τους ανιχνευτές που κατέγραψαν τις κρούσεις (σχήμα 7.4).

Ο πιο συνηθισμένος τύπος μιας κάμερας PET είναι δακτυλοειδής και στην εμφάνιση δεν διαφέρει από τους αξονικούς τομογράφους (εικόνα 7.2). Κάθε στοιχείο συνίσταται από έναν κρύσταλλο γερμανικού βισμούθιου (BGO) με την ηλεκτρονική του υποστήριξη.

Η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων μπορεί να δώσει πολύ σημαντικές λειτουργικές πληροφορίες, όμως, όπως όλες οι μέθοδοι της πυρηνικής ιατρικής, δεν δίνει ανατομικές λεπτομέρειες. Μια σημαντική εξέλιξη, αποτέλεσε ο συνδυασμός PET και υπολογιστικής τομογραφίας με τον οποίο μπορούμε να πετύχουμε ακριβή εντοπισμό του σημείου του σώματος το οποίο εμφανίζει τη δραστηριότητα που ανιχνεύεται με το ραδιοφάρμακο. Αρχικά, ο συνδυασμός αυτός έγινε με ψηφιακή συγχώνευση των εικόνων που δημιουργούσε κάθε μηχανήμα ξεχωριστά, όμως η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρα, επίπονη και επιρρεπής σε λάθη λόγω διαφορών στην τοποθέτηση του εξεταζόμενου σε κάθε μηχανήμα. Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα (PET/CT) που χρησιμοποιούν και τις δυο μεθόδους μαζί. Κάτι τέτοιο ήταν πολύ πιο εύκολο να εφαρμοστεί με τα συστήματα PET που δεν χρησιμοποιούν κατευθυντήρες, παρά με τις κάμερες SPECT.

7.5 Εργαστήριο πυρηνικής ιατρικής

Η χρήση ραδιενεργών ισotόπων δημιουργεί ορισμένες ειδικές απαιτήσεις στη διαμόρφωση των χώρων ενός εργαστηρίου πυρηνικής ιατρικής. Εκτός από το χώρο όπου βρίσκεται η κάμερα και στον οποίο πραγματοποιείται η εξέταση, υπάρχουν και άλλοι χώροι όπου υπάρχει ακτινοβολία και απαιτούν ειδική αντιμετώπιση.

Η παρασκευή των ραδιοφαρμάκων γίνεται σε ειδικό προστατευμένο χώρο ο οποίος ονομά-

ζεται «θερμό εργαστήριο» (Hot lab). Μέσα σε αυτόν υπάρχει μια ειδική κρύπτη μέσα στην οποία αποθηκεύονται οι ραδιενεργές ουσίες που χρησιμοποιούνται, γίνεται η συλλογή του τεχνητίου από τη γεννήτρια, και υπάρχει ειδικός πάγκος με θωράκιση για οποιαδήποτε εργασία με ισότοπα, όπως το γέμισμα της σύριγγας που θα χρησιμοποιηθεί στη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου. Ο χώρος αυτός πρέπει να προστατεύεται από την είσοδο οποιουδήποτε εκτός του προσωπικού του εργαστηρίου.

Σε αρκετές εξετάσεις, υπάρχει χρόνος αναμονής από τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου μέχρι την εκτέλεση της εξέτασης. Για την αναμονή αυτών που πρόκειται να εξεταστούν πρέπει να υπάρχει ξεχωριστός χώρος με δική του τουαλέτα. Στον χώρο αυτό δεν πρέπει να βρίσκονται και οι συνοδοί, εκτός αν υπάρχει σοβαρός λόγος.

Όλοι οι χώροι του εργαστηρίου πρέπει να ελέγχονται με μετρητές ακτινοβολίας για την περίπτωση που κάποιο ραδιενεργό υλικό έχει χυθεί κάπου. Στην περίπτωση αυτή, η μολυσμένη περιοχή πρέπει να εντοπίζεται ακριβώς και να καθαρίζεται όσο γίνεται πιο γρήγορα.

7.6 Εφαρμογές απεικόνισης με εκπομπή φωτονίων

7.6.1 Σπινθηρογράφημα οστών

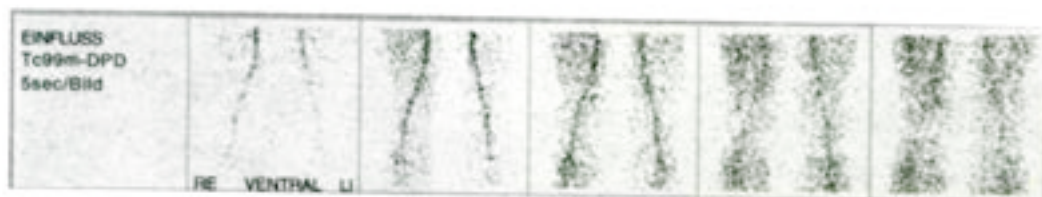
Το σπινθηρογράφημα οστών χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την εκτίμηση παθολογικών μεταβολικών λειτουργιών των οστών. Η βασικότερη χρησιμότητά του είναι για τον εντοπισμό οστικών μεταστάσεων όπου έχει πολύ μεγαλύτερη ευαισθησία από οποιαδήποτε άλλη εξέταση. Άλλες ενδείξεις αποτελούν η ανίχνευση οστεομυελίτιδας, ανωμαλιών των αρθρώσεων, φλεγμονών και καταγμάτων κόπωσης.

Τα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται είναι φωσφορικές ενώσεις με ^{99m}Tc . Οι ενώσεις αυτές συγκεντρώνονται στις περιοχές του σκελετού που παρουσιάζουν αυξημένη αιμάτωση ή οστεοβλαστική δραστηριότητα.

Η χορήγηση του ραδιοφαρμάκου γίνεται ενδοφλέβια και στη συνέχεια δίνουμε οδη-



Εικόνα 7.3
Π-Ο (αριστερά) και Ο-Π ολόσωμο
σπινθηρογράφημα οστών



Εικόνα 7.4

Διαδοχικές εικόνες οστών στη φάση αιμάτωσης



Εικόνα 7.5

Εικόνα σπινθηρογραφήματος οστών στη φάση συγκέντρωσης

γίες στον εξεταζόμενο να πει 0,5 - 1 lt υγρών μέχρι την ώρα του σπινθηρογραφήματος, το οποίο γίνεται 2-3 ώρες μετά την ένεση. Τα υγρά επιταχύνουν την απέκκριση μέσω των νεφρών όπου ραδιοφαρμάκου δεν προσληφθεί από τα οστά. Κατά την εξέταση λαμβάνονται ξεχωριστές προσθιοπίσθιες και οπισθοπρόσθιες εικόνες όλων των τμημάτων του σκελετού ή δυο αντίστοιχες ολόσωμες σαρώσεις ανάλογα με το μηχάνημα. (εικόνα 7.3). Το πρωτόκολλο αυτό εφαρμόζεται όταν η εξέταση γίνεται για την ανίχνευση μεταστάσεων, οι οποίες απεικονίζονται σαν περιοχές αυξημένης συγκέντρωσης του ραδιοϊσοτόπου. Για να ελέγξουμε πιθανή φλεγμονή ή κάταγμα, χρησιμοποιούμε ένα πρωτόκολλο που περιλαμβάνει τρία στάδια, οπότε η εξέταση αναφέρεται σαν σπινθηρο-

γράφημα οστών τριών φάσεων. Στην πρώτη φάση (φάση αιμάτωσης) παίρνουμε διαδοχικές εικόνες με ρυθμό μία κάθε 15 sec και σε αυτή απεικονίζονται περιοχές που υπεραιματώνονται. (εικόνα 7.4). Στη δεύτερη φάση (φάση συγκέντρωσης), η οποία ακολουθεί αμέσως μετά, λαμβάνουμε μια εικόνα ανά περιοχή η οποία αναδεικνύει περιοχές υπεραιμίας. (εικόνα 7.5). Η τρίτη φάση είναι το τυπικό στάδιο που γίνεται μετά από 2-3 ώρες και που ήδη περιγράψαμε.

7.6.2 Σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς

Το σπινθηρογράφημα θυρεοειδή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας του αδένου και την εκτίμηση του βαθμού πρόσληψης ιωδίου από αυτόν. Τα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται είναι ισότοπα του ιωδίου (^{123}I και ^{131}I) ή μια ένωση του $^{99\text{m}}\text{Tc}$ η οποία προσλαμβάνεται με ανάλογο τρόπο.

Το ραδιοφάρμακο χορηγείται ενδοφλέβια και την εικόνα την παίρνουμε περίπου 30 λεπτά μετά τη χορήγηση. Η εξέταση του θυρεοειδή είναι η πιο συνηθισμένη περίπτωση στην οποία χρησιμοποιούμε κατευθυντήρα οπής καρφίτσας. Στις εικόνες εμφανίζεται η κατανομή του ιωδι-

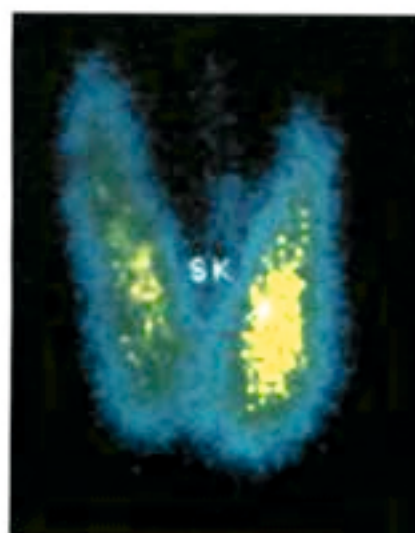
ου στον αδένα η οποία μπορεί να αποκαλύψει περιοχές (όζους) που υπερλειουργούν και εμφανίζουν μεγάλη πρόσληψη ραδιοφαρμάκου ή αντίθετα περιοχές που υπολειουργούν. Επίσης μπορεί να γίνει μια μέτρηση των κρούσεων που καταγράφονται σε μια περιοχή που επιλέγεται και να συγκριθεί με τυπικές τιμές. Η σύγκριση αυτή δίνει πληροφορίες για τη συνολική πρόσληψη ιωδίου από το θυρεοειδή.

7.6.3 Σπινθηρογράφημα αιμάτωσης και αερισμού των πνευμόνων

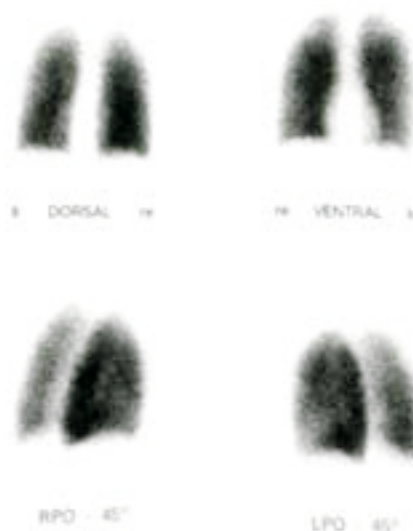
Η ραδιοϊσοτοπική απεικόνιση των πνευμόνων μπορεί να γίνει με ραδιοφάρμακα που φτάνουν σε αυτούς μέσω του αίματος και αναδεικνύουν την αιμάτωσή τους (σπινθηρογράφημα αιμάτωσης πνευμόνων) ή με ραδιοφάρμακα που εισπνέονται και αναδεικνύουν την πρόσληψη αέρα από αυτούς (σπινθηρογράφημα αερισμού). Για την αιμάτωση χρησιμοποιούνται ενδοφλέβια ραδιοφάρμακα που περιέχουν 99mTc και χορηγούνται ενδοφλέβια. Για τον αερισμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ραδιενεργά αέρια 133Xe (Ξένον - 133) ή 81mKr (Κρυπτό - 81m) ή σπρέι με μικροσταγονίδια επισημασμένα με 99mTc , τα οποία ο εξεταζόμενος εισπνέει μέσα από κλειστό κύκλωμα.

Και στις δυο περιπτώσεις παίρνουμε προσθιοπίσθια, οπισθοπρόσθια, πλάγιες και λοξές εικόνες και των δυο πνευμόνων (εικόνα 7.7).

Ο συνδυασμός των δυο σπινθηρογραφημάτων γίνεται για την ανίχνευση πιθανής πνευμονικής εμβολής η οποία εμφανίζεται σαν έλλειμμα ραδιοφαρμάκου στις εικόνες της αιμάτωσης ενώ η ίδια περιοχή εμφανίζεται φυσιολογική στις εικόνες αερισμού. Μια ακόμα συνηθισμένη εφαρμογή της απεικόνισης των πνευμόνων είναι η ποσοτική εκτίμηση της λειτουργίας κάθε λοβού πριν από εγχείρηση. Η εκτίμηση γίνεται με υπολογισμό των κρούσεων που καταγράφονται από κάθε λοβό.



Εικόνα 7.6
Σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς

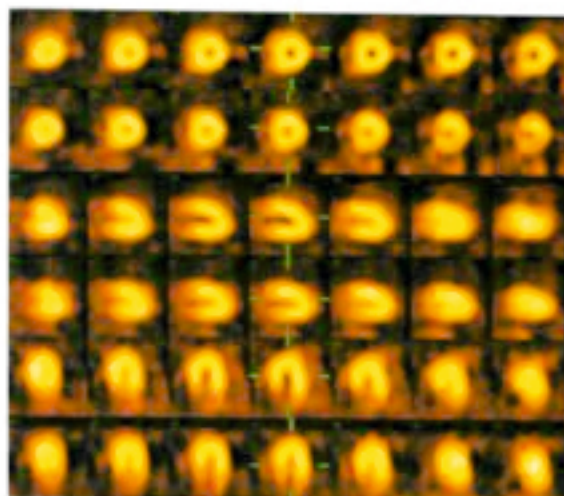


Εικόνα 7.7
Προσθιοπίσθια, οπισθοπρόσθια και λοξές εικόνες από σπινθηρογράφημα αιμάτωσης πνευμόνων

7.6.4 Σπινθηρογράφημα αιμάτωσης μυοκαρδίου

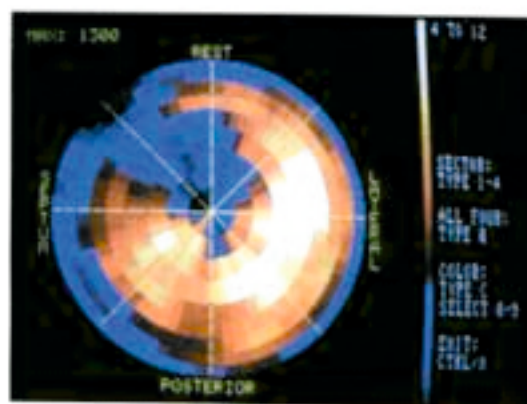
Η απεικόνιση της αιμάτωσης του μυοκαρδίου γίνεται σε συνθήκες κόπωσης και σε συνθήκες ηρεμίας. Τα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται είναι το ^{201}Tl (Θάλλιο -201) ή το $^{99\text{m}}\text{Tc}$ με μια ουσία γνωστή με τα αρχικά MIBI. Το ^{201}Tl είναι στοιχείο με ανάλογη συμπεριφορά με το Κάλιο και προσλαμβάνεται από το μυοκάρδιο, δείχνοντας έτσι την ικανότητά του να προσλαμβάνει το αίμα που το τροφοδοτεί. Το $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - MIBI ακολουθεί την αιματική ροή και έτσι δείχνει τη ροή του αίματος στους κλάδους των στεφανιαίων που αιματώνουν κάθε τμήμα του μυοκαρδίου.

Ο εξεταζόμενος υποβάλλεται αρχικά σε δοκιμασία κόπωσης, δηλαδή καταβάλλει κάποια φυσική προσπάθεια είτε περπατώντας γρήγορα σε κυλιόμενο μίαντα ή με ειδικό ποδήλατο. Αν δεν είναι σε θέση να κάνει κάποιο από αυτά, χορηγείται φάρμακο που επιταχύνει την καρδιακή λειτουργία. Η εξέταση γίνεται με τομογραφική τεχνική, παίρνουμε δηλαδή διαδοχικές εικόνες από διαφορετική γωνία γύρω από την καρδιά, στις οποίες στη συνέχεια γίνεται ανασύνθεση. Η διαδικασία αυτή εκτελείται δυο φορές με κάποια χρονική διαφορά. Οι πρώτες εικόνες δείχνουν την κατανομή του ραδιοφαρμάκου κατά την κόπωση, ενώ οι δεύτερες την επανακατανομή του όταν η καρδιά βρίσκεται σε ηρεμία. Αν η εξέταση γίνεται με ^{201}Tl , οι εικόνες κόπωσης λαμβάνονται αμέσως μετά το τέλος της δοκιμασίας και οι εικόνες επανακατανομής μετά από 3-4 ώρες. Αν χρησιμοποιούμε $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - MIBI, οι πρώτες εικόνες γίνονται μια ώρα μετά το τέλος της δοκιμασίας κόπωσης και της χορήγησης του ραδιοφαρμάκου και οι εικόνες ηρεμίας μετά από 24 ώρες.



Εικόνα 7.8

Ανασύνθεση εικόνων απινθηρογραφήματος αιμάτωσης του μυοκαρδίου με βάση τους τρεις άξονες της καρδιάς



Εικόνα 7.9

Απεικόνιση στόχου της κατανομής του ραδιοφαρμάκου στο μυοκάρδιο

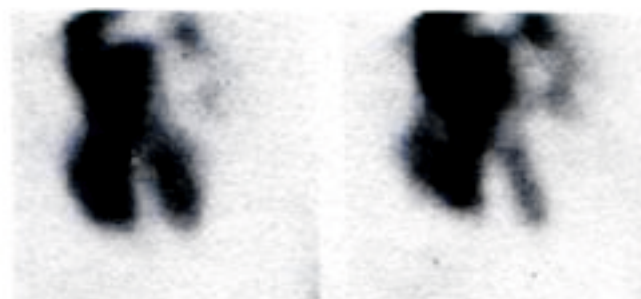
Η τομογραφική ανασύνθεση δίνει εικόνες κάθετες στους βασικούς άξονες της καρδιάς (εικόνα 7.8). Τα δεδομένα από το μικρό άξονα μπορούν να παρουσιαστούν και με μια ειδική απεικόνιση η οποία ονομάζεται απεικόνιση στόχου (Bull's-eye view). Σε αυτήν, οι τομές της αριστερής κοιλίας που είναι κάθετες στο μικρό άξονα απεικονίζονται σαν μια κυκλική επιφάνεια, έτσι ώστε η κορυφή της καρδιάς να απεικονί-

νίζεται στο κέντρο και τα επόμενα τμήματα σε διαδοχικούς δακτύλιους γύρω από αυτήν, μέχρι τις τομές που αντιστοιχούν στη βάση οι οποίες απεικονίζονται στην περιφέρεια (εικόνα 7.9). Η εικόνα που παίρνουμε είναι σαν μια εικόνα του μυοκαρδίου αν το «συμπιέσουμε» σε ένα επίπεδο πατώντας από την κορυφή της καρδιάς.

Το σπινθηρογράφημα αιμάτωσης χρησιμοποιείται για την ανίχνευση περιοχών ισχαιμίας στο μυοκάρδιο και την εκτίμηση της βιωσιμότητάς τους. Περιοχές που δεν προσλαμβάνουν ραδιοφάρμακο κατά τη φάση της κόπωσης, είναι περιοχές με ελλιπή αιμάτωση. Όσες από αυτές παρουσιάζουν πρόσληψη κατά την ανακατανομή σε συνθήκες ηρεμίας δεν έχουν νεκρωθεί αλλά μπορούν να επανέλθουν σε φυσιολογική λειτουργία αν αποκατασταθεί η αιμάτωσή τους.

