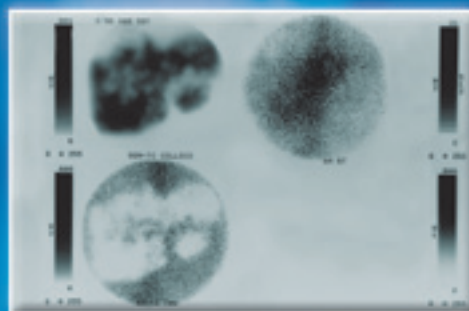
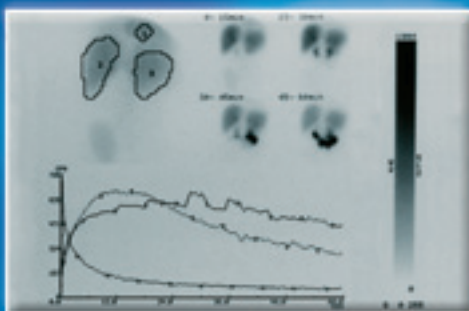
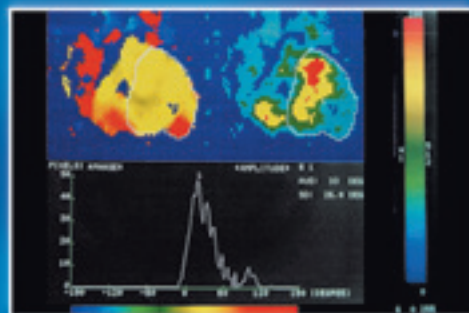
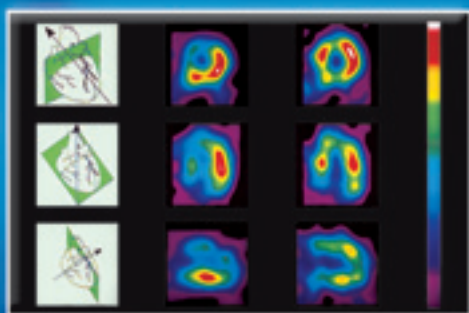


Κ. Καρακατσάνης • Ν. Καρατζάς • Α. Γκοτζαμάνη-Ψαρράκου • Γ. Άρσος

Πυρηνική Ιατρική



Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή των συγγραφέων

ISBN 960-431-879-9

© Copyright, 2003,

Γ. Άρσος, Άννα Γκοτζαμάνη-Ψαρράκου, Κ.Γ. Καρακατσάνης, Ν. Καρατζάς

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.



Φοτοστοιχειοθεσία
Εκτύπωση

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας
Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 23920.72.222 - Fax: 23920.72.229
e-mail: info@ziti.gr

Βιβλιοπωλείο

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Αρμενοπούλου 27 • 546 35 Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310.203.720, Fax 2310.211.305
e-mail: sales@ziti.gr

www.ziti.gr

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διδασκαλία της Πυρηνικής Ιατρικής ως υποχρεωτικού μαθήματος στα πλαίσια του εγκυκλίου προγράμματος σπουδών του Ιατρικού Τμήματος κρίνεται σήμερα απαραίτητη. Ο λόγος είναι ότι οι λειτουργικές πληροφορίες που δίνουν οι μέθοδοι και οι τεχνικές της Πυρηνικής Ιατρικής είναι μοναδικές και δεν είναι δυνατόν να ληφθούν επί του παρόντος με άλλες διαγνωστικές τεχνικές.

Η εκτίμηση της βιωσιμότητας του μυοκαρδίου σε μετεμφραγματικούς ασθενείς, η διαπίστωση της θέσης των μεταστατικών εστιών, η διάγνωση των εγκεφαλικών παθήσεων, η διαγνωστική προσέγγιση των μικρών παιδιατρικών ασθενών που πάσχουν από ουρολοιμώξεις, η μη επεμβατική διάγνωση της πνευμονικής εμβολής, η αντιμετώπιση ασθενών με ενδοκρινολογικά προβλήματα, η εκτίμηση των νεφρικών και ηπατικών μοσχευμάτων και οι εφαρμογές της ραδιο-ανοσο-αναλύσεως είναι λίγες από τις πολλές, καθημερινές εφαρμογές της Πυρηνικής Ιατρικής.

Οι συγγραφείς παραδίδουν στους φοιτητές ένα επίτομο διδακτικό εγχειρίδιο Πυρηνικής Ιατρικής με πλούσιο εικονογραφικό υλικό, απόσταγμα της μακρόχρονης εμπειρίας τους στην ειδικότητα αυτή.

Οι συγγραφείς

Κ.Γ. Καρακατσάνης, *Αν. Καθηγητής*

Ν. Καρατζάς, *Αν. Καθηγητής*

Α. Γκοτζαμάνη-Ψαρράκου, *Αν. Καθηγήτρια*

Γ. Άρσος, *Λέκτορας*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Φυσική της Πυρηνικής Ιατρικής - Εισαγωγικές έννοιες

Άννα Γκοτζαμάνη-Ψαρράκου

1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Ραδιονουκλίδια - Ραδιοφάρμακα	1
1.3	Όργανα της Πυρηνικής Ιατρικής	3
1.3.1	Επίπεδη γ - camera	3
1.3.2	Τομογραφική γ - camera (SPECT)	4
1.3.3	Ποζιτρονική Camera Εκπομπής (Positron Emission Tomography, PET)	5
1.4	Ακτινοπροστασία	6
1.4.1	Γενικά	6
1.4.2	Δοσιμετρία	7

2 Μυοσκελετικό Σύστημα

Νικόλαος Καρατζάς

2.1	Εισαγωγή	11
2.1.1	Η σύνθεση των οστών	11
2.1.2	Η σχέση του σπινθηρογράφηματος και της ακτινογραφίας οστών	12
2.2	Περί Ραδιοφαρμάκων	13
2.3	Η προπαρασκευή του ασθενή	15
2.4	Η εκτέλεση του σπινθηρογράφηματος των οστών	15
2.4.1	Οι φάσεις απεικόνισης του ^{99m} Tc MDP	15
2.5	Οι κύριες κλινικές ενδείξεις	16
2.6	Το φυσιολογικό σπινθηρογράφημα των οστών	16
2.6.1	Προβλήματα Μεθόδου	17
2.7	Το παθολογικό σπινθηρογράφημα των οστών	17
2.7.1	Εφαρμογές στην Ογκολογία	18

2.7.1.1	Μεταστάσεις.....	18
2.7.1.2	Πρωτοπαθείς όγκοι οστών και μαλακών μορίων	21
2.7.1.3	Τυχαίες βλάβες	21
2.7.2	Κατάγματα καταπόνησης και λοιπές οστικές τραυματικές βλάβες	21
2.7.3	Ανίχνευση μυϊκών ανωμαλιών	24
2.7.4	Αντανακλαστική Συμπαθητική Δυστροφία	
2.7.5	Λοιμώξεις και Φλεγμονές των οστών	26
2.7.5.1	Οξεία Οστεομυελίτιδα - Κυτταρίτιδα - Σηπτική αρθρίτιδα	27
2.7.5.2	Ορθοπεδικές προθέσεις	29
2.7.5.3	Διαβητική Νευροπαθητική Οστεοαρθροπάθεια	30
2.7.5.4	Οστεομυελίτιδα στα έλκη από κατάκλιση	30
2.7.6	Αρθρίτιδες	30
2.7.7	Άσηπτη νέκρωση (Acascular necrosis, AVN)	31
2.7.7.1	Επώδυνο ισχίο (Νόσος Legg - Calve - Perthe's, LCPD)	31
2.7.8	Η εκτίμηση βιωσιμότητας σε οστικό μόσχευμα	32
2.7.9	Μεταβολικές παθήσεις οστών	32
2.7.10	Η νόσος του Paget ή παραμορφωτική οστεΐτιδα	34
2.7.11	Το σπινθηρογράφημα του μυελού των οστών	34

3

Εφαρμογές στη Νευρολογία και Ψυχιατρική

Νικόλαος Καρατζάς

3.1	Εισαγωγή	37
3.1.1	Μέθοδοι απεικόνισης του εγκεφάλου	38
3.2	Τα Ραδιοφάρμακα για την εκτίμηση του ΚΝΣ	40
3.3	Η απεικόνιση του παθολογικού αιματοεγκεφαλικού φραγμού (Παλαιά Μέθοδος)	41
3.4	Η Ραδιοϊσοτοπική Δεξαμενογραφία	45
3.5	Η τομογραφική απεικόνιση του εγκεφάλου με SPECT ή PET (Νεότερες Μέθοδοι)	49
3.5.1	Η τομογραφική απεικόνιση της αιματικής διάχυσης του εγκεφάλου κατά περιοχές (rCBF)	49
3.5.2	Η μελέτη των νευροδιαβιβαστών και νευροϋποδοχέων με SPECT ή PET	64
3.5.2.1	Εισαγωγή - Περί Νευροδιαβιβαστικών Συστημάτων	64
3.5.2.2	Νευροεμφυλιστικές Παθήσεις με Διαταραχές Κινητικότητας	67
3.5.3	Όγκοι Εγκεφάλου: SPECT - PET	70
3.5.4	Το PET/SPECT Εγκεφάλου στην Ψυχιατρική	70

4α**Κυκλοφορικό Σύστημα**
Ραδιονουκλιδική αγγειογραφία (radionuclide angiography, RNA)

Γεώργιος Άρσος

4α.1	Εισαγωγή	75
4α.2	Αρχή, δυνατότητες, τεχνικές της ραδιονουκλιδικής αγγειογραφίας	75
4α.2.1	Αρχή και δυνατότητες της ραδιονουκλιδικής αγγειογραφίας	75
4α.2.2	Τεχνικές ραδιονουκλιδικής αγγειογραφίας	76
4α.3	Κλινικές Εφαρμογές	78
4α.3.1	Ενδείξεις - Χρησιμότητα	78
4α.3.2	Σύγκριση με τις άλλες μεθόδους	78

4.β**Κυκλοφορικό Σύστημα.**
Απεικόνιση της Άρδευσης του Μυοκαρδίου με Ραδιονουκλίδια

Κωνσταντίνος Γ. Καρακατσάνης

4β.1	Εισαγωγή	81
4β.1.1	Ραδιοφάρμακα	81
4β.1.2	Τεχνικές απεικόνισης της άρδευσης του μυοκαρδίου	83
4β.1.3	Τεχνικές κόπωσης στις μελέτες άρδευσης του μυοκαρδίου	85
4β.1.4	Ερμηνεία των Σπινθηρογραφικών Εικόνων	87
4β.1.5	Ψευδώς Θετικές και Ψευδώς Αρνητικές Μελέτες με ²⁰¹ Tl	88
4β.1.6	Κλινικές Ενδείξεις για Σπινθηρογράφημα με ²⁰¹ Tl	88
4β.1.7	Εκτίμηση της Πρόγνωσης στους Καρδιολογικούς Ασθενείς με το ²⁰¹ Tl	90
4β.1.8	Ανίχνευση του «Λαθροβιούντος» Μυοκαρδίου ως Κριτηρίου Επαναγγείωσης	91
4β.1.9	Η Ποζιτρονιακή (PET) στη Διαπίστωση του Λαθροβιούντος Μυοκαρδίου	92
4β.1.10	Λήψη Θεραπευτικών Αποφάσεων σε Ασθενείς με Διαγνωσμένη Στεφανιαία Νόσο	93

5**Αναπνευστικό Σύστημα**

Νικόλαος Καρατζάς

5.1	Εισαγωγή	97
5.2	Στοιχεία Ανατομίας και Φυσιολογίας	97
5.3	Ραδιοφάρμακα, προετοιμασία ασθενή, κύριες ενδείξεις	99
5.3.1	Το Σπινθηρογράφημα Πνευμονικής αιμάτωσης ή Διάχυσης (Perfusion Scan)	99
5.3.2	Σπινθηρογράφημα Αερισμού (Ventilation Scan, V)	101
5.3.3	Σπινθηρογραφική μελέτη ακεραιότητας επιθηλιακής διαπερατότητας	105

5.3.4	Σπινθηρογράφημα βλεννοκορροσσωτής κάθαρσης (Mucociliary Scan)	106
5.3.5	Η Δόση ακτινοβολίας από το σπινθηρογράφημα V/P	106
5.4	Η απεικόνιση του φυσιολογικού πνεύμονα με V/P ή V/Q σπινθηρογράφιση	107
5.5	Οι Κλινικές εφαρμογές του V/P ή V/Q scan	107
5.5.1	Η Διάγνωση της Πνευμονικής Εμβολής (ΠΕ)	107
5.5.2	Το Σπινθηρογράφημα V/P σε άλλες πνευμονικές βλάβες	118
5.5.3	Το Σπινθηρογράφημα με Κιτρικό Γάλλιο σε Ενδοθωρακικές Παθήσεις	122
5.5.4	Το Σπινθηρογράφημα Πνευμόνων με άλλα Ραδιοφάρμακα	122
5.5.5	Η Απεικόνιση - Εκτίμηση του Καρκίνου Πνεύμονα σε μελέτες PET και SPECT	123

6

Γαστρεντερικό Σύστημα

Άννα Γκοτζαμάνη-Ψαρράκου

6.1	Εισαγωγή	127
6.2	Σιαλογόνοι	127
6.3	Οισοφάγος - Στόμαχος	128
6.3.1	Ραδιοφάρμακα	128
6.3.2	Εφαρμογές	128
6.3.3	Τεχνικές	129
6.4	Ήπαρ - Σπλήν	132
6.4.1	Σπινθηρογράφημα με κολλοειδές	132
6.4.2	Σπινθηρογραφικές τεχνικές για μελέτες ήπατος-σπληνός	135
6.4.3	Μελέτες ηπατικής αιματικής ροής	135
6.5	Αιμαγγειώματα	137
6.6	Ηπατοχολικό σύστημα	138
6.6.1	Ραδιοφάρμακα	138
6.7	Αιμορραγία από το ΓΕΣ	145
6.7.1	Αίτια αιμορραγίας ανωτέρου ΓΕΣ	145
6.7.2	Αίτια αιμορραγίας κατωτέρου ΓΕΣ	145
6.7.3	Ανίχνευση εκτόπου γαστρικού βλεννογόνου (Μεγκέλειος απόφυση)	145
6.7.4	Ανίχνευση άλλων αιτίων αιμορραγίας από το ΓΕΣ	146
6.7.5	Σύγκριση των μεθόδων	147

7

Ουροποιητικό Σύστημα

Κωνσταντίνος Γ. Καρακατσάνης

7.1	Εισαγωγή	149
7.2	Ραδιοφάρμακα	149
7.3	Αρχές διαγνωστικών τεχνικών	150

7.3.1	Νεφρόγραμμα	150
7.3.2	Ραδιοϊσοτοπική κυστεογραφία	152
7.4	Ενδείξεις Ραδιοϊσοτοπικών Μελετών σε Παθήσεις των Νεφρών	152
7.4.1	Αποφρακτικά προβλήματα του ουροποιητικού συστήματος	152
7.4.2	Η διερεύνηση των ουρολοιμώξεων και της κυστεο-ουρητη- ρικής παλινδρόμησης (Κ.ΟΥ.Π.)	153
7.4.3	Η εκτίμηση των ασθενών με νεφραγγειακή υπέρταση	155
7.4.4	Εκτίμηση της λειτουργικότητας των νεφρικών μοσχευμάτων	156
7.5	Εκτίμηση της Νεφρικής ανεπάρκειας	158
7.5.1	Η οξεία νεφρική ανεπάρκεια	158
7.5.2	Η χρόνια νεφρική ανεπάρκεια	160
7.6	Λοιπές Εφαρμογές	160
7.7	Απορροφούμενες Δόσεις από Εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής	161

8

Ενδοκρινείς Αδένες

Κωνσταντίνος Γ. Καρακατσάνης

8.1	Θυρεοειδής Αδένας	163
8.1.1	Εισαγωγή – Αρχές Μεθόδων	163
8.1.2	Τα Χρησιμοποιούμενα Ραδιοφάρμακα	163
8.1.3	Ενδείξεις Σπινθηρογραφήματος του Θυρεοειδούς Αδένα	164
8.2	Παραθυρεοειδείς Αδένες	171
8.2.1	Εισαγωγή - Διάγνωση - Τεχνική	171
8.3	Τα Επινεφρίδια	174
8.3.1	Εισαγωγή	174
8.3.2	Παθήσεις του Φλοιού των Επινεφριδίων	174
8.3.3	Παθήσεις του Μυελού των Επινεφριδίων	177

9

Λοιμώξεις - Φλεγμονές

Κωνσταντίνος Γ. Καρακατσάνης

9.1	Εισαγωγή	181
9.2	Η Μελέτη των Διάφορων Λοιμώξεων και Φλεγμονών	181

10

Πυρηνική Ογκολογία

Γεώργιος Άρσος

10.1	Εισαγωγή	187
10.1.1	Γενικά	187
10.1.2	Εξελίξεις του απεικονιστικού εξοπλισμού	187

10.1.3	Εξελίξεις στα ραδιοφάρμακα	188
10.1.4	Η θέση της Πυρηνικής Ιατρικής στην Ογκολογική πράξη	188
10.2	Ραδιοφάρμακα και κλινικές εφαρμογές	190
10.2.1	Γενικά	190
10.2.2	⁶⁷ Ga citrate (κιτρικό γάλλιο)	190
10.2.3	²⁰¹ Tl chloride (χλωριούχο θάλλιο)	192
10.2.4	^{99m} Tc-MIBI (methoxyisobutylisonitrile, sestamibi)	195
10.2.5	^{131/123} I-MIBG (μεταϊωδοβενζυλγουανιδίνη)	196
10.2.6	¹¹¹ In-Octreotide (επισημασμένο ανάλογο της σωματοστατίνης)	198
10.2.7	Ραδιοφάρμακα για PET απεικόνιση	199
10.2.8	Ραδιοανοσοσπινθηρογράφηση (επισημασμένα μονοκλωνικά αντισώματα)	200
10.2.9	^{99m} Tc(V)-DMSA (πεντασθενές τεχνήτιο - διμερκαπτοσουξινικό οξύ)	200
10.3	Παρακολούθηση της λειτουργίας ζωτικών οργάνων	201
10.3.1	Καρδιά	201
10.3.2	Νεφροί	201
10.4	Νεότερες εξελίξεις	202
10.4.1	Απεικόνιση και ανίχνευση του «φρουρού» λεμφαδένα	202
10.4.2	Διεγχειρητικοί ανιχνευτές ακτινοβολίας	202

11

Θεραπευτικές Εφαρμογές της Πυρηνικής Ιατρικής

Γεώργιος Άρσος

11.1	Εισαγωγή	205
11.1.1	Γενικά	205
11.1.2	Παράγοντες που επηρεάζουν το θεραπευτικό αποτέλεσμα	205
11.1.3	Παράγοντες που επηρεάζουν την ακτινοβόληση των υγιών ιστών	208
11.2	Θεραπευτικές εφαρμογές	208
11.2.1	Υπερθυρεοειδισμός	208
11.2.2	Διαφοροποιημένα καρκινώματα του θυρεοειδούς	210
11.2.3	Ευθυρεοειδική οξώδης βρογχική	213
11.2.4	Ανακούφιση του πόνου από τις οστικές μεταστάσεις	214
11.2.5	Ραδιοϊσοτοπική υμενεκτομή	215
11.2.6	Θεραπευτικές εφαρμογές του ¹³¹ I-MIBG	215
11.2.7	Αληθής Πολυκυτταραιμία	216
11.2.8	Θεραπεία με έγχυση σε ορογόνες κοιλότητες	217
11.2.9	Ραδιοανοσοθεραπεία	218
11.2.10	Κρανοφαρυγγίωμα	218
11.2.11	Θεραπεία με ενδαρτηριακή έγχυση	219

12 Ειδικές Εφαρμογές της Πυρηνικής Ιατρικής

Γεώργιος Άρσος

12.1 In vitro Μετρήσεις Βιολογικών Ουσιών	221
12.1.1 Εισαγωγή	221
12.1.2 In vitro εφαρμογές	221
12.2 Καρκινικοί δείκτες (tumor markers)	224

13 Η απεικόνιση του φλεβικού και του λεμφικού συστήματος

Άννα Γκοτζαμάνη-Ψαρράκου

13.1 Φλεβικό σύστημα	227
13.1.1 Εισαγωγή	227
13.1.2 Διαγνωστικές μέθοδοι	227
13.1.3 Ραδιοφάρμακα	227
13.1.4 Τεχνική	228
13.1.5 Ευρήματα	228
13.1.6 Εντόπιση	229
13.1.7 Έμμεση ραδιοϊσοτοπική φλεβογραφία με ^{99m} Tc-RBC	229
13.1.8 Ραδιοϊσοτοπική φλεβογραφία των άνω άκρων	230
13.2 Λεμφικό σύστημα	232
13.2.1 Εισαγωγή	232
13.2.2 Ραδιοφάρμακα	232
13.2.3 Ανίχνευση του «φρουρού» λεμφαδένα	233
13.2.4 Εφαρμογές	234
13.2.5 Διερεύνηση λεμφικού οιδήματος των κάτω άκρων	234
13.2.6 Σύγκριση με άλλες μεθόδους	236
13.2.7 Δοσιμετρία	236

14 Λειτουργικές Παράμετροι στην Πυρηνική Ιατρική

Άννα Γκοτζαμάνη-Ψαρράκου

14.1 Θυρεοειδής	237
14.2 Καρδιά	237
14.3 Γαστρεντερικό σύστημα	238
14.4 Ήπαρ	239
14.5 Ηπατοχολικό σύστημα	239
14.6 Νεφροί	240
14.7 Ογκολογία	241

Άννα Γκοτζαμάνη-Ψαρράκου

1.1 Εισαγωγή

Πυρηνική Ιατρική είναι ο κλάδος της Ιατρικής που χρησιμοποιεί ραδιενεργά υλικά για την διάγνωση, την θεραπεία και την έρευνα ασθενειών.