7.6.5 Κοιλιογραφία

Μια άλλη καρδιολογική εξέταση με ραδιοϊσότοπα είναι απεικόνιση της λειτουργίας της αριστερής κοιλίας ή κοιλιογραφία. Σε αυτήν γίνεται λήψη εικόνων με συγχρονισμό (gating) με τα δεδομένα που μας δίνει ένα ηλεκτροκαρδιογράφημα. Τα δεδομένα που λαμβάνονται κάθε στιγμή κατατάσσονται στο αντίστοιχο κομμάτι του καρδιακού κύκλου, για να



Εικόνα 7.10

Εικόνες σπινθηρογραφήματος της αριστερής κοιλίας

σηματοδοτούν τελικά εικόνες που απεικονίζουν την αριστερή κοιλία σε όλες τις φάσεις της (εικόνα 7.10). Το ραδιοϊσότοπο που χρησιμοποιείται είναι το ^{99m}Tc , το οποίο χορηγείται με κατάλληλες ουσίες που προκαλούν την πρόσληψή του από τα ερυθροκύτταρα. Παίρνουμε εικόνες σε αριστερή λοξή προβολή και κατά προτίμηση με ελαφρά κεφαλουραία κλίση. Η εξέταση μπορεί να γίνει είτε σε ηρεμία είτε υπό φυσική ή φαρμακευτική κόπωση.

Οι εικόνες μπορούν να παρουσιαστούν σε γρήγορη διαδοχή (cine loop) δίνοντας μια εικόνα της κίνησης των τοιχωμάτων της κοιλίας. Ακόμα πιο σημαντική είναι η δυνατότητα μέτρησης της ακτινοβολίας που καταγράφεται σε κάθε στάδιο του κύκλου και η οποία αναλογεί με την αντίστοιχη ποσότητα του αίματος μέσα στην κοιλότητα. Από αυτές τις μετρήσεις είναι δυνατό να υπολογιστεί το κλάσμα εξώθησης, ένας δείκτης που εκφράζει την ποσότητα του αίματος που στέλνει η καρδιά σε κάθε της σύσπαση. Η μέτρηση αυτή μπορεί να γίνει και κατά τμήματα της κοιλίας, έτσι ώστε να γίνει αξιολόγηση της τοπικής λειτουργίας των τοιχωμάτων της.

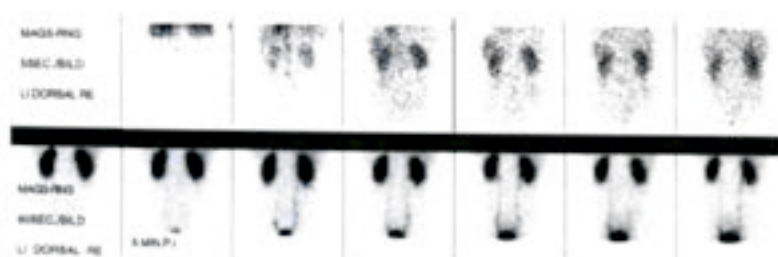
7.6.6 Σπινθηρογράφημα νεφρών

Για την ραδιοϊσοτοπική εξέταση νεφρών χρησιμοποιούνται κυρίως δυο ραδιοφάρμακα που περιέχουν ^{99m}Tc : Το ^{99m}Tc - DMSA το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για τη στατική απεικόνιση και το ^{99m}Tc - DTPA που επιτρέπει δυναμική μελέτη.

Η στατική εξέταση γίνεται 2-3 ώρες μετά την ενδοφλέβια χορήγηση του ραδιοφαρμάκου. Το ^{99m}Tc - DMSA δεν αποβάλλεται γρήγορα, οπότε έχουμε το περιθώριο για πολλές διαφορετικές λήψεις και, αν χρειάζεται, για τομογραφική απεικόνιση. Με την εξέταση αυτή, απεικονίζεται καλά η έκταση και η θέση του λειτουργικού ιστού, ενώ μπορεί να μετρηθεί και η ποσοστιαία συμμετοχή κάθε νεφρού στη νεφρική λειτουργία.

Με τη δυναμική εξέταση παίρνουμε πληροφορίες για την αιμάτωση, τη λειτουργία και την ταχύτητα απέκκρισης κάθε νεφρού. Μετά από ταχεία έγχυση του ραδιοφαρμάκου παίρνουμε αρχικά εικόνες κάθε 5 sec και για τα πρώτα 2-3 λεπτά που εμφανίζουν την αιμάτωση και επιτρέπουν την εκτίμηση της αγγείωσης των νεφρών. 3-5 λεπτά μετά την έγχυση, αρχίζει να απεικονίζεται η κατανομή του φαρμάκου που δίνει πληροφορίες για τη νεφρική λειτουργία κατά αναλογία με τη στατική εξέταση. Τέλος, 5 λεπτά μετά την έναρξη και μέχρι τα 20-30 λεπτά, οι εικόνες δείχνουν τη σταδιακή απέκκριση του ραδιοφαρμάκου μέσω των ουρητήρων (εικόνα 7.11).

Η χρονική μεταβολή της ακτινοβολίας που καταγράφεται από κάθε νεφρό, απεικονίζεται με ένα διάγραμμα το οποίο ονομάζεται νεφρόγραμμα και το οποίο δίνει μια συγκριτική εικόνα της λειτουργίας τους στις τρεις φάσεις της εξέτασης.



Εικόνα 7.11
Δυναμικό απεικονογράφημα νεφρών

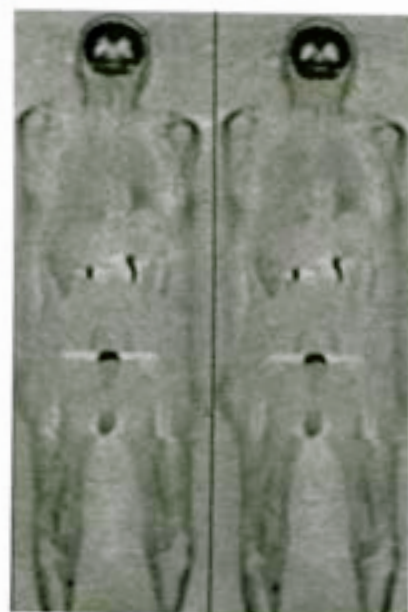
7.7 Εφαρμογές απεικόνισης με εκπομπή ποζιτρονίων

Μέχρι πρόσφατα, η λειτουργία ενός τομογράφου PET απαιτούσε την ύπαρξη κύκλουτρου και εργαστηρίου ραδιοχημείας για την άμεση παρασκευή των ραδιοφαρμάκων. Όμως τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν σημαντικές εφαρμογές με τη χρήση ενός ραδιοφαρμάκου που ονομάζεται FDG και είναι μια ένωση που περιέχει γλυκόζη και ^{18}F . Το ^{18}F , όπως έχουμε πει, έχει σχετικά μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής και είναι δυνατό να παρασκευάζεται σε κάποιο κεντρικό εργαστήριο, από όπου διανέμεται στα απεικονιστικά εργαστήρια.

Οι κλινικές εφαρμογές της αντίχνευσης εκπομπής ποζιτρονίων με τη μέθοδο PET έχουν αναπτυχθεί σε τρεις βασικούς τομείς: την ογκολογία, την καρδιολογία και τη νευρολογία.

7.7.1 Ογκολογικές εφαρμογές

Οι όγκοι αποτελούνται από κύτταρα τα οποία αναπαράγονται διαρκώς και προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες γλυκόζης που είναι η ενεργειακή αποθήκη του οργανισμού. Όταν χορηγείται FDG, αυτό καθιλώνεται σε μεγάλο ποσοστό στο σημείο του όγκου. Αντίθετα, εκτός από τον εγκέφαλο (και την καρδιά σε ορισμένες περιπτώσεις), οι φυσιολογικοί ιστοί συγκεντρώνουν πολύ λίγη γλυκόζη και γι' αυτό, αναλογικά, πολύ μικρές ποσότητες FDG. Το αποτέλεσμα είναι, οι όγκοι και οι μεταστάσεις τους να διακρίνονται καθαρά στις εικόνες PET. Η εξέταση μπορεί να γίνει σε ολόκληρο το σώμα (εικόνα 7.12) για εντόπιση πρωτοπαθών όγκων ή απομακρυσμένων μεταστάσεων ή σε μια περιοχή με γνωστή παρουσία όγκου για διαφοροποίηση καλοήθων από κακοήθεις εντοπίσεις, καθορισμό του σταδίου της νόσου, εκτίμηση των αποτελεσμάτων θεραπείας ή έλεγχο για παρουσία πιθανής υποτροπής.



Εικόνα 7.12
Ολόσωμη εξέταση PET με FDG

7.7.2 Καρδιολογικές εφαρμογές

Η μελέτη του μυοκαρδίου με PET μπορεί να γίνει τόσο με βάση τη μελέτη των επιπέδων απορρόφησης γλυκόζης με τη σήμανσή της με ^{18}F (FDG), όσο και με βάση την αιμάτωσή του, με τρόπο ανάλογο της εξέτασης με SPECT. Τα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της αιμάτωσης είναι νερό με ^{15}O και αμμωνία με ^{13}N . Για τη μελέτη της αιμάτωσης και συγχρόνως της βιωσιμότητας του μυοκαρδίου χρησιμοποιείται το ^{82}Rb (Ρουβίδιο - 82), το οποίο παρουσιάζει το πλεονέκτημα να λαμβάνεται από γεννήτρια, χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη κυκλοτρονίου κοντά στον χώρο εξέτασης.

Κυρίως λόγω του μεγάλου κόστους τους, οι εφαρμογές της απεικόνισης καρδιάς με PET περιορίζονται στις περιπτώσεις όπου οι μέθοδοι SPECT δεν είναι επαρκείς για την επίλυση των προβλημάτων σχετικά με την ύπαρξη μη βιώσιμου μυοκαρδίου.

7.7.3 Νευρολογικές εφαρμογές

Η απεικόνιση του εγκεφάλου με τομογραφία PET χρησιμοποιείται για τη μελέτη ορισμένων νευρολογικών διαταραχών, όπως είναι η μελέτη της άνοιας με FDG ή της επιληψίας με χρήση νερού με ^{15}O . Η χρήση της πάντως δεν έχει καθιερωθεί κλινικά και παραμένει κυρίως σε πειραματικό επίπεδο. Σε αυτό συνέβαλε και η ανάπτυξη άλλων τεχνικών για τη μελέτη της εγκεφαλικής λειτουργίας, όπως της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (fMRI).

Περίληψη

Η απεικόνιση πυρηνικής ιατρικής γίνεται με την ανίχνευση της ακτινοβολίας ραδιενεργών ισότοπων που εισάγονται στο σώμα. Τα ισότοπα είναι συνδεδεμένα με κατάλληλες ουσίες οι οποίες τα κατευθύνουν στο επιθυμητό σημείο του σώματος. Ισότοπο και ουσίες αποτελούν το ραδιοφάρμακο. Οι περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούν ισότοπα που εκπέμπουν ακτινοβολία γ με πιο συνηθισμένο το ^{99m}Tc .

Η ακτινοβολία γ καταγράφεται από τη γ -κάμερα η οποία χρησιμοποιεί κατευθυντήρα ο οποίος επιτρέπει μόνο στα φωτόνια που κινούνται με μια συγκεκριμένη κατεύθυνση να φτάσουν στον ανιχνευτή της κάμερας. Με λήψη εικόνων υπό διαφορετικές γωνίες γύρω από το σώμα και ανασύνθεση, η γ -κάμερα μπορεί να δώσει και τομογραφικές εικόνες (SPECT).

Η απεικόνιση με γ -κάμερα έχει πολλές διαγνωστικές εφαρμογές με τη χρήση κατάλληλων ραδιοφαρμάκων. Μερικές σημαντικές εξετάσεις είναι το σπινθηρογράφημα οστών, το σπινθηρογράφημα θυρεοειδούς, ο συνδυασμένος έλεγχος της αιμάτωσης και του αερισμού των πνευμόνων, η τομογραφική απεικόνιση της αιμάτωσης του μυοκαρδίου, η μελέτη της λειτουργίας της αριστερής κοιλίας και το στατικό ή δυναμικό σπινθηρογράφημα νεφρών.

Τομογραφικές εικόνες λαμβάνονται και με τη μέθοδο PET η οποία χρησιμοποιεί ισότοπα που εκπέμπουν ποζιτρόνια. Το πιο σημαντικό ραδιοφάρμακο είναι το FDG, που είναι ένωση της γλυκόζης με ^{18}F . Η μέθοδος PET σχηματίζει τις εικόνες με βάση την ταυτόχρονη ανίχνευση δυο φωτονίων που εκπέμπονται κατά την εξαύλωση των ποζιτρονίων. Η απεικόνιση PET χρησιμοποιείται κυρίως για ογκολογικές και κατά δεύτερο λόγο για καρδιολογικές και νευρολογικές μελέτες.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις.

1. Ποια είναι η σημασία της επιλογής κατάλληλου ραδιοφαρμάκου στην απεικόνιση πυρηνικής ιατρικής;
2. Ποια πλεονεκτήματα έχει η χρήση ραδιοφαρμάκων με ^{99m}Tc ;
3. Αν έχουμε μια ποσότητα 160 mCi από ^{99m}Tc , πόση θα έχει απομείνει μετά από 24 ώρες;
4. Ποια πλεονεκτήματα και ποια μειονεκτήματα έχει η χρήση ραδιοϊσοτόπων που εκπέμπουν ποζιτρόνια;
5. Τι επίδραση θα είχαμε στην εικόνα μιας γ-κάμερας, αν αφαιρούσαμε τον κατευθυντήρα;
6. Πώς επηρεάζεται η εικόνα που θα πάρουμε σε ένα σπινθηρογράφημα από τη χρήση κατευθυντήρα σπινθηρογράφου;
7. Τι είναι το θερμό εργαστήριο (Hot lab);
8. Με ποιους τρόπους μπορούμε να παρουσιάσουμε την κατανομή ραδιοφαρμάκου στο μυοκάρδιο;
9. Τι είναι το νεφρόγραμμα;
10. Γιατί η απεικόνιση PET με FDG μπορεί να ανιχνεύσει τους όγκους;

Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις

1. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης ραδιοφαρμάκων με τεχνητό είναι ότι αυτό μπορεί να παράγεται από φορητές που βρίσκονται στο εργαστήριο.
2. Τα περισσότερα ισότοπα που εκπέμπουν ποζιτρόνια έχουν μικρό και για αυτό πρέπει να παράγονται κοντά στο χώρο όπου θα χρησιμοποιηθούν.
3. Η χρήση αποκλίνοντα κατευθυντήρα έχει σαν αποτέλεσμα τη της εικόνας σε σχέση με τις πραγματικές διαστάσεις της περιοχής που απεικονίζεται.
4. Οι ογκολογικές εφαρμογές της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων χρησιμοποιούν κυρίως την αυξημένη πρόσληψη από τα καρκινικά κύτταρα
5. Η φύλαξη των ραδιενεργών ισωτόπων και η παρασκευή των ραδιοφαρμάκων γίνεται μέσα στο εργαστήριο
6. Οι ραδιοϊσοτοπικές εξετάσεις της καρδιάς μπορούν να πραγματοποιηθούν σε συνδυασμό με δοκιμασία

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Σε ένα σύστημα PET, καταγράφεται κρούση όταν οι κρύσταλλοι ανιχνεύσουν
 - A. ένα φωτόνιο,
 - B. δυο φωτόνια σε αντίθετα σημεία,
 - Γ. ένα ποζιτρόνιο.

2. Σε ένα σπινθηρογράφημα αιμάτωσης – αερισμού των πνευμόνων, η παρουσία πνευμονικής εμβολής εμφανίζει

- A. έλλειμμα στο σπινθηρογράφημα αιμάτωσης και φυσιολογική εικόνα στο σπινθηρογράφημα αερισμού,
- B. έλλειμμα στο σπινθηρογράφημα αερισμού και φυσιολογική εικόνα στο σπινθηρογράφημα αιμάτωσης,
- Γ. έλλειμμα και στα δυο σπινθηρογραφήματα.

3. Σε ένα σπινθηρογράφημα αιμάτωσης του μυοκαρδίου με δοκιμασία κόπωσης, το μυοκάρδιο που ισχαιμεί αλλά είναι βιώσιμο παρουσιάζει

- A. έλλειμμα στο σπινθηρογράφημα μετά την κόπωση και φυσιολογική εικόνα στο σπινθηρογράφημα επανακατανομής,
- B. φυσιολογική εικόνα στο σπινθηρογράφημα μετά την κόπωση και έλλειμμα στο σπινθηρογράφημα επανακατανομής,
- Γ. έλλειμμα και στα δυο σπινθηρογραφήματα

Επιλέξτε όλες φράσεις είναι σωστές.

1. Τα ποζιτρόνια

- A. έχουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο
- B. δεν επιδρούν με άλλα σωματίδια
- Γ. διασπώνται εκπέμποντας φωτόνια
- Δ. αποθωβούνται από τα ηλεκτρόνια

2. Η τομογραφία εκπομπής φωτονίων

- A. χρησιμοποιεί τα ίδια ισότοπα με την απεικόνιση με γ-κάμερα
- B. παράγει εικόνες κατανομής του ραδιοφαρμάκου κατά τομές του σώματος
- Γ. μπορεί να εφαρμοστεί μόνο με ισότοπα με πολύ μικρό χρόνο ημιζωής
- Δ. χρησιμοποιεί αλγόριθμους ανασύνθεσης σημάτων γ- κάμερας που λαμβάνονται υπό διαφορετικές γωνίες

3. Το τεχνητό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ραδιοϊσοτοπική εξέταση

- A. των οστών
- B. του μυοκαρδίου
- Γ. των νεφρών
- Δ. του θυρεοειδούς

4. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα της γ - κάμερας που παίρνει το σήμα των φωτοπολλαπλασιαστών

- A. αποθηκεύει στη μνήμη του την πληροφορία της κρούσης που καταγράφηκε
- B. εντοπίζει το σημείο του κρυστάλλου όπου προσέκρουσε το φωτόνιο
- Γ. εντοπίζει την κατεύθυνση με την οποία κινούνταν το φωτόνιο πριν προσκρούσει

στον κρύσταλλο ώστε να εντοπίσει το σημείο εκπομπής του

Δ. ελέγχει αν η ένταση του σήματος αντιστοιχεί σε φωτόνιο με ενέργεια ίση με αυτή που εκπέμπει το ισότοπο που χρησιμοποιούμε

5. Με τη ραδιοϊσοτοπική εξέταση των νεφρών

A. παίρνουμε πληροφορίες για την αιμάτωση των νεφρών

B. μπορούμε να συγκρίνουμε τη λειτουργία των νεφρών

Γ. μπορούμε να μελετήσουμε την ταχύτητα απέκκρισης των υγρών από κάθε νεφρό

Δ. μπορούμε να εντοπίσουμε περιοχές των νεφρών που έχουν καταστραφεί

Αντιστοιχίστε τα ισότοπα που παρουσιάζονται στην αριστερή στήλη με τις εξετάσεις που παρουσιάζονται στη δεξιά:

A. Θάλλιο - 201 (^{201}Tl)

B. Φθόριο - 18 (^{18}F)

Γ. Ιώδιο - 123 (^{123}I)

Δ. Κρυπτό - 81m ($^{81\text{m}}\text{Kr}$)

1. Σπινθηρογράφημα αερισμού πνευμόνων

2. Σπινθηρογράφημα αιμάτωσης μυοκαρδίου

3. Σπινθηρογράφημα θυρεοειδή

4. Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων για ανίχνευση μεταστάσεων

8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η κατανόηση των ιδιαιτεροτήτων της μαστογραφίας και η γνωριμία με τις κλασσικές και τις αναπτυσσόμενες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ακτινολογική μελέτη του μαστού. Στις σελίδες αυτές, ο μαθητής θα γνωρίσει:

- τη σημασία της μαστογραφίας στην αντιμετώπιση του καρκίνου του μαστού,
- τις ιδιαιτερότητες στην παραγωγή και καταγραφή της ακτινοβολίας που έχουν τα συστήματα μαστογραφίας και τους λόγους που τις υπαγορεύουν,
- τη βασική τεχνική της εξέτασης και τις πρόσθετες επιλογές που χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται μεγαλύτερη διερεύνηση,
- τη χρήση της μαστογραφίας στην κατεύθυνση της βιοψίας του μαστού,
- τις νεώτερες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της απεικόνισης των μαστών,
- τις ιδιαιτερότητες που έχει η αντιμετώπιση των γυναικών που υποβάλλονται σε μαστογραφία.