Ήδη από το 1923 ο G. Henesy χρησιμοποίησε ένα φυσικό ραδιονουκλίδιο του μολύβδου για την in vivo μελέτη του μεταβολισμού του ασβεστίου σε φυτά. Το 1926 ο R. H. Stevens χορήγησε ενδοφλεβίως ραδιενεργό ράδιο για θεραπεία κακοήθους λεμφώματος. Το 1938 οι S. Herz, A. Roberts και D. Evans, χρησιμοποίησαν ραδιενεργό ιώδιο για την μελέτη της φυσιολογίας του θυρεοειδούς αδένος. Το ίδιο έτος ο G. Hamilton, μελέτησε την απορρόφηση ραδιενεργών ισotόπων νατρίου, καλίου, χλωρίου και ιωδίου σε φυσιολογικούς εθελοντές. Το 1940 οι G. Hamilton και H. Soley μελέτησαν τον μεταβολισμό του ιωδίου σε φυσιολογικούς μάρτυρες και σε ασθενείς με βρογχοκήλη. Υπάρχουν και άλλα παραδείγματα από εφαρμογές ραδιενεργών υλικών στην Ιατρική στα τέλη της δεκαετίας του 30 και τις αρχές της δεκαετίας του 40. Όμως κατά τη γνώμη πολλών επιστημόνων, καθοριστικής σημασίας για το μέλλον των ραδιονουκλιδίων στην Πυρηνική Ιατρική αλλά και σε άλλες επιστήμες, υπήρξε μια ανακοίνωση στις 24 Ιουνίου 1946 στο περιοδικό Science εκ μέρους του αρχηγείου του Manhattan Project (κατασκευή πυρηνικής βόμβας) στην Ουάσιγκτον των ΗΠΑ: **«Η παραγωγή ραδιονουκλιδίων σαν ιγνηθετών και για θεραπεία έχει**

αποφασισθεί να αποτελεί ένα μεγάλο τμήμα της ειρηνικής συνεισφοράς του αντιδραστήρα ουρανίου. Αυτή η χρήση του αντιδραστήρα αναντίρρητα θα είναι πλούσια σε επιστημονικές, ιατρικές και τεχνολογικές εφαρμογές». Στις 2 Αυγούστου του 1946 από το Εθνικό εργαστήριο των ΗΠΑ, Oak Ridge, πραγματοποιήθηκε η πρώτη αποστολή ραδιοϊσοτόπου σε Νοσοκομείο. Η εποχή των εφαρμογών των δυνατοτήτων της Πυρηνικής Φυσικής και Τεχνολογίας στην καθημέρα Ιατρική είχε αρχίσει.

1.2 Ραδιονουκλίδια - Ραδιοφάρμακα

Η σύγχρονη Πυρηνική Ιατρική χρησιμοποιεί πλειάδα ραδιονουκλιδίων για την επισήμανση των καταλλήλων για κάθε διαγνωστική ή θεραπευτική εφαρμογή ουσιών, οι οποίες φέρονται με το γενικό όνομα ραδιοφάρμακα.

Οι διαγνωστικές εφαρμογές αποτελούν την κύρια προσφορά της Πυρηνικής Ιατρικής. Από αυτές, η απεικόνιση της κατανομής του καταλλήλου ραδιοφαρμάκου σε ιστό ή όργανο του ασθενούς, αποτελεί την βασική πληροφορία στην οποία βασίζεται η διάγνωση.

Στον Πίνακα 1 αναφέρονται ορισμένα από τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα στην Πυρηνική Ιατρική ραδιονουκλίδια με τις φυσικές τους ιδιότητες. Τα ραδιοφάρμακα θα αναφέρονται αναλυτικά σε κάθε κεφάλαιο, ανάλογα με την χρήση τους.

Πίνακας 1. Ραδιονουκλίδια και φυσικές τους ιδιότητες

Νουκλίδιο και $T_{1/2}$	Είδος διασπάσεως	Ενέργεια φωτονίων (keV)	Ποσοστό εκπομπής (%)	Νουκλίδιο και $T_{1/2}$	Είδος διασπάσεως	Ενέργεια φωτονίων (keV)	Ποσοστό εκπομπής (%)
				Fe59 44.6 d	β^-	1099 1292	55.8 43.8
Cr51 27.7 d	ec	320	9.8	P32 14.3 d	β^- 1709 keV	—	—
Co58 70.8 d	β^+ ec	811	99.0	Se75 119.8 d	ec	97 121 136 265 280 401	3.5 17.3 59.0 59.1 25.2 11.6
Ga67 78.26 h	ec	91 185 209 300 394	3.6 23.5 2.6 16.7 4.4	Sr89 50.5 d	β^- 1463 keV	—	—
In111 2.8 d	ec	171 245	90.9 94.2	S35 87.4 d	β^- 167 keV	—	—
In113m 99.5min	it	390	64.0	Tc99m 6.02 h	it	140 143	88.5 0.03
I123 13.2 h	ec	27 159 529	86.0 83.4 1.4	Tl201 73.1 h	ec	68-82 Hg Xrays 135 167	95.0 2.65 10.0
I125 60.0 d	ec	35 Te Xrays 27-32	7.0 138.0	Xe133 5.25 d	β^- Cs Xrays	30-36 81	46.0 36.6
I131 8.04 d	β^-	80 284 364 673 723	2.4 5.9 81.8 7.2 1.	Y90 64.1 h	β^- 2274 keV	—	—

ec σύλληψη ηλεκτρονίου, it εσωτερική μετάπτωση

Τα ραδιοφάρμακα φέρονται υπό διάφορες μορφές, κυρίως όμως υπό ενέσιμη μορφή.

Απαραίτητη προϋπόθεση χορηγήσεως των ραδιοφαρμάκων στους ασθενείς είναι ο έλεγχος ποιότητας αυτών. Αυτός πραγματοποιείται στον τόπο παραγωγής αλλά και στο εργαστήριο χρησιμοποίησης του σκευάσματος, και περιλαμβάνει διάφορα στάδια και μετρήσεις. Αυτά αρχίζουν από την επιλογή των πρώτων υλών ανοργάνων και οργανικών, συνεχίζουν με τον έλεγχο της ραδιοχημικής καθαρότητας των προϊόντων που ενδιαφέρουν, μετά μελετάται η ραδιοϊσοτοπική καθαρότης και τέλος πραγματοποιείται ο μικροβιακός έλεγχος.

Από τα νουκλίδια τα αναφερόμενα στον Πίνακα 1, το ^{99m}Tc χρησιμοποιείται στο 80-85% των διαγνωστικών εξετάσεων της Πυρηνικής Ιατρικής. Κρίνεται επομένως χρήσιμο να γίνει μικρή αναφορά στην χημεία του νουκλιδίου αυτού.

Το τεχνητό, Tc, είναι το 43ο στοιχείο στον περιοδικό πίνακα στοιχείων. Είναι γνωστοί 21 ισότοποι και ισομερείς πυρήνες του με μαζικούς αριθμούς από 90-110. Από αυτούς ο μετασταθερός ^{99m}Tc είναι ο χρησιμοποιούμενος στην Πυρηνική Ιατρική. Η επιλογή του ^{99m}Tc οφείλεται στην συμβατή με την τεχνολογία των οργάνων της Πυρηνικής Ιατρικής ενέργεια των φωτονίων του, τον σχετικά μικρό αλλά επαρκή για τις εφαρμογές φυσικό χρόνο υποδιπλασιασμού, την ανυπαρξία σωματιδίων β που αυξάνουν τη δόση στον ασθενή και τέλος την ευχέρεια προμηθείας του μέσα στο εργαστήριο, με την γεννήτρια Mo-99 - ^{99m}Tc . Το ^{99m}Tc λαμβάνεται με την διαδικασία της εκλούσεως από την γεννήτρια που αποτελείται από στήλη αλουμίνας στην οποία είναι προσροφημένο το πατρικό του ^{99m}Tc ραδιονουκλίδιο, δηλαδή το Mo-99. Η εκλούση συνίσταται στην διοχέτευση φυσιολογικού ορού μέσω της στήλης οπότε σαν προϊόντα λαμβάνονται το κατιόν Na^+ και το υπερτεχνητικό ανιόν $^{99m}\text{TcO}_4^-$ σε διάλυμα.



Το Tc στην ανωτέρω μορφή είναι επτασθενές και χημικώς αυτή είναι και η σταθερότερη κατάσταση του. Αυτή η χημική μορφή δεν συνδέεται ούτε με τις λεγόμενες χηλικές ενώσεις, δηλαδή ενώσεις που περιέχουν δακτύλιο, ο οποίος συνδέει με αυτές το

μεταλλικό στοιχείο, ούτε προσκολλάται σε σωματίδια κατάλληλα για μελέτες πνευμόνων, οστών κλπ. Επομένως το υπερτεχνητικό ιόν πρέπει να μετατραπεί σε λιγότερο σταθερή κατάσταση του Tc θετικής φορτισμένη. Όταν το Tc είναι συνδεδεμένο με χηλικές ενώσεις, τότε εμφανίζεται με σθένη III,IV,V. Η ελάττωση του σθένους πραγματοποιείται κυρίως με τα εξής: ιόντα κασσιτέρου, χλωρικό σίδηρο, ασκορβικό οξύ, ιοντικό σίδηρο, συμπυκνωμένο HCl. Σε αυτή την μορφή το ^{99m}Tc συνδέεται με τις αντίστοιχες χηλικές ενώσεις για την παρασκευή ραδιοφαρμάκων όπως: ^{99m}Tc -δισαϊθυλενο-τριαμινο-πενταοξικό οξύ, (DTPA), τα ^{99m}Tc -γλυκοεπτονικό οξύ ή το ^{99m}Tc -διμερκαπτοσουκκινικό οξύ, (DMSA). Ένα ραδιοφάρμακο που χρησιμοποιείται ευρέως στις μελέτες του ήπατος είναι το θειούχο κολλοειδές. Το Tc παρουσία του H_2S ή του θειούχου νατρίου, σχηματίζει θειούχες ενώσεις. Η διαδικασία περιλαμβάνει την ελάττωση του σθένους του Tc με HCl, και τον σχηματισμό με το Na_2S , θειούχου ^{99m}Tc , το οποίο και σχηματίζει κολλοειδή εντός ρυθμιστικής ζελατίνης. Τα αναφερθέντα παραδείγματα είναι μόνο ενδεικτικά για να περιγράψουν την μεγάλη ποικιλία των εμπορικών συσκευασιών (kits) που υπάρχουν για την παρασκευή ραδιοφαρμάκων επισημασμένων με ^{99m}Tc μέσα στο εργαστήριο όπου και χρησιμοποιούνται.

1.3 Όργανα της Πυρηνικής Ιατρικής

1.3.1 Επίπεδη γ - camera

Η γ-camera αποτελεί το βασικό διαγνωστικό σύστημα της Πυρηνικής Ιατρικής. Παλαιότερα όργανα όπως οι γραμμικοί σπινθηρογράφοι έχουν ουσιαστικά εκλείψει.

Η γ-camera κατασκευάστηκε το 1958 από τον H.O.Anger. Αποτελείται από έναν κρυσταλλικό σπινθηριστή NaI(Tl) κυκλικό ή τετράγωνο, διαμέτρου 30-50 cm και πάχους 0.6 έως 1.8 cm. Σε άριστη μηχανική και οπτική επαφή με τον κρυστάλλο από την μία του όψη είναι συνδεδεμένοι έως και 91 φωτοπολλαπλασιαστές σε πολυγωνική ή κυκλική διάταξη. Το σύστημα κρυστάλλου-φωτοπολλαπλασιαστών αποτελεί την «κεφαλή» του

οργάνου και ευρίσκεται εντός θωρακίσεως από Pb ώστε να αποκόπτεται από τον κρύσταλλο η ακτινοβολία του περιβάλλοντος. Η μία όψη της κεφαλής δεν φέρει θωράκιση αλλά από αυτήν ο κρύσταλλος βλέπει τον ασθενή μέσω ενός οργάνου που ονομάζεται κατευθυντήρας. Το όργανο αυτό είναι κατασκευασμένο από Pb, έχει πάχος μερικών cm, και φέρει ένα μεγάλο αριθμό οπών μέσω των οποίων τα φωτόνια που προέρχονται από το σώμα του ασθενούς, προσβάλλουν τον κρύσταλλο. Ο κατευθυντήρας χρησιμεύει στην κατά το μεγαλύτερο ποσοστό αποκοπή των φωτονίων που προέρχονται από το σώμα του ασθενούς από σκέδαση Compton και που όταν προσβάλλουν τον κρύσταλλο δημιουργούν ψευδείς πληροφορίες κατανομής του χορηγηθέντος ραδιοφαρμάκου. Ανάλογα με την ενέργεια των φωτονίων του ραδιονουκλιδίου και την πραγματοποιούμενη εξέταση, για κάθε γ -camera υπάρχουν διάφοροι κατευθυντήρες.

Όταν τα φωτόνια που προέρχονται από το σώμα του ασθενούς, μέσω των οπών του κατευθυντήρα εισέρχονται στον κρύσταλλο, χάνουν ενέργεια λόγω των μηχανισμών αλληλεπιδράσεως μεταξύ της ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της ύλης. Η ενέργεια που απορροφά ο κρύσταλλος διεγείρει την ηλεκτρονική δομή του με αποτέλεσμα κατά την αποδιέγερση να εκπέμπονται φωτόνια στην ορατή περιοχή του φάσματος, οι σπινθηρισμοί. Η ένταση των σπινθηρισμών είναι ανάλογη της απορροφηθείσης ενέργειας και είναι μέγιστη όταν η απορρόφηση οφείλεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο κατά το οποίο απορροφάται ολόκληρη η ενέργεια του φωτονίου. Οι φωτοπολλαπλασιαστές, με την βοήθεια ειδικού ηλεκτρονικού κυκλώματος, δημιουργούν τέσσερις παλμούς τάσεως κατά τις τέσσερις διευθύνσεις συστήματος ορθογωνίων Oxy αξόνων παραλλήλων προς την επιφάνεια του κρυστάλλου. Οι κατά τον άξονα Ox δύο παλμοί συνδυαζόμενοι παράγουν ένα τελικό. Το αυτό και για τους δύο παλμούς κατά τον άξονα Oy. Το ύψος των παλμών αυτών (παλμοί θέσεως) είναι ανάλογο των συντεταγμένων του σημείου του κρυστάλλου που δημιουργείται ο σπινθηρισμός, ενώ το ολικό άθροισμα του ύψους των παλμών είναι ανάλογο της ενέργειας των φω-

τονίων. Εάν το ύψος του παλμού ενέργειας περιλαμβάνεται μέσα στα προτοποθετημένα μέσω του συστήματος γ -φασματομετρίας επιθυμητά όρια ενέργειας, τότε στις παλαιότερες αναλογικές γ -camera το κατά τους άξονες Ox και Oy ζεύγος παλμών, κατηύθυνε την ηλεκτρονική δέσμη ενός παλμογράφου στην οθόνη σε θέση ανάλογη με την θέση του σπινθηρισμού στον κρύσταλλο. Ο φθορισμός της οθόνης του παλμογράφου προσέβαλε φωτογραφικό ή ακτινογραφικό φιλμ οπότε με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονταν η εικόνα. Στις σύγχρονες ψηφιακές γ -camera οι παλμοί θέσεως προσθέτουν κάθε φορά μια μονάδα στις θέσεις της μνήμης λήψεως των πληροφοριών του συστήματος. Οι θέσεις αυτές αντιστοιχούν σε μικρές περιοχές του κρυστάλλου στις οποίες συνέβησαν οι σπινθηρισμοί και αποτελούν τα στοιχεία εικόνας (pixels). Το αριθμητικό περιεχόμενο της μνήμης αντιστοιχεί σε κωδικό χρωμάτων και εμφανίζεται σαν εικόνα σε μια ψηφιακή οθόνη.

Με τα συστήματα γ -camera είναι δυνατή η λήψη πολλών εικόνων συναρτήσεως του χρόνου, οπότε έτσι γίνεται δυνατή η απεικόνιση της μεταβολής της κατανομής του ραδιοφαρμάκου από το εξεταζόμενο όργανο συναρτήσεως του χρόνου (δυναμική μελέτη). Υπάρχουν πακέτα προγραμμάτων με τα οποία γίνεται επεξεργασία των εικόνων (image processing) ώστε από καμπύλες ή άλλα στοιχεία, να διευκολύνεται η διάγνωση.

1.3.2 Τομογραφική γ - camera (SPECT)

Η λαμβανόμενη από μια γ -camera εικόνα αποτελεί μία διδιάστατη προβολή μιας τρισδιάστατης κατανομής του ραδιοφαρμάκου, εντός του σώματος του ασθενούς.

Η απόκτηση της πληροφορίας της τρίτης διάστασης επιτυγχάνεται με την μεθοδολογία της τομογραφίας. Το σύστημα εφαρμογής της ονομάζεται SPECT από τα αρχικά των λέξεων Single Photon Emission Computed Tomography. Ένα σύστημα SPECT αποτελείται από μία ή και περισσότερες κεφαλές γ -camera με δυνατότητα αυτόματης και προγραμματιζόμενης περιστροφής της γύρω από τον ασθενή, σε επιθυμητή ακτίνα και ταχύτητα περιστροφής

Για την πραγματοποίηση της τομογραφίας πρέπει να ληφθούν εικόνες της κατανομής του ραδιοφαρμάκου υπό διάφορες γωνίες. Στην πράξη οι εικόνες αυτές είναι κοινές διδιάστατες λήψεις που λαμβάνονται με την προγραμματισμένη αυτόματη περιστροφή της κεφαλής ή των κεφαλών του συστήματος SPECT. Η κάθε λήψη ονομάζεται προβολή της κατανομής της ραδιενέργειας. Η βασική διεργασία στην προβολή είναι η άθροιση της ραδιενέργειας κατά μήκος φανταστικών ακτίνων οι οποίες ξεκινούν από τον ανιχνευτή και περνούν μέσα από την ραδιενεργό πηγή. Οι ακτίνες αυτές ονομάζονται ακτίνες προβολής (projection rays). Το άθροισμα της ραδιενέργειας κατά μήκος μίας ακτίνας προβολής είναι το ακτινικό άθροισμα (ray sum). Οι κατευθυντήρες που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση καθορίζουν την σχετική προέλευση των ακτίνων προβολής.

Το ακτινικό άθροισμα ορίζεται ως το γραμμικό ολοκλήρωμα της ραδιενέργειας κατά μήκος μιας ακτίνας προβολής. Στην πράξη η ραδιενέργεια αθροίζεται κατά μήκος των ακτίνων προβολής οι οποίες έχουν διαστάσεις που δίδονται από το εύρος του κάθε στοιχείου εικόνας με το οποίο τέμνεται η ακτίνα προβολής. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων για να προκύψουν οι τομές του εξεταζόμενου οργάνου ή η τρισδιάστατη παρουσίαση αυτού, γίνονται διορθώσεις για απορρόφηση φωτονίων και μεταβολές στην ευαισθησία και τη διακριτική ικανότητα κατά μήκος των ακτίνων προβολής. Η ανασύνθεση της τομογραφικής εικόνας περιλαμβάνει δύο στάδια, την οπισθοπροβολή (backprojection) και την ελάττωση των σφαλμάτων της οπισθοπροβολής. Η οπισθοπροβολή είναι μια διαδικασία κατά την οποία τα δεδομένα των προβολών επανεισάγονται στο χώρο κατά μήκος των ακτίνων προβολής από τις οποίες προέρχονται. Με την οπισθοπροβολή επίσης καθορίζεται η γεωμετρία βάσει της οποίας συντίθενται οι τομογραφικές εικόνες. Η όλη επεξεργασία γίνεται με εξελιγμένα συστήματα υπολογιστών και αριθμητικούς αλγορίθμους οι οποίοι χρησιμοποιούν προσεγγιστικές μεθόδους και εφαρμόζουν διορθώσεις με την χρήση ειδικών μαθηματικών φίλτρων και εφαρμογών της θεωρίας Fourier. Στα σύγχρονα συστήματα SPECT υπάρχει η δυνατότητα με ειδική

επεξεργασία των δεδομένων από τις λαμβανόμενες προβολές να προκύψουν τομές εγκάρσιες, οβελιαίες ή στεφανιαίες ή ακόμη τομές κατά μήκος ανατομικών αξόνων του εξεταζόμενου οργάνου ή συστήματος όπως π.χ. η καρδιά.