8.1 Εισαγωγή

Η μαστογραφία αποτελεί τη βασική μέθοδο διάγνωσης και κλινικής εκτίμησης του καρκίνου του μαστού του οποίου η έγκαιρη διάγνωση βελτιώνει κατά πολύ την πρόγνωση της νόσου. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται, όχι μόνο για τη διάγνωση πιθανής νόσου σε γυναίκες με ύποπτα κλινικά ευρήματα, αλλά και για περιοδικό έλεγχο του πληθυσμού (screening mammography).

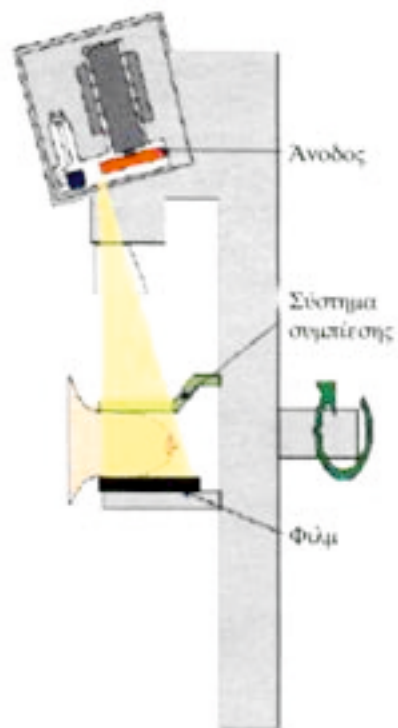
Η μαστογραφία έχει αναπτυχθεί πριν αρκετές δεκαετίες, αλλά με τεχνικές που δεν επέτρεπαν τη χρήση της σε μεγάλη κλίμακα. Η συνεχής βελτίωση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, ήταν αυτή που της επέτρεψε να καθιερωθεί σαν εξέταση ρουτίνας και να γίνει ένα πολύτιμο εργαλείο στην αντιμετώπιση των παθήσεων του μαστού.

8.2 Αρχή λειτουργίας

Η μαστογραφία δεν διαφέρει στην αρχή της από την απλή ακτινογραφία, αφού κι εδώ χρησιμοποιείται δισδιάστατη προβολή του θέματος και η αντίθεση στην εικόνα δημιουργείται από τη διαφορά στην απορρόφηση της ακτινοβολίας - X που εκπέμπεται από μια ακτινολογική λυχνία. Ωστόσο, η μαστογραφία είναι μια ακτινολογική τεχνική με ιδιαίτερες απαιτήσεις και γι' αυτό απαιτεί ειδικό εξοπλισμό με χαρακτηριστικά που να ανταποκρίνονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στις απαιτήσεις αυτές.

Η πρώτη δυσκολία προκύπτει από το ότι οι διαφορές στην απορρόφηση της ακτινοβολίας μεταξύ υγιούς και παθολογικού ιστού, είναι εξαιρετικά μικρές και έτσι είναι δύσκολο να απεικονιστούν. Για να αυξηθεί η αντίθεση, χρησιμοποιούμε δέσμη χαμηλής ενέργειας και όσο το δυνατόν πιο μονοενεργειακή.

Η δεύτερη μεγάλη απαίτηση της μαστογραφίας είναι η πολύ υψηλή διακριτική ικανότητα που πρέπει να επιτυγχάνει την ανίχνευση μικρού μεγέθους αλλοιώσεων. Τέλος, υπάρχει παράλληλα η ανάγκη για όσο το δυνατό μικρότερη δόση, αφού ο μαστός είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στην ακτινοβολία.



Σχήμα 1.1

Τα τρία επίπεδα: Εγκάρσιο (κύκλοι) - Οβελιαίο (Πράσινη επιφάνεια) - Στεφανιαίο (Κίτρινη επιφάνεια)

8.3 Χαρακτηριστικά συστήματος μαστογραφίας

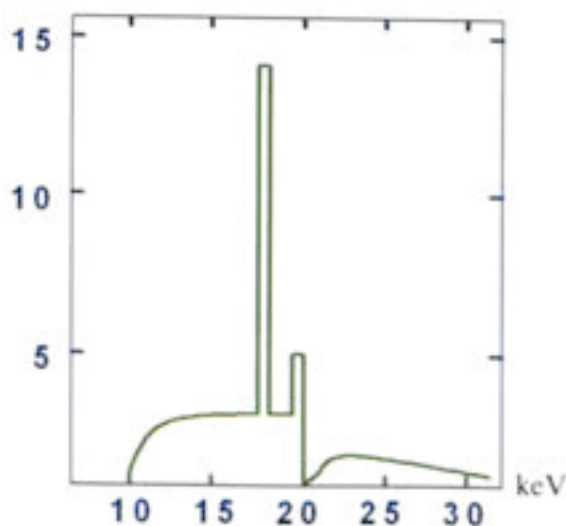
Τα συστήματα μαστογραφίας αποτελούνται από την ακτινολογική λυχνία η οποία είναι στερεωμένη πάνω σε βραχίονα τύπου C- arm. Ο βραχίονας επιτρέπει στη λυχνία να περιστρέφεται και να παίρνει κλίση και στην άλλη άκρη του είναι στερεωμένα η υποδοχή για το φιλμ, το αντιδιαχυτικό διάφραγμα και ένα σύστημα που συμπιέζει το μαστό πάνω στον υποδοχέα του φιλμ (σχήμα 8.1). Το χειριστήριο της λυχνίας σε κάποια συστήματα βρίσκεται χωριστά και σε άλλα είναι συνδεδεμένο στο βραχίονα με ένα ακτινοπροστατευτικό τζάμι ανάμεσα σε αυτό και τη λυχνία (εικόνα 8.1).



Εικόνα 8.1
Μαστογράφος

8.3.1 Γεννήτρια και λυχνία ακτίνων -X

Η λυχνία του μαστογράφου πρέπει να παράγει ακτίνες - X χαμηλής ενέργειας (μέχρι 35 kVp) αλλά με υψηλά mA, ώστε να ελαχιστοποιείται η διάρκεια της λήψης. Το εστιακό σημείο της ανόδου πρέπει να έχει μικρές διαστάσεις, ώστε να μην εμφανίζει μεγάλη παρασκά. Τα περισσότερα συστήματα έχουν και δεύτερη μικρότερη εστία για χρήση σε λήψεις μεγέθυνσης. Η εστιακή απόσταση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 60 cm για να αποφεύγεται η παραμόρφωση. Ο προσανατολισμός της λυχνίας είναι με την κάθοδο προς τα



Σχήμα 8.2

Φάσμα των ενεργειών της ακτινοβολίας που βγαίνει από λυχνία μαστογράφου με φίλτρο από μολυβδαίνιο

έξω (δηλαδή, προς την εξεταζόμενη) ώστε το τμήμα της δέσμης όπυ, λόγω του φαινομένου πτέρνας, η ένταση της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη να ακτινοβολεί το παχύτερο τμήμα του μαστού που βρίσκεται κοντά στον θώρακα.

Για να παράγουν όσο το δυνατό πιο μονοχρωματική ακτινοβολία, οι λυχνίες των μαστογράφων έχουν φίλτρο από μολυβδαίνιο. Αυτό απορροφάει σε μεγάλο ποσοστό τόσο την ακτινοβολία που έχει πολύ υψηλή ενέργεια και θα υποβάθμιζε την αντίθεση, όσο και αυτήν με πολύ χαμηλή ενέργεια που θα αύξανε σημαντικά τη δόση που δέχεται η εξεταζόμενη χωρίς να συνεισφέρει στο σχηματισμό της εικόνας. Με αυτόν τον τρόπο, το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται περιέχει κυρίως φωτόνια με ενέργειες 17,9 και 19,5 keV (Σχήμα 8.2).

Για την απεικόνιση μεγάλων ή πολύ πυκνών μαστών, η ενέργεια της δέσμης χρειάζεται να είναι λίγο μεγαλύτερη, οπότε το φίλτρο του μολυβδαίνιου αντικαθίσταται από φίλτρο αλουμινίου.

8.3.2 Σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης

Ο μαστογράφος πρέπει να διαθέτει σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης (Automatic Exposure Control – AEC), το οποίο σταματάει την εκπομπή ακτινοβολίας μόλις ο ανιχνευτής που βρίσκεται πίσω από την κασέτα καταγράφει την κατάλληλη έκθεση. Με τη χρήση της δυνατότητας αυτής, η ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στο φιλμ δεν επηρεάζεται από την επιλογή του kVp ή από το πάχος του μαστού και οι εικόνες παρουσιάζουν σταθερή και ικανοποιητική αμαύρωση.

Πρόβλημα μπορεί να εμφανιστεί με τη χρήση του συστήματος ελέγχου της έκθεσης, εξ αιτίας του μικρού μεγέθους του ανιχνευτή σε περίπτωση που βρεθεί κάτω από περιοχή του μαστού ο οποίος έχει περισσότερο λίπος και απορροφά λιγότερο έντονα την ακτινοβολία. Στην περίπτωση αυτή, η έκθεση του φιλμ στην ακτινοβολία δεν θα είναι αρκετή.

8.3.3 Σύστημα ενισχυτικών πινακίδων – φιλμ

Λόγω των μεγάλων απαιτήσεων της μαστογραφίας για υψηλή αντίθεση εικόνας και καλή διακριτική ικανότητα, χρησιμοποιούνται ειδικές κασέτες και φιλμ. Το φιλμ της μαστογραφίας είναι μονής επίσπρωσης, ώστε να μην ασαφοποιείται η εικόνα. Επίσης, έχει μεγαλύτερο εύρος οπτικών πυκνοτήτων που μπορεί να απεικονίσει, ώστε να βελτιώνεται η αντίθεση. Αντίστοιχα, οι κασέτες της μαστογραφίας έχουν μια μόνο ενισχυτική πινακίδα χαμηλής ταχύτητας. Η κασέτα πρέπει να εξασφαλίζει την τέλεια επαφή μεταξύ ενισχυτικής πινακίδας και φιλμ. Τέλος, ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις υπάρχουν για τις συνθήκες εμφάνισης του φιλμ της μαστογραφίας, ώστε να μην υπάρχει σημαντική ομίχλωση και να μην υποβαθμίζεται η αντίθεση της εικόνας.

8.3.4 Αντιδιαχυτικό διάφραγμα

Τα αντιδιαχυτικά διαφράγματα που χρησιμοποιούνται στη μαστογραφία είναι πιο λεπτά

από τα αντίστοιχα της κλασικής ακτινογραφίας για να μην εμφανίζεται υπερβολική απορρόφηση της - χαμηλής ενέργειας - πρωτογενούς δέσμης από το υλικό που βρίσκεται μεταξύ των λωρίδων του διαφράγματος. Για να μην απεικονίζονται γραμμώσεις στο φιλμ, τα περισσότερα αντιδιαχτυτικά εκτελούν παλινδρομική κίνηση κατά τη διάρκεια της λήψης. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθούν σταθερά διαφράγματα με πολύ μεγάλη πυκνότητα λωρίδων (80/cm).

8.3.5 Σύστημα συμπίεσης μαστού

Αποτελείται από ένα συμπαγές ακτινοδιαπερατό πύετρο το οποίο είναι προσαρμοσμένο στο βραχίονα, μετακινείται μηχανικά προς τον υποδοχέα της κασέτας και σταθεροποιείται σε ένα επιθυμητό ύψος.

8.4 Τεχνική της εξέτασης

8.4.1 Συμπίεση του μαστού

Η καλή συμπίεση του μαστού είναι πολύ σημαντική για τη λήψη μιας ποιοτικής μαστογραφίας. Ένας φυσιολογικός μαστός μπορεί να συμπιεστεί μέχρι ένα πάχος περίπου 4 εκατοστών. Η συμπίεση πρέπει να είναι τόση, ώστε η εξεταζόμενη να αισθάνεται πίεση αλλά όχι έντονο πόνο.

Η συμπίεση είναι σημαντική για πολλούς λόγους. Περιορίζει τη δημιουργία σκεδαζόμενης ακτινοβολίας που υποβαθμίζει την αντίθεση, εμποδίζει την κίνηση του μαστού κατά τη διάρκεια της λήψης, μειώνει τη δόση με την οποία επιβαρύνεται ο μαστός και κάνει ομοιόμορφη την αμαύρωση του φιλμ.

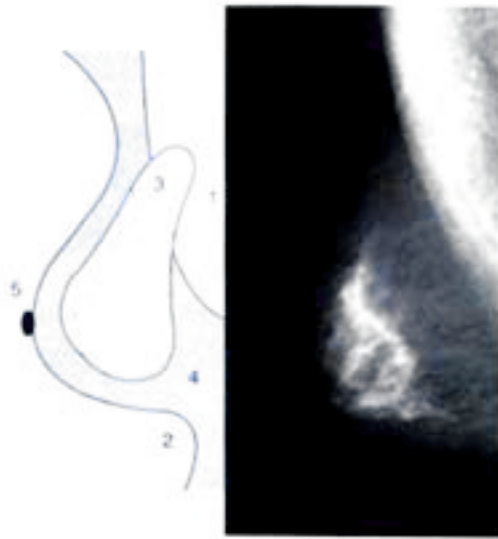
8.4.2 Βασικές προβολές

Σε μια τυπική εξέταση μαστογραφίας, κάθε μαστός εξετάζεται χωριστά με τη χρήση δυο βασικών προβολών: Μιας κεφαλουραίας και μιας λοξής 45ο με κατεύθυνση της δέσμης από το εσωτερικό του μαστού προς τα έξω (σχήμα 8.3).

Η λοξή προβολή είναι προτιμότερη από μια πλάγια για τον τυπικό έλεγχο του μαστού, επειδή μπορεί να απεικονίσει περισσότερο μαστικό ιστό στο άνω και έξω τεταρτημόριο και

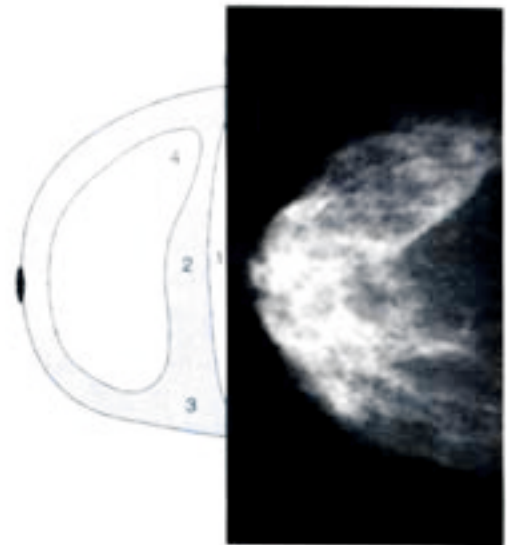


Σχήμα 8.3
Κατεύθυνση της δέσμης στην κεφαλουραία (K-O) και τη λοξή (45°) προβολή του μαστού



Εικόνα 8.2

Σχηματική παράσταση και εικόνα του μαστού σε λοξή 45ο προβολή: 1) Μείζων θωρακικός μυς, 2) Υπομαστική γωνία, 3) Αδενικός ιστός, 4) Λιπώδης ιστός, 5) Θηλή



Εικόνα 8.3

Σχηματική παράσταση και εικόνα του μαστού σε λοξή Π-Ο προβολή: 1) Μείζων θωρακικός μυς, 2) Λιπώδης ιστός, 3) Έσω μαστικό παρέγχυμα, 4) Αδενικός ιστός

κοντά στη μασχάλη. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται ώστε η συμπίεση να εφαρμόζεται σε όλο το τμήμα του μαστού που απεικονίζεται. Σε μια τεχνικά σωστή λοξή προβολή του μαστού, ο μείζων θωρακικός μυς απεικονίζεται λοξά, από το πάνω μέρος της εικόνας μέχρι το ύψος της θηλής ή και πιο κάτω. Το σχήμα του πρέπει να σχηματίζει ελαφριά καμπύλη προς τα έξω, σημάδι ότι είναι χαλαρός. Το μεσαίο τμήμα του μαστού διακρίνεται με ευκρίνεια και η θηλή εμφανίζεται σε πλάγια θέση (εικόνα 8.2).

Η κεφαλουραία λήψη προβάλλει το μαστό από πάνω. Με αυτήν απεικονίζεται ολόκληρο το μαστικό παρέγχυμα στο μέσα τμήμα του μαστού. Ο λιπώδης ιστός που βρίσκεται κοντά στο θωρακικό τοίχωμα εμφανίζεται σαν διαγναστική λωρίδα και πίσω από αυτήν πρέπει να διακρίνεται ο μείζων θωρακικός μυς. Επίσης πρέπει να διαγράφεται η θηλή (εικόνα 8.3).

8.4.3 Συμπληρωματικές προβολές

Οι βασικές προβολές χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο ροιτίνας στις γυναίκες χωρίς κάποια ένδειξη παρουσίας κακοήθειας. Αν κατά τη διάρκεια του τυπικού ελέγχου εμφανιστούν ύποπτες αλλοιώσεις, τότε αυτές μπορεί να χρειαστεί να ερευνηθούν με πρόσθετες λήψεις υπό διαφορετικές συνθήκες.

Μια συνηθισμένη προβολή που μπορεί να συμπληρώσει τον έλεγχο ολόκληρου του μαστού, είναι η πλάγια. Στην πλάγια προβολή, η δέση της ακτινοβολίας έχει συνήθως κατεύθυνση από το μέσο του στήθους και προς τα έξω, ειδικά αν ο τυπικός έλεγχος δεν περιελάμβανε λοξή προβολή. Ο λόγος είναι ότι οι περισσότερες παθολογικές αλλοιώσεις εμφανίζονται στην εξωτερική πλευρά



Εικόνα 8.4

Προβολή της σχισμής ανάμεσα στους δυο μαστούς

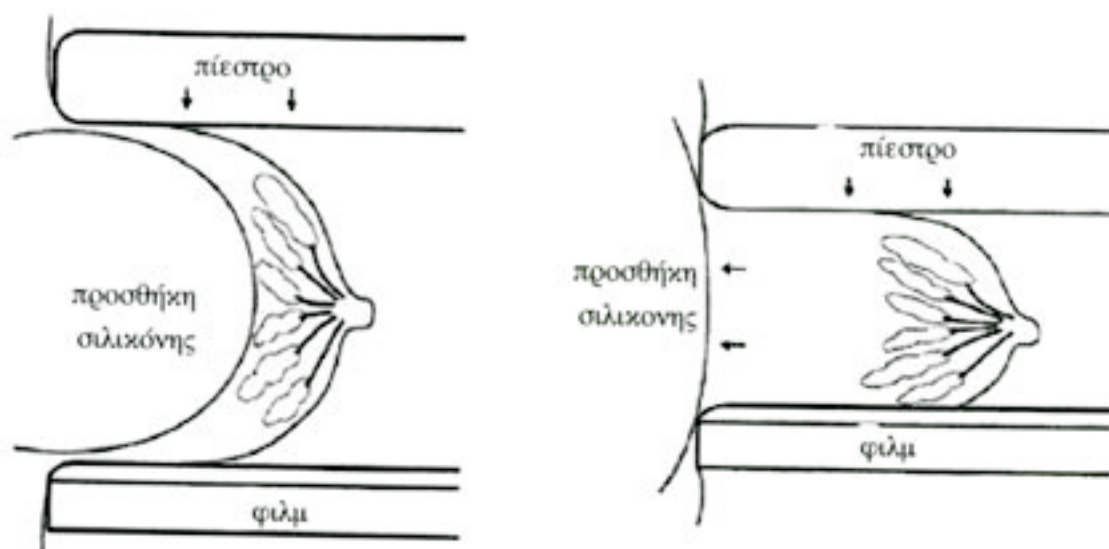
του μαστού, οπότε είναι προτιμότερο η περιοχή αυτή να βρίσκεται πιο κοντά στο φάσμα. Αντίθετη φορά της δέσμης, δηλαδή από έξω προς το μέσω του στήθους, επιλέγουμε όταν θέλουμε να απεικονίσουμε όσο περισσότερο ιστό από το έσω τμήμα είναι δυνατό.