Υπάρχουν τομογραφικές κάμερες με μία, δύο ή τρεις κεφαλές, για διάφορες χρήσεις. Η τελευταία εξέλιξη των συστημάτων αυτών είναι σύστημα SPECT, με δυνατότητα λειτουργίας και ως PET, (υβριδική κάμερα PET) στο οποίο υπάρχει ενσωματωμένος αξονικός τομογράφος με λυχνία ακτίνων X χαμηλής ενεργείας. Ο σκοπός των συστημάτων αυτών είναι να γίνεται συνδυασμός των λειτουργικών πληροφοριών από το σπινθηρογράφημα, με τις ανατομικές λεπτομέρειες της αξονικής τομογραφίας με συγχώνευση (fusion) των δύο εικόνων για να αυξάνουν οι διαγνωστικές πληροφορίες από την μελέτη.

1.3.3 Ποζιτρονική Camera Εκπομπής (Positron Emission Tomography, PET)

Η ποζιτρονική τομογραφία εκπομπής αποτελεί επίσης τομέα της Πυρηνικής Ιατρικής. Είναι τεχνική λήψεως τομογραφικών εικόνων της κατανομής ραδιενεργών ιχνηθετών, οι οποίοι εκπέμπουν ποζιτρόνια. Οι εικόνες αυτές αντιπροσωπεύουν φυσιολογικές και βιοχημικές διεργασίες στην υπό εξέταση περιοχή.

Τα ποζιτρόνια (θετικά ηλεκτρόνια) εκπέμπονται από ραδιενεργούς πυρήνες με περίσσεια πρωτονίων. Κινούνται μόνο μερικά χιλιοστά μέσα στην ύλη έως ότου συναντήσουν και συγκρουσθούν με ένα αρνητικό ηλεκτρόνιο. Η σύγκρουση αυτή της ύλης-αντιύλης καταλήγει στην εξαύλωση των δύο σωματιδίων και στη δημιουργία δύο φωτονίων ακτίνων γ , ενεργείας 511 keV το κάθε ένα. Τα φωτόνια εξαύλωσης όπως ονομάζονται, εκπέμπονται κατά αντίθετες διευθύνσεις, υπό γωνία 180° .

Οι ανιχνευτές ποζιτρονίων οι οποίοι ανιχνεύουν το ζεύγος των ακτίνων γ που προκύπτει από την εξαύλωση ποζιτρονίου-ηλεκτρονίου είναι τοποθετημένοι ο ένας απέναντι του άλλου σε αντίθετα σημεία ως προς την πηγή των ποζιτρονίων. Καταγράφουν μία μέτρηση όταν και οι δύο ανιχνεύσουν ένα

φωτόνιο την ίδια ακριβώς στιγμή, δηλαδή ένα γεγονός συμπτώσεως. Ένα σύστημα PET αποτελείται από πολλούς ανιχνευτές, δεκάδες έως εκατοντάδες, τοποθετημένους σε κυκλική ή πολυγωνική διάταξη γύρω από τον ασθενή στον οποίο έχει χορηγηθεί ένα ραδιονουκλίδιο που εκπέμπει ποζιτρόνια. Ηλεκτρονικά κυκλώματα και υπολογιστές ζευγνύουν τους ανιχνευτές ώστε να λειτουργούν σε σύμπτωση. Ένας ανιχνευτής στη μία πλευρά του σώματος έχει συζευχθεί ώστε να μετρά σε σύμπτωση με ανιχνευτές στην αντίθετη πλευρά του σώματος. Δύο συζευγμένοι ανιχνευτές σε αντίθετα σημεία του σώματος οι οποίοι ανιχνεύουν ταυτοχρόνως ένα γεγονός συμπτώσεως καθορίζουν μία νοητή ευθεία πάνω στην οποία βρίσκεται η πηγή. Μαθηματικά φίλτρα και τεχνικές επεξεργασίας της εικόνας, μέσω υπολογιστών χρησιμοποιούνται για να ανασυνθέσουν εικόνες από αυτές τις πληροφορίες.

Οι κάμερες PET μπορούν να έχουν περισσότερους από έναν δακτυλίους ανιχνευτών. Κυκλώματα συμπτώσεως έχουν τη δυνατότητα να ζεύξουν ανιχνευτές όχι μόνον στον ίδιο δακτύλιο αλλά και σε γειτονικούς δακτυλίους. Έτσι π.χ. ένα σύστημα με οκτώ δακτυλίους μπορεί να παράγει εικόνες 15 τομών ταυτοχρόνως με αρκετά εκατομμύρια κρούσεις ανά εικόνα. Οι εικόνες μπορούν να λαμβάνονται με ρυθμό κατάλληλο και για πραγματοποίηση δυναμικών μελετών. Οι απαιτήσεις για την επεξεργασία των δεδομένων σε αυτά τα συστήματα είναι πολύ υψηλές. Στα συστήματα PET εν αντιθέσει με τα SPECT δεν υπάρχουν δυσκολίες στον καθορισμό του σημείου προελεύσεως των πληροφοριών. Διορθώσεις για εξασθένηση της ενεργείας των ανιχνευόμενων φωτονίων εξαϋλώσεως, μπορούν να γίνουν με την βοήθεια κατάλληλης βαθμολογίας. Έτσι αυτά τα χαρακτηριστικά της κάμερας PET επιτρέπουν ποσοτικές εκτιμήσεις βάσει της κατανομής της συγκεντρώσεως του ραδιονουκλιδίου.

Σήμερα ως ποζιτρονιακές κάμερες χρησιμοποιούνται και τομογραφικές κάμερες (SPECT), με τροποποίηση της λειτουργίας τους και κατάλληλους κατευθυντήρες, σε μια προσπάθεια να ελαττωθεί το κόστος λειτουργίας του PET. Αυτές είναι οι λεγόμενες υβριδικές κάμερες, από δε την έως τώρα εμπειρία, τα αποτελέσματα είναι σχετικώς ικανοποιητικά. Απαιτείται περαιτέρω βελτίωση αυτών για

να φθάσουν το επίπεδο της ποιότητας της απεικόνισης με PET. Τελευταία εξέλιξη των συστημάτων PET αποτελεί ο συνδυασμός PET με CT (ή PET με MRI) με πολύ καλά διαγνωστικά αποτελέσματα.

Τα ραδιονουκλίδια που έχουν την ιδιότητα της εκπομπής ποζιτρονίων και χρησιμοποιούνται σε μελέτες PET είναι στοιχεία μεγάλου βιολογικού ενδιαφέροντος, και αναφέρονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Ραδιονουκλίδια για PET

Νουκλίδιο	$T_{1/2}$ (min)	Πυρηνική αντίδραση παραγωγής
^{11}C	20.4	$^{10}\text{B(d,n)}$
^{13}N	10.0	$^{12}\text{C(d,n)}$
^{15}O	2.09	$^{14}\text{N(d,n)}$
^{18}F	109.8	$^{20}\text{Ne(d,a)}$

1.4 Ακτινοπροστασία

1.4.1 Γενικά

Η Πυρηνική Ιατρική χρησιμοποιεί ραδιονουκλίδια κυρίως για τη διάγνωση αλλά και για την θεραπεία ασθενειών. Σαν αποτέλεσμα, οι ασθενείς αλλά και ο εν γένει πληθυσμός δέχονται ορισμένες δόσεις ακτινοβολίας, αν και σαν αμοιβή, απολαμβάνουν την ωφέλεια που προκύπτει από την άνοδο της ποιότητας των υπηρεσιών υγείας. Βεβαίως οι υπηρεσίες υγείας σε κάθε χώρα διαφέρουν ως προς την ποιότητα. Διεθνώς οι χώρες κατατάσσονται σε τέσσερα επίπεδα υπηρεσιών υγείας με κύριο κριτήριο τον αριθμό των ιατρών της χώρας. Στην επιπέδου I στην οποία κατατάσσεται και η Ελλάδα, αντιστοιχεί ένας τουλάχιστον ιατρός ανά 1000 κατοίκους. Στην επιπέδου II ένας ανά 1000-3000 κατοίκους, στην επιπέδου III ένας ανά 3000-10000 κατοίκους και στην επιπέδου IV ένας ιατρός για περισσότερους από 10000 κατοίκους. Για το χρονικό διάστημα 1985-1990 αντιστοιχούν για τις χώρες επιπέδου I, 16 εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής

ανά 1000 κατοίκους, ανά έτος, ενώ για τα άλλα επίπεδα είναι αντιστοίχως 0.5, 0.3 και 0.1. Συγκριτικά οι διαγνωστικές εξετάσεις με ακτίνες X για την αυτή ομάδα χωρών ήταν 890 ανά 1000 κατοίκους. Σε ότι αφορά στη συχνότητα των πραγματοποιούμενων εξετάσεων, για την ομάδα χωρών επιπέδου I, το 30% αφορούσε ραδιοϊσοτοπικές εξετάσεις οστών, το 20% εξετάσεις πνευμόνων, το 15% καρδιαγγειακές μελέτες, το 15% μελέτες θυρεοειδούς, το 5-10% μελέτες νεφρών, το 5-10% μελέτες ήπατος - σπλήνους και το 5% μελέτες εγκεφάλου.

1.4.2 Δοσιμετρία

Οι απορροφούμενες δόσεις, τα ενεργά ισοδύναμα δόσεως και η ενεργός δόση ανά μονάδα χορηγούμενης ενεργότητας του ραδιοφαρμάκου, υπολογίζονται διεθνώς ή με το σύστημα που προτείνει η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (ICRP Publication 53) ή με το ανάλογο και γενικά ισότιμο σύστημα της Ιατρικής Επιτροπής Εσωτερικής Δόσεως (MIRD reports).

Το πρώτο βήμα της δοσιμετρίας αφορά στον υπολογισμό **της απορροφούμενης δόσεως**. Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών, τα όργανα και οι ιστοί του ανθρωπίνου σώματος χωρίζονται ανάλογα με το ζητούμενο, σε όργανα στόχους και σε όργανα πηγές. Είναι προφανές ότι ένα όργανο στόχος είναι ταυτόχρονα και όργανο πηγή για κάποιο άλλο όργανο.

Τα απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς των απορροφούμενων δόσεων είναι:

1. Η χορηγούμενη ενεργότητα του ραδιονουκλιδίου που χορηγείται (Bq)
2. Η ειδική ενεργότητα (Bq/g) ή η συγκέντρωση (Bq/m³) του ραδιοφαρμάκου στα όργανα πηγές
3. Η μάζα του οργάνου - στόχου
4. Φυσικά δεδομένα του ραδιονουκλιδίου, δηλαδή ο φυσικός χρόνος υποδιπλασιασμού, το είδος και ο αριθμός των παραγομένων σωματιδίων και φωτονίων ανά διάσπαση, και η μέση ενέργεια τους.

Για τις περισσότερες διαγνωστικές εξετάσεις υπάρχουν τα παραπάνω δεδομένα σε πίνακες, οπότε υπολογίζεται από αυτούς η μέση απορροφούμενη δόση από το όργανο πηγή στο όργανο στόχος. Η ολική δόση του κάθε οργάνου στόχου σε κάθε εξέταση, προκύπτει από το άθροισμα των επί μέρους δόσεων που οφείλονται σε όλα τα όργανα πηγές. **Το ενεργό ισοδύναμο δόσεως** είναι η δόση με την οποία αν ακτινοβολούνταν ο ασθενής ολόσωμα και ομοιόμορφα θα είχε την αυτή πιθανότητα εμφανίσεως στοχαστικών αποτελεσμάτων. Υπολογίζεται από το άθροισμα των επί μέρους δόσεων των οργάνων, αφού αυτές πολλαπλασιασθούν επί έναν συντελεστή, τον **συντελεστή βαρύτητας ιστού**, του οποίου οι τιμές για τα διάφορα όργανα δίδονται σε πίνακα των κανονισμών Ακτινοπροστασίας.

Στον Πίνακα 3 φαίνονται τιμές ενεργών ισοδυνάμων δόσεων για εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής, σε χώρες επιπέδου υγείας I.

Πίνακας 3 Ενεργές ισοδύναμες δόσεις (mSv)

Νουκλίδιο	Τσεχοσλοβακία (1987)	Ιταλία (1989)	Δανία (1990)	Ελλάς (1994)
Οστά	4.5	0.5	1.1 – 6.8	6.0
Εγκέφαλος	3.5 – 6	3.7	0.6 – 11.3	4.7 – 9.6
Καρδιαγγειακό	4.3 – 17.2	13	3.0 – 22.5	2.4
Ήπαρ/Σπλήνας	1.4 – 3.5	1.9	0.9 – 2.6	2.0
Αερισμός πνευμόνων	---	---	0.07 – 0.25	0.5

Η παρουσιαζόμενη στον Πίνακα 3 διαφορά τιμών για το αυτό όργανο, οφείλεται στα διάφορα χρησιμοποιούμενα ραδιοφάρμακα και στις χορηγούμενες ενεργότητες. Η μέση δόση ανά εξέταση, στις χώρες επιπέδου I υπολογίζεται σε 5.7 mSv. Για την Β. Ελλάδα έχει υπολογισθεί σε 3.14 mSv ανά εξέταση. Η ανά κάτοικο ετησία δόση στις χώρες αυτές εκτιμάται σε 0.09 mSv, ενώ για την περιοχή της Β. Ελλάδος σε 0.03 mSv. Παρουσιάζει ενδιαφέρον για σύγκριση η ανά κάτοικο τιμή δόσεως από τις διαγνωστικές εξετάσεις με ακτίνες X, που για τις χώρες αυτές εκτιμάται σε 1mSv ανά έτος. Πρέπει όμως να ληφθεί υπ' όψη ότι οι εξετάσεις με ακτίνες X είναι 57 φορές περισσότερες.

Ένα πρόβλημα το οποίο συχνά παρουσιάζεται στις εξετάσεις Πυρηνικής Ιατρικής προκύπτει από το γεγονός ότι ο ασθενής στον οποίο έχει χορηγηθεί το ραδιοφάρμακο, αποτελεί πηγή ακτινοβολήσεως για το περιβάλλον του. Στον Πίνακα 4 δίδονται οι ρυθμοί ισοδύναμων δόσεως από επιλεγμένες εξετάσεις. Ο ανωτέρω πίνακας είναι χρήσιμος για τους επαγγελματίες εργαζόμενους σε τμήματα Πυρηνικής Ιατρικής, για τους οποίους το όριο εργασίας (working limit) είναι 10 $\mu\text{Sv/h}$, και επομένως απαιτούνται μέτρα Ακτινοπροστασίας.

Οι Κανονισμοί Ακτινοπροστασίας στην Ελλάδα ακολουθούν τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ενώσεως και είναι δημοσιευμένοι στην εφημερίδα της

Πίνακας 4 Ρυθμοί ισοδύναμων δόσεως με πηγή τον ασθενή

Όργανο	Ραδιοφάρμακο	Χορηγούμενη ενεργότητα MBq (mCi)	Χρόνος από τη χορήγηση	Απόσταση	Ρυθμός ισοδύναμου δόσεως $\mu\text{Sv/h}$
			0	Δίπλα στο κρεβάτι	25
Οστά	Tc-99m MDP	740 (20)	0	100 cm	9
			1 h	100 cm	6.3
			2 h	100 cm	4.7
			3 h	100 cm	3.5
Ήπαρ-Σπλήνας	Tc-99m S colloid	150 (4)	0	100 cm	2
Καρδιά-Αιματική δεξαμενή	Tc-99m RBC	740 (20)	0-20 min	100 cm	14
Όγκοι Φλεγμονές	Ga-67 citrate	110 (3)	0	110 cm	3.5
ENY	In-111 DTPA	19 (0.5)	0	100 cm	0.8
Καρδιά	Tl-201 chloride	190 (5)	0	Δίπλα στο κρεβάτι	4
Καρδιά	Tc-99m HSA	190 (5)	0	Δίπλα στο κρεβάτι	15

Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 539/19-7-91). Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα βασικά όρια έχουν ήδη μεταβληθεί, διότι η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας εισηγείται σημαντικές αλλαγές, τις οποίες η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη συμπεριλάβει στην οδηγία της 96/29/Euratom 31-5-96. **Για τους επαγγελματικά εργαζόμενους** το βασικό όριο των 50 mSv (5 rem) ανά έτος, γίνεται **20 mSv ανά έτος**, σαν μέση τιμή 5 συνεχομένων ετών, χωρίς όμως σε οιοδήποτε έτος να υπερβαίνει την τιμή των 50 mSv. **Για μέλος του πληθυσμού μη επαγγελματικά εργαζόμενο με ακτινοβολίες**, το ετήσιο όριο των 5 mSv (0.5 rem) ελαττώνεται στο **1 mSv (0.1 rem)**. Στα ανωτέρω όρια δεν συμπεριλαμβάνονται οι δόσεις από ιατρικές εκθέσεις, για τις οποίες δεν υπάρχει όριο. Αυτό διότι η ιατρική έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία για διάγνωση ή θεραπεία, θεωρείται και πρέπει να είναι πλήρως αιτιολογημένη και με απόλυτο όφελος του ασθενούς. Υπάρχει όμως το νέο στοιχείο, ότι για πρώτη φορά πρέπει να υπάρξει περιορισμός της εκθέσεως του πληθυσμού σε ιατρική ακτινοβολία, με έλεγχο της σκοπιμότητας δημιουργίας νέων εργασιών και διασφαλίσεως της ποιότητας του εξοπλισμού και των παρεχομένων υπηρεσιών. Τέλος, για τις γυναίκες τις επαγγελματικά εργαζόμενες και σε κατάσταση εγκυμοσύνης, από τη στιγμή

της διαγνώσεώς της, το κάτω μέρος της κοιλίας δεν πρέπει να εκτεθεί σε δόση υψηλότερη από 2 mSv για το υπόλοιπο της κήσεως. Πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι όλα τα ανωτέρω όρια αναφέρονται στο σύνολο της εκθέσεως από εξωτερική και εσωτερική ακτινοβολία.

Βιβλιογραφία

1. Euratom: Οδηγία 84/467
2. Euratom: Οδηγία 96/29, 31-5-96
3. ΦΕΚ 539/19-7-91. Κανονισμοί Ακτινοπροστασίας
4. ICRP 53: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53, Pergamon Press, 1988
5. ICRP 60: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, 1990
6. Freeman and Johnson's Clinical Radionuclide Imaging, Vol. I, Grune and Stratton, 1984
7. Freeman and Johnson's Clinical Radionuclide Imaging, Vol. III, Grune and Stratton, 1986
8. UNSCEAR: Sources and Effects of Ionizing Radiation, 1993
9. Ψαρράκος Κ. Ιατρική Φυσική, Τόμος Α', Στοιχεία Ακτινοφυσικής, Έκδοση Γ', University Studio, Θεσσαλονίκη, 1997

2.1 Εισαγωγή

Σε ένα σύγχρονο τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής το σπινθηρογράφημα των οστών είναι η πιο συχνή εξέταση μετά τις εξετάσεις του καρδιαγγειακού συστήματος. Εκτιμά την ανατομία και τη φυσιοπαθολογία του οστέινου σκελετού σε μία μόνο εξέταση. Μαζί με τα υπόλοιπα κλινικά και εργαστηριακά δεδομένα συμπληρώνει σημαντικά τη διάγνωση, την πρόγνωση και την παρακολούθηση της θεραπείας του ασθενή.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- η υψηλή ευαισθησία του, κυρίως με την απεικόνιση της οστικής ανωμαλίας από την αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου (θερμή περιοχή) στη θέση της βλάβης (απεικόνιση του οστεοβλαστικού μεταβολισμού), ενώ με μικρότερη ευαισθησία θα απεικονίσει τις αμιγείς οστεολυτικές βλάβες ως ελλειμματικές περιοχές πρόσληψης ραδιοφαρμάκου (ψυχρές περιοχές),
- η πρώιμη ανίχνευση της παθολογικής οστεοβλαστικής δραστηριότητας (εστιακή ή διάχυτο) σε σχέση με τον ακτινολογικό έλεγχο,
- η ολοσωματική απεικόνιση με ασφαλή μικρή δόση ακτινοβολίας και με μικρό οικονομικό κόστος,
- η απεικόνιση δύσκολων περιοχών για τον ακτινολογικό έλεγχο όπως το στέρνο, η ωμοπλάτη και μερικές φορές οι πλευρές και το ιερό οστό.

Οι περιορισμοί της μεθόδου είναι:

- Η μικρότερη διακριτική ικανότητα στη μορφολογική απεικόνιση των οστών σε σύγκριση με τις ακτινολογικές μεθόδους.

- Η πτωχή ειδικότητα ή εξειδίκευση στον προσδιορισμό της αιτίας μίας οστικής βλάβης επειδή τα κύτταρα του οστίτη ιστού αντιδρούν με παρόμοιο τρόπο (με αύξηση του οστικού μεταβολισμού) σε πολλά αίτια (όπως στο τραύμα, στη λοίμωξη, στη νεοπλασματική διήθηση, κ.λπ.).