Σε μια τυπική προβολή, όταν ο ένας μαστός απομακρύνεται και αυτός που εξετάζεται συμπίεζεται, κάποιο από το έσω τμήμα του εξεταζόμενου μαστού μπορεί να τραβηχτεί έξω και να μην απεικονιστεί. Για να διευκρινιστούν ευρήματα σε αυτήν την περιοχή τα οποία στις κλασικές λήψεις εμφανίζονται στα όρια της εικόνας, μπορούμε να πάρουμε μια λήψη της εσωτερικής πλευράς και των δυο μαστών (εικόνα 8.4). Η λήψη αυτή μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη και στην περίπτωση που υπάρχει κάποιο εύρημα στη λοξή προβολή το οποίο δεν μπορεί να εντοπιστεί στην κεφαλουραία.

Σε περιπτώσεις αλλοιώσεων που βρίσκονται πολύ κοντά στο δέρμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια λήψη κατ'εφαπτομένη, δηλαδή με επικέντρωση ακριβώς στα όρια του μαστού.

Για να πετύχουμε μεγέθυνση κάποιου τμήματος του μαστού, χρησιμοποιείται ειδική επιφάνεια η οποία τοποθετείται σε απόσταση από την κασέτα και πάνω σε αυτήν συμπίεζεται ο μαστός. Συνήθως, η απόσταση είναι τέτοια που να προκαλεί μια μεγέθυνση περίπου x2. Οι μεγεθυντικές λήψεις προσφέρουν καλύτερη εκτίμηση των ορίων και της δομής κάποιας ύποπτης περιοχής που εντοπίστηκε με τις κλασικές λήψεις. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την αξιολόγηση μικρο-αποστιτανώσεων, δηλαδή μικρών κουκίδων ασβεστίου που μπορεί να υποδηλώνουν την παρουσία κάποιου μικρού όγκου. Επειδή η μεγέθυνση μειώνει τη σαφήνεια των ορίων στην εικόνα, πρέπει να χρησιμοποιείται η μικρότερη διαθέσιμη εστία. Η δόση που δέχεται ο μαστός με την τεχνική αυτή είναι αρκετά μεγαλύτερη, γι' αυτό η χρήση της πρέπει να γίνεται μόνο όταν υπάρχει ουσιαστικός λόγος.

Οι εντοπιστικές λήψεις γίνονται με συμπίεση μόνο σε ένα τμήμα του μαστού με χρήση ειδικού, μικρότερου πιάστρου ή κώνου. Με τον τρόπο αυτό, το τμήμα που θέλουμε να εξετάσουμε συμπίεζεται καλύτερα και αυτό οδηγεί σε καλύτερο διαχωρισμό των ιστών και καλύτερη απεικόνιση της συγκεκριμένης περιοχής. Με την εντοπιστική τεχνική, τα όρια της ύποπτης περιοχής διαγράφονται καθαρότερα, ενώ πολλές φορές αποδεικνύουν ότι κάποια αφύσικη απεικόνιση στις τυπικές



Σχήμα 8.4

Απεικόνιση μαστού με προσθήκη σιλικόνης. α) Κλασική λήψη χωρίς μεγάλη συμπίεση. β) Λήψη Eklund

λήψεις οφείλονταν σε κάποια επιπροβολή και ότι δεν υπάρχει στην πραγματικότητα κάποια ανωμαλία.

Τέλος, ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει για την απεικόνιση μαστών που έχουν προσθήκες σιλικόνης. Η ακτινοβολία δεν μπορεί να περάσει από τη σιλικόνη σε αρκετό βαθμό ώστε να απεικονίσει τον μαστικό ιστό πάνω ή κάτω από αυτήν. Το αποτέλεσμα είναι ότι ένα τμήμα του μαστού (περίπου 25%) δεν θα μπορεί να ελεγχθεί. Στην περίπτωση αυτή, εκτελούμε πρώτα τις βασικές λήψεις χωρίς να εφαρμόσουμε μεγάλη πίεση στο μαστό για να μην υπάρξει κίνδυνος να σπάσει η σιλικόνη (Σχήμα 8.4 α). Στη συνέχεια, εκτελούμε κάποιες συμπληρωματικές λήψεις που ονομάζονται λήψεις Eklund και για τις οποίες η προσθήκη τραβιέται προς το στήθος ενώ ο μαστός τραβιέται προς τα εμπρός (σχήμα 8.4 β). Αυτό επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο του περισσότερου από το μπροστινό τμήμα του μαστού.

8.5 Ειδικές τεχνικές

8.5.1 Γαλακτιογραφία

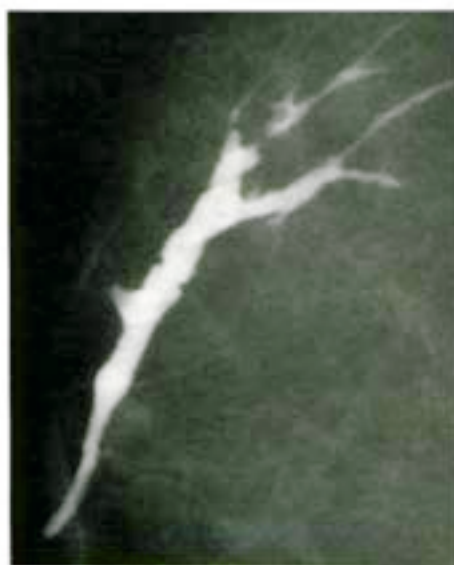
Η γαλακτιογραφία είναι εξέταση που γίνεται με τη χρήση σκιαγραφικού για τον έλεγχο των γαλακτοφόρων πόρων. Χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο πόρων που εμφανίζουν εκροή η οποία μπορεί να οφείλεται σε παρουσία καλοήθους ή κακοήθους όγκου. Η χορήγηση του σκιαγραφικού γίνεται μέσω της θηλής με τη βοήθεια μιας λεπτής βελόνας και στη συνέχεια λαμβάνονται εικόνες του μαστού που απεικονίζουν τη δομή του πόρου (εικόνα 8.5).

8.5.2 Κατευθυνόμενη βιοψία

Οι εικόνες που λαμβάνονται στη μαστογραφία μπορούν να αναδείξουν μια ύποπτη περιοχή και, ανάλογα με την εικόνα που αυτή έχει, να προσφέρουν πληροφορίες για το τι μπορεί αυτή να είναι. Ο μόνος τρόπος όμως για να είμαστε σίγουροι για τη φύση μιας ύποπτης μάζας που ανιχνεύεται είναι με ιστολογική εξέταση ενός δείγματος που λαμβάνεται με βιοψία. Αν η μάζα δεν είναι ψηλαφητή εξωτερικά, ο εντοπισμός του σημείου στο οποίο θα μπει η βελόνα για να γίνει η λήψη του δείγματος γίνεται επίσης με εικόνες που παίρνουμε από το μαστογράφο αλλά με κατάλληλο τρόπο ώστε να εντοπίσουμε την ακριβή θέση της αλλοίωσης στο μαστό.

Ο κλασικός τρόπος εντοπισμού της περιοχής γίνεται με τη χρήση ενός διαβαθμισμένου πλέγματος. Το πλέγμα τοποθετείται πάνω στο μαστό κατά τη λήψη και όταν εμφανίζεται το φάσμα υπολογίζονται οι συντεταγμένες της αλλοίωσης (εικόνα 8.6). Με βάση αυτές, σημειώνεται πάνω στο δέρμα του μαστού η θέση από την οποία θα εισέλθει η βελόνα. Μετά την είσοδό της, η θέση της επιβεβαιώνεται με νέα λήψη. Για να εκτελεστεί σωστά η διαδικασία είναι απαραίτητο να μετακινηθεί το πλαίσιο ως προς το μαστό μέχρι να σηματοδοτεί η σωστή θέση στο δέρμα.

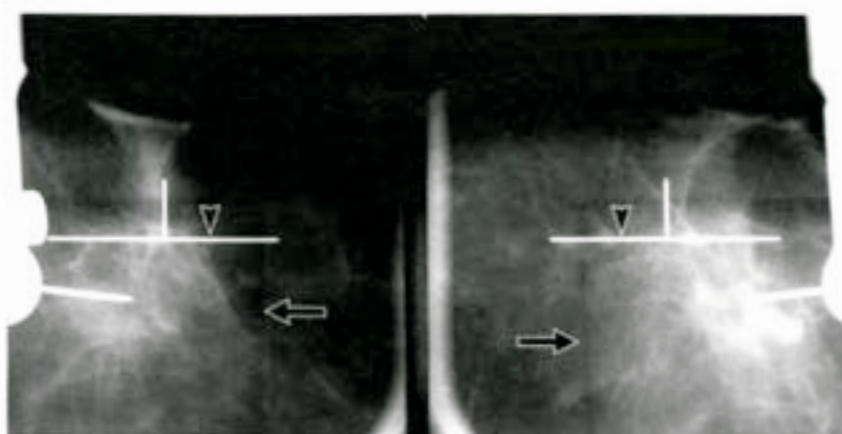
Μια σύγχρονη μέθοδος για τον εντοπισμό του σημείου της αλλοίωσης είναι η στερεοστακτική βιοψία, η οποία γίνεται με τη χρήση ειδικού συστήματος και χρησιμοποιεί υπολογιστή για να καθοδηγήσει τη λήψη του δείγματος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή ειδικό τραπέζι, όπου η εξεταζόμενη τοποθετείται σε πρηνή θέση, ή ειδική διάταξη που προστίθεται στο μαστογράφο και με την οποία η εξεταζόμενη είναι όρθια. Χρησιμοποιείται πίεστρο με ένα άνοιγμα που τοποθετείται πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος. Αρχικά, γίνεται μια πρώτη λήψη με την οποία εντοπίζεται η αλλοίωση. Στη συνέχεια, παίρνουμε δυο εικόνες με κλίση 15-20ο από κάθε πλευρά σε



Εικόνα 8.5
Απεικόνιση του γαλακτοφόρου πόρου με σκιαγραφικό



Εικόνα 8.6
Απεικόνιση μαστού για βιοψία με πλέγμα συντεταγμένων



Εικόνα 8.7

Εικόνες του μαστού με κλίση 15οι προς κάθε κατεύθυνση για το στερεοτακτικό εντοπισμό της αλλοίωσης (βέλη)

σχέση με την αρχική (εικόνα 8.7). Η θέση της αλλοίωσης σε κάθε εικόνα σηματοδοτείται ηλεκτρονικά στην οθόνη του υπολογιστή, ο οποίος με βάση την μετατόπισή της στο προβολικό επίπεδο στις δυο εικόνες εντοπίζει τη θέση της στο χώρο. Στη συνέχεια, ο υπολογιστής κατευθύνει ένα βραχίονα, πάνω στον οποίο είναι στερεωμένη η βελόνα, στο σημείο της βιοψίας. Και πάλι η σωστή θέση της βελόνας πρέπει να επιβεβαιώνεται με μια νέα λήψη.

Σε κάποιες περιπτώσεις, η λήψη του δείγματος δεν μπορεί να γίνει με βελόνα, οπότε απαιτείται να γίνει χειρουργικά. Στην περίπτωση αυτή, η μαστογραφία χρησιμοποιείται για να σηματοδύουμε το ακριβές σημείο όπου πρέπει να γίνει η βιοψία. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η τοποθέτηση ενός σύρματος το οποίο εισάγεται με τη βοήθεια μιας λεπτής βελόνας. Ο εντοπισμός του σημείου που θα τοποθετηθεί το σύρμα γίνεται με μια από τις μεθόδους που ήδη περιγράψαμε.

8.5.3 Ανίχνευση με τη Βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Detection -CAD)

Η ανίχνευση με τη βοήθεια υπολογιστή αποτελεί μια πολύ πρόσφατη μέθοδος στην μαστογραφία. Για να εφαρμοστεί, είναι απαραίτητη η ύπαρξη κατάλληλου συστήματος που να ψηφιοποιεί τις εικόνες οι οποίες λαμβάνονται με τη μαστογραφία. Στη συνέχεια, ο υπολογιστής χρησιμοποιεί ειδικούς αλγόριθμους ανίχνευσης σχημάτων για να εντοπίσει περιοχές που απεικονίζονται με μη φυσιολογική μορφή. Ο γιατρός εξετάζει τις περιοχές που υποδεικνύει ο υπολογιστής, για να τις αξιολογήσει και να αποφασίσει αν χρειάζεται να διερευνηθούν περισσότερο. Με αυτόν τον τρόπο, ο υπολογιστής αποτελεί ένα «δεύτερο μάτι» που μπορεί να εντοπίσει κάποια ύποπτη περιοχή που είχε διαφύγει της προσοχής του γιατρού και μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία της εξέτασης. Σε καμιά περίπτωση όμως δεν μπορεί να υποκαταστήσει το γιατρό που είναι υπεύθυνος για τη διάγνωση της μαστογραφίας.

8.6 Ψηφιακή μαστογραφία

Η ψηφιακή μαστογραφία είναι μια τεχνική που αναπτύσσεται σταθερά τα τελευταία χρόνια. Η διαφορά της από την κλασική μαστογραφία είναι ότι δεν χρησιμοποιεί σύστημα ενισχυτικών πινακίδων και φιλμ για την καταγραφή της εικόνας, αλλά η ακτινοβολία καταγράφεται από ένα σύστημα ανιχνευτών. Με τον τρόπο αυτό δεν απαιτείται διαδικασία εμφάνισης των φιλμ, αφού οι εικόνες εμφανίζονται αμέσως στην οθόνη ενός υπολογιστή, ενώ διευκολύνεται η αρχειοθέτηση και η μεταφορά των εικόνων. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η χρήση της στη στερεοστακτική βιοψία.

Μέχρι πρόσφατα, τα συστήματα ψηφιακής μαστογραφίας δεν χρησιμοποιούνταν για διάγνωση, καθώς υπολείπονταν σημαντικά σε διακριτική ικανότητα από τα αντίστοιχα κλασικά. Η χρήση τους περιοριζόταν στην καθοδήγηση βιοψιών, οι οποίες απαιτούν αρκετές λήψεις μιας περιοχής που έχει ήδη εντοπισθεί ως ύποπτη κακοήθειας, οπότε οι απαιτήσεις σε ποιότητα εικόνας είναι μικρότερες, ενώ αντίθετα, η επιτάχυνση της διαδικασίας μείωνε σημαντικά την ταλαιπωρία της εξεταζόμενης. Λόγω της περιορισμένης χρήσης τους, τα συστήματα αυτά απεικόνιζαν ένα τμήμα μόνο του μαστού. Μόλις το 2000, άρχισαν να χρησιμοποιούνται συστήματα που απεικονίζουν ολόκληρο το πεδίο και χρησιμοποιούνται για διαγνωστικούς σκοπούς.

Τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής μαστογραφίας είναι η εξασφάλιση σταθερής και ικανοποιητικής ποιότητας της εικόνας, γεγονός που αποτρέπει πολλές άσκοπες επαναλήψεις, η μικρότερη δόση ακτινοβολίας και οι δυνατότητες διαχείρισης της εικόνας που περιλαμβάνουν την επεξεργασία, την αρχειοθέτηση και τη μεταφορά της. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το υψηλότερο κόστος αλλά κυρίως η μικρότερη διακριτική ικανότητα της εικόνας τους σε σχέση με την εικόνα σε φιλμ, τουλάχιστον στα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα.

8.7 Φροντίδα εξεταζόμενης

Η μαστογραφία είναι μια εξέταση που μπορεί να προκαλέσει μεγάλη συναισθηματική φόρτιση στη γυναίκα που εξετάζεται. Αυτή μπορεί να οφείλεται στην αγωνία για τα αποτελέσματα της εξέτασης, την ανησυχία της για τις επιπτώσεις της εξέτασης, τη δυσφορία από την πίεση του μαστού και την αμηχανία της κατά την τοποθέτηση του μαστού στη σωστή θέση για τη λήψη.

Πρώτα απ' όλα είναι πολύ βασικό να απαντάμε σε οποιαδήποτε ερώτησή της σχετικά με τη διαδικασία, τους κινδύνους της ακτινοβολίας, τους λόγους που γίνεται η συμπίεση των μαστών. Όταν η γυναίκα είναι νευρική αλλά δεν απευθύνει καμιά ερώτηση είναι σκόπιμο να αναλάβουμε εμείς την πρωτοβουλία να της εξηγήσουμε κάθε βήμα της εξέτασης.

Λόγω της έντασης που αισθάνεται, η εξεταζόμενη συχνά δεν είναι πολύ συνεργάσιμη, άλλοτε γιατί είναι υπερβολικά ντροπαλή, άλλοτε γιατί δεν καταλαβαίνει τις οδηγίες και άλλοτε γιατί έχει απότομη συμπεριφορά. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να υπάρχει κατανόηση για την πίεση που αισθάνεται εκείνη τη στιγμή, ώστε να την αντιμετωπίσουμε με υπομονή και ανοχή.

Περίληψη

Η μαστογραφία είναι η βασική διαγνωστική μέθοδος για τους όγκους του μαστού. Αν και η αρχή της είναι ίδια με την ακτινογραφία, έχει ειδικές απαιτήσεις, αφού πρέπει να απεικονίζει μικρές διαφορές απορρόφησης από τους ιστούς σε μια πολύ ακτινοευαίσθητη περιοχή. Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι ανάγκες συμβάλλουν η παραγωγή μονοενεργειακής ακτινοβολίας χαμηλής ενέργειας, η χρήση ειδικών φιλμ και κασετών και η συμπίεση του μαστού που απεικονίζεται.

Η βασική εξέταση μαστογραφίας γίνεται με δυο προβολές για κάθε μαστό : την κεφαλουραία και τη λοξή προβολή. Ανάλογα με τα ευρήματα των βασικών εικόνων, μπορεί να χρειαστούν λήψεις από διαφορετικές γωνίες, με μεγέθυνση ή με συμπίεση ενός τμήματος του μαστού (εντοπιστικές).

Η μαστογραφία χρησιμοποιείται για να κατευθύνει βιοψίες με χρήση πλέγματος συντεταγμένων ή με στερεοτακτική ανάλυση των εικόνων από υπολογιστή.

Σύγχρονες τεχνικές που μπορούν να βελτιώσουν τα αποτελέσματα της εξέτασης είναι η αντίχνευση με τη βοήθεια υπολογιστή και η ψηφιακή μαστογραφία.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις.

1. Ποιές ιδιαίτερες απαιτήσεις έχει η μαστογραφία σε σχέση με την απλή ακτινογραφία;
2. Τι πετυχαίνουμε με τη χρήση φίλτρου μολυβδαίνιου στη λυχνία του μαστογράφου;
3. Γιατί η λυχνία του μαστογράφου πρέπει να έχει μικρό εστιακό σημείο ανόδου;
4. Ποια είναι η σημασία της χρήσης συστήματος αυτόματου ελέγχου της έκθεσης;
5. Για ποιο λόγο συμπεριέχουμε το μαστό που θα απεικονιστεί;
6. Ποιες προβολές περιλαμβάνει μια εξέταση μαστογραφίας στα πλαίσια προληπτικού ελέγχου;
 7. Πότε είναι τεχνικά σωστή μια λοξή κατά 45ο προβολή του μαστού;
 8. Πώς γίνονται οι εντοπιστικές λήψεις του μαστού και ποια είναι η χρησιμότητά τους;
 9. Τι ιδιαιτερότητες έχει η απεικόνιση μαστών με εμφυτεύματα σιλικόνης;
 10. Πώς γίνεται η στερεοστακτική κατεύθυνση βιοψίας μαστού;
 11. Ποια πλεονεκτήματα και ποια μειονεκτήματα έχει η ψηφιακή μαστογραφία σε σχέση με την κλασική;

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Η ακτινοβολία που χρησιμοποιείται στη μαστογραφία είναι χαμηλής ενέργειας για να
 - A. μειώνεται η δόση της ακτινοβολίας στο μαστό.
 - B. βελτιώνεται η αντίθεση της εικόνας.
 - Γ. μειώνεται ο χρόνος εξέτασης.
2. Η κατ' εφαιπομένη λήψη του μαστού γίνεται για να ελέγξουμε
 - A. την περιοχή ανάμεσα στους δυο μαστούς.
 - B. την περιοχή στο μέσο του μαστού.
 - Γ. την περιοχή του μαστού πολύ κοντά στο δέρμα.
3. Η γαλακτογραφία είναι εξέταση:
 - A. του μαστικού ιστού.
 - B. της θηλής.
 - Γ. των γαλακτοφόρων πόρων.
4. Τα φιλμ της μαστογραφίας είναι μονής επίστρωσης για να
 - A. επιτυγχάνεται καλύτερη ευκρίνεια της εικόνας,
 - B. μειώνεται η δόση της ακτινοβολίας στο μαστό,
 - Γ. μειώνεται ο χρόνος λήψης της εικόνας.