Η ειδικότητα της μεθόδου μπορεί να αυξηθεί α) με τη γνώση χαρακτηριστικών σπινθηρογραφικών προτύπων, β) με διάφορες τεχνικές απεικόνισης και ποσοτικούς προσδιορισμούς και γ) με συμπληρωματικές ραδιοϊσοτοπικές ή ακτινολογικές μεθόδους. Το σπινθηρογράφημα των οστών λόγω της πρώιμης και υψηλής ευαισθησίας του στην ανίχνευση οστεοβλαστικής αντίδρασης θα πρέπει να προηγείται της αξονικής ή της μαγνητικής τομογραφίας επειδή μπορεί να γίνει ο οδηγός στην περαιτέρω έρευνα μίας βλάβης για την πιο λεπτομερή μορφολογική μελέτη ή και για τον καλύτερο προσδιορισμό της θέσης βιοψίας στην περαιτέρω μελέτη της βλάβης. Η απλή ακτινογραφία των οστών λόγω της ευκολίας και του μικρού κόστους συνήθως προηγείται του σπινθηρογραφήματος των οστών. Όταν όμως υπάρχουν αρνητικά ακτινολογικά ευρήματα ενώ συνεχίζει η κλινική συμπτωματολογία τότε το επόμενο βήμα θα πρέπει να είναι ο έλεγχος με το σπινθηρογράφημα των οστών.

2.1.1 Η σύνθεση των οστών

Σήμερα γνωρίζουμε ότι το σύστημα των οστών είναι ένα δυναμικό όργανο, με συνεχή ανταλλαγή ουσιών και με ικανότητα επανασχηματισμού του (remodeling) οστίτη οστού σε όλη τη διάρκεια της

ζωής ενός ατόμου. Τα οστά του φυσιολογικού ενήλικα αποτελούνται σε ποσοστό 5-10% από νερό, σε ποσοστό 25-30% από οργανική ύλη (95% από ινίδια κολλαγόνου και 5% από βλεννοπολυσακχαρίδες και υγρό ιστών) και σε ποσοστό 65-70% από ανόργανο ύλη (κρύσταλλοι υδροξυαπατίτη) που είναι και η μεταλλική φάση των οστών. Ο ανόργανος μεταλλοποιημένος υδροξυαπατίτης είναι η βασική δομή των οστών και αποτελείται από ένα κρυσταλλικό πλέγμα ασβεστίου, φωσφόρου και ιόντα υδροξυλίου με τη θεωρητική χημική μορφή του $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Η μεταλλική φάση των οστών περιέχει επίσης και άλλα ιόντα. Τα κύρια κατιόντα είναι εκείνα του νατρίου, μαγνησίου, καλίου και στρόντιου, ενώ τα κύρια ανιόντα είναι τα ανθρακικά, τα κιτρικά, το φθόριο και το χλώριο. Επιπρόσθετα υπάρχουν και ιχνοστοιχεία όπως εκείνα του ραδίου, του πλουτωνίου και του μολύβδου.

Ένας κρύσταλλος υδροξυαπατίτη έχει μήκος 500 Å, πλάτος 250 Å και πάχος 100 Å. Η ολική επιφάνεια των οστικών κρυστάλλων που προσφέρεται για ανταλλαγή ουσιών σε ένα πρότυπο άνδρα 70 kg καθορίστηκε σε 632.225 m²!

Το κρυσταλλικό πλέγμα του υδροξυαπατίτη εμφανίζει κάποιες διακοπές που επιτρέπουν την ανταλλαγή των συστατικών του με ουσίες που κυκλοφορούν στο αίμα. Έτσι το φθόριο μπορεί να προσληφθεί από τις υδροξυλικές ομάδες ανιόντων σχηματίζοντας τον φθοριοαπατίτη και από τα ραδιονουκλίδια των αλκαλικών γαιών (⁴¹Ca, ⁸⁵Sr, ^{89m}Sr, ¹³¹Ba και ^{133m}Ba), που μπορεί να υποκαταστήσουν τα κατιόντα ασβεστίου στον κρύσταλλο του υδροξυαπατίτη. Μεγαλύτερα μέρη πιστεύεται ότι μπορεί να απορροφηθούν στην επιφάνεια του κρυστάλλου με χημειοπροσρόφηση (chemisorption). Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα ραδιοφάρμακα του τεχνητίου για τη σπινθηρογράφιση των οστών που λόγω της μικρής δόσης ακτινοβολίας και των καλύτερων φυσικών χαρακτηριστικών τους έχουν αντικαταστήσει το φθόριο (¹⁸F) που χρησιμοποιήθηκε στην δεκαετία του 1960 όπως και το στρόντιο (⁸⁵Sr) που είχε χρησιμοποιηθεί στην αρχή της εφαρμογής της οστικής σπινθηρογράφισης το 1961 από τους Fleming και συνεργάτες του.

2.1.2 Η σχέση του σπινθηρογραφήματος και της ακτινογραφίας οστών

Από σειρά μελετών είναι πλέον γνωστό ότι το σπινθηρογράφημα των οστών μπορεί να είναι παθολογικό αρκετό χρόνο (συνήθως 1-3 εβδομάδες) πριν από την εμφάνιση των παθολογικών ευρημάτων στις ακτινογραφίες οστών που απεικονίζουν μόνο την οστική πυκνότητα. Έτσι για να απεικονισθεί με τις ακτινολογικές μεθόδους μία οστεοβλαστική βλάβη θα πρέπει να αυξηθεί τοπικά η συγκέντρωση του ασβεστίου έναντι του γειτονικού οστού σε ποσοστό 30-50% γεγονός που απαιτεί κάποιο χρόνο (εβδομάδα-μήνας) ή αντίστροφα για να απεικονισθεί μία οστεολυτική βλάβη έναντι του γειτονικού οστού θα πρέπει να έχει χάσει τοπικά το οστό το 50-70% των μεταλλικών του στοιχείων (γεγονός που απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο). Οι οστεοβλαστικές βλάβες στο σπινθηρογράφημα των οστών θα απεικονισθούν πολύ πιο γρήγορα (συνήθως σε 12-48 ώρες), ενώ οι περισσότερες οστεολυτικές βλάβες θα δείξουν κάποια αυξημένη πρόσληψη ραδιοφάρμακων στο σπινθηρογράφημα των οστών επειδή γειτονικά της οστεολυτικής βλάβης αναπτύσσεται πολλές φορές και κάποια οστεοβλαστική δραστηριότητα. Σε σπάνιες όμως αμιγείς οστεολυτικές βλάβες (π.χ. όπως στο πολλαπλόν μυέλωμα ή στο ηωσινόφιλο κοκκίωμα) οι ακτινολογικές μέθοδοι μπορεί να έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία.

Όταν μία οστεοβλαστική βλάβη θεραπευθεί τότε παύει να συγκεντρώνει το ειδικό ραδιοφάρμακο και το σπινθηρογράφημα των οστών γίνεται φυσιολογικό, ενώ αντίθετα τα ακτινολογικά ευρήματα επιμένουν. Έτσι κάποιες σκελετικές βλάβες θα εμφανίζουν τρία στάδια:

- **Πρώτο στάδιο:** παθολογικό σπινθηρογράφημα + φυσιολογική ακτινογραφία.
- **Δεύτερο στάδιο:** παθολογικό σπινθηρογράφημα + παθολογική ακτινογραφία.
- **Τρίτο στάδιο:** φυσιολογικό σπινθηρογράφημα + παθολογική ακτινογραφία.

Τα παραπάνω δείχνουν για ποιο λόγο η ευαισθησία του σπινθηρογραφήματος είναι μεγαλύτερη της ακτινογραφίας κυρίως στα πρώιμα στάδια μίας οστεοβλαστικής βλάβης, γεγονός που πολλές φορές βοηθάει στην επείγουσα θεραπεία και έλεγχο.

2.2. Περί Ραδιοφαρμάκων

Τα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται από το 1970 έως και σήμερα για την απεικόνιση των οστών σημαίνονται με υπερτεχνητικό τεχνητίο ($^{99m}\text{TcO}_4$). Προσλαμβάνονται από τα οστά επειδή είναι ανάλογα του ασβεστίου, των υδροξυλικών ή και των φωσφορικών ομάδων των κρυστάλλων του υδροξυαπατίτη των οστών. Ταξινομούνται με βάση την φωσφορική σύνδεση τους σε P-O-P: πολυφωσφορικά (polyphosphates), P-N-P: ημιδοφωσφορικά (imidophosphates), P-P: πυροφωσφορικά (pyrophosphates) και σε P-C-P: φωσφονικά (phosphonates).

Τα διφωσφονικά ραδιοφάρμακα είναι οι πιο σταθερές ουσίες *in vivo* και εκείνες που αντέχουν περισσότερο στην υδρόλυση από το ένζυμο της αλκαλικής φωσφατάσης. Από την κατηγορία αυτή τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ραδιοφάρμακα είναι το επισημασμένο με ^{99m}Tc -Μεθυλο-διφωσφονικό (Methylene diphosphonate ή ^{99m}Tc medronate, MDP) και το ^{99m}Tc -Υδροξυ-μεθυλο-δισφωσφονικό (Hydroxymethylene diphosphonate, HMDP). Η επικράτηση τους οφείλεται εκτός των παραπάνω και στην ταχεία νεφρική τους απέκκριση (σπειραματική διήθηση) παρέχοντας υψηλή σχέση στόχου - μη στόχου σε 2-5 ώρες μετά την ενδοφλέβια χορήγηση τους. Αυτή η φάση του ραδιοφαρμάκου είναι και η καλούμενη **οστική ή καθυστερημένη φάση**. Σε ποσοστό 50-60% της ενδοφλεβίου ενιέμενης δόσης το ραδιοφάρμακο προσλαμβάνεται από τα οστά (νέο οστεοειδές, κρύσταλλοι υδροξυαπατίτη) ενώ το υπόλοιπο απεκκρίνεται δια της ουροποιητικής οδού. Στα περισσότερα διφωσφονικά ραδιοφάρμακα η μέγιστη οστική πρόσληψη συμβαίνει στις 4-5 ώρες και ο βιολογικός χρόνος υποδιπλασιασμού είναι περίπου 24 ώρες.

Η οστική τους πρόσληψη εξαρτάται:

- από την ακεραιότητα των οστεοβλαστών (οστεοβλαστική αντίδραση) και τον αυξημένο σχηματισμό νέου οστεοειδούς (η πιο σημαντική παράμετρος),
- από την αυξημένη μεταλλοποίηση του οστεοειδούς (σημαντική παράμετρος),

- από την αυξημένη ροή αίματος (παράμετρος μικρότερης σημασίας),
- από την συμπαθητική νεύρωση (παράμετρος με ακόμη πιο μικρότερη σημασία).

Το ^{99m}Tc MDP επίσης αντιδρά και προσλαμβάνεται με χημειοπροσρόφηση από μικροκρυστάλλους ασβεστίου που μπορεί να υπάρχουν στα μιτοχόνδρια των νεκρωμένων κυττάρων σε μαλακούς ιστούς (όπως σε περιπτώσεις εμφραγμάτων μυοκαρδίου, τραυματικής θλάσης του καρδιακού μυός ή σε νεκρώσεις άλλων σωματικών κυττάρων). Όλα τα ραδιοφάρμακα των οστών έχουν και κάποια συγγένεια και με τα ερυθρά αιμοσφαίρια.

Η βιοκατανομή του ραδιοφαρμάκου μπορεί να αλλάξει σε ασθενείς με καρδιακή, ηπατική ή νεφρική ανεπάρκεια αλλά και από την αλληλοεπίδραση άλλων φαρμάκων ή ουσιών, γεγονός που μπορεί να δώσει ψευδώς θετικά ευρήματα για ύπαρξη οστικής πάθησης. Τα φάρμακα που επηρεάζουν την ποιότητα του σπινθηρογραφήματος των οστών, θα πρέπει να τα γνωρίζουμε και δίνονται στον Πίνακα 2.1.

Η **ενδοφλέβια δόση του ραδιοφαρμάκου** που χορηγείται σε νεογνά, παιδιά και ενήλικες γίνεται με βάση την επιφάνεια σώματος ή με το σωματικό τους βάρος. Για τον πρότυπο ενήλικα (των 70 kg) η χορηγούμενη ραδιενεργός δόση του ^{99m}Tc MDP είναι ίση με 740 MBq (ή 20 mCi). Η δόση ακτινοβολίας από τα ραδιοφάρμακα των οστών είναι εντός των επιτρεπτών ορίων και δίνεται στον Πίνακα 2.2. Η ενεργός ισοδύναμη δόση από το ολοσωματικό σπινθηρογράφημα σε ένα ενήλικα είναι περίπου ίδια με εκείνη που δέχεται ένα άτομο από το φυσικό περιβάλλον της Ελλάδος για 2-3 έτη ή ίση με το 15% της ετήσιας δόσης που δέχονται τα άτομα που επαγγελματικά εργάζονται με τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Σε περίπτωση κήσης θα πρέπει να ενημερώνεται ο πυρηνικός ιατρός πριν από τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου.

Η επίπεδος απεικόνιση μπορεί να γίνει είτε με την ολοσωματική μέθοδο (whole body imaging) για έλεγχο όλου του οστέινου σκελετού είτε για μία περιοχή που μας ενδιαφέρει (spot imaging). Η τομογραφική απεικόνιση αφορά πάντα μία ορισμένη περιοχή ενδιαφέροντος και γίνεται στην οστική φάση του ραδιοφαρμάκου.

Πίνακας 2.1 Τα διάφορα φάρμακα ή ουσίες που επηρεάζουν την ποιότητα του σπινθηρογραφήματος των οστών

Πτωχή ποιότητα εικόνας των οστών	Με ανταγωνιστική δέσμευση: το editronate (διφωσφονική ουσία), τα κορτικοστεροειδή (ειδικά στις αρθρώσεις) και οι συνθέσεις που περιέχουν σίδηρο όπως η Phospho-Soda.
Αυξημένη οστική καθήλωση στα οστά του κρανίου	Κυτταροτοξικά φάρμακα.
Έντονη απεικόνιση των νεφρών από κατακράτηση MDP	Συνθέσεις που περιέχουν σίδηρο όπως: η Amphotericin-B; Gentamicin; Cyclophosphamide; Vincristine; Doxorubicin, το Sodium diatrizole.
Πρόσληψη στα μαλακά μόρια και σε διάφορα όργανα	Doxorubicin, Diphosphonate, E-Amino Caproic Acid, Οιστρογόνα (μαστοί), στη θέση χορήγησης των Calcium Gluconate, Iron Dextran, Heparin Calcium, και Mepiridine, Sodium diatrizole (νεφρά, ήπαρ), αντιόξινα φάρμακα (ήπαρ).

Πίνακας 2.2 Δοσμετρία Ραδιοφαρμάκων για Ενήλικες¹

Ραδιοφάρμακο	Χορηγούμενη Δόση Σε MBq (mCi)	Όργανο που δέχεται τη μεγαλύτερη δόση mGy (rad)	Ενεργός Δόση * MSv (rem)
^{99m} Tc- phosphates and phosphonates	740 – 1110 i.v. (20 – 30)	0.063 Οστά (0.23)	0.0080 (0.030)

1. ICRP 53, normal bone uptake, normal renal function, page 215. See also MIRD Committee Dose Estimate Report No. 13: Radiation absorbed dose for technetium-99m-labeled bone imaging agents *J Nucl Med* 1989; 30: 1117-1122.

* ανά MBq (ανά mCi)

Πλην των παραπάνω ραδιοφαρμάκων για τη διαφορική διάγνωση των καλοήθων και κακοήθων οστικών παθήσεων όπως και για την παρακολούθηση της δραστηριότητας των κακοήθων νεοπλασιών μετά τη θεραπεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύγκριση με το ^{99m}Tc-MDP και άλλα ραδιοφάρμακα, όπως του **θαλλίου** (²⁰¹Tl-chloride) και του **^{99m}Tc-Sestamibi** για σαρκώματα, του **¹²³I-MIBG** για νευροβλαστώματα, του **⁶⁷Ga-citrate** για ραβδομυοσαρκώματα και λεμφώματα, όπως και της **φθοριοδεοξυγλυκόζης** (FDG) με ¹⁸F σε μελέτες PET για μεγάλο φάσμα κακοήθων νεοπλασιών. Σε φυσιολογικό σπινθηρογράφημα οστών με έντονη κλινική υπόνοια μεταστατικής

νόσου μπορεί να ακολουθήσει η σπινθηρογράφηση του μυελού των οστών με **^{99m}Tc-sulfur colloid** ή με **^{99m}Tc-nanocolloid** για την εκτίμηση διήθησης του μυελού των οστών επειδή σε ένα μικρό ποσοστό μπορεί να υπάρχουν ενδομυελικές νεοπλασίες (θα τις απεικονίσει ως ψυχρές περιοχές) που ακόμη δεν προκάλεσαν οστική αντίδραση.

Για την εκτίμηση της ύπαρξης και του βαθμού της δραστηριότητας μιας οστικής φλεγμονής χρησιμοποιούνται παράλληλα με το σπινθηρογράφημα των οστών και το σπινθηρογράφημα με **⁶⁷Ga-citrate** (κυρίως σε χρόνιες φλεγμονές με μεγαλύτερη συγκέντρωση στη βλάβη σε σχέση με το MDP) ή το σπινθηρογράφημα των επισημασμένων λευ-

κών αιμοσφαιρίων του ασθενούς με ¹¹¹In-chloride ή με ^{99m}Tc-HMPAO (hexamethyl propylenamine oxime) όπως και επισημασμένα με τεχνητό ή ίδιο ειδικά **μονοκλωνικά αντισώματα** έναντι των κοκκιοκυττάρων (κυρίως σε πρόσφατες φλεγμονές με απεικόνιση θερμών εστιών). Στην ανίχνευση φλεγμονής σε δύσκολες καταστάσεις και για λόγους διαφορικής διάγνωσης (π.χ. υπάρχει ή δεν υπάρχει μυελός των οστών ή ενδομελικό οίδημα ή όγκος) μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς και ο συνδυασμός με το σπινθηρογράφημα μυελού των οστών με ^{99m}Tc-sulfur colloid ή nanocolloid που μπορεί να απεικονίσει π.χ. τη φλεγμονώδη βλάβη συνήθως ως «ψυχρή περιοχή» ενώ με τα επισημασμένα λευκά η αντίστοιχη θέση θα είναι «θερμή».

2.3 Η προπαρασκευή του ασθενή

Δεν απαιτείται ειδική προπαρασκευή και δεν υπάρχουν διαιτητικοί περιορισμοί για τη μελέτη. Απαιτείται όμως πολύ καλή ενυδάτωση και συχνή ούρηση. Σε αδυναμία κένωσης της ουροδόχου κύστης κρίνεται απαραίτητος ο καθετηριασμός της πριν από τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου. Ο κλινικός ιατρός θα πρέπει να έχει υπόψη του τον Πίνακα 2.1, να ενημερώνει τον πυρηνικό ιατρό και ο ατομικός φάκελος του ασθενή θα πρέπει να τον συνοδεύει στην αρχή και στη διάρκεια της μελέτης που θα γίνει μετά από 2-5 ώρες από τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου και που μπορεί να διαρκέσει 1 ώρα περίπου.

2.4 Η εκτέλεση του σπινθηρογραφήματος των οστών

Η απεικόνιση με γ-camera μπορεί να γίνει είτε με το συνήθη επίπεδο τρόπο (planar imaging) σε δύο διαστάσεις για τις διάφορες φάσεις της κινητικής του ραδιοφαρμάκου είτε με τον τομογραφικό τρόπο δια της εκπομπής φωτονίων μίας ενέργειας (single photon emission computerized tomography ή SPECT imaging) στην οστική φάση του ραδιοφαρμάκου. Η τομογραφική απεικόνιση αυξάνει την ευαισθησία της μεθόδου και προσφέρει απει-

κόνιση τριών διαστάσεων σε οριζόντιο, επιμήκη και μετωπιαίο άξονα. Το σπινθηρογράφημα των οστών μπορεί να είναι η κύρια ή η συμπληρωματική μελέτη μαζί με τις λοιπές ακτινολογικές τεχνικές ανάλογα με το πρόβλημα του ασθενή.

2.4.1 Οι φάσεις απεικόνισης του ^{99m}Tc MDP

Η συνήθης επίπεδος τεχνική της μίας φάσης:

Οι εικόνες του οστέινου σκελετού λαμβάνονται σε 2-5 ώρες μετά τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου (οστική φάση). Στο διάστημα από τη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου έως την απεικόνιση ο ασθενής θα πρέπει να πίνει άφθονα υγρά (περίπου 2 λίτρα) και να ουρεί συχνά αλλά με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην συμβεί ραδιομόλυνση από τα επισημανθέντα ούρα στα μαλακά του μόρια ή στα ρούχα του, για την αποφυγή ψευδών θετικών ευρημάτων. Με όλα τα παραπάνω ο ασθενής ακτινοβολείται πολύ λιγότερο και αυξάνεται η ποιότητα του σπινθηρογραφήματος. Η βελτίωση της ποιότητας οφείλεται στην καλύτερη αντίθεση (contrast) των οστών με τα μαλακά μόρια και στην αποφυγή της απεικόνισης της γεμάτης ουροδόχου κύστης που μπορεί να επηρεάζει σημαντικά την εικόνα των οστών της πυέλου. Για τους παραπάνω λόγους σε ασθενείς με προβλήματα ούρησης θα πρέπει να προηγείται ο καθετηριασμός της ουροδόχου κύστης πριν από την ενδοφλέβια χορήγηση του ραδιοφαρμάκου.

Η ολοσωματική απεικόνιση δε δίνει επιπλέον ακτινοβολία στον ασθενή (αφού η γ-camera δεν ακτινοβολεί) και ενδείκνυται κυρίως σε ασθενείς με νεοπλασία, με πολλαπλά τραύματα, με ανεξήγητους οστικούς πόνους και κυρίως σε άτομα μεγαλύτερα των 50 ετών. Άλλως για μείωση του χρόνου απεικόνισης η λήψη μπορεί να είναι τοπική στην περιοχή ενδιαφέροντος και ο πυρηνικός ιατρός θα κρίνει για την αναγκαιότητα τυχόν ολοσωματικής απεικόνισης.

Η τεχνική των τριών φάσεων: Αμέσως πριν από την ενδοφλέβια χορήγηση του ραδιοφαρμάκου η γ-camera εστιάζεται στην περιοχή ενδιαφέροντος και ταυτόχρονα με τη χορήγηση λαμβάνονται οι διαδοχικές εικόνες της ροής αίματος (**1^η φάση ή φάση ροής αίματος**) για τα πρώτα 1-2 min με επίπεδο τοπική απεικόνιση (διαδοχικές εικόνες των 2-4 sec). Ακολουθούν στα 5-10 min οι

στατικές εικόνες της αιματικής δεξαμενής ή η εικόνα μαλακών μορίων (**2^η φάση blood pool ή μαλακών μορίων**) που είναι ενδεικτική της αγγείωσης της περιοχής, και στο τέλος οι καθυστερημένες (σε 2-5 ώρες) στατικές εικόνες που απεικονίζουν την υπάρχουσα οστεοβλαστική δραστηριότητα (**3^η φάση ή οστική φάση ή φάση του οστικού μεταβολισμού**) με ολοσωματική, με τοπική επίπεδη ή και με τομογραφική τεχνική. Επιπρόσθετα με τη μέθοδο των τριών φάσεων λαμβάνεται και μία 4^η απεικόνιση **σε 24 ώρες** στην περιοχή ενδιαφέροντος (**τεχνική των τεσσάρων φάσεων**). Η μέθοδος χρησιμοποιεί ποσοτικές μετρήσεις για την εκτίμηση πιθανής οστεομυελίτιδας και για τη διαφοροδιάγνωση των καλοηθών από τις κακοήθεις παθήσεις.

2.5 Οι κύριες κλινικές ενδείξεις

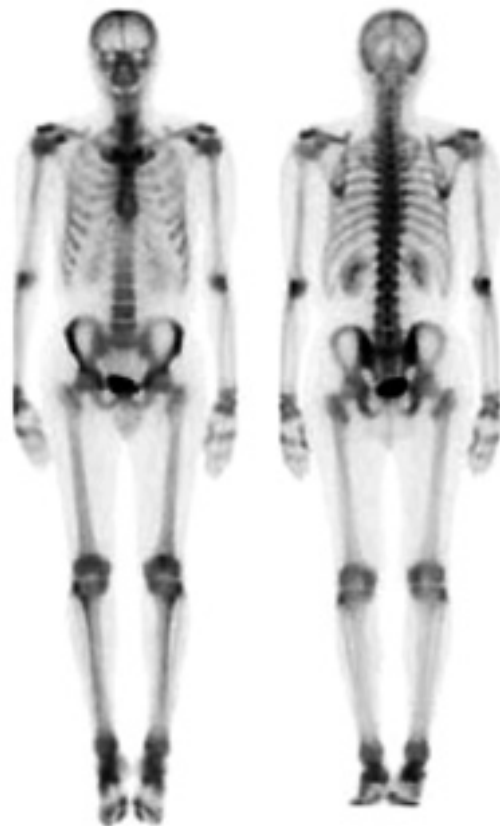
Οι κύριες κλινικές ενδείξεις του σπινθηρογραφήματος των οστών με ^{99m}Tc-MDP είναι:

- Η ανίχνευση (σταδιοποίηση) και παρακολούθηση των οστικών μεταστάσεων.
- Η ανίχνευση της παρουσίας ύπαρξης κατάγματος.
- Η έρευνα της αιτίας σε ανεξήγητο πόνο οστών ή σε πόνο ράχης.
- Η εκτίμηση της σημασίας μίας βλάβης που βρέθηκε σε ακτινολογικό έλεγχο.
- Η ανίχνευση πιθανής οστεομυελίτιδας.
- Η διάγνωση της άσηπτης νέκρωσης.
- Η πιθανή κακοποίηση παιδιού ή η αιτία χλωότητας ενός παιδιού.
- Ο καθορισμός της αιτίας πόνου σε πρόσθεση αρθρώσεων.
- Η εκτίμηση της βιωσιμότητας σε οστικό μόσχευμα.
- Η ανίχνευση της αιτίας καθυστερημένης πώρωσης κατάγματος.
- Η διάγνωση και η παρακολούθηση της δραστηριότητας της νόσου Paget.
- Η επιβεβαίωση της ύπαρξης αντανεκλαστικής συμπαθητικής δυστροφίας.

- Η μέτρηση της ωρίμανσης της ετερότοπης οστεοποίησης για εγχειρητική αφαίρεση.

2.6 Το φυσιολογικό σπινθηρογράφημα των οστών

Το φυσιολογικό σπινθηρογράφημα των οστών (Εικ. 2.1) απεικονίζει σχεδόν ομοιογενή οστική πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στο κεντρικό σκελετό και συμμετρική πρόσληψη στα άκρα. Επίσης απεικονίζεται ο κρικοειδής χόνδρος, οι νεφροί, η ουροδόχος κύστη και ο ρινοφάρυγγας, ενώ οι μαλακοί ιστοί απεικονίζονται ήπια. Το φυσιολογικό όμως πρότυπο αλλάζει με την ηλικία. Γενικά στα παιδιά παρατηρείται έντονη συγκέντρωση ραδιοφαρμάκου στις αναπτυξιακές πλάκες (growth plates) των οστών. Επίσης όσο η ηλικία ή το βάρος του ασθενούς αυξάνει τόσο αυξάνει και το ποσοστό των σπινθηρογραφημάτων με πτωχή ποιότητα.



Εικόνα 2.1. Φυσιολογικό σπινθηρογράφημα οστών ενήλικα ανδρός με ^{99m}Tc-MDP.

Στη τεχνική των δύο ή τριών φάσεων τα ευρήματα θα πρέπει να είναι συμμετρικά και ο πυρηνικός ιατρός πρέπει να είναι γνώστης των φυσιολογικών αποκλίσεων.

Τοπική αυξημένη συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου μπορεί να αντιπροσωπεύει μία φυσιολογική απόκλιση, όπως π.χ.:

Η ανομοιογενής πρόσληψη στα οστά του κρανίου μπορεί να είναι και φυσιολογικό εύρημα.

Σε ηλικιωμένα άτομα είναι συχνές οι εκφυλιστικές αλλοιώσεις και συνήθως εμφανίζονται σε αμφοτέρως τις πλευρές μίας άρθρωσης, με πιο συχνές θέσεις:

- α) στις στερνοκλειδικές αρθρώσεις, όπως και στην περιοχή της λαβής-σώματος στέρνου,
- β) στη χαμηλή αυχενική και οσφυϊκή μοίρα σπονδυλικής στήλης (συνήθως στο κοίλο τμήμα της σκολίωσης),
- γ) στα γόνατα, στους αγκώνες, στους καρπούς,
- δ) στις θέσεις πρόσφυσης τενόντων που είναι περιοχές που δέχονται σταθερό stress.
- ε) Επίσης ψευδής θερμή εστία μπορεί να οφείλεται σε γεωμετρική αλληλοεπικάλυψη οστών (π.χ. πλευρών και ωμοπλάτης).

2.6.1 Προβλήματα Μεθόδου

Όπως έχουμε αναφέρει ως τώρα τα προβλήματα της μεθόδου είναι η έλλειψη υψηλής ειδικότητας και η αλληλοεπίδραση διαφόρων φαρμάκων στην ποιότητα της σπινθηρογραφικής απεικόνισης (Πίνακας 2.1). Επιπρόσθετα υπάρχουν και τα παρακάτω προβλήματα:

Η εμμένουσα πρόσληψη (θερμή περιοχή).

Επειδή η ευαισθησία της μεθόδου είναι πολύ υψηλή μία παθολογική οστεοβλαστική δραστηριότητα από επέμβαση, τραύμα ή λοίμωξη μπορεί να επιμένει για έτη και να δημιουργεί διαγνωστικές δυσχέρειες εφόσον το ιστορικό είναι ασαφές και δεν υπάρχει παλαιότερη μελέτη (βασική μελέτη) για σύγκριση. Η λύση είναι η πιο συχνή παρακολούθηση ή η χρησιμοποίηση άλλων ραδιοφαρμάκων (θάλλιο, Sestamibi, Gallium, FDG) ή άλλων συμπληρωματικών τεχνικών για διαφορική διάγνωση και για εκτίμηση θεραπείας. Γενικά η «θερμή» συγκέντρωση σε περιοχές καταγμάτων με το ^{99m}Tc

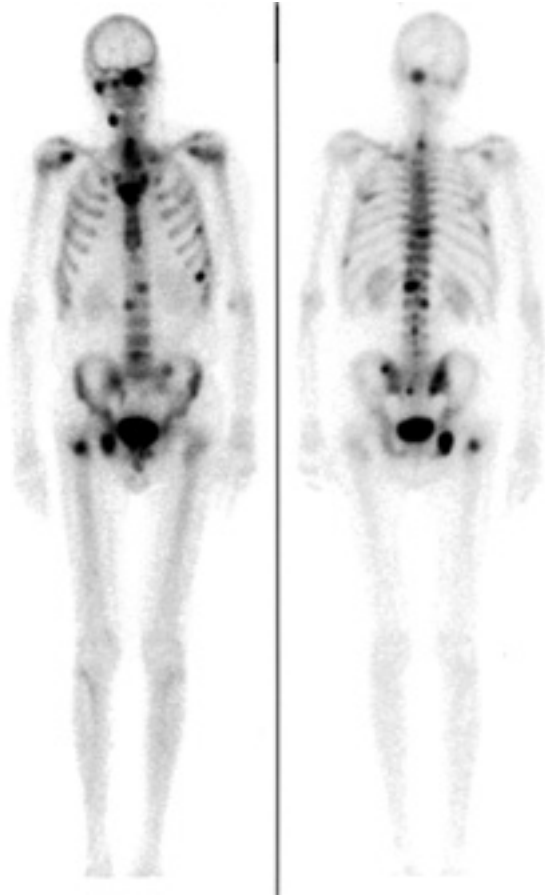
MDP για τις διάφορες οστικές θέσεις επανέρχεται στο φυσιολογικό περίπου στο 30% σε χρόνο μικρότερο του 1 έτους, στο 62% σε χρόνο 2-5 ετών και στο 84% σε χρόνο μεγαλύτερο των 5 ετών.

Η ηλικία στην πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου. Τα νεογνά εμφανίζουν μικρότερο βαθμό πρόσληψης οστικών ραδιοφαρμάκων σε σχέση με άλλες ηλικίες. Επίσης τα ηλικιωμένα άτομα εμφανίζουν αρκετές φορές καθυστερημένη (2-7 ημέρες) οστεοβλαστική απάντηση σε ένα οστικό ερέθισμα (π.χ. κάταγμα).

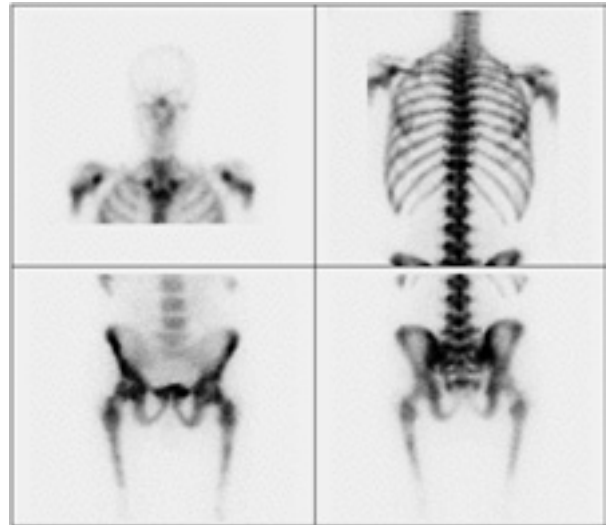
2.7 Το παθολογικό σπινθηρογράφημα των οστών

Η τοπική εικόνα αυξημένης ροής αίματος μπορεί να είναι μία επιπρόσθετη αιτία κάποιας αυξημένης οστικής πρόσληψης του ραδιοφαρμάκου στις 2-5 ώρες μετά τη χορήγησή του. Οι οστεοβλαστικές εστίες θα απεικονισθούν «θερμές» πέραν της φυσιολογικά αναμενόμενης συγκέντρωσης, εύρημα που θα είναι συμβατό με οστεομυελίτιδα, νεοπλασία (Εικ. 2.2, 2.3), με οστική νέκρωση ή και με εκφυλιστική αρθροπάθεια.

Στο ονομαζόμενο **super scan** (Εικ. 2.3) υπάρχουν διάχυτες μεταστάσεις στον μυελό των οστών και στον οστίτη ιστό, και δεν απεικονίζονται οι φυσιολογικοί νεφροί λόγω της πολύ μεγάλης οστικής πρόσληψης. Ο πιο συχνός καρκίνος που δίνει αυτή την εικόνα του super scan είναι ο καρκίνος του προστάτη. Επίσης έντονες μεταβολικές παθήσεις οστών, όπως ο υπερπαραθυρεοειδισμός μπορεί να δώσουν παρόμοια εικόνα. Σε αμιγείς οστεολυτικές βλάβες (ποσοστό < 2%) δεν συμβαίνει πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου και οι βλάβες αυτές απεικονίζονται ως «ψυχρές» (Εικ. 2.4). Μεταλλικά ξένα σώματα, λυτικές βλάβες οστών (κακόηθες αδενοκαρκίνωμα νεφρού, καρκίνος θυρεοειδούς, αναπλαστικοί όγκοι, αμιγές πολλαπλούν μυέλωμα, πιθανώς το ηωσινόφιλο κοκκίωμα), η πρόωμη οστική νέκρωση και η οστική βλάβη από ακτινοθεραπεία θα απεικονισθούν ως «ψυχρές» περιοχές. Γενικά οι οστεοβλαστικές βλάβες απεικονίζονται καλύτερα με το σπινθηρογράφημα των οστών ενώ οι αμιγείς οστεολυτικές βλάβες (π.χ. πολλαπλούν μυέλωμα



Εικόνα 2.2. Παθολογικό σπινθηρογράφημα οστών σε ενήλικα άνδρα με οστεοβλαστικού τύπου μεταστάσεις από καρκίνο πνεύμονα.



Εικόνα 2.3. Ασθενής 69 ετών με Ca προστάτου με φυσιολογική λειτουργία νεφρών που δεν απεικονίζονται από την αυξημένη πρόσληψη του ^{99m}Tc -MDP στα οστά από διάχυτες οστικές μεταστάσεις (περίπτωση superscan).



Εικόνα 2.4. Μεταστατικές εστίες οστεολυτικού (ψυχρές) και οστεοβλαστικού τύπου σε πλευρές και βραχιόνια οστά.

χωρίς επιπρόσθετα μικροκατάγματα) με τις ακτινολογικές μεθόδους. Έτσι ψευδώς αρνητικό (φυσιολογικό) σπινθηρογράφημα των οστών μπορεί να δοθεί από όγκους του μυελού των οστών όπως από λέμφωμα, λευχαιμία και πολλαπλούν μυέλωμα.

Πτωχή ποιότητα σπινθηρογραφήματος οστών απαντάται συνήθως σε νεφρική ή καρδιακή ανεπάρκεια. Γενικά οι ασύμμετρες μεταβολές και η ύπαρξη εντόνων θερμών ή ψυχρών εστιών είναι ευρήματα παθολογικά.

2.7.1 Εφαρμογές στην Ογκολογία

2.7.1.1 Μεταστάσεις

Ο ρόλος του σπινθηρογραφήματος των οστών στην ογκολογία είναι: (1) η σταδιοποίηση της νόσου

με την εκτίμηση ύπαρξης μεταστάσεων ή τοπικής διήθησης, (2) η εκτίμηση της πρόγνωσης, (3) η πρόβλεψη ύπαρξης παθολογικού κατάγματος ή σύνθλιψης του νωτιαίου μυελού, (4) η εκτίμηση μιας ανεξήγητης βιοχημικής μεταβολής, (5) η εκτίμηση νέων μυοσκελετικών συμπτωμάτων και (6) η εκτίμηση εάν υπάρχει ή όχι απάντηση στη θεραπεία.

Η πιο συχνή ένδειξη για το σπινθηρογράφημα των οστών είναι η υπόνοια και η εκτίμηση των ασθενών για ύπαρξη μεταστάσεων. Λόγω της μεγαλύτερης επιβίωσης των ασθενών με κακοήθεις νεοπλασματικές παθήσεις η οστική μεταστατική νόσος συνεχώς αυξάνει. Περίπου το 30% των ασθενών με κακοήθη νεοπλασία θα αναπτύξουν οστικές μεταστάσεις, σε κάποιο στάδιο της νόσου, είτε ανώδυνες είτε επώδυνες. Η ολοσωματική σπινθηρογραφική

απεικόνιση των οστών έχει τη μεγαλύτερη ευαισθησία από όλες τις υπάρχουσες απεικονιστικές μεθόδους, στην ανίχνευση της οστικής μεταστατικής νόσου με ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα σε ποσοστό μικρότερο του 10%. Η μέθοδος είναι χρήσιμη στη διάγνωση, στην παρακολούθηση της θεραπείας όπως και στην πρόγνωση. Χρησιμεύει όχι μόνο ως οδηγός για την βιοψία ή την ακτινοθεραπεία, αλλά επίσης και στην εγχειρητική επέμβαση με την προληπτική οστεοσύνθεση ή την αρθροπλαστική για τη μελλοντική αποφυγή σοβαρών επιπλοκών όπως το αιφνίδιο κατάγμα, η μείωση κινητικότητας και το άλγος, εφόσον το επιτρέπει η γενική κατάσταση και το προσδόκιμο επιβίωσης του ασθενή.

Η μέθοδος είναι πολύ ευαίσθητη (95%-98%) για ανίχνευση μεταστάσεων (μέσης ή υψηλής έντασης) αλλά με μειωμένη ειδικότητα στον καθορισμό της αιτίας της οστεοβλαστικής αντίδρασης (ειδικότητα στο 36%-50%). Αυτό το γεγονός αντιρροπείται μερικώς με επιτυχία από τα σπινθηρογραφικά πρότυπα που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πολύ ειδικά.

Τα σπινθηρογραφικά πρότυπα σε μεταστατική νόσο είναι: η μονήρης εστιακή βλάβη, οι πολλαπλές ασύμμετρες εστιακές βλάβες, η διάχυτος αυξημένη συγκέντρωση (superscan), οι φωτοπενικές βλάβες (ψυχρές), το φυσιολογικό σπινθηρογράφημα (ψευδώς αρνητικό), οι βλάβες μαλακών ιστών (πρόσληψη ραδιοφαρμάκου στον όγκο) και τέλος το flare φαινόμενο (στην παρακολούθηση του ασθενή, βλέπε πιο κάτω)

Τα πιο σύνηθες πρότυπο για κακοήθεια είναι οι **πολλαπλές ασύμμετρες οστεοβλαστικές εστίες** (πολλές φορές με παθολογική εικόνα) κυρίως στον κεντρικό σκελετό (87%) και λιγότερο στα άκρα (13%). Όταν όμως δεν υπάρχει σαφές παθολογικό πρότυπο και δημιουργούνται αμφιβολίες τότε θα πρέπει να ακολουθήσει ο ακτινολογικός έλεγχος (απλή ακτινογραφία ή και αξονική τομογραφία, CT, ή μαγνητική τομογραφία, MRI) της περιοχής για τον αποκλεισμό πιθανής οστεοαρθρίτιδος, της φλεγμονής ή του κατάγματος. Η έρευνα αυτή θα πρέπει να γίνεται οπωσδήποτε στους ηλικιωμένους ασθενείς που συνήθως εμφανίζουν σε μεγάλη συχνότητα ευρήματα ενεργού οστεοαρθρίτιδας. Η δεύτερη απεικονιστική λύση είναι να συ-

νεχίσουμε με ένα ογκόφιλο ραδιοφάρμακο (π.χ. το ^{99m}Tc -V-DMSA σε υπόνοια καρκίνου μαστού με μονήρη ή λίγες ύποπτες οστικές βλάβες).

Αυξημένη συγκέντρωση ραδιοφαρμάκου ^{99m}Tc -MDP στη στερνοκλειδική περιοχή, στις πλευροχονδρικές αρθρώσεις και στο στέρνο (μεταξύ λαβής και σώματος) είναι συνήθως ευρήματα εκφυλιστικών επασβεστώσεων και όχι κακοήθειας. Επίσης σχεδόν στρογγυλές βλάβες σε σειρά γειτονικών πλευρών δίκην κομβολογίου είναι υπέρ πλευρικών καλοήθων καταγμάτων ενώ μία βλάβη κατά μήκος της πλευράς ή μία ασύμμετρη βλάβη στο στέρνο υποθέτει κακοήθεια ή φλεγμονή.