Επιλέξτε όλες φράσεις είναι σωστές.

1. Η μαστογραφία γίνεται

- A. για προληπτικό έλεγχο για πιθανή κακοήθεια
- B. για έλεγχο κάποιας ύποπτης περιοχής στο μαστό
- Γ. για να κατευθύνει βιοψία κάποιας ύποπτης μάζας στο μαστό
- Δ. για τον έλεγχο της κατάστασης των προσθέσεων σιλικόνης

2. Η λυχνία του μαστογράφου

- A. παράγει ακτινοβολία υψηλής ενέργειας
- B. έχει κατάλληλο φίλτρο που να επιτρέπει μόνο στις υψηλές ενέργειες ακτινοβολίας να περάσουν
- Γ. έχει μικρό εστιακό σημείο ανόδου
- Δ. είναι προσανατολισμένη με την κάθοδο προς την κατεύθυνση της εξεταζόμενης.

9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της τεχνικής της χρήσης των υπερήχων για διαγνωστικούς σκοπούς και των βασικών εφαρμογών της. Στις σελίδες αυτές, ο μαθητής θα γνωρίσει:

- τη φύση και τις ιδιότητες των υπερήχων,
- τους τρόπους αλληλεπίδρασης των υπερήχων με το ανθρώπινο σώμα,
- τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό εικόνας,
- τις σημαντικότερες εφαρμογές του υπερηχογραφήματος στην κοιλιά, την καρδιά και τα αγγεία και τη χρήση του στην παρακολούθηση της κύησης.

9.1 Εισαγωγή

Υπερηχογραφία είναι η απεικόνιση μέσω ηχητικών κυμάτων υψηλής συχνότητας που ονομάζονται υπέρηχοι. Η χρήση των υπερήχων για ανίχνευση ξεκίνησε αρκετά χρόνια πριν εφαρμοστούν για πρώτη φορά στην ιατρική απεικόνιση και αφορούσε την ανίχνευση του βυθού της θάλασσας και τον έλεγχο υλικών. Σήμερα, όμως, με την εξέλιξη των δυνατοτήτων της μεθόδου, η υπερηχογραφία έχει γίνει μια από τις πιο συνηθισμένες ιατρικές εξετάσεις με πολλές σημαντικές εφαρμογές. Αν και δεν μπορεί να προσφέρει τόσο λεπτομερή απεικόνιση όπως η υπολογιστική και η μαγνητική τομογραφία, έχει το πλεονέκτημα ότι είναι μια μέθοδος εύχρηστη και ουσιαστικά εντελώς ακίνδυνη και χωρίς βλαβερές επιπτώσεις για τον οργανισμό.

Οι περισσότερες εξετάσεις υπερήχων σήμερα, αφορούν απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο και όχι τη λήψη εικόνων με βάση κάποιο σταθερό πρωτόκολλο. Για το λόγο αυτό, στη χώρα μας η υπερηχογραφία εκτελείται από τον γιατρό ο οποίος κάνει τη διάγνωση με βάση την εικόνα που βλέπει στη διάρκεια της εξέτασης.

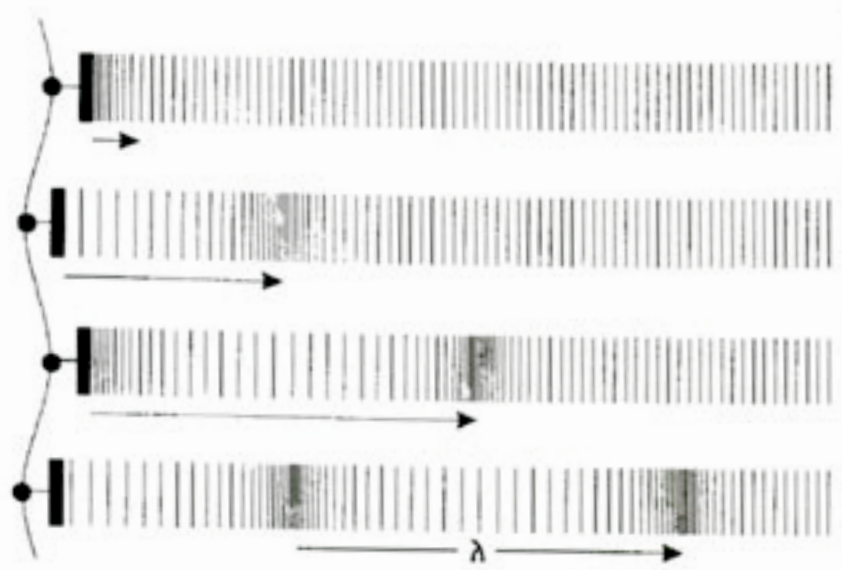
9.2 Φυσικές ιδιότητες των υπερήχων

9.2.1 Φυσικά χαρακτηριστικά των υπερήχων

Οι υπέρηχοι, είναι ηχητικά κύματα με συχνότητα πολύ μεγαλύτερη από την ανώτερη συχνότητα που μπορούμε να αντιληφθούμε με την ακοή. Όπως όλα τα ηχητικά κύματα, οι υπέρηχοι είναι εγκάρσια κύματα που διαδίδονται ευθύγραμμα μέσα από κάποιο υλικό μέσο δημιουργώντας διαδοχικά πυκνώματα και αραιώματα σε αυτό. Μια δέσμη υπερήχων χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα, τη συχνότητα, το μήκος κύματος και την έντασή της.

Η ταχύτητα (c) με την οποία κινούνται οι υπέρηχοι εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού μέσου στο οποίο διαδίδονται. Η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη όσο πιο συμπαγές είναι το μέσο. Ένα σημαντικό μέγεθος που εκφράζει τη συμπεριφορά των υπερήχων μέσα σε κάποιο μέσο είναι η ακουστική εμπέδηση (Z) η οποία είναι χαρακτηριστικό κάθε υλικού.

Μήκος κύματος (λ) είναι η απόσταση που διανύει το κύμα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου, δηλαδή ανάμεσα σε δυο διαδοχικά σημεία στα οποία το μέσο αποκτά τη μέγιστη πυκνότητα (Σχήμα 9.1). Η συχνότητα (f) είναι ο αριθμός των πλήρων ταλαντώσεων (κύκλων) που εκτελεί το ηχητικό κύμα σε ένα δευτερόλεπτο και μετριέται σε Hertz (Hz, $1 \text{ Hz} = 1 \text{ κύκλος} / \text{sec}$). Ως υπέρηχοι χαρακτηρίζονται τα ηχητικά κύματα με συχνότητες πάνω από 20 kHz αλλά στην ιατρική απεικόνιση χρησιμοποιούνται συχνότητες μεταξύ 2 – 10 MHz. Το αντίστροφο της συχνότητας ($1/f$) είναι η περίοδος (T) η οποία είναι ο χρόνος που χρειάζεται το κύμα για να εκτελέσει έναν κύκλο. Για μια σταθερή ταχύτητα διάδοσης της δέσμης, η συχνότητα και το



Σχήμα 9.1

Διάδοση του ηχητικού κύματος. Η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών πυκνωμάτων είναι το μήκος κύματος (λ)

μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογα. Ένταση του ηχητικού κύματος είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ενέργεια που μεταφέρεται κατά τη διάδοσή του.

9.2.2 Αλληλεπίδραση των υπερήχων με τους ιστούς

Κατά τη διάρκεια της μετάδοσης τους μέσα στους ιστούς, οι υπέρηχοι μπορεί να ανακλαστούν, να σκεδαστούν ή να απορροφηθούν από αυτούς. Όλα αυτά τα φαινόμενα έχουν σαν αποτέλεσμα την εξασθένηση της δέσμης, δηλαδή τη μείωση της έντασής της.

Ανάκλαση της δέσμης συμβαίνει στα όρια μεταξύ δυο περιοχών που εμφανίζουν διαφορετική ακουστική εμπίεση. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαφορά, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της δέσμης που ανακλάται. Η ανάκλαση είναι το φαινόμενο που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση, μέσω της καταγραφής του ποσοστού της δέσμης που επιστρέφει. Η διαφορά στην εμπίεση είναι πολύ μεγάλη ανάμεσα στα μαλακά μόρια και τον αέρα, όπως και ανάμεσα στα μαλακά μόρια και τα οστά. Σε αυτές τις περιπτώσεις η δέσμη των υπερήχων ανακλάται σχεδόν ολόκληρη, οπότε η απεικόνιση πίσω από τέτοιες επιφάνειες δεν είναι εφικτή.

Αν η ανάκλαση της δέσμης γίνει από μια κινούμενη επιφάνεια, τότε τα κύματα που θα ανακλαστούν έχουν άλλη συχνότητα από αυτήν που είχαν πριν. Αν η επιφάνεια κινείται πλησιάζοντας την πηγή, η συχνότητα αυξάνει ενώ αν απομακρύνεται, η συχνότητα μειώνεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο Doppler και έχει σημαντικές εφαρμογές στη μελέτη της ροής του αίματος ή της περιοδικής κίνησης των ιστών.

Αν η ανάκλαση γίνει από κάποια πολύ μικρή δομή, τότε η δέσμη δεν επιστρέφει προς τα πίσω αλλά σκεδαζεται, παίρνει δηλαδή μια τυχαία διεύθυνση. Η σκέδαση δεν μπορεί να αξιοποιηθεί στην απεικόνιση.

Η απορρόφηση της ενέργειας των υπερήχων εξαρτάται από τη συχνότητά τους. Δέσμες μεγαλύτερης συχνότητας απορροφούνται περισσότερο κι έτσι δεν μπορούν να φτάσουν στους ιστούς που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος.

9.3 Χρήση των υπερήχων στην απεικόνιση

9.3.1 Παραγωγή και ανίχνευση των υπερήχων

Τόσο για τη δημιουργία όσο και την καταγραφή της δέσμης των υπερήχων, χρησιμοποιείται ένα φαινόμενο που ονομάζεται πιεζοηλεκτρικό. Ορισμένα υλικά, τα οποία ονομάζονται πιεζοηλεκτρικά, παρουσιάζουν μηχανική παραμόρφωση όταν εφαρμοστεί διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού στα άκρα τους. Αντίστροφα, τα υλικά αυτά, μόλις παραμορφώνονται, εμφανίζουν διαφορά δυναμικού στα άκρα τους. Τέτοια υλικά υπάρχουν στη φύση, με ποιο γνωστό τον κρυστάλλο του χαλαζία (quartz), όμως στην απεικόνιση χρησιμοποιούνται τεχνητά υλικά και κυρίως ένα συνθετικό γνωστό με τα αρχικά PZT. Για να δημιουργήσουμε τη δέσμη, αρκεί να εφαρμόσουμε διαφορά δυναμικού στα άκρα του κρυστάλλου, ώστε αυτός να αρχίσει να εκτείνεται και να συμπιέζεται στέλνοντας κύμα στο υλικό με το οποίο έρχεται σε επαφή. Η συχνότητα των υπερήχων που παράγεται εξαρτάται από το πάχος του κρυστάλλου. Όσο πιο λεπτός είναι, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συχνότητα της δέσμης. Αντίστοιχα, όταν η δέσμη που έχει ανακλαστεί χτυπήσει στον κρυστάλλο, θα του προκαλέσει παραμόρφωση και εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στα άκρα του την οποία μπορούμε να καταγράψουμε ως ηλεκτρικό σήμα. Η ένταση του σήματος εξαρτάται από την ένταση της δέσμης που επέστρεψε.

9.3.2 Υπολογισμός του σημείου προέλευσης του σήματος

Όταν ένα τμήμα του δέσμης που ανακλάστηκε φτάσει στον κρυστάλλο, η απόσταση του σημείου ανάκλασης από αυτόν μπορεί να υπολογιστεί με βάση το χρόνο που μεσολάβησε. Για να γίνει αυτός ο υπολογισμός, θεωρούμε ότι η ταχύτητα του ήχου στους ιστούς είναι σταθερή (1540 m/sec). Αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην ταχύτητα της δέσμης, τότε το σημείο ανάκλασης υπολογίζεται λανθασμένα.

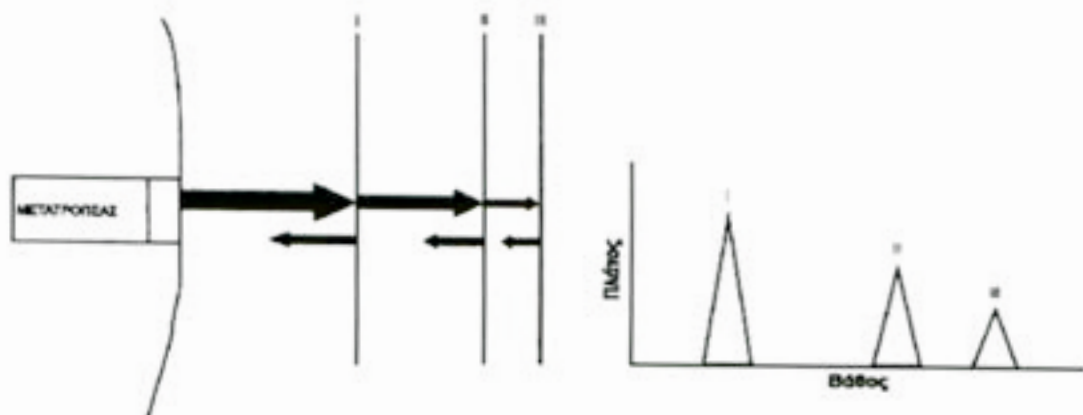
Η διακριτική ικανότητα της μεθόδου κατά μήκος του άξονα διάδοσης του κύματος (αξονική διακριτική ικανότητα) καθορίζεται από τη συχνότητά του. Αν δυο επιφάνειες είναι πολύ κοντά, οι ανακλάσεις τους δεν μπορούν να διακριθούν. Η αξονική διακριτική ικανότητα αυξάνει με την αύξηση της συχνότητας.

Καθώς η δέσμη προχωράει μέσα στο σώμα, η έντασή της μειώνεται και τα σήματα που προέρχονται από μεγαλύτερο βάθος θα είναι πιο αδύναμα. Για να έχουμε ένα σχετικά σταθερό

σήμα, τα πιο καθυστερημένα σήματα που προέρχονται από τους βαθύτερους ιστούς ενισχύονται περισσότερο. Η ενίσχυση αυτή γίνεται αυτόματα, αλλά υπάρχει και η δυνατότητα ρύθμισής της από το χρήστη.

9.3.3 Μέθοδοι απεικόνισης

Η πρώτη μέθοδος απεικόνισης με υπερήχους που αναπτύχθηκε είναι η απεικόνιση Α τρόπου (A-mode). Το Α είναι το αρχικό της λέξης Amplitude που σημαίνει την ένταση του κύματος. Σε αυτήν, η δέσμη στέλνεται προς μια μόνο κατεύθυνση και απεικονίζονται γραφικά οι εντάσεις των σημάτων που ανιχνεύονται σε σχέση με την απόσταση στην οποία υπολογίστηκε ότι συνέβη κάθε ανάκλαση. Οι ανακλάσεις εμφανίζονται στο διάγραμμα σαν κορυφές, με ύψος ανάλογο της έντασής τους (σχήμα 9.2). Κάθε κορυφή αντιστοιχεί σε ένα όριο μεταξύ διαφορετικών ιστών. Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιείται σχεδόν καθόλου σήμερα η ίδια, όμως ουσιαστικά αποτελεί τη βάση για τις άλλες τεχνικές.

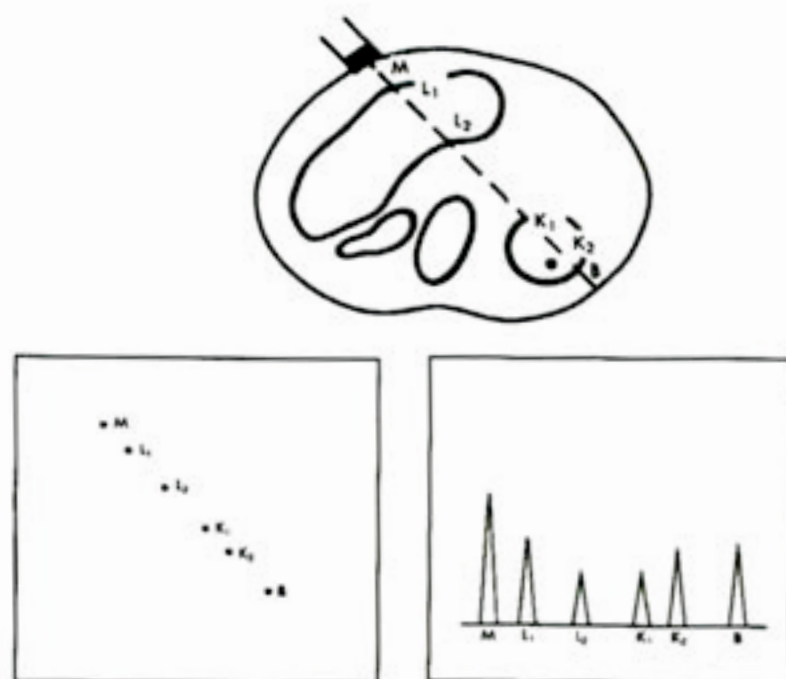


Σχήμα 9.2

Μέθοδος απεικόνισης A-Mode. Η ένταση και η θέση των ανακλάσεων παρουσιάζονται με τη μορφή κορυφών κατά μήκος ενός άξονα.

Αντί να απεικονίσουμε την ένταση των ανακλάσεων σαν διάγραμμα κορυφών μπορούμε να τα απεικονίσουμε σε μια οθόνη ως τελείες με φωτεινότητα ανάλογη της έντασης (σχήμα 9.3). Αν διατηρήσουμε αυτήν την εικόνα και στη συνέχεια επαναλάβουμε τη διαδικασία μετατοπίζοντας ελαφρά την κατεύθυνση της δέσμης, θα σχηματιστεί μια σειρά από τελείες δίπλα στην πρώτη κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό θα σχηματιστεί μια διδιάστατη εικόνα της περιοχής η οποία θα δείχνει τα επίπεδα όπου γίνεται ανάκλαση των υπερήχων. Η τεχνική αυτή ονομάζεται απεικόνιση Β τρόπου (B-mode), όπου Β είναι το αρχικό της λέξης Brightness που σημαίνει φωτεινότητα. Η μέθοδος αυτή είναι που χρησιμοποιείται πιο συχνά σήμερα. Οι διδιάστατες εικόνες διαμορφώνονται στην οθόνη πολύ γρήγορα και, καθώς σχηματίζονται διαδοχικές εικόνες, η απεικόνιση των ιστών παρουσιάζεται σε πραγματικό χρόνο.

Μια άλλη μέθοδος που βασίζεται στην απεικόνιση A-mode είναι η απεικόνιση M τρόπου, όπου M είναι το αρχικό της λέξης Motion (κίνηση). Σε αυτήν, η δέσμη δεν μετατοπίζεται αλλά παραμένει σταθερή πάνω από το σημείο που εξετάζεται. Οι γραμμές που αντιπροσωπεύουν την ένταση των ανακλάσεων καταγράφονται σε ένα χρονικό άξονα και έτσι απεικονίζουν τη μεταβολή των εντάσεών τους στο χρόνο.



Σχήμα 9.3

Αναλογία απεικόνισης τρόπου B (αριστερά) και A (δεξιά). Στην απεικόνιση B-mode αντί για κορυφές η ένταση κάθε ανάκλασης απεικονίζεται σαν ένα φωτεινό σημείο στο μόνιτορ.