Στη σπονδυλική στήλη οι κακοήθεις βλάβες εντοπίζονται συνήθως στο σπονδυλικό σώμα και επεκτείνονται στον αυχένα των σπονδυλικών τόξων (pedicles) (στο 78-93% των περιπτώσεων) και πολύ σπάνια στην ακανθώδη απόφυση. Τα ευρήματα αυτά απεικονίζονται πολύ καλά στην τομογραφική απεικόνιση με τη τεχνική SPECT. Μπορεί όμως να απαιτηθεί και ακτινολογικός έλεγχος για τον αποκλεισμό πιθανών εξοστώσεων ή υπεροστώσεων. Το MRI είναι απαραίτητο σε υπόνοια πίεσης του νωτιαίου μυελού.

Η συχνότητα οστικών μεταστάσεων για τα διάφορα κακοήθη νεοπλάσματα βρέθηκε να είναι: για την κακοήθεια του μαστού (52-85%), του πνεύμονος (30-55%), του προστάτη (33-85%), του νεφρού (33-40%), του θυρεοειδούς (28-60%), του ΓΕΣ (3-13%), του ουροποιο-γεννητικού συστήματος (9-50%), της νόσου Hodgkin (25%), του σαρκώματος Ewing (10%) και του οστεοσαρκώματος (2%).

Για τον **καρκίνο προστάτου** παλαιότερα κάθε ασθενής υποβάλλονταν σε σπινθηρογράφημα οστών για σταδιοποίηση. Τελευταία πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι οι μεταστάσεις είναι σπάνιες σε ασθενείς με επίπεδο του ειδικού προστατικού αντιγόνου (prostate-specific antigen, PSA) στο αίμα με τιμή μικρότερη από 10 ng/ml, ενώ ασθενείς με PSA μεγαλύτερο από 20-50 ng/ml έχουν σε αυξημένο ποσοστό οστικές μεταστάσεις. Για τους παραπάνω λόγους η σύσταση είναι ότι οι ασθενείς θα πρέπει να υποβάλλονται σε σπινθηρογράφημα οστών εάν το PSA είναι > του 10 ng, εάν ο καρκίνος έχει υψηλό ιστολογικό βαθμό κακοήθειας κα-

τά Gleason ή υψηλή κλινική υπόνοια ή συμπτώματα ύποπτα για μεταστατική νόσο. Το σπινθηρογράφημα των οστών συνιστάται σε αυξημένο PSA (>3 ng), σε κάθε ασθενή που υπέστη ριζική προστατεκτομή (θα έπρεπε να έχει PSA 0 ng), σε μυοσκελετικά συμπτώματα, σε ιστορικό ορμονικής θεραπείας όπου το PSA δεν αποτελεί κατάλληλο δείκτη παρακολούθησης ή σε καταστάσεις όπου το σπινθηρογράφημα των οστών θα αλλάξει τη θεραπεία του ασθενή.

Στον καρκίνο μαστού το σπινθηρογράφημα των οστών είναι η πιο ευαίσθητη μέθοδος για την πρόωμη ανίχνευση μεταστάσεων. Ασθενείς με επιθετικό στάδιο II συνήθως έχουν οστικές βλάβες. Σε ασθενείς με μικρή διάμετρο πρωτοπαθούς βλάβης (π.χ. ≤ 2 cm) μερικοί ιατροί θα απαιτήσουν ένα προεγχειρητικό σπινθηρογράφημα μόνο όταν υπάρχουν συμπτώματα ή εργαστηριακά ευρήματα που υποθέτουν μεταστατική νόσο ενώ άλλοι ιατροί θα απαιτήσουν ένα ολοσωματικό σπινθηρογράφημα ως πρώτη εκτίμηση λόγω της υψηλής του ευαισθησίας. Απαραίτητο κρίνεται στη μελέτη-παρακολούθηση ασθενών που βρίσκονται στο 3^ο και 4^ο στάδιο, όπως επίσης σε οστικό εστιακό ή διάχυτο επίμονο οστικό πόνο. Αντίθετα σε ριζικά νευρολογικά άλγη ή σε εστιακό πόνο ράχης απαραίτητος κρίνεται ο έλεγχος με MRI.

Στον καρκίνο πνεύμονος (σε non-small-cell βρογχογενούς καρκινώματος) οι διάφορες μελέτες δεν συμφωνούν. Από τη μία πλευρά το προεγχειρητικό σπινθηρογράφημα οστών έχει σημαντική επιρροή στο θεραπευτικό χειρισμό του ασθενή και από την άλλη πλευρά άλλοι ιατροί δεν συνηγορούν για προεγχειρητικό σπινθηρογράφημα σε νεοδιαγνωσθέντες ασθενείς με καρκίνο πνεύμονος λόγω της μικρής πιθανότητας οστικής βλάβης. Πάντως η βοήθεια του σπινθηρογραφήματος θα κριθεί από το ιστορικό, την ύπαρξη μυοσκελετικών συμπτωμάτων, από τη φυσική εξέταση και από τα εργαστηριακά ευρήματα.

Στον καρκίνο νεφρού δεν συνιστάται για μελέτη ρουτίνας το σπινθηρογράφημα εάν ο ασθενής δεν έχει συμπτώματα και οι εργαστηριακές του εξετάσεις είναι φυσιολογικές.

Στο νευροβλάστωμα συνιστάται το σπινθηρογράφημα των οστών σε συνδυασμό και με σπινθη-

ρογράφημα ^{123}I -MIBG ή με ^{111}In -Octreoscan. Εάν υπάρχει εστιασμένος πόνος οστών γίνεται πρώτα τοπική ακτινογραφία και ακολουθεί το CT ή το MRI εάν είναι αναγκαίο.

Στο σάρκωμα Ewing και στο **οστεοσάρκωμα** το σπινθηρογράφημα των οστών είναι απαραίτητο, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο σε **λέμφωμα ή σε λευχαιμία**. Στις περιπτώσεις αυτές βοηθάει περισσότερο το σπινθηρογράφημα με ^{67}Ga -citrate ή με ^{18}F -FDG-PET. Η πιθανότητα μεταστάσεων στα οστά ή στα μαλακά μόρια από καλώς διαφοροποιημένο **καρκίνο θυρεοειδούς** ερευνάται κυρίως με ολοσωματικό ^{131}I ή σε ειδικές περιπτώσεις με ^{18}F -FDG-PET. Το σπινθηρογράφημα των οστών θα είναι χρήσιμο μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

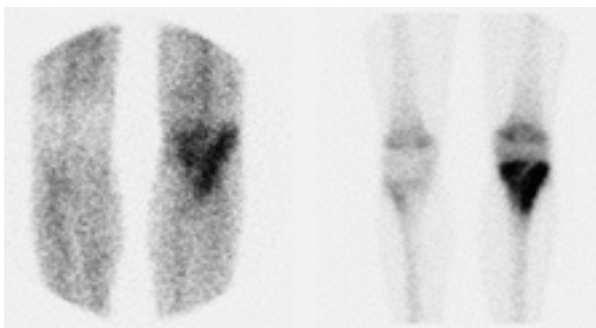
Το πολλαπλούν μυέλωμα επειδή δίνει οστεολυτικού τύπου βλάβες (ψυχρές) θα πρέπει να ελέγχεται ακτινολογικά. Το σπινθηρογράφημα των οστών είναι χρήσιμο όταν υπάρχει πόνος και η ακτινογραφία είναι αρνητική.

Πάντως σε όλους τους καρκινοπαθείς ένα αρνητικό σπινθηρογράφημα οστών έχει ισχυρή προγνωστική αξία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βασική μελέτη αναφοράς στην περίπτωση εμφάνισης μελλοντικού πόνου ειδικά σε ασθενείς με τραύμα ή αρθρίτιδα.

Στην όλη ερμηνεία του παθολογικού σπινθηρογραφήματος θα πρέπει να έχουμε υπόψη το φαινόμενο της αναζωπύρωσης ή το ονομαζόμενο Flare phenomenon. Σε μία περίοδο 3-6 μηνών μετά την αρχή της χημειοθεραπείας, ορμονοθεραπείας ή ακτινοθεραπείας για νεοπλασματικές οστικές μεταστάσεις, μπορεί στο σπινθηρογράφημα οστών να έχουμε αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου είτε σε παλαιότερες εστίες είτε και την εμφάνιση νέων εστιών. Το γεγονός αυτό δεν σημαίνει επιδείνωση αλλά πολλές φορές οφείλεται σε αναζωπύρωση των εστιών λόγω αρχόμενης ίασης. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο συχνό σε περιπτώσεις καρκίνου προστάτη και καρκίνου μαστού. Για το λόγο αυτό απαιτείται προσεκτικός έλεγχος και σύγκριση με την κλινική κατάσταση του ασθενή όπως και αξιολόγηση και με άλλους βιοχημικούς δείκτες (π.χ. με το ειδικό προστατικό αντιγόνο, PSA σε περιπτώσεις καρκίνου προστάτη).

2.7.1.2 Πρωτοπαθείς όγκοι οστών και μαλακών μορίων

Οι πρωτοπαθείς κακοήθεις όγκοι (οστεοσάρκωμα, Ewing σάρκωμα, χονδροσάρκωμα) είναι συχνόι στην παιδική ή εφηβική ηλικία. Η διάγνωση, η θεραπεία και η παρακολούθηση των πρωτοπαθών όγκων των οστών και των μαλακών μορίων γίνεται κυρίως με ακτινογραφίες, CT και MRI. Το σπινθηρογράφημα των οστών θα εκτιμήσει την ύπαρξη μεταστάσεων (μονοοστική ή πολυοστική πάθηση) σε ολοσωματικό έλεγχο. Επιμένουσα θερμή περιοχή μετά από 6-12 μήνες από την θεραπεία σε σύγκριση με το σπινθηρογράφημα των οστών αμέσως μετά την εγχείρηση, χημειοθεραπεία ή ακτινοθεραπεία θεωρείται ύποπτο για τοπική υποτροπή. Το CT και το MRI δεν μπορούν να διακρίνουν αυτή την μετεγχειρητική υποτροπή. Ο συνδυασμός με το σπινθηρογράφημα θαλλίου ή με ^{99m}Tc - sestamibi ή με FDG-PET είναι ένας εξαιρετός τρόπος παρακολούθησης της απάντησης στη θεραπεία εφόσον προϋπάρχει παρόμοια μελέτη προ της θεραπείας για σύγκριση. Εάν για μία δεδομένη χημειοθεραπεία η πρόσληψη του θαλλίου μειώνεται σε ένα ορισμένο ποσοστό σε σχέση με την προ θεραπείας μελέτη τότε η θεραπεία συνεχίζεται, άλλως πρέπει να αλλάξουμε το σχήμα της χημειοθεραπείας.



Εικόνα 2.5. Περίπτωση οστεοσαρκώματος στο άνω ημμόριο της αριστεράς κνήμης. Εικόνα σε 2^η και 3^η φάση.

Η **ινώδης δυσπλασία**, το **εωσινόφιλο κοκκίωμα** και η **εγχοδρωμάτωση** είναι πρωτοπαθείς παθήσεις συχνά πολυεστιακής οστικής βλάβης. Σε κύριους πρωτοπαθείς όγκους κακοήθεις ή καλοήθεις υπάρχουν χαρακτηριστικά πρότυπα που βοηθούν

σε καλύτερη εκτίμηση έκτασης και σε πιο ακριβή διάγνωση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το **καλόηθες οστεοειδές οστέωμα** που προκαλεί νυκτερινό πόνο που ανακουφίζεται με λήψη ασπιρίνης. Στην πάθηση αυτή υπάρχει μία κεντρική εστία (φωλιά ή nidus) που μπορεί να φανεί στην απλή ακτινογραφία ή με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο CT που είναι και οι πρώτες εξετάσεις. Σε αμφίβολα ευρήματα θα γίνει σπινθηρογράφημα οστών τριών φάσεων όπου το nidus θα απεικονισθεί ως «θερμή» περιοχή και στις τρεις φάσεις εντός μίας περιοχής με μικρότερη συγκέντρωση ραδιοφαρμάκου και στις τρεις φάσεις του σπινθηρογραφήματος, εύρημα που είναι σημαντικό για τους χειρουργούς, επειδή αυτή η περιοχή θα πρέπει να αφαιρεθεί για να έχουμε θεραπευτικό αποτέλεσμα.

2.7.1.3 Τυχαίες βλάβες

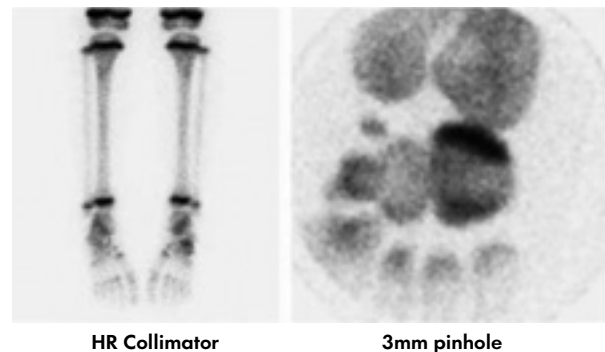
Το σπινθηρογράφημα των οστών είναι χρήσιμο στην εκτίμηση μίας οστικής βλάβης που ανακαλύφθηκε τυχαία σε κάποιο ακτινολογικό έλεγχο. Καλοήθεις βλάβες, όπως οστικές νησίδες, έμφρακτα, εγχοδρώματα κ.λπ., έχουν χαρακτηριστικά ευρήματα όπως είναι η σκλήρυνση των ορίων τους στις ακτινογραφίες και η ήπια έως η μέση ένταση συγκέντρωσης του ραδιοφαρμάκου στο σπινθηρογράφημα των οστών. Αντίθετα οι κακοήθεις βλάβες στο σπινθηρογράφημα των οστών εμφανίζουν πιο ενεργό και πιο επιθετική εμφάνιση και στις ακτινογραφίες εμφανίζουν άλλα χαρακτηριστικά. Επιπλέον οι ποσοτικοί δείκτες που παρέχει το σπινθηρογράφημα των οστών και η σχέση αυτών των δεικτών σε 4 και 24 ώρες (συγκέντρωση ραδιοφαρμάκου στη βλάβη/γειτονικό φυσιολογικό οστό) βοηθάει στη διάκριση της καλοήθους από την κακοήθη βλάβη όπως βοηθάει και η εκτίμηση της αγγείωσης στην 1^η και 2^η φάση. Εάν υπάρχουν οριακά ευρήματα μπορούν να βοηθήσουν και άλλα ογκόφιλα ραδιοφαρμάκα που έχουν ήδη αναφερθεί σε συντομία.

2.7.2 Κατάγματα καταπόνησης και λοιπές οστικές τραυματικές βλάβες

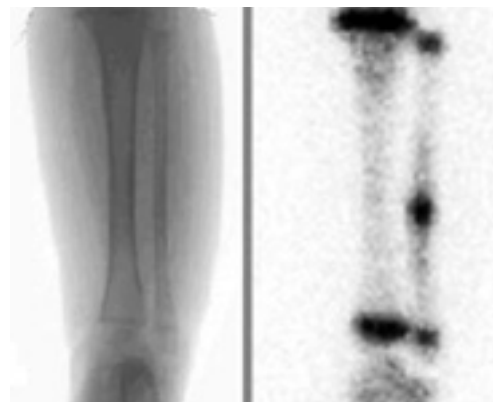
Κατάγματα καταπόνησης (stress fractures). Σε υπόνοια **κατάγατος από stress** η πρώτη εξέταση που γίνεται είναι συνήθως η ακτινογραφία. Όμως η ευαισθησία της ακτινογραφίας για τα κα-

τάγματα stress μπορεί να είναι πολύ χαμηλή, ακόμη και 15% με αποτέλεσμα τα ευρήματα της ακτινογραφίας να δίνονται ως φυσιολογικά. Η σπινθηρογράφιση των οστών είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανίχνευση καταγμάτων καταπόνησης, που είναι και οι πιο συχνές σκελετικές βλάβες σε αθλητές ή σε δραστήρια άτομα. Τα περισσότερα κατάγματα καταπόνησης προκαλούνται από επαναλαμβανόμενη τοπική καταπόνηση σε μία περιοχή του φυσιολογικού οστού, που προκαλεί υπερβολική επαναρρόφιση οστίτου ιστού, μείωση του δοκιδωτού οστού και μικροκτάγματα περιοχής. Το σπινθηρογράφημα των οστών εμφανίζει πολύ υψηλή ευαισθησία (90-95%) επειδή εκτιμά τον μεταβολισμό και όχι την ανατομία του οστού. Κλασικά σπινθηρογραφικά ευρήματα είναι μία εστία υπεραϊμίας στην 1^η φάση μελέτης που ακολουθείται από μία εστιακή αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στην οστική φάση κατά μήκος του οστικού φλοιού με σχήμα ωοειδές ή ατρακτοειδές. Αυτά τα ευρήματα προηγούνται συνήθως των ακτινολογικών ευρημάτων μέχρι αρκετές εβδομάδες, επειδή απεικονίζουν τις λεπτές, πρόωρες μεταβολές στο μεταβολισμό των οστών. Το σπινθηρογράφημα βρέθηκε ότι είναι πιο ευαίσθητο και πιο ειδικό από το MRI στην ανίχνευση των καταγμάτων καταπόνησης στους αθλητές που είχαν τα χαρακτηριστικά κλινικά σημεία των καταγμάτων καταπόνησης. Έτσι για τους ασθενείς με πιθανούς τραυματισμούς και με χαμηλή πιθανότητα άλλων ενεργών παθήσεων όπως η λοίμωξη ή το νεόπλασμα, το σπινθηρογράφημα των οστών θα πρέπει να είναι η πρώτη απεικόνιση, επειδή οι ακτινογραφίες θα είναι φυσιολογικές. Τα κατάγματα καταπόνησης στα επιμήκη οστά βαθμολογούνται σε τέσσερις κατηγορίες βασισμένες σε σπινθηρογραφικά πρότυπα. Για τη βαθμολόγηση απαιτούνται τουλάχιστον δύο προβολικές εικόνες του πάσχοντος οστού. Οι προβολικές λήψεις θα πρέπει να γίνουν κάθετα η μία στην άλλη για να παρέχουν την καλύτερη απεικόνιση της βλάβης. Το κάταγμα με **βαθμό 1** είναι μία μικρή, ελαφρώς ενεργή βλάβη που περιορίζεται μόνο στον οστικό φλοιό. Το κάταγμα με **βαθμό 2** είναι μεγαλύτερη σε έκταση βλάβη με μέτρια δραστηριότητα αλλά ακόμα περιορισμένη στη φλοιώδη περιοχή του οστού. Το κάταγμα με **βαθμό 3** επε-

κτείνεται από το φλοιό στο μυελό των οστών και παρουσιάζει πιο έντονη δραστηριότητα. Τέλος, το κάταγμα με **βαθμό 4** περιλαμβάνει το πλήρες πλάτος του οστού και εμφανίζεται ως πλήρες κάταγμα. Η θεραπεία κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων ενός κατάγματος καταπόνησης (οι βαθμοί 1 και 2) θα σταματήσει την πρόοδό του και θα επιτρέψει στον ασθενή να επιστρέψει πιο σύντομα στα φυσιολογικά επίπεδα δραστηριότητας. Ο προσδιορισμός του βαθμού 4 είναι σημαντικός επειδή η μη κατάλληλη θεραπεία μπορεί να το οδηγήσει στο πλήρες κάταγμα ή/ και στην αποτυχία δημιουργίας πώρου (nonunion fracture).



Εικόνα 2.6. Κάταγμα του κυβοειδούς οστού του αριστερού άκρου ποδός σε παιδί 7 ετών. Παρατηρείστε τη διαφορά εικόνας μετά από λήψη με pinhole κατευθυντήρα με διάμετρο οπής 3 mm.



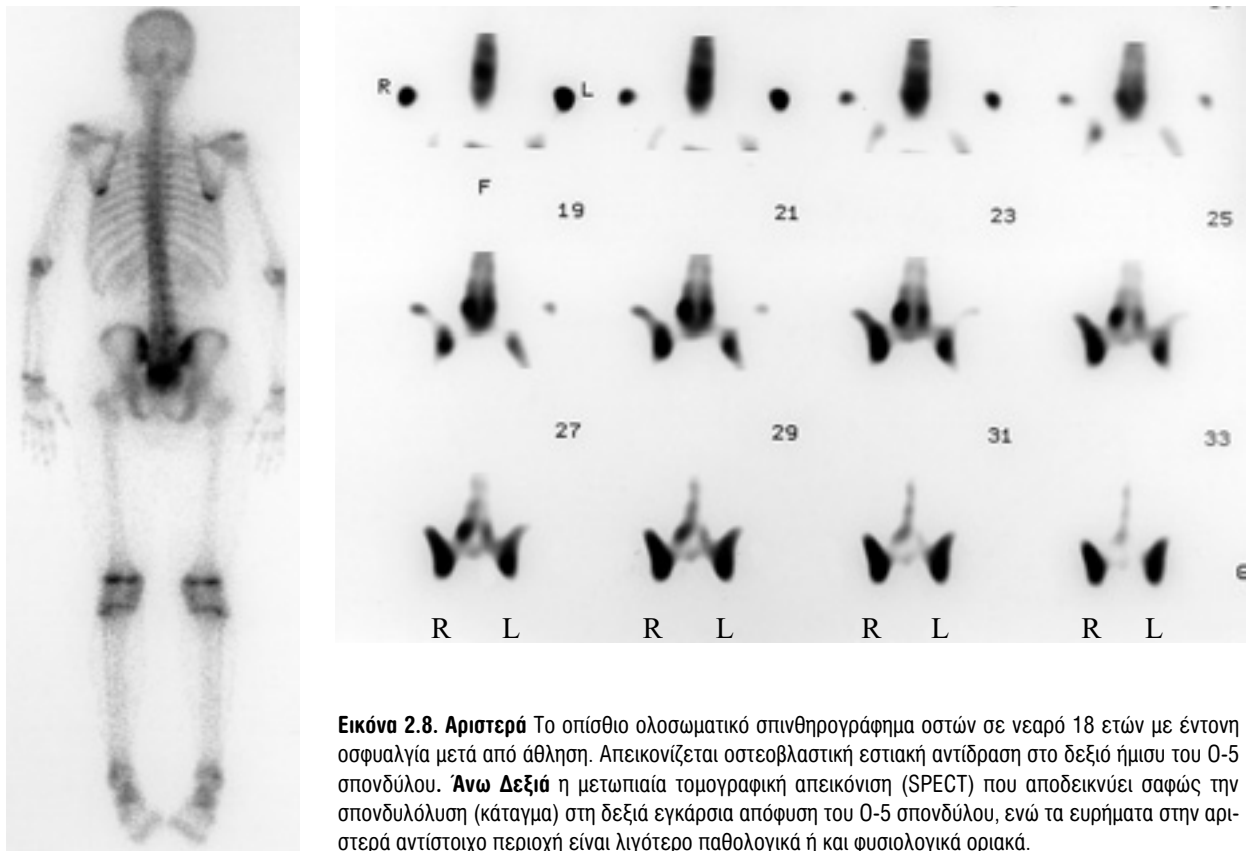
Εικόνα 2.7. Κάταγμα από stress στην αριστερά περόνη παιδιού με φυσιολογική ακτινογραφία περιοχής.

Εκτίμηση Σπονδυλόλυσης. Μετά από κάποιο τραυματισμό μπορεί να δημιουργηθούν κατάγματα από stress των εγκαρσίων ή και των αρθρικών

σπονδυλικών αποφύσεων (ανάντεις, κατάντεις) που θα προκαλέσουν επίμονο πόνο ράχως από σπονδυλόλυση. Η κατάσταση αυτή δύσκολα εκτιμάται με τις ακτινολογικές μεθόδους, ενώ η εκτίμηση της με σπινθηρογράφημα SPECT είναι πιο ευχερής (Εικ. 2.8) κυρίως στην ανίχνευση των μικρών εστιών σπονδυλόλυσης και στην αξιολόγηση του βαθμού ενεργότητας των τραυματικών βλαβών. Μερικές φορές το SPECT μπορεί να αποκάλυψει ανυποψίαστες περιοχές ενεργού σπονδυλόλυσης στην αντίθετη πλευρά ή στους παρακείμενους σπονδύλους. Αφετέρου, ένα φυσιολογικό σπινθηρογράφημα οστών, ακόμη και παρουσία των ακτινογραφικών μεταβολών, υποθέτει μια ανενεργό ή θεραπευμένη ασθένεια και εμφανίζεται να είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο στο να αποκλείσει τον τραυματισμό των σπονδυλικών αρθρικών επιφανειών ως αιτία του πόνου στη ράχη ή την οσφυ.

Κάταγμα του μηριαίου αυχένα. Το σπινθηρογράφημα των οστών είναι πολύ ευαίσθητο στην ανίχνευση κατάγματος καταπόνησης στον αυχένα

του μηριαίου οστού, που είναι μεταξύ των πιο σημαντικών τραυμάτων που αντιμετωπίζει σήμερα η αθλητική ιατρική λόγω της δυνατότητάς τους για πρόκληση μακροπρόθεσμης ανικανότητας. Αν και αυτή η βλάβη είναι σχετικά σπάνια, εμφανίζεται συνήθως στους δρομείς απόστασης και στα πρόσωπα που αυξάνουν ξαφνικά το σωματικό φορτίο τους. Τα μηριαία κατάγματα καταπόνησης ταξινομούνται σε δύο τύπους, στα κατάγματα τάσης και στα κατάγματα συμπίεσης, ανάλογα με την ανατομική θέση και την παθοφυσιολογία τους. Τα **κατάγματα καταπόνησης τάσης** εμφανίζονται στον ανώτερο φλοιό του μηριαίου αυχένα και θα πρέπει να σταθεροποιηθούν εσωτερικά για να αποτρέψουν τη μετατόπιση του οστού. Τα **κατάγματα καταπόνησης από συμπίεση** εμφανίζονται στην κατώτερη ή διάμεση μοίρα του μηριαίου αυχένα. Η μετατόπιση είναι εξαιρετικά σπάνια και αντιμετωπίζονται συνήθως χωρίς επέμβαση αλλά με προσθήκη βάρους και έκταση και με συχνή ακτινογραφική παρακολούθηση.



Εικόνα 2.8. Αριστερά Το οπίσθιο ολοσωματικό σπινθηρογράφημα οστών σε νεαρό 18 ετών με έντονη οσφυαλγία μετά από άθληση. Απεικονίζεται οστεοβλαστική εστιακή αντίδραση στο δεξιό ήμισυ του Ο-5 σπονδύλου. Άνω Δεξιά η μετωπιαία τομογραφική απεικόνιση (SPECT) που αποδεικνύει σαφώς την σπονδυλόλυση (κάταγμα) στη δεξιά εγκάρσια απόφυση του Ο-5 σπονδύλου, ενώ τα ευρήματα στην αριστερά αντίστοιχο περιοχή είναι λιγότερο παθολογικά ή και φυσιολογικά οριακά.

Ασθενείς που έχουν κατάγματα καταπόνησης του μηριαίου αυχένα συνήθως συνοδεύονται με πόνο βουβωνικό, μηριαίο ή γονάτων που επιδεινώνεται από τη φυσική δραστηριότητα. Η κλινική εξέταση μπορεί να μην ανακαλύψει τη βλάβη λόγω των υπερκειμένων μαλακών ιστών. Συχνά η διάγνωση γίνεται καθυστερημένα επειδή τα ευρήματα είναι μη ειδικά και η βλάβη συχνά περιπλέκεται από πιο συχνές βλάβες όπως τραύματα, πιέσεις μυών, θυλακίτιδα (bursitis) ή με εκφυλιστικές αλλοιώσεις.

Το σπινθηρογράφημα των οστών αποκαλύπτει χαρακτηριστική έντονη εστιακή πρόσληψη ραδιοφαρμάκου στο μηριαίο αυχένα. Οι ακτινογραφίες θα είναι φυσιολογικές και μπορούν να αποκαλύψουν το κάταγμα εάν το οστό έχει αρχίσει να αναδιαμορφώνεται, γεγονός που συμβαίνει συνήθως περίπου 2 έως 6 εβδομάδες μετά από την αρχή των συμπτωμάτων. Συνεπώς το σπινθηρογράφημα οστών πρέπει να γίνεται στους ασθενείς με ύποπτα συμπτώματα και με φυσιολογική ακτινογραφία περιοχής.

Μία άλλη κατηγορία καταγμάτων είναι τα **κατάγματα ανεπάρκειας** του οστίτη ιστού στους σπονδύλους της ιεράς χώρας που είναι αληθή κατάγματα αλλά σε έδαφος οστεοπωρωτικό ή μετά από λήψη κορτικοστεροειδών και θα πρέπει να διαφοροδιαγνωσθούν από τα άλλα κατάγματα stress. Τα κατάγματα ανεπάρκειας έχουν ένα ειδικό πρότυπο που ονομάζεται το **σημείο της «Honda»** ή **«H» σημείο** από την εγκάρσια αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στο σπονδυλικό σώμα και από την αμφίπλευρη κάθετη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στα πλάγια του ιερού οστού προς την ιερολαγόνιο άρθρωση και στις δύο πλευρές.

Οι τραυματικές βλάβες στην περιοχή των οστών της κνήμης μπορεί να προκαλέσουν *μόνο στην οστική φάση* μία **αυξημένη γραμμοειδή πρόσληψη** του ραδιοφαρμάκου που δεν οφείλεται σε κάταγμα αλλά σε τοπική αποκόλληση του περιosteού (περιοστίτιδα) με συνοδό οστική αντίδραση καταπόνησης και ονομάζεται **shin splints** (νάρθηκας ή σχίζα αντικνήμιου). Η διάκριση αυτών σε σχέση με τα κατάγματα από stress είναι εύκολη επειδή τα τελευταία εμφανίζουν στρόγγυλο ή ατρακτοειδές σχήμα αυξημένης πρόσληψης ραδιοφαρμάκου και επιπλέον συνοδεύονται με αύξηση της αιματικής ροής στην 1^η φάση μελέτης. Η

βλάβη γίνεται συνήθως σε νέους αθλητές και αυτές οι περιοχές θεωρούνται αυξημένου κινδύνου για μελλοντικό κάταγμα στην αναδιαμόρφωση των οστών. Αντίθετα από ένα κάταγμα καταπόνησης, μια αντίδραση καταπόνησης οστού είναι μια περιοχή του αποδυναμωμένου αλλά όχι θρυμματισμένου οστού.

Άλλες τραυματικές βλάβες είναι οι **τραυματισμοί απόσπασης** (avulsion injuries) που προκαλούνται από το τράβηγμα τενόντων ή από διάταση μυών ή συνδέσμων από ισχυρές δυνάμεις που δημιουργούνται στο μυοσκελετικό σύστημα. Μια κοινή περιοχή και στα δύο φύλα είναι η περιοχή του ισχιακού οστού στη θέση κατάφυσης τενόντων. Άλλες συχνές περιοχές είναι ο ελάσσων τροχαντήρας (κατάφυση λαγονοψοϊτη μυ), η κατώτερη ΟΜΣΣ (ορθός μηριαίος), η ανώτερη ΟΜΣΣ (ραπτικός μυς), το κατώτερο ηβικό οστό (προσαγωγός) και η επιγονατίδα (τένοντας επιγονατίδας). Το σπινθηρογράφημα των οστών παρουσιάζει χαρακτηριστικά καθορισμένη σαφή εστίαση της πρόσληψης του ραδιοφαρμάκου στη περιοχή της σύνδεσης των τενόντων με το οστό.

Κακοποίηση Παιδιού

Η κακοποίηση του παιδιού δυστυχώς υφίσταται και σήμερα. Η κλινική και η ακτινολογική εκτίμηση των παλαιών τραυμάτων είναι σχετικά εύκολη, αλλά πολλές φορές τα υποκλινικά τραύματα που συμβαίνουν, δεν μπορούν να εκτιμηθούν καλά με τις ακτινογραφίες. Το σπινθηρογράφημα των οστών είναι ένα αξιόπιστο εργαλείο στην εκτίμηση της κακοποίησης του παιδιού. Η αναγνώριση των εστιών αυξημένης πρόσληψης του ραδιοφαρμάκου στις πλευρές ή στα μακρά οστά οφείλεται σε τοπική βλάβη του περιosteού και είναι ευρήματα παθολογικά της κακοποίησης του παιδιού. Οι μελέτες αυτές πρέπει να γίνονται προσεκτικά και απαιτούν προσεκτική ερμηνεία και λόγω μελλοντικών δικαστικών διαδικασιών.

2.7.3 Ανίχνευση μυϊκών ανωμαλιών

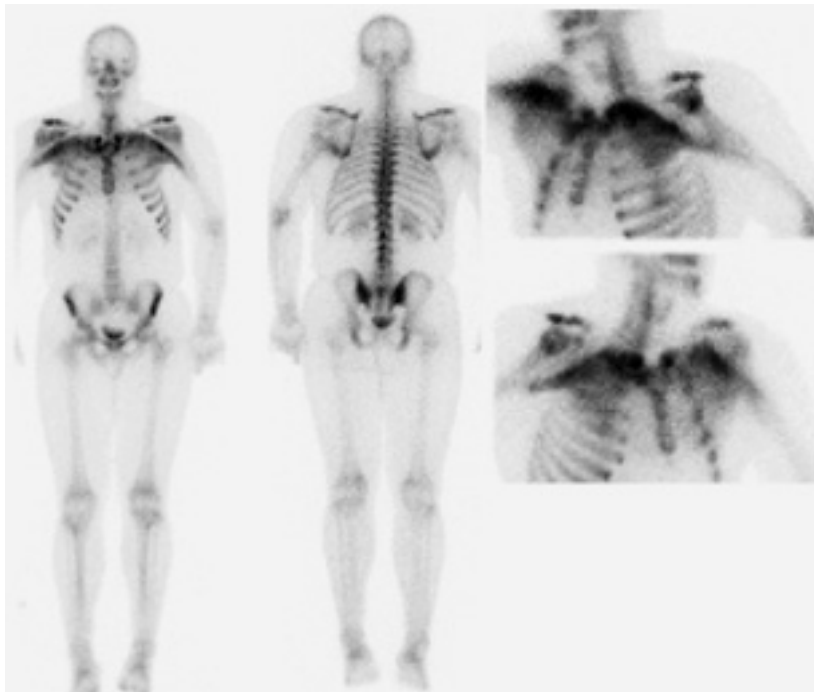
Αν και το σπινθηρογράφημα των οστών δεν χρησιμοποιείται για να αξιολογήσουμε τους τραυματισμούς μυών, μερικές φορές η μυϊκή βλάβη είναι ανιχνεύσιμη (Εικ. 2.9 και 2.10). Οι σοβαρές θλάσεις και οι φλεγμονές μπορούν να οδηγήσουν

στην ανάπτυξη της οστεοποιού μυοσίτιδας (myositis ossificans) η και της ραβδομύλωσης, που χαρακτηρίζονται από το σχηματισμό αιματώματων, βλάβη στα σκελετικά μυϊκά κύτταρα και την ενδοκυτταρική εναπόθεση του ασβεστίου με ή χωρίς ετερότοπη οστεοποίηση.

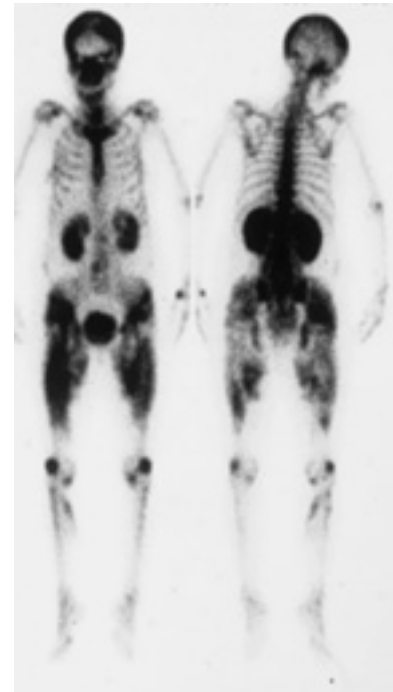
Οστεοποιός Μυΐτις. Η μετατραυματική οστεοποιός μυΐτιδα ή μυοσίτιδα είναι μία παθολογική κατάσταση όπου σχηματίζεται ετερότοπος οστίτις ιστός και μερικές φορές χόνδρος, είτε μέσα στους μύες ή στο περίοστεο μετά από ένα τραυματικό γεγονός. Η διάγνωση πρέπει να εξεταστεί σε οποιοδήποτε ασθενή που παρουσιάζει μια επίπονη μάζα που αναπτύσσεται 3 έως 4 εβδομάδες μετά από έναν τραυματισμό. Ο μηρός είναι μια συνήθης περιοχή ανάπτυξης οστεοποιού μυοσίτιδας. Πιθανώς ο πιο πολύτιμος ρόλος του σπινθηρογραφήματος οστών είναι στην αξιολόγηση της ωριμότητας της ετεροτόπης οστικής ανωμαλίας με βάση την ένταση της πρόσληψης του ραδιοφαρμάκου. Στο σπινθηρογράφημα των οστών, μία ενεργός βλάβη παρουσιάζει αυξανόμενη εστιακή λήψη στους επι-

ρεασθέντες μυς και πολλές φορές προηγείται των ακτινογραφικών ευρημάτων. Η ετερότοπος οστική βλάβη θεωρείται ώριμη όταν μειώνεται η ένταση της πρόσληψης του ραδιοφαρμάκου σε σχέση με μια προηγούμενη μελέτη. Πολλοί χειρουργοί προτιμούν να καθυστερήσουν την αφαίρεση του έως ότου το τραύμα είναι ώριμο επειδή αυτό μειώνει την πιθανότητα υποτροπής.

Ραβδομύλωση. Το σπινθηρογράφημα των οστών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει τη διάγνωση και να καθορίσει την έκταση του τραυματισμού μύων. Στη ραβδομύλωση, υπάρχει αυξημένη πρόσληψη σε όλους τους τραυματισθέντες μύες (Εικ. 2.10). Οι εικόνες είναι πιο σαφείς σε 1 έως 2 ημέρες μετά από τον τραυματισμό και συνήθως αποκαθίστανται στο φυσιολογικό μέσα σε 7 έως 10 ημέρες. Αν και οι περισσότερες περιπτώσεις της ραβδομύλωσης δεν απαιτούν σπινθηρογράφημα, η τεχνική είναι πολύ χρήσιμη όταν υπάρχει υπόνοια νόσου και τα επίπεδα της κρεατινοφωσφοκινάσης ορού έχουν επιστρέψει στο φυσιολογικό. Στους αθλητές με επαναλαμβανόμενη ραβδο-



Εικόνα 2.9. Ασθενής 19 ετών με ιστορικό λεμφώματος και έντονο πρόσφατο θωρακικό άλγος επειδή πριν δύο ημέρες από το προγραμματισθέν σπινθηρογράφημα οστών ασκήθηκε έντονα στον θώρακα με ανύψωση βάρους. Απεικονίζεται φυσιολογικό σπινθηρογράφημα οστών αλλά έντονη μυϊκή πρόσληψη ραδιοφαρμάκου από μυοσίτιδα στους θωρακικούς μυς άμφω.



Εικόνα 2.10. Γυναίκα 54 ετών με έντονη μυϊκή πρόσληψη του $^{99m}\text{Tc-MDP}$ από ραβδομύλωση με έντονους πόνους στα άκρα και οσφύ.

μύδωση το σπινθηρογράφημα μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό των επηρεασθέντων μεμονωμένων ομάδων μυών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διορθώσουν τις εμβιομηχανικές ανωμαλίες ή να αποτρέψουν περαιτέρω βλάβες.

2.7.4 Αντανεκλαστική Συμπαθητική Δυστροφία (Reflux Sympathetic Dystrophy, RSD)

Το σπινθηρογράφημα των οστών μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διάγνωση της ανακλαστικής συμπαθητικής δυστροφίας (RSD), μία κατάσταση που δύσκολα μπορεί να διαγνωσθεί. Αν και σπάνια πάθηση και ανεπαρκώς κατανοητή, η RSD χαρακτηρίζεται από πόνο, αίσθημα τάσης, αγγειοκινητική αστάθεια, διόγκωση, και δυστροφικές αλλαγές του δέρματος στα άκρα. Εμφανίζεται συχνά μετά από τραύμα ή μετά από χειρουργική επέμβαση αλλά μπορεί επίσης να συνοδεύσει τις νευρολογικές και αγγειακές παθήσεις. Η υφιστάμενη αιτία είναι πιθανώς η αυξημένη δραστηριότητα του συμπαθητικού νευρικού συστήματος.

Επειδή τα συμπτώματα RSD είναι παρόμοια με πολλών άλλων κλινικών οντοτήτων, η διάγνωση μπορεί συχνά να καθυστερήσει. Η πρόγνωση βελτιώνεται όταν αναγνωρίζεται νωρίς η RSD και η θεραπεία αρχίζει αμέσως, αλλά η πιθανότητα για την αποκατάσταση μπορεί να είναι φτωχή εάν η διάγνωση καθυστερήσει μέχρι το χρόνιο στάδιο. Το σπινθηρογράφημα 3 φάσεων είναι πολύ ευαίσθητο και ειδικό για την RSD και παραμένει ως η μοναδική μέθοδος μελέτης. Η ακτινογραφία στην RSD δεν βοηθάει και το MRI έχει μικρή αξία. Το πρότυπο του σπινθηρογραφήματος των οστών στη RSD εξαρτάται από το στάδιο της νόσου και από το

εξεταζόμενο άνω ή κάτω άκρο. Στον παρακάτω Πίνακα 2.3 δίνονται τα πρότυπα των σπινθηρογραφικών ευρημάτων κυρίως για την άκρα χείρα, ενώ για τον άκρο πόδα και για την περιοχή του γόνατος τα ευρήματα δεν είναι τόσο ειδικά όσο εκείνα της άκρας χείρας. Σε μεγαλύτερη διάρκεια συμπτωμάτων, περισσότερο από ένα χρόνο, τα ευρήματα δεν βοηθούν και προκαλούν διαγνωστική σύγχυση.