Η απεικόνιση B-mode μπορεί να συμπληρωθεί και με πληροφορίες που παίρνουμε λόγω του φαινομένου Doppler. Παράλληλα με την ένταση των ανακλάσεων από μια περιοχή, μετρείται και η μεταβολή της συχνότητας η οποία δείχνει την κατεύθυνση και την ταχύτητα της ροής εκεί. Αυτή η πληροφορία μπορεί να απεικονιστεί με ένα γράφημα στο κάτω μέρος της οθόνης που δείχνει τη μετατόπιση της συχνότητας της δέσμης στην περιοχή που απεικονίζεται. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται υπερηχογράφημα Duplex.

Ένας άλλος τρόπος να απεικονιστεί η πληροφορία Doppler είναι με το χρωματισμό της περιοχής στην οποία ανιχνεύεται η ροή με κόκκινο ή μπλε χρώμα ανάλογα με την κατεύθυνσή της. Η έγχρωμη αυτή εικόνα επιπροβάλλεται στην B-mode εικόνα πραγματικού χρόνου. Η εξέταση αυτή ονομάζεται έγχρωμο Doppler ή Triplex.

Τέλος, η πληροφορία Doppler μπορεί να αποδοθεί με ήχο. Παρά το γεγονός ότι οι υπέρηχοι δεν είναι ακουστοί, το σήμα Doppler που προκύπτει από την διαφορά της εκπεμπόμενης

και της ανακλώμενης συχνότητας υπερήχων βρίσκεται στην περιοχή των συχνοτήτων που μπορούν να ακουστούν και έτσι μπορούν οι ροές του αίματος να εκτιμηθούν και ακουστικά από τον εξεταστή.

9.4 Χαρακτηριστικά υπερηχοτομογράφου

Μια απεικονιστική συσκευή υπερήχων, η οποία ονομάζεται και υπερηχοτομογράφος, είναι μικρή και συνήθως φορητή (εικόνα 9.1). Το βασικό της τμήμα περιλαμβάνει το μόνιτορ και την κονσόλα χειρισμού και με αυτό ενώνεται μια κεφαλή η οποία εκπέμπει τη δέσμη των υπερήχων και ανιχνεύει τις ανακλάσεις.

Η κεφαλή περιέχει τον πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο, ο οποίος περιβάλλεται από ειδικό υλικό για να αποσβένονται γρήγορα οι ταλαντώσεις που κάνει. Ένα μηχάνημα μπορεί να δεχτεί πολλές κεφαλές, οι οποίες διαφέρουν ως προς τη συχνότητα που εκπέμπουν, τη μορφή της δέσμης που παράγουν, το μέγεθος και το σχήμα τους (εικόνα 9.2). Καθένας από αυτούς τους τύπους χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες εξετάσεις. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης, η κεφαλή καλύπτεται με ένα ειδικό ζελέ το οποίο έχει παρόμοια ακουστική εμπέδηση με τους ιστούς και επιτρέπει την είσοδο της δέσμης στο σώμα χωρίς τον κίνδυνο να ανακλαστεί από τυχόν αέρα που θα μπορούσε να υπάρχει ανάμεσα στην κεφαλή και το δέρμα.

Από την κονσόλα του μηχανήματος ρυθμίζονται διάφοροι παράμετροι, όπως η ενίσχυση του σήματος από διάφορα βάθη, επιλέγονται τα σημεία στα οποία θα υπολογιστεί η μετατόπιση Doppler, γίνονται μετρήσεις και επιλέγονται οι κατάλληλες εικόνες που θα φωτογραφηθούν για να τεκμηριώσουν τη γνωμάτευση.



Εικόνα 9.1
Υπερηχοτομογράφος



Εικόνα 9.2
Κεφαλές υπερηχοτομογράφου

9.5 Διαγνωστικές εφαρμογές των υπερήχων

Οι υπέρηχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέταση πολλών οργάνων του σώματος. Ο παράγοντας που καθορίζει τη δυνατότητα χρήσης τους σε μια περιοχή είναι η παρουσία κάποιας κατάλληλης διαδρομής μέσω των υπερκείμενων ιστών, από την οποία οι υπέρηχοι μπορούν να περάσουν χωρίς μεγάλη εξασθένηση. Μια διαδρομή που δίνει τέτοια δυνατότητα αναφέρεται και ως ακουστικό παράθυρο.

Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε κάποιες από τις πιο συνηθισμένες εξετάσεις υπερήχων.

9.5.1 Υπερηχογράφημα κοιλιάς

Η απεικόνιση με υπερήχους έχει σημαντική κλινική αξία για όλα τα όργανα της κοιλιάς. Προκειμένου να αποφύγουμε την παρουσία αέρα στο έντερο που θα εμποδίζει τη μελέτη των περιοχών πίσω από αυτόν, ο εξεταζόμενος δεν πρέπει να έχει φάει τίποτα τουλάχιστον τις τελευταίες έξι ώρες. Η μελέτη γίνεται κυρίως με απεικόνιση B – mode.

Το υπερηχογράφημα κοιλιάς χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις πόνου στην κοιλιά ή σε τραυματίες για έλεγχο πιθανού τραυματισμού κάποιου ζωτικού οργάνου. Αποτελεί την πιο απλή μέθοδο ανίχνευσης και παρακολούθησης ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής, την μέτρηση των διαστάσεων των νεφρών και τον έλεγχο του παρεγχύματός τους. Χρησιμοποιείται επίσης συχνά για έλεγχο του ηπατικού παρεγχύματος και έλεγχο της χοληδόχου κύστης για πέτρες (εικόνα 9.3).

Οι υπέρηχοι αποτελούν τη βασική μέθοδο για τον έλεγχο των οργάνων της κάτω κοιλιάς στη γυναίκα, όπως της μήτρας και των ωοθηκών. Για την ανίχνευση της περιοχής χρειάζεται η ουροδόχος κύστη να είναι γεμάτη για να χρησιμεύσει ως ακουστικό παράθυρο. Έτσι, στην εξεταζόμενη δίνουμε οδηγία να πει αρκετά ποτήρια υγρών τουλάχιστον μια ώρα πριν την εξέταση. Καλύτερη ανατομική απεικόνιση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενδοκολπικής κεφαλής.

Με αντίστοιχες μεθόδους γίνεται η εξέταση του προστάτη στους άντρες. Με την κύστη γεμάτη μπορεί να γίνει εκτίμηση του όγκου του, αλλά για την καλύτερη μελέτη κάποιας ύποπτης μάζας η χρήση διορθρικής κεφαλής προσφέρει καλύτερη απεικόνιση της περιοχής.



Εικόνα 9.3
Υπέρηχος κοιλιάς που αναδεικνύει πέτρες στη χοληδόχο κύστη

9.5.2 Μαιευτικός υπέρηχος

Το γεγονός ότι οι υπέρηχοι δεν έχουν βλαβερές συνέπειες στον οργανισμό τους κάνει ιδιαίτερα πολύτιμους για την παρακολούθηση της πορείας της εγκυμοσύνης, κατά την οποία οι περισσότερες τεχνικές απεικόνισης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λόγους προστασίας του εμβρύου. Η εξέταση διευκολύνεται από την ύπαρξη του αμνιακού υγρού στη μήτρα που λειτουργεί σαν ακουστικό παράθυρο. Για το λόγο αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις η εξέταση γίνεται με τη δέσμη να κατευθύνεται μέσω της κοιλιάς.

Η απεικόνιση B-mode είναι αυτή που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στο μαιευτικό υπερηχογράφημα. Τεχνικές Doppler χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κυκλοφορίας μεταξύ του πλακούντα και του εμβρύου.

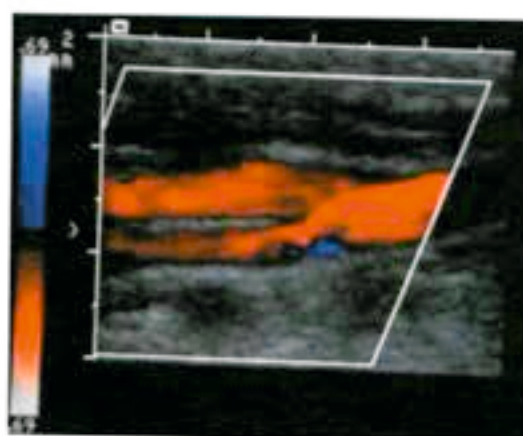
Ο υπερηχογραφικός έλεγχος κατά το πρώτο τρίμηνο της κύησης γίνεται μεταξύ της 5ης και 13ης εβδομάδας. Σε αυτόν τον έλεγχο γίνεται και η διάγνωση του συνδρόμου Down και άλλων συγγενών ανωμαλιών. Στο δεύτερο τρίμηνο, ο έλεγχος γίνεται μεταξύ 15ης και 24ης εβδομάδας, οπότε και γίνεται έλεγχος της ανατομίας του εμβρύου και την εκτίμηση της πορείας της εγκυμοσύνης (εικόνα 9.4). Σε αυτό το στάδιο μπορεί να βρεθεί και το φύλο του εμβρύου. Στο τρίτο τρίμηνο, το υπερηχογράφημα γίνεται μεταξύ 32ης και 40ης εβδομάδας και χρησιμοποιείται για επανέλεγχο της ανατομίας του εμβρύου και επιβεβαίωση της ομαλής πορείας της εγκυμοσύνης.



Εικόνα 9.4
Έμβρυο 18 εβδομάδων

9.5.3 Υπερηχογράφημα αγγείων

Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται ευρέως για τον έλεγχο των αρτηριών και φλεβών του σώματος. Ανάμεσα στις πιο συχνές εφαρμογές περιλαμβάνονται οι καρωτίδες στον τράχηλο, τα αγγεία των άκρων και αγγεία διαφόρων οργάνων της κοιλιάς όπως αυτά που αιματώνουν το ήπαρ, τα νεφρά και το σπλήνα.



Εικόνα 9.5
Έγχρωμο Doppler αγγείων

μες πληροφορίες, για την απεικόνιση των αγγείων, χρησιμοποιείται η τεχνική του έγχρωμου Doppler που συνδυάζει και τις δυο (εικόνα 9.5).

9.5.4 Υπερηχογράφημα καρδιάς

Το υπερηχογράφημα καρδιάς αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες διαγνωστικές εξετάσεις. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος εξέτασης της καρδιάς είναι ο διαθωρακικός υπέρηχος, με την κεφαλή να ακουμπά πάνω στο δέρμα και κατάλληλο ακουστικό παράθυρο ανάμεσα στα πλευρά. Η εξέταση μπορεί να γίνει με απεικόνιση B-mode, M-mode ή τη χρήση του φαινομένου Doppler.

Η απεικόνιση B-mode είναι σημαντική για την εκτίμηση, σε πραγματικό χρόνο, τόσο της συνολικής λειτουργίας της καρδιάς όσο και της λειτουργίας των διαφόρων τμημάτων του τοιχώματος της αριστερής κοιλίας. Δίνει ακόμα



Εικόνα 9.6
Απεικόνιση των κοιλοτήτων της καρδιάς με τεχνική B-mode

τη δυνατότητα μέτρησης του όγκου των καρδιακών κοιλοτήτων (εικόνα 9.6). Με αυτήν απεικονίζονται καλά τα καρδιακά τοιχώματα και τα μεγάλα αγγεία της περιοχής.

Η M-Mode απεικόνιση είναι κατάλληλη για μετρήσεις (πάχος τοιχωμάτων, διαστάσεις κοιλοτήτων κ.α.) σε διάφορες φάσεις, όπως είναι η συστολή και διαστολή της καρδιάς, επειδή αποτυπώνει καλά τις μετακινήσεις των διαφόρων δομικών στοιχείων της καρδιάς στη διάρκεια του χρόνου. Με αυτό

τον τρόπο μπορεί να αναδείξει περιοχές μειωμένης κινητικότητας, να γίνει εκτίμηση της ικανότητας σύσπασης και να υπολογισθεί το κλάσμα εξωθήσεως της αριστεράς κοιλίας.

Με την τεχνική Doppler οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται για να μελετηθούν οι ροές του αίματος ενδοκαρδιακά. Οι πληροφορίες ροής μπορούν να αναπαράγονται ηχητικά, να απεικονίζονται σαν διάγραμμα στον υπέρηχο Duplex ή με χρώμα στο έγχρωμο Doppler. Στο έγχρωμο Doppler, έχουμε στην ουσία μια διαδιάστατη απεικόνιση της καρδιάς με την προσθήκη χρώματος, που αντιπροσωπεύει τις ενδοκαρδιακές ροές των οποίων η κατεύθυνση υποδηλώνεται από το χρώμα. Έτσι μπορούν εύκολα να εντοπιστούν στην έγχρωμη εικόνα διάφορες διαταραχές στις ροές, όπως είναι η βαλβιδική ανεπάρκεια ή στένωση και οι παθολογικές επικοινωνίες μεταξύ των θωρακικών κοιλοτήτων.

9.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της απεικόνισης με υπερήχους

Η απεικόνιση με υπερήχους δεν προσφέρει τόσο μεγάλες δυνατότητες λεπτομερούς απεικόνισης άλλων τεχνικών όπως, η αξονική και η μαγνητική τομογραφία. Έχει επίσης το μειονέκτημα ότι είναι ιδιαίτερα υποκειμενική εξέταση, η ποιότητά της δηλαδή, εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το χειριστή και δεν μπορεί να εξασφαλισθεί επαναληψιμότητα στις εικόνες που λαμβάνονται. Παρ' όλα αυτά, αποτελεί εξαιρετικά πολύτιμη μέθοδο, αφού μπορεί να δώσει απαντήσεις σε πολλά κλινικά ερωτήματα, ενώ παρουσιάζει και μερικά ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα: Δεν έχει ουσιαστικές παρενέργειες ή αντενδείξεις, δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις για το χώρο στον οποίο θα εγκατασταθεί το σύστημα, είναι εύκολη και ανώδυνη.

Περίληψη

Η απεικόνιση υπερήχων βασίζεται στην καταγραφή του τμήματος μιας δέσμης υπερήχων που ανακλάται στα όρια μεταξύ δυο διαφορετικών ιστών. Με βάση το χρόνο που μεσολαβεί από την εκπομπή της δέσμης ως την καταγραφή του σήματος και γνωρίζοντας την ταχύτητα διάδοσής της στο ανθρώπινο σώμα, υπολογίζεται το σημείο της ανάκλασης. Αν η ανάκλαση γίνει πάνω σε κινούμενη επιφάνεια, τότε η δέσμη που επιστρέφει θα έχει και διαφορετική συχνότητα (φαινόμενο Doppler).

Η πληροφορία που δίνουν οι ανακλάσεις μπορεί να αποδοθεί με διάφορους τρόπους : Σαν διάγραμμα της έντασης της ανάκλασης κατά μήκος του άξονα διάδοσης της δέσμης (απεικόνιση A-mode), σαν φωτεινά σημεία σε μια οθόνη τα οποία όλα μαζί σχηματίζουν μια διαδοστική εικόνα (απεικόνιση B-mode) ή σαν διάγραμμα χρονικής μεταβολής της έντασης των ανακλάσεων σε κάθε απόσταση (απεικόνιση M-mode). Η πληροφορία Doppler μπορεί να προστεθεί με τη μορφή διαγράμματος ή έγχρωμης εικόνας που συνδυάζεται με την εικόνα B-mode.

Η δυνατότητα χρήσης των υπερήχων για την κλινική μελέτη μιας περιοχής εξαρτάται από την ύπαρξη υπερκείμενων ιστών που να επιτρέπουν τη διέλευση της δέσμης. Οι πιο βασικές εφαρμογές του υπερηχογραφήματος είναι στην απεικόνιση των οργάνων της άνω και κάτω κοιλιάς, του εμβρύου κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, της καρδιάς και των αγγείων.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις.

1. Για ποιο λόγο πιστεύετε ότι οι υπέρηχοι δεν χρησιμοποιούνται για μελέτη του εγκεφάλου;
2. Τι είναι το φαινόμενο Doppler;
3. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η εξασθένηση της δέσμης των υπερήχων μέσα στους ιστούς;
4. Τι σχέση έχει η απεικόνιση A-mode με τις τεχνικές B και M -mode;
5. Πώς σχηματίζεται η εικόνα στην τεχνική του έγχρωμου Doppler;
6. Τι είναι το ακουστικό παράθυρο;
7. Με ποιες τεχνικές υπερηχογραφήματος εξετάζεται η καρδιά;
8. Για ποιο λόγο το υπερηχογράφημα χρησιμοποιείται τόσο πολύ για την παρακολούθηση της εγκυμοσύνης;

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Το Triplex αποτελεί συνδυασμό:
 - A. Απεικόνισης A - mode και B - mode.
 - B. Απεικόνισης B - mode και εμφάνισης της συχνότητας Doppler .
 - Γ. Απεικόνισης B - mode και απεικόνισης της πληροφορίας Doppler με χρώμα.
2. Η συχνότητα της δέσμης των υπερήχων εξαρτάται:
 - A. από τις ιδιότητες της κεφαλής που χρησιμοποιούμε.
 - B. από τις ιδιότητες των ιστών από τις οποίες διέρχεται.
 - Γ. και από τα δυο παραπάνω.
3. Η απεικόνιση M - mode βρίσκει εφαρμογή στην απεικόνιση:
 - A. της καρδιάς.
 - B. των αγγείων.
 - Γ. της κοιλιάς.

10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΣΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Σκοπός και στόχοι του κεφαλαίου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η περιγραφή των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της οστικής πυκνότητας και ιδιαίτερα της τεχνικής με τη χρήση ακτίνων - X με δυο διαφορετικές ενέργειες. Κατά τη διάρκεια του ο μαθητής θα γνωρίσει:

- τη σημασία της μέτρησης οστικής πυκνότητας,
- την αρχή της μεθόδου μέτρησης απορρόφησης διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων - X (DEXA),
- τους τρόπους με τους οποίους εκφράζεται η οστική πυκνότητα,
- τη μέθοδο μέτρησης στο ισχίο, την οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης και το αντιβράχιο,
- την τεχνική και τη σημασία της ολόσωμης μέτρησης,
- τις άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της οστικής μάζας.

10.1 Εισαγωγή

Η οστεοπόρωση είναι μια πάθηση που χαρακτηρίζεται από μείωση της μάζας των οστών και, κατά συνέπεια, τη ελάττωση της αντοχής τους. Εμφανίζεται κυρίως στις γυναίκες μετά την εμμηνόπαυση αλλά και σε άτομα που για κάποιο λόγο εμφανίζουν σημαντικές ορμονικές διαταραχές. Η παρουσία οστεοπόρωσης κάνει ευκολότερη την πρόκληση καταγμάτων και προκαλεί πόνους, απώλεια ύψους, παραμορφώσεις, ενώ σε προχωρημένα στάδια είναι δυνατό να εμφανιστούν κατάγματα χωρίς να υπάρξει κάποιο χτύπημα σε αυτά (οστεοπορωτικά κατάγματα).

Προκειμένου να διαγνωσθεί έγκαιρα η οστεοπόρωση και να αντιμετωπισθεί με κατάλληλη αγωγή, έχουν αναπτυχθεί πολλές διαφορετικές τεχνικές. Η τεχνική όμως που επικρατεί σήμερα, βασίζεται στη χρήση των ακτίνων - X για τον υπολογισμό του ποσοστού της οστικής μάζας που έχει χαθεί. Η τεχνική αυτή ονομάζεται μέτρηση οστικής πυκνότητας με διπλοενεργειακή δέσμη ακτίνων - X.

10.2 Η μέθοδος απορρόφησης διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων -X (Dual Energy X-Ray Absorptiometry - DEXA)

10.2.1 Αρχή της μεθόδου

Το ποσοστό απορρόφησης της ακτινοβολίας - X από το σώμα εξαρτάται από το πάχος και την πυκνότητα των ιστών, την ενέργεια της δέσμης και το μέσο ατομικό αριθμό των ιστών που αυτή συναντάει. Όταν η ενέργεια της δέσμης μεταβάλλεται, αλλάζει και το ποσοστό απορρόφησης της ακτινοβολίας μεταξύ των ιστών με διαφορετικό ατομικό αριθμό, όπως είναι τα μαλακά μόρια και τα οστά.