2.7.5 Λοιμώξεις και Φλεγμονές των οστών

Το σπινθηρογράφημα των οστών είναι μία ευαίσθητη μέθοδος στην ανίχνευση και εκτίμηση της λοίμωξης στα οστά είτε ως πρώτη είτε ως συμπληρωματική μέθοδος. Η ακρίβεια (accuracy) της μεθόδου ξεπερνά το 90% όταν απουσιάζουν τυχόν επιπλοκές που αυξάνουν την οστική μεταλλική ανακύκλωση (bone-mineral turnover) επειδή η συνύπαρξη τέτοιων καταστάσεων (κατάγματα, νευροπαθητικές αρθρώσεις, αρθρίτιδες κ.λπ.) μπορεί να μιμηθεί την οστεομυελίτιδα και να μειώσει την ειδικότητα της μεθόδου. Η αύξηση της ειδικότητας στις παραπάνω καταστάσεις απαιτεί συνδυασμό σπινθηρογραφημάτων. Για οξεία λοίμωξη (διάρκεια < του ενός μηνός) απαιτείται είτε συνδυασμός σπινθηρογραφημάτων είτε μόνο σπινθηρογράφημα με επισημανθέντα λευκά αιμοσφαίρια του ασθενή (WBC) με ¹¹¹In-oxine WBC (ως πρώτη επιλογή) είτε με ^{99m}Tc-HMPAO-WBC (hexamethyl propylenamine oxime) (ως δεύτερη επιλογή), με έτοιμα επισημανθέντα με ^{99m}Tc μονοκλωνικά αντισώματα έναντι κοκκιοκυττάρων, ή ως τρίτη επιλογή με ^{99m}Tc-nanocolloid ή και με επισημασμένες ανοσοσφαιρίνες IgG. Σε χρόνιες λοιμώξεις προτιμότερος είναι ο συνδυασμός του σπινθηρογραφήματος των οστών με εκείνο του κιτρικού γαλλίου (⁶⁷Ga-citrate). Το γάλλιο συγκεντρώνεται

Πίνακας 2.3 Τυπικά ευρήματα RSD σε άκρα χείρα και αντιβράχιο

Στάδιο νόσου	1η και 2η φάση	Οστική φάση
0-6 μήνες	Αυξημένη ροή αίματος στο πάσχον άκρο	Χαρακτηριστική αυξημένη περιαρθρική καθήλωση του ραδιοφαρμάκου
6-12 μήνες	Φυσιολογικά ευρήματα	Εμμένουσα αυξημένη περιαρθρική καθήλωση του ραδιοφαρμάκου
Μετά τους 12 μήνες	Μειωμένη ροή αίματος	Σχεδόν φυσιολογικά ευρήματα



Εικόνα 2.11. Περίπτωση ανακλαστικής συμπαθητικής δυστροφίας (RSD) αριστερού άνω άκρου στη φάση 2^η (εικόνα blood pool) όπου είναι σαφής η αυξημένη αιμάτωση και στη φάση 3^η σε κανονική λήψη και με μεγέθυνση, όπου απεικονίζεται η έντονη οστική προσληψη του MDP κυρίως στα οστά του καρπού και στα οστά των δακτύλων.

σε εστίες λοίμωξης μέσω της τοπικής υπεραιμίας και της ύπαρξης υποδοχέων τρανσφερρίνης και λακτοφερρίνης όπου και δεσμεύεται. Τα τυπικά ευρήματα της χρόνιας οστεομυελίτιδας είναι ότι η συγκέντρωση του γαλλίου είναι μεγαλύτερη εκείνης του ^{99m}Tc-MDP στην ύποπτη θέση. Εάν η συγκέντρωση του γαλλίου είναι μικρότερη του ^{99m}Tc-MDP ή φυσιολογική, τότε απομακρυνόμαστε από τη διάγνωση της ενεργού οστεομυελίτιδας, της ενεργού δισκίτιδας ή της ύπαρξης ενεργού φλεγμονής σε υπάρχουσα αρθροπλαστική. Επίσης η θεραπεία μίας φλεγμονώδους εστίας ελέγχεται κυρίως με το γάλλιο παρά με το σπινθηρογράφημα των οστών που μπορεί να δίνει θετικά ευρήματα για αρκετό χρονικό διάστημα. Θα πρέπει όμως να λάβουμε υπόψη ότι το γάλλιο επειδή είναι ένα ασθενές παράγωγο του ασβεστίου συγκεντρώνεται και αυτό σε περιοχές με αυξημένη οστική μεταλλική ανακύκλωση όπως σε κατάγματα, νευροπαθητικές αρθρώσεις κ.λπ. και μπορεί να υπάρξουν διαφοροδιαγνωστικά προβλήματα για συνυπάρχουσα φλεγμονή. Σε αυτές τις καταστάσεις θα χρησιμοποιηθούν τα επισημανθέντα λευκά αιμοσφαίρια (WBC) ή τα επισημανθέντα αντισώματα έναντι κοκκιοκυττάρων που συγκεντρώνονται σε περιοχές φλεγμονής και όχι σε περιοχές με αυξημένο οστικό μεταβολισμό. Και εδώ θετικά ευρήματα για φλεγμονή θα έχουμε όταν η συγκέντρωση των επισημανθέντων WBC ή των αντισωμάτων υπερβαίνει τη συγκέντρωση του ^{99m}Tc-MDP.

2.7.5.1 Οξεία Οστεομυελίτιδα – Κυτταρίτιδα-Σηπτική αρθρίτιδα

Η οξεία αιματογενής οστεομυελίτιδα τυπικά αρχίζει με μία εστιακή φλεγμονή στο μυελό των οστών, συνήθως στα παιδιά από τον χρυσίζοντα σταφυλόκοκκο. Από εκεί η φλεγμονή μπορεί να επεκταθεί διαμέσου των οριζοντίων καναλιών του Volkmann στο σύστημα των καθέτων καναλιών του Havers προς το περίοστεο και προς το ενδοόστεο και να αρχίσει η οστική αντίδραση. Το σπινθηρογράφημα των οστών με ^{99m}Tc-MDP από τις πρώτες ώρες εισβολής των κλινικών συμπτωμάτων της νόσου είναι θετικό σε μεγάλο ποσοστό. Μερικές φορές υπάρχει οίδημα είτε των μαλακών μορίων είτε και της γειτονικής άρθρωσης και απαιτείται διαφορική διάγνωση μεταξύ κυτταρίτιδος (φλεγμονή μαλακών μορίων), οστεομυελίτιδος και σηπτικής αρθρίτιδος. Το σπινθηρογράφημα των τριών φάσεων με ^{99m}Tc-MDP έχει χρησιμοποιηθεί για δεκαετίες με επιτυχία στη διάκριση αυτών των καταστάσεων.

Η **κυτταρίτιδα (cellulitis)** συνοδεύεται από αυξημένη αλλά κυρίως φλεβική υπεραιμία και τοπική διόγκωση των μαλακών ιστών (στη φάση 1^η και 2^η) αλλά στην οστική φάση (φάση 3^η ή 4^η) της περιοχής δεν υπάρχει η παθολογική κατακράτηση του ραδιοφαρμάκου στα οστά.

Αντίθετα **στην οξεία αιματογενή οστεομυελίτιδα** υπάρχει **αρτηριακή υπεραιμία** στη φάση 1^η και 2^η που συνεχίζεται με την προοδευτική αυξημένη εστιακή οστική πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου στη

φάση 3^η ή 4^η λόγω της δημιουργίας αντιδραστικού νέου οστού γύρω και εντός της φλεγμονώδους εστίας. Η συγκέντρωση αυτή γίνεται πιο έντονη με το χρόνο της απεικόνισης λόγω της αποφόρτισης του ραδιοφαρμάκου από τα μαλακά μόρια και της μεγαλύτερης συγκέντρωσης του στην οστική βλάβη. Η μέθοδος των 3-4 φάσεων αυξάνει την ειδικότητα του σπινθηρογραφήματος στο 80-85% ενώ η ευαισθησία του είναι περίπου στο 95%. Πάντως μια θετική μελέτη 3-4 φάσεων δεν είναι απολύτως ειδική μόνο για την οστεομυελίτιδα και μπορεί να συμβεί και σε άλλες καταστάσεις, όπως σε κάταγμα, κάταγμα από καταπόνηση, σε ουρική αρθρίτιδα, σε ρευματοειδή αρθρίτιδα, σε νευροπαθητική άρθρωση, κ.λπ. αλλά στην ΔΔ θα βοηθήσει η όλη κλινική εικόνα και τα ακτινολογικά ευρήματα. Παρά τους παραπάνω περιορισμούς το σπινθηρογράφημα των οστών συνεχίζει να είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τη διάγνωση της οστεομυελίτιδας, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχει υπόστρωμα νευροπαθητικής οστεοαρθροπάθειας, ιστορικό κατάγματος ή μετεγχειρητικές μεταβολές. Μια φυσιολογική μελέτη αποκλείει την οστεομυελίτιδα, ενώ μία παθολογικά αυξημένη εστιακή συγκέντρωση στις 3-4 φάσεις μπορεί να είναι αρκετά ειδική για οστεομυελίτιδα από τη θέση εντόπισης, το πρότυπο κατανομής και την ένταση συγκέντρωσης της μαζί με το συνολικό κλινικό πλαίσιο. Έτσι το σπινθηρογράφημα των οστών παραμένει ως διαγνωστική εξέταση ταχείας διαλογής σε αυτές τις παθολογικές καταστάσεις επειδή η τεχνική είναι απλή και η μελέτη ολοκληρώνεται μέσα σε 2-3 ώρες.

Ασθενείς με **σηπτική αρθρίτιδα** μπορεί να αναπτύξουν οστεομυελίτιδα στην περιαρθρική περιοχή από άμεση διασπορά του αιτίου της φλεγμονής. Η αμιγής σηπτική αρθρίτιδα θα δείξει περιαρθρική αυξημένη υπεραίμια στη φάση 1^η και 2^η ενώ στην οστική φάση της άρθρωσης υπάρχει αυξημένη καθήλωση του ραδιοφαρμάκου σε αμφότερα τα οστά της άρθρωσης. Σε ύπαρξη και οστεομυελίτιδας θα υπάρχει και κάποια πιο εστιακή συγκέντρωση ραδιοφαρμάκου. Εστιακή συγκέντρωση θα δείξει το σπινθηρογράφημα με γάλλιο ή η χρήση επισημανθέντων λευκών αιμοσφαιρίων. Σε μικρό ποσοστό λόγω αυξημένης πίεσης εντός της άρθρωσης οι δομές της άρθρωσης μπορεί να

απεικονισθούν ψυχρές από μειωμένη ροή αίματος ή και από τη δημιουργία εμφράκτου περιοχής.

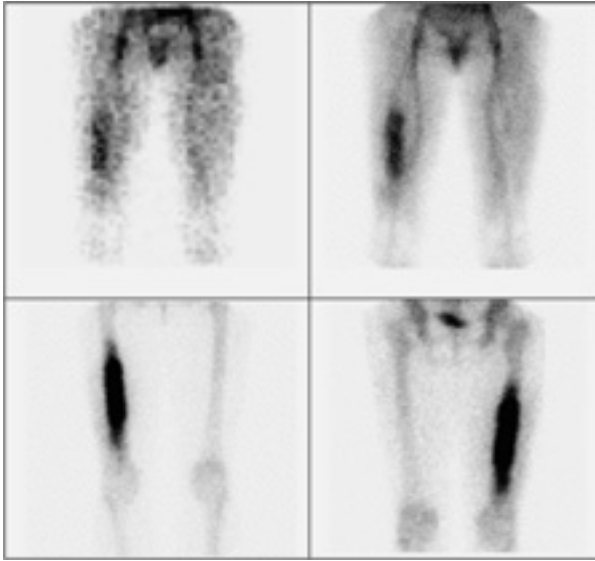
Προβλήματα

α) Περιπτώσεις με μειωμένη ειδικότητα

Η παραπάνω αναφερόμενη ευαισθησία και ειδικότητα για τη διάγνωση της οστεομυελίτιδος υπάρχει όταν το παιδί ή ο ενήλικας δεν έχει προηγούμενη οστική βλάβη. Σε άτομα με προηγούμενη οστική βλάβη η ειδικότητα του σπινθηρογραφήματος των οστών των 3 φάσεων μειώνεται και θα είναι προτιμότερο να γίνει είτε σπινθηρογράφημα με σήμανση λευκών αιμοσφαιρίων (WBC) του ασθενή (ή ενός δότη εάν τα λευκά αιμοσφαίρια του ασθενή στην περιφέρεια είναι λιγότερα από 2000 κύτταρα ανά ml και ιδίως με ουδετερόφιλα < 1000 κύτταρα ανά ml) είτε κυρίως στην περίπτωση της χρόνιας οστεομυελίτιδας να γίνει συνδυασμός του σπινθηρογραφήματος των οστών με σπινθηρογράφημα γαλλίου. Το σπινθηρογράφημα με ¹¹¹In-WBC ή με ^{99m}Tc-HMPAO-WBC είναι το ίδιο ευαίσθητο με το σπινθηρογράφημα των οστών 3 φάσεων και περισσότερο ειδικό από αυτό για τις οστικές λοιμώξεις σε όλες τις σκελετικές περιοχές πλην της σπονδυλικής στήλης. Για λόγους ανεξήγητους, η οστεομυελίτιδα των σπονδύλων έχει «άτυπα» χαρακτηριστικά απεικόνισης. Συνήθως δεν συνδέεται με την αυξημένη πρόσληψη των με ¹¹¹In-WBC και μπορεί περιστασιακά να αποτύχει να δείξει και σημαντική πρόσληψη ^{99m}Tc-MDP. Αυτό το γεγονός επιτείνεται στη χρόνια οστεομυελίτιδα της σπονδυλικής στήλης όπου η μέθοδος του σπινθηρογραφήματος των λευκών αιμοσφαιρίων έχει μία ευαισθησία περίπου 50% και ακόμη μικρότερη όταν οι ασθενείς έχουν και άλλες προηγούμενες οστικές βλάβες. Εάν υπάρχει ιστορικό χρόνιας οστεομυελίτιδας ή προϋπάρχουν οστικές βλάβες στη σπονδυλική στήλη τότε είναι προτιμότερο να γίνει μελέτη με MRI επειδή η πυρηνική ιατρική δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για τυχόν δημιουργία αποστήματος με επέκταση στο νωτιαίο μυελό όπως δίνει το MRI.

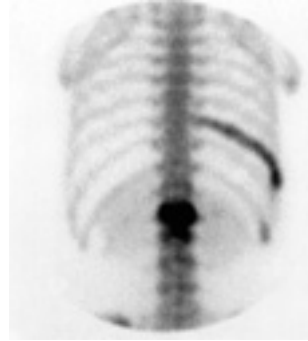
β) Φωτοπενικές (ψυχρές) οστικές βλάβες

Φωτοπενικές (ψυχρές) οστικές βλάβες στο σπινθηρογράφημα των οστών μπορεί να απεικονι-



Εικόνα 2.12. Τοπικό σπινθηρογράφημα οστών σε ενήλικα ασθενή με τυπικά ευρήματα οξείας οστεομυελίτιδας στην περιοχή του δεξιού μηριαίου οστού. Άνω αριστερά μία εικόνα από την δυναμική μελέτη αιμάτωσης (1^η φάση). Άνω δεξιά η πρόσθια εικόνα blood pool (2^η φάση). Κάτω αριστερά η πρόσθια εικόνα οστικής φάσης (3^η φάση) και κάτω δεξιά η αντίστοιχη οπίσθια λήψη των μηριαίων στην οστική φάση.

σθούν στην έρευνα της οστεομυελίτιδας λόγω ενδομυελικής αυξημένης πίεσης και βραδείας ροής αίματος από το τοπικό οίδημα της φλεγμονής ή από ύπαρξη εμφράκτου. Όταν συμβεί ενδομυελικό έμφρακτο (συχνό σε δρεπανοκυτταρικές αναιμίες) με επέκταση στο οστό τότε στο πρώιμο σπινθηρογράφημα οστών μπορεί να έχουμε στην περιοχή της βλάβης μία «ψυχρή» περιοχή που σε μερικές ημέρες θα γίνει «θερμή» λόγω οστικής αντίδρασης από το γύρω φυσιολογικό οστό. Εάν ακολουθήσει σπινθηρογράφημα μυελού των οστών μπορεί να γίνει διαφορική διάγνωση νέου από παλιό έμφρακτο και από οξεία οστεομυελίτιδα. Πάντως, στο φάσμα μεταξύ «ψυχρής» και «θερμής» απεικόνισης της βλάβης υπάρχει και η περίπτωση της φυσιολογικής απεικόνισης (ψευδώς αρνητικά ευρήματα). Αυτό το γεγονός μπορεί να συμβεί κυρίως σε οξεία οστεομυελίτιδα νεογνών. Τότε σε ισχυρή κλινική υπόνοια η ένδειξη είναι η μελέτη με MRI που θα απεικονίσει καλύτερα το μυελό των οστών και σε αμφίβολες περιπτώσεις μπορεί σε δεύτερη φάση να ακολουθήσει το σπινθηρογράφημα των οστών.



Εικόνα 2.13. Δισκίτιδα στον Ο1-Ο2 σπόνδυλο και οστεοβλαστική αντίδραση στην 9^η δεξιά θωρακική πλευρά από οστεομυελίτιδα σε θήλυ ηλικίας 15 ετών.

2.7.5.2 Ορθοπεδικές προθέσεις (Joint prosthesis)

Οι μηχανικές προθέσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ορθοπεδική μπορεί να γίνουν και θέσεις ανάπτυξης φλεγμονής. Ο επίμονος πόνος μετά από αρθροπλαστική μπορεί να οφείλεται συνήθως είτε σε φλεγμονή είτε σε χαλάρωση της πρόθεσης εντός του οστού. Πόνος μπορεί να υπάρξει σε παρουσία επασβέστωσης των μαλακών μορίων ή από δημιουργία έκτοπου οστίτου ιστού περιφερικά της άρθρωσης που δεν είναι πάντα ορατή στην ακτινογραφία. Το σπινθηρογράφημα των οστών θα βοηθήσει στην επίλυση αυτών των καταστάσεων ενώ η πρόθεση ως μεταλλικό αντικείμενο θα απεικονίζεται ως φωτοπενική περιοχή.

Αυξημένη πρόσληψη του ^{99m}Tc-MDP γύρω από την πρόθεση μπορεί να συμβεί τους πρώτους 6-12 μήνες μετά την επέμβαση και θεωρείται φυσιολογικό εύρημα.

Μετά την πάροδο ενός χρόνου η αυξημένη πρόσληψη του MDP σε θέσεις στήριξης του στυλεού ή της κοτύλης αξιολογείται ως παθολογική και κυρίως όταν συνυπάρχουν και κλινικά συμπτώματα. Η κλασική εικόνα της φλεγμονής είναι παθολογική και κυρίως εάν υπάρχει υπεραϊμία και αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου και στις τρεις φάσεις της μελέτης με ^{99m}Tc-MDP. Στην 3^η φάση σε περίπτωση φλεγμονής θα υπάρχει συνήθως διάχυτη αυξημένη οστική πρόσληψη, ενώ αν παρατηρηθεί εστιακή πρόσληψη μόνο στα σημεία στήριξης της αρθροπλαστικής (τροχαντήρες, στο πέρας και στη διαδρομή του στυλεού) η διάγνωση είναι υπέρ της χαλάρωσης. Σε αμφίβολες και δύσκολες περιπτώσεις η ΔΔ αυτών των δύο καταστάσεων δεν είναι εύκολη και εκτός από την ακτινογραφία και το σπινθηρογράφημα των οστών ακολουθεί συμπληρωματικά

είτε το σπινθηρογράφημα του ^{67}Ga -citrate είτε η απεικόνιση με επισημανθέντα λευκά αιμοσφαίρια που σε περίπτωση φλεγμονής θα δείχνουν την εστία της φλεγμονής. Επειδή τα λευκά αιμοσφαίρια συγκεντρώνονται και απεικονίζονται τόσο την εστία φλεγμονής όσο και το μυελό των οστών, μπορεί να ζητηθεί επιπλέον και σπινθηρογραφική απεικόνιση του μυελού των οστών επειδή η έλλειψη απεικόνισης μυελού θα ενισχύσει τη διάγνωση και τη θέση της τοπικής φλεγμονής. Οι αναφερθέντες απεικονιστικοί χειρισμοί είναι επιβεβλημένοι επειδή απαιτείται ακριβής διάγνωση για τον θεραπευτικό ορθοπαιδικό χειρισμό αυτών των ασθενών.

2.7.5.3 Διαβητική Νευροπαθητική Οστεοαρθροπάθεια

Η Διαβητική νευροπάθεια μπορεί να συνοδεύεται με ανωμαλίες των άκρων ποδών (άρθρωση του Charcot) που δυσχεραίνουν τη διάγνωση της οστεομυελίτιδας. Συνεπώς, η απεικόνιση με $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP δεν είναι γενικά χρήσιμη στην αξιολόγηση της για συνυπάρχουσα οστεομυελίτιδα. Από τα διαθέσιμα ραδιοφάρμακα η χρήση των επισημανθέντων λευκών αιμοσφαιρίων με ^{111}In -WBC είναι η πιο επιτυχής επειδή επιτρέπει και την ταυτόχρονη διπλή απεικόνιση σε συνθήκες τεχνητίου ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP) και σε συνθήκες ^{