Αν χρησιμοποιήσουμε δυο δέσμες ακτινοβολίας με διαφορετική ενέργεια και μετρήσουμε το ποσοστό απορρόφησης της κάθε μιας από ένα σημείο του σώματος, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την αναλογία των ιστών με μεγάλο ατομικό αριθμό (δηλαδή των οστών) ως προς αυτούς με μικρότερο ατομικό αριθμό (τα μαλακά μόρια).

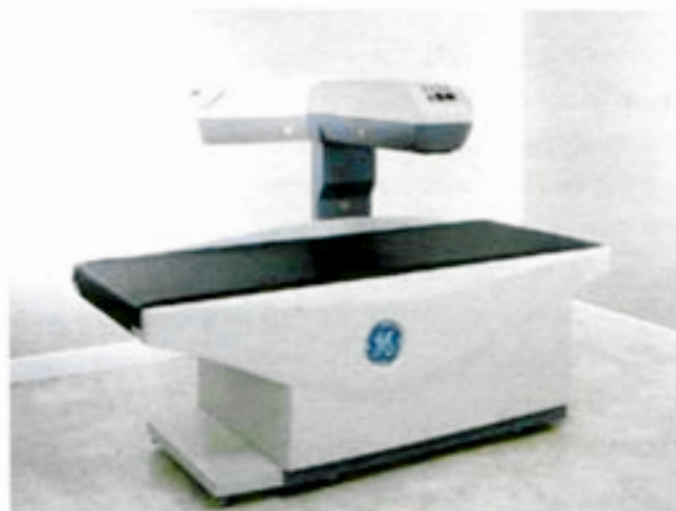
Αρχικά, η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε με τη χρήση δυο πηγών ραδιενεργών ισοτόπων που παρήγαγαν διαφορετικής ενέργειας ακτινοβολία γ, αλλά σήμερα η μέθοδος αυτή δεν εφαρμόζεται σχεδόν καθόλου. Αντί για αυτή, χρησιμοποιείται λυχνία παραγωγής ακτίνων X η οποία εκπέμπει δυο λεπτές δέσμες με διαφορετική ενέργεια, συνήθως στα 70 και 140 kVp. Για την ανίχνευση της ακτινοβολίας, στα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιείται ένας κρύσταλλος ιωδιούχου νατρίου. Ο υπολογισμός της οστικής μάζας γίνεται με βάση το ποσοστό απορρόφησης.

σης της κάθε δέσμης και την επίλυση ειδικών εξισώσεων από υπολογιστή που παίρνει τα δεδομένα.

Το αποτέλεσμα των υπολογισμών εκφράζεται σε περιεκτικότητα σε γραμμάρια ασβεστίου της περιοχής που μετρήθηκε η οποία αναφέρεται με τα αρχικά BMC (Bone mineral content). Η μέση περιεκτικότητα σε γραμμάρια ανά cm^2 εκφράζει την πυκνότητα του οστού, αναφέρεται ως οστική πυκνότητα και είναι γνωστή με τα αρχικά BMD (Bone mineral density).

10.2.2 Συστήματα DEXA

Ένα σύστημα DEXA αποτελείται από μια ακτινοδιαπερατή τράπεζα πάνω στην οποία τοποθετείται ο εξεταζόμενος, τη λυχνία που παράγει τις δυο δέσμες ακτίνων - X και η οποία κινείται γραμμικά κάτω από το τραπέζι και το βραχίονα με τον ανιχνευτή ο οποίος κινείται πάνω από τον εξεταζόμενο σε συγχρονισμό με τη λυχνία (εικόνα 10.1). Στο βραχίονα υπάρχει και σύστημα επικέντρωσης (συνήθως laser). Οι τιμές της ακτινοβολίας που καταγράφονται από τον ανιχνευτή, στέλνονται σε υπολογιστή ο οποίος υπολογίζει την περιεκτικότητα κάθε σημείου σε οστό. Από τα δεδομένα που καταγράφονται, σχηματίζεται και μια ακτινολογική προβολή της περιοχής η οποία έχει χαμηλή ποιότητα αφού το ποσό της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται είναι μικρό. Αυτή η εικόνα δεν χρησιμοποιείται για διάγνωση της περιοχής αλλά για τον καθορισμό των περιοχών ενδιαφέροντος (Regions of Interest - ROI) στα οποία θα υπολογιστεί η οστική μάζα.



Εικόνα 10.1

Σύστημα DEXA για μέτρηση οστικής πυκνότητας

Υπάρχουν και κάποια πιο απλά συστήματα που χρησιμοποιούν την ίδια μέθοδο αλλά μόνο σε περιφερειακά σημεία όπως ο καρπός και η πτέρνα. Χρησιμοποιούνται επειδή είναι πιο μικρά σε μέγεθος και έτσι μπορούν να μεταφερθούν εύκολα και να εγκατασταθούν σε μικρό χώρο (εικόνα 10.2).



Εικόνα 10.2

Σύστημα για μέτρηση DEXA στην περιφέρεια

10.3 Εκτίμηση του βαθμού οστεοπόρωσης

Η τιμή της οστικής πυκνότητας (BMD) που υπολογίζεται με τη μέθοδο DEXA, διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το φύλο, την ηλικία και τα φυλετικά και σωματικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου, αλλά και ανάλογα με την τεχνική που εφαρμόζει κάθε μηχάνημα. Έτσι δεν μπορεί να δώσει από μόνη της σαφή εικόνα για το βαθμό απώλειας οστικής μάζας. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα εκφράζονται συγκριτικά με τις τιμές οστικής μάζας που εμφανίζει ο πληθυσμός των ατόμων που έχουν αντίστοιχα χαρακτηριστικά, όταν μετράται με το συγκεκριμένο τύπο μηχανήματος. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται με μεγάλου εύρους μελέτες και προμηθεύονται από την κατασκευάστρια εταιρεία του μηχανήματος.

Τα αποτελέσματα μιας μέτρησης μπορούν να αποδοθούν με τρεις τρόπους σε σχέση με τις τιμές του συνολικού πληθυσμού. Ο πιο απλός τρόπος είναι να εκφραστούν ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) της μέσης τιμής των νέων ατόμων (25 ετών) με ίδια χαρακτηριστικά. Οι άλλοι δυο τρόποι χρησιμοποιούν δυο τιμές που εκφράζουν πόσο πολύ απέχει η τιμή που μετρήθηκε από τη μέση τιμή: Την τιμή T (T - score) και την τιμή Z (Z - score). Η τιμή T εκφράζει το πόσο απέχει η τιμή που μετρήθηκε από τη μέση τιμή των νέων ατόμων ίδιων χαρακτηριστικών. Αντίστοιχα, τιμή Z εκφράζει την απόστασή της από τη μέση τιμή των ατόμων με ίδια χαρακτηριστικά αλλά και ίδια ηλικία για τον εξεταζόμενο. Αρνητικές τιμές δείχνουν ότι η οστική μάζα είναι μικρότερη από τη μέση. Όσο πιο αρνητική τιμή παίρνουν το Tα και το Z score, τόσο μικρότερη είναι η πυκνότητα του οστού.

Σύμφωνα με τον ορισμό της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, για τις γυναίκες, φυσιολογική οστική πυκνότητα θεωρείται όταν η τιμή T δεν είναι μικρότερη από -1 , οστεοπόρωση όταν είναι μικρότερη από $-2,5$ ενώ οι τιμές από -1 έως $-2,5$ χαρακτηρίζονται ως μια ενδιάμεση κατάσταση που δείχνει μέτρια εξασθένηση του οστού και ονομάζεται οστεοπενία.

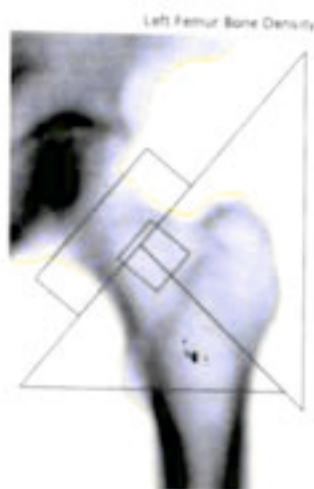
10.4 Εφαρμογές της μεθόδου DEXA

Η εξέταση γίνεται στις περιοχές εκείνες όπου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος οστεοπορωτικών καταγμάτων, τα οποία είναι τα οστά που είναι πλούσια σε σπογγώδη ιστό (καρπός, οσφυϊκή μοίρα σπονδυλικής στήλης, ισχία) αλλά μπορεί να γίνει μέτρηση και σε ολόκληρο το σώμα (ολόσωμη μέτρηση). Η πιο συνηθισμένη εξέταση περιλαμβάνει μέτρηση της οσφυϊκής μοίρας και του ισχίου, ενώ πιο σπάνια η μέτρηση γίνεται στο αντιβράχιο.

10.4.1 Μέτρηση ισχίου

Ο εξεταζόμενος τοποθετείται ύπτιος με τα πόδια σε απαγωγή και έσω στροφή, έτσι ώστε να ελέγχεται καλά ο αυχέννας του μηριαίου. Συνήθως, χρησιμοποιείται ειδική διάταξη που ανιχνεύει τα πόδια στη σωστή θέση. Καλύπτεται η περιοχή που ξεκινάει λίγο κάτω από το ύψος της ηβικής σύμφυσης και μέχρι να καλυφθεί ολόκληρη η άρθρωση. Στην εικόνα που εμφανίζεται οριζομε την κλίση του άξονα του αυχέννα και μια περιοχή ενδιαφέροντος που να περιλαμβάνει οστό μόνο από αυτόν. Με βάση αυτά, ο υπολογιστής εντοπίζει τις υπόλοιπες περιοχές στις οποίες θα μετρήσει την πυκνότητα και οι οποίες είναι ο μείζων τροχαντήρας, η διάφυση και μια περιοχή κάτω από τον αυχέννα η οποία ονομάζεται τρίγωνο του Wards (εικόνα 10.3). Επίσης υπολογίζεται η μέση τιμή ολόκληρης της περιοχής.

Η μέτρηση του ισχίου είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού πρόκειται για μια περιοχή με υψηλό κίνδυνο πρόκλησης κατάγματος. Επίσης έχει το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζεται η ακρίβειά της από την ηλικία και για το λόγο αυτό συνιστάται ιδίως για ηλικιωμένα άτομα. Δεν μπορεί να εφαρμοστεί αν έχει προηγηθεί κάποια ορθοπεδική εγχείρηση στο ισχίο (π.χ. αρθροπλαστική).

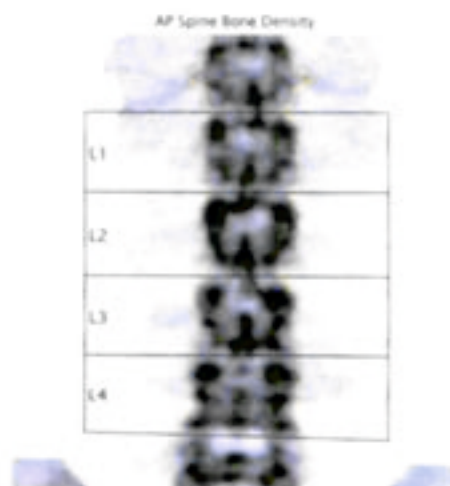


Εικόνα 10.3

Σημεία μέτρησης αριστερού ισχίου:
1.Αυχέννας μηριαίου 2.Τρίγωνο Wards 3. Μείζων τροχαντήρας 4.Διάφυση

10.4.2 Μέτρηση σπονδυλικής στήλης

Στη μέθοδο αυτή, υπολογίζεται η οστική πυκνότητα στους τέσσερις πρώτους οσφυϊκούς σπονδύλους. Ο εξεταζόμενος τοποθετείται ύπτιος με τα πόδια ανασηκωμένα σε κάμψη με τη βοήθεια ειδικού υποστηρίγματος. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται να μην υπάρχει καθόλου στροφή του κορμού. Καλύπτεται ολόκληρη η περιοχή από το μέσο του 5ου οσφυϊκού μέχρι το μέσο του 12ου θωρακικού σπονδύλου. Στην εικόνα που παίρνουμε ορίζουμε τη θέση και την πιθανή κλίση των μεσοσπονδύλιων διαστημάτων ώστε να διαχωριστούν οι τέσσερις σπόνδυλοι (εικόνα 10.4). Τα αποτελέσματα υπολογίζονται για κάθε ένα από τους σπονδύλους και τη για τη μέση τιμή και των τεσσάρων μαζί.



Εικόνα 10.4

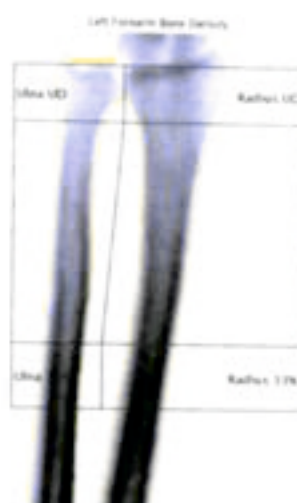
Εικόνα μέτρησης οστικής πυκνότητας στην ΟΜΣΣ. Οι γραμμές ορίζουν τα μεσοσπονδύλια διαστήματα.

Και η εξέταση της σπονδυλικής στήλης είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού πρόκειται για μια περιοχή που εμφανίζει σημαντικές αλλοιώσεις λόγω της οστεοπόρωσης, όπως απώλεια ύψους των σπονδύλων και εμφάνιση οστεοπορωτικών καταγμάτων. Υπάρχουν, όμως, αρκετοί παράγοντες που μπορούν να δώσουν λανθασμένη τιμή στην προσβολισθία μέτρηση της ΟΜΣΣ όπως είναι τα οστεόφυτα, πιθανές αποπιτανώσεις της αορτής, εκφυλιστικές αλλοιώσεις και σμίκρυνση του μεσοσπονδυλίου δίσκου, ειδικότερα σε ηλικιωμένα άτομα. Επίσης, η ακριβής μέτρηση είναι πολύ δύσκολη όταν υπάρχει μεγάλου βαθμού σκολίωση. Μια εναλλακτική λύση είναι η μέτρηση σε πλάγια προβολή, η οποία όμως έχει το μειονέκτημα ότι μόνο ο 2ος και ο 3ος οσφυϊκός σπόνδυλος μπορούν να μετρηθούν σωστά, λόγω των επιπροβολών των λαγονίων και των κατώτερων πλευρών. Για το λόγο αυτό η πλάγια προβολή χρησιμοποιείται σπάνια.

Σημαντικό σφάλμα μπορεί να προκύψει στη μέτρηση της ΟΜΣΣ και σε περίπτωση που έχει προηγηθεί πρόσφατη εξέταση με λήψη κάποιας σκιαγραφικής ουσίας.

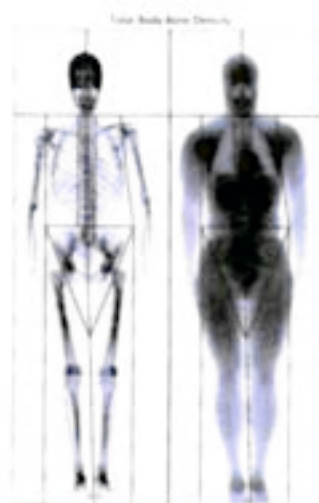
10.4.3 Μέτρηση αντιβραχίου

Η επιλογή του αντιβραχίου για περιοχή μέτρησης γίνεται κυρίως όταν η μέτρηση στη σπονδυλική στήλη και το ισχίο δεν μπορούν για κάποιο λόγο να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα ή σε ανθρώπους που πάσχουν από υπερπαραθυρεοειδισμό. Ο εξεταζόμενος τοποθετείται καθιστός δίπλα στην τράπεζα του μηχανήματος με το βραχίονα σε απαγωγή, τον αγκώνα σε ορθή γωνία και το πρόσθιο τμήμα του αντιβραχίου να ακουμπάει καλά στο τραπέζι. Το χέρι ακινητοποιείται σε αυτή τη θέση με ειδική διάταξη. Οι περιοχές που μετρούνται είναι στο τμήμα



Εικόνα 10.5

Περιοχές μέτρησης οστικής μάζας στο αντιβράχιο



Εικόνα 10.6

Ολόσωμη μέτρηση με μέθοδο DEXA. Η αριστερή εικόνα απεικονίζει την κατανομή οστικής μάζας και η δεξιά την κατανομή λίπους στο σώμα.

κοντά στην άρθρωση του καρπού και υπολογίζονται ανάλογα με το συνολικό μήκος του αντιβραχίου (εικόνα 10.5).

10.4.4 Ολόσωμη μέτρηση

Η ολόσωμη μέτρηση, δεν χρησιμοποιείται συνήθως για τον υπολογισμό της οστικής μάζας, αλλά κυρίως για να υπολογισθεί η κατανομή του λίπους στις διάφορες περιοχές του σώματος. Ο εξεταζόμενος τοποθετείται ύπτιος, με τα πόδια ενωμένα και τα χέρια να βρίσκονται όσο πιο κοντά στον κορμό γίνεται. Η μέτρηση ξεκινάει από την κορυφή του κρανίου και καλύπτει όλο το σώμα μέχρι τα δάχτυλα των ποδιών. Το σύστημα παρουσιάζει την περιεκτικότητα του σώματος κατά περιοχές σε οστό, λίπος και μαλακά μέρη χωρίς λίπος (εικόνα 10.6).

10.5 Άλλες μέθοδοι μέτρησης οστικής πυκνότητας

10.5.1 Μέτρηση με χρήση ακτινογραφίας

Μια απλή ακτινογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απορρόφησης της ακτινοβολίας από τα οστά, μόνο σε περιοχές όπου το πάχος των μαλακών μορίων είναι πολύ μικρό, οπότε η συμβολή τους στην απορρόφηση μπορεί να αγνοηθεί. Συνήθως χρησιμοποιείται ακτινογραφία στις φάλαγγες των δακτύλων του χεριού. Στο ίδιο φιλμ απεικονίζεται

και ένα βαθμονομημένο σφηνοειδές ομοίωμα από αλουμίνιο. Η εκτίμηση της οστεοπόρωσης γίνεται με μέτρηση της οπτικής πυκνότητας του φιλμ στα σημεία που απεικονίζονται τα δάκτυλα και σύγκριση με την οπτική πυκνότητα του ομοιώματος.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να δώσει μια αδρή μόνο εικόνα της κατάστασης των οστών και όχι ακριβή τιμή, οπότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συστηματική παρακολούθηση του βαθμού οστεοπόρωσης. Πρόσθετο μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί στις πιο κρίσιμες περιοχές, όπως το ισχίο και η σπονδυλική στήλη.

10.5.2 Ποσοτική υπολογιστική τομογραφία

Η υπολογιστική τομογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της οστικής μάζας μέσω κατάλληλου λογισμικού του συστήματος που χρησιμοποιεί τις σχετικές τιμές της κλίμακας Hounsfield για να υπολογίσει την περιεκτικότητα του οστού σε g/cm^3 . Η χρήση της υπολογιστικής τομογραφίας προσφέρει πιο ακριβή αποτελέσματα αφού μπορεί να κάνει ποσοτική εκτίμηση συγκεκριμένων σημείων χωρίς να υπάρχουν επιπροβολές που να αλλοιώνουν το αποτέλεσμα. Παρ' όλα αυτά, επειδή έχει υψηλότερο κόστος και κυρίως πολύ περισσότερη ακτινοβολία δεν χρησιμοποιείται συχνά.

10.5.3 Μέτρηση με χρήση υπερήχων

Η διάδοση μιας δέσμης υπερήχων μέσα από το οστό εξαρτάται από την πυκνότητά του, η οποία έτσι μπορεί να υπολογιστεί με βάση το ποσοστό που αντανακλώνται διαδοχικές δέσμες διαφορετικών συχνοτήτων. Το πιο συνηθισμένο σημείο όπου εφαρμόζεται η μέθοδος είναι η πτέρνα. Η μέτρηση με χρήση υπερήχων δεν είναι τόσο ακριβής όσο η μέθοδος DEXA, μπορεί όμως να δώσει αρκετά καλή εικόνα της κατάστασης των οστών χωρίς έκθεση του εξεταζόμενου σε ακτινοβολία. Έτσι, χρησιμοποιείται συχνά για αρχική εκτίμηση αλλά όχι και για μακροχρόνια παρακολούθηση της οστικής μάζας.

Περίληψη

Η μέτρηση της οστικής πυκνότητας είναι μια εξέταση που γίνεται για την έγκαιρη διάγνωση και παρακολούθηση της οστεοπόρωσης.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος εξέτασης είναι η μέθοδος μέτρησης απορρόφησης διπλοενεργειακής δέσμης φωτονίων (DEXA) και γίνεται με τη μέτρηση της απορρόφησης της ακτινοβολίας X σε δυο διαφορετικές ενέργειες. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την περιεκτικότητα ασβεστίου σε g για κάθε cm² μιας περιοχής. Οι τιμές αυτές συγκρίνονται με τη μέση τιμή που εμφανίζουν τα άτομα με ίδια χαρακτηριστικά για να υπολογιστούν οι τιμές T και Z. Οι τιμές αυτές αποτελούν τους δείκτες που εκφράζουν την κατάσταση των οστών.

Η μέτρηση απορρόφησης διπλοενεργειακής δέσμης γίνεται συνήθως στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης ή στο ισχίο. Πιο σπάνια μπορεί να εφαρμοστεί σε περιφερειακά σημεία του σκελετού, όπως είναι το αντιβράχιο. Ολόσωμη μέτρηση με την ίδια μέθοδο γίνεται για να υπολογιστεί η κατανομή του λίπους στο σώμα.

Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της οστικής μάζας είναι η εκτίμηση με ακτινογραφία στο χέρι, η ποσοτική υπολογιστική τομογραφία και η μέτρηση με χρήση υπερήχων.

Ερωτήσεις

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις

1. Για ποιο λόγο χρησιμοποιούνται δυο διαφορετικές ενέργειες ακτίνων Χ για τον υπολογισμό της οστικής μάζας;
2. Τι τιμή T πρέπει να έχει μια γυναίκα για να χαρακτηρίζεται η οστική της μάζα φυσιολογική;
3. Σε ποιες περιοχές του ισχίου υπολογίζεται η οστική πυκνότητα;
4. Ποια είναι τα μειονεκτήματα της μέτρησης της ΟΜΣΣ σε πλάγια θέση;
5. Τι πληροφορίες προσφέρει μια ολόσωμη μέτρηση απορρόφησης διπλοενεργειακής δέσμης (DEXA);
6. Τι πλεονεκτήματα και τι μειονεκτήματα έχει η μέτρηση οστικής πυκνότητας με ποσοτική υπολογιστική τομογραφία;

Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις

1. Η ολόσωμη μέτρηση παρουσιάζει την περιεκτικότητα των διαφόρων περιοχών του σώματος σε οστό, και μαλακούς ιστούς.
2. Τα δυο πιο συνηθισμένα σημεία μέτρησης της οστικής μάζας είναι το και η σπονδυλική στήλη.
3. Η περιφερειακή μέτρηση της οστικής πυκνότητας γίνεται συνήθως στον και την πτέρνα.
4. Σύμφωνα με τα κριτήρια της παγκόσμιας οργάνωσης υγείας, μια γυναίκα χαρακτηρίζεται ότι έχει αν εμφανίζει τιμή Τα μεταξύ -1 και $-2,5$.

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

1. Η τιμή Z εκφράζει τη διαφορά της οστικής μάζας του εξεταζόμενου από τη μέση τιμή οστικής μάζας
 - A. των ατόμων της ίδιας ηλικίας με αυτόν
 - B. των ατόμων με ηλικία 25 χρονών
 - Γ. ολόκληρου του πληθυσμού.
2. Το πλεονέκτημα του υπολογισμού της οστικής πυκνότητας με τη χρήση ακτινογραφίας σε σχέση με τη μέτρηση της απορρόφησης διπλοενεργειακής δέσμης είναι ότι
 - A. προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια
 - B. γίνεται εύκολα χωρίς την ανάγκη ακριβούς εξοπλισμού.
 - Γ. είναι λιγότερο επώδυνη.
3. Τι μειονέκτημα έχει η πλάγια μέτρηση της οσφυϊκής μοίρας σε σχέση με την προσθιοπίσθια:
 - A. Επηρεάζεται περισσότερο από την παρουσία οστεόφυτων
 - B. Δεν μπορούν να μετρηθούν όλοι οι σπόνδυλοι, λόγω επιπροβολών
 - Γ. Είναι πιο δύσκολο για τον εξεταζόμενο να τοποθετηθεί στη σωστή θέση.

ΓΛΩΣΣΑΡΙ

Pixel (Picture element): Στοιχειώδες τμήμα μιας ψηφιακής εικόνας.

Αγγειοπλαστική: Μέθοδος για τη διάνοιξη του αυλού ενός στενωμένου ή φραγμένου αγγείου.

Ακουστική εμπέδηση: Ιδιότητα των υλικών που εκφράζει τη συμπεριφορά τους όταν διαρρέονται από ένα ακουστικό κύμα.

Ακουστικό παράθυρο: Μια περιοχή του σώματος που επιτρέπει στη δέση των υπερήχων να διέλθει χωρίς μεγάλη εξασθένηση.

Αλγόριθμος: Μια αλληλουχία προκαθορισμένων μαθηματικών υπολογισμών.

Αλληλουχία παλμών: Μια σειρά παλμών ραδιοσυχνότητας που εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Αναλογικός - ψηφιακός μετατροπέας: Ηλεκτρονική διάταξη που λαμβάνει ένα ηλεκτρικό σήμα και, ανάλογα με την έντασή του, αποδίδει μια ακέραια τιμή.

Ανασύνθεση: Η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων που καταγράφονται για να σχηματιστεί η εικόνα.

Βαθμιωτά μαγνητικά πεδία: Μαγνητικά πεδία των οποίων η ένταση μεταβάλλεται κατά μήκος μιας διεύθυνσης.

Βαρύτητα εικόνας μαγνητικού συντονισμού: Η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο την αντίθεση της εικόνας μαγνητικού συντονισμού.

Βηματοδότης: Συσκευή που τοποθετείται για να ρυθμίζει την καρδιακή λειτουργία.

Βιοψία: Η λήψη τμήματος ιστού που είναι ύποπτος κακοήθειας και η εργαστηριακή του ανάλυση για την εξακρίβωση της σύστασής του.

Γεννήτρια τεχνητού: Συσκευή μέσα στην οποία παράγεται τεχνητό - 99m.

Εγχυτής σκιαγραφικού: Συσκευή που χορηγεί αυτόματα τη σκιαγραφική ουσία με σταθερό ρυθμό.

Εμβολισμός: Η διαδικασία τεχνητής απόφραξης κάποιου αγγείου.

Ενδοαυλική ενδοπρόσθεση: Διάταξη που υποστηρίζει τα τοιχώματα ενός αγγείου αποτρέποντας τη επαναστένωσή του.

- Εξαύλωση:** Η διαδικασία κατά την οποία ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο εξαφανίζονται εκπέμποντας δυο φωτόνια σε αντίθετες κατευθύνσεις.
- Εστιακό σημείο λυχνίας:** Η επιφάνεια της ανόδου πάνω στην οποία προσκρούουν τα ηλεκτρόνια και παράγονται οι ακτίνες - X.
- Θερμό εργαστήριο:** Χώρος ενός εργαστηρίου πυρηνικής ιατρικής όπου φυλάσσονται τα ραδιοϊσότοπα και παρασκευάζονται τα ραδιοφάρμακα.
- Ιδιοπεριστροφή:** Η περιστροφή ενός σώματος γύρω από τον άξονά του.
- Ισότοπα:** Πυρήνες που ανήκουν στο ίδιο στοιχείο αλλά έχουν διαφορετικό αριθμό νετρονίων.
- Καθετήρας:** Σωλήνας που εισέρχεται σε κάποιο αγγείο και μέσα από τον οποίο διοχετεύεται σκιαγραφικό.
- Κινηματοοακτινοσκόπηση:** Μέθοδος καταγραφής σε φιλμ της εικόνας που εμφανίζεται ακτινοσκοπικά.
- Μαγνητική ροπή:** Μέγεθος που περιγράφει τη συμπεριφορά ενός μαγνήτη μέσα σε ένα άλλο μαγνητικό πεδίο.
- Μαγνήτιση:** Το άθροισμα των μαγνητικών ροπών μέσα σε ένα δείγμα.
- Μήκος κύματος:** Η απόσταση που διανύει ένα κύμα κατά τη διάρκεια μιας πλήρους ταλάντωσης.
- Παλμός ραδιοσυχνότητας:** Μαγνητικό πεδίο που μεταβάλλεται με συχνότητα $Larmor$ και προκαλεί τη στροφή της μαγνήτισης.
- Παράθυρο απεικόνισης:** Το εύρος των τιμών των στοιχείων μιας ψηφιακής εικόνας που επιλέγουμε να απεικονίζονται.
- Πεδίο απεικόνισης:** Οι διαστάσεις της περιοχής που απεικονίζεται.
- Πηνίο:** Διάταξη με σύρμα τυλιγμένο σε σπείρες το οποίο, όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο.
- Πηνίο ραδιοσυχνότητας:** Το πηνίο που εκπέμπει τους παλμούς ραδιοσυχνότητας και καταγράφει το σήμα απόσβεσης επαγωγής.
- Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο:** Το φαινόμενο που εμφανίζεται σε ορισμένα υλικά, να συσπώνονται και να εκπέμπουν ηχητικό κύμα όταν εμφανίζεται διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού στα άκρα τους.
- Ποζιτρόνιο:** Σωματίδιο με μάζα σαν αυτή του ηλεκτρονίου αλλά με θετικό φορτίο.
- Ραδιοφάρμακο:** Ουσία που περιέχει κάποιο ραδιενεργό ισότοπο και προσλαμβάνεται από συγκεκριμένα όργανα του σώματος.

- Σήμα ελεύθερης απόσβεσης επαγωγής:** Το ημιτονοειδές σήμα που καταγράφεται μετά το τέλος ενός παλμού ραδιοσυχνότητας.
- Σκιαγραφικά μέσα:** Ουσίες που απεικονίζονται έντονα και χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της αντίθεσης της εικόνας.
- Σκλήρυνση δέσμης:** Η αύξηση της μέσης ενέργειας μιας δέσμης ακτίνων – Χ καθώς διέρχεται μέσα από κάποιο υλικό.
- Συντελεστής απορρόφησης ακτινοβολίας:** Μέγεθος που εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας την οποία απορροφά κάθε γραμμάριο ενός υλικού.
- Σύστημα αυτόματου ελέγχου έκθεσης:** Διάταξη που ρυθμίζει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη λυχνία, ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή ποιότητα εικόνας.
- Συχνότητα κύματος:** Ο αριθμός των πλήρων ταλαντώσεων που εκτελεί ένα κύμα σε ένα sec.
- Τοπογράφημα:** Προβολή σε ένα επίπεδο που λαμβάνεται στην αρχή μιας εξέτασης υπολογιστικής τομογραφίας και χρησιμοποιείται για την επιλογή των τομών.
- Υπεραγώγιμα υλικά:** Υλικά τα οποία δεν παρουσιάζουν αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα που περνάει μέσα από αυτά.
- Φαινόμενο Doppler:** Το φαινόμενο της μεταβολής της συχνότητας ενός ηχητικού κύματος όταν ανακλάται σε μια κινούμενη επιφάνεια.
- Φωτοπολλαπλασιαστής:** Διάταξη που ανιχνεύει την εκπομπή φωτός και στέλνει έναν ηλεκτρικό παλμό με ένταση αντίστοιχη αυτής του φωτός το οποίο καταγράφεται.
- Χαλάρωση:** Η διαδικασία επαναφοράς της μαγνήτισης στην αρχική της κατάσταση μετά το τέλος εφαρμογής ενός παλμού ραδιοσυχνότητας.
- Χρόνος υποδιπλασιασμού ή ημιζωής:** Ο χρόνος που απαιτείται για τη διάσπαση των μισών από τους πυρήνες ενός ισότοπου.
- Ψευδένδειξη:** Στοιχείο που εμφανίζεται σε μια εικόνα χωρίς να αντιστοιχεί σε κάποια πραγματική ανατομική δομή ή διαφοροποίηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams J.E. "Single and Dual energy X-ray Absorptiometry", (1997) *Eur Radiology* 7 (Suppl 2): S20 – S31, Springer, Berlin.
- Baert A.L. (editor) (2000) "MRI – From basic knowledge to advanced strategies. Categorical course ECR 2000", Springer, Berlin.
- Balter S., Shope T.B. (editors) (1995) "A Categorical Course in Physics. Physical and Technical Aspects of Angiography and Interventional Radiology", RSNA, Oak Brook.
- Boxt L.M. "Cardiac MR Imaging : A Guide for the Beginner", (1999) *RadioGraphics* 19: 1009 –1025, RSNA, Oak Brook.
- European Commission. (1998) "Quality Criteria for Computed Tomography", EC Working Document Report EU 16262, Brussels.
- European Commission. (1996) "European Guidelines on Quality criteria for Diagnostic Radiographic Images", EC Working Document Report EU 16260, Brussels.
- Fishman P. (1990) "Physics and Instrumentation of Diagnostic Medical Ultrasound", Wiley - Liss, New York.
- Fishman E.K. (1998) "Spiral CT. Principles, Techniques and Clinical Applications", Lippincott – Raven, Philadelphia.
- Fogelman I., Blake G.M. "Different approaches to Bone Densitometry", (2000) *Journal of Nuclear Medicine* 41: 2015 –2025, SNM, Reston.
- Garvey C.J., Hanlon R. (2002) "Computed tomography in clinical practice", *BMJ* 321: 1077-1080 , BMJ Publishing Group, London.
- Graves M.J. (1997) "Magnetic resonance angiography", *BJR* 70: 6-28, BIR, London.
- Haacke E.M., Brown R.W., Thompson M.R., Venkatesan R. (1999) "Magnetic Resonance Imaging. Physical Principles and Sequence Design", Wiley - Liss, New York.
- Hendee W.R., Ritenour E.R. (2002) "Medical Imaging Physics" 4th edition, Wiley – Liss, New York.
- Hornak J.P. "The basics of MRI", <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/index.html>
- Laudicina P., Wean D. (1994) "Applied Angiography for Radiographers" , W.B. Saunders , Philadelphia.
- Pooley R.A., McKinney M., Miller D.A. "Digital Fluoroscopy" (2001), *RadioGraphics* 21: 521-534, RSNA, Oak Brook.

- Price R.R. "MR Imaging Safety Considerations", (1999) *RadioGraphics* 19: 1641-1651, RSNA, Oak Brook.
- Rydberg J., Buckwalter K.A. et al " Multisection CT: Scanning Techniques and Clinical Applications", (2000) *RadioGraphics* 20: 1787-1806, RSNA, Oak Brook.
- Silverman P.M. (editor) (1998) "*Helical (Spiral) Computed Tomography. A Practical Approach to Clinical Protocols*", Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Westbrook C. (1999) "*Handbook of MRI Technique*" 2nd edition, Blackwell Publishing, Oxford.
- World Health Organization (2000) "*Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology*", WHO, Geneva.
- Κανδαράκης Ι. (1994) "*Φυσικές και τεχνολογικές αρχές Πυρηνικής Ιατρικής*", Έλλην, Αθήνα.
- Κανδαράκης Ι. (1994) "*Φυσικές και τεχνολογικές αρχές ακτινοδιαγνωστικής*", Έλλην, Αθήνα.
- Κανδαράκης Ι. (1994) "*Φυσικές και τεχνολογικές αρχές ακτινοδιαγνωστικής*", Έλλην, Αθήνα.
- Καραντάνας Α.Χ. (1997) "*Μαγνητική τομογραφία : Φυσικές αρχές - Ερμηνεία της εικόνας*", Βήτα, Αθήνα.
- Παλληκαράκης Ν., Νικηφορίδης Γ., Παναγιωτάκης Γ. (1993) "*Ιατρική φυσική - Τόμος 3*", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- Σκλαβούνος Π., Θανασούλας Κ. (1998) "*Διαγνωστικοί υπέρηχοι. Θεωρία & Εργαστήριο*", Ελληνικές Τεχνολογικές εκδόσεις, Αθήνα.

Οι εικόνες 1.1, 9.1 - 9.2 έχουν παραχωρηθεί από την εταιρεία Siemens

Οι εικόνες 7.1 - 7.2, 8.1, 10.1 - 10.2 έχουν παραχωρηθεί από την εταιρεία General Electric

Οι εικόνες 3.4- 3.5 έχουν παραχωρηθεί από την εταιρεία Philips

Η εικόνα 6.12 προέρχεται από εκπαιδευτική παρουσίαση της International Commission on Radiological Protection (ICRP).

Οι εικόνες 5.1 - 5.5, 5.13, 6.6 προέρχονται από τις ιστοσελίδες του δικτυακού τόπου "Medcyclopedia" της εταιρείας Amersham (<http://www.amershamhealth.com/medcyclopaedia/medical/>) η οποία επιτρέπει την αναπαραγωγή του υλικού που παρουσιάζεται στις σελίδες, για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Οι εικόνες 1.2 - 1.6, 2.1 - 2.23, 3.1 - 3.3, 4.1 - 4.11, 5.6 - 5.11, 6.1 - 6.5, 6.7 - 6.10, 7.3 - 7.12, 8.2 - 8.7, 9.3 - 9.6, 10.3 - 10.6 ανήκουν στους συγγραφείς.

Ενέργεια 2.3.2. « Ανάπτυξη των Τ.Ε.Ε. και Σ.Ε.Κ.»

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Μιχάλης Αγ. Παπαδόπουλος

Ομότιμος Καθηγητής του Α.Π.Θ.

Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Έργο: «Εκπόνηση βιβλίων, ντοσιέ και τετραδίων εργασίας και προγραμμάτων σπουδών της Τεχνικής Επαγγελματικής Εκπαίδευσης Τ.Ε.Ε.»

- Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου

Σωτήριος Γκλαβός

Αντιπρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

- Υπεύθυνη του Τομέα Υγείας και Πρόνοιας

Ματίνα Στάππα

Πάρεδρος ε.θ. του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Συντονιστική Επιτροπή του Έργου:

- **Βούτσιος Γεώργιος**, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, Επιστημονικός Υπεύθυνος του έργου έως 21/4/2004
- **Γκιζελή Βίκα**, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
- **Γκλαβός Σωτήριος**, Αντιπρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
- **Καφετζόπουλος Κωνσταντίνος**, Πάρεδρος με θητεία Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
- **Στάππα Ματίνα**, Πάρεδρος με θητεία Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
- **Καβαλάρη Παναγιώτα**, Εκπ/κος Α/θμιας Εκπ/σης, αποσπ. στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο
- **Μεργκούνη Καλλιόπη**, Εκπ/κος Β/θμιας Εκπ/σης, αποσπ. στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο


Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς την γραπτή άδεια του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

ΕΚΔΟΣΗ Β' 2007 - ΑΝΤΙΤΥΠΑ 1.000 - ΑΡ. ΣΥΜΒΑΣΗΣ: 17/ΙΟΥΛΙΟΣ 2007

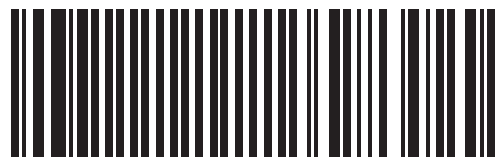
ΕΚΤΥΠΩΣΗ: IRIS ΛΕΒΕ - ΒΙΒΛΙΟΔΕΣΙΑ: Ν.ΛΙΑΠΗΣ ΒΙΒΛΙΟΔΕΤΙΚΗ Α.Ε

Κωδικός Βιβλίου: 0-24-0277
ISBN 978-960-06-3040-4

ITYE
"ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ"



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΕΚΔΟΣΕΩΝ



(01) 000000 0 24 0277 2



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΠΑΙΔΕΙΑ ΜΠΡΟΣΤΑ
2^ο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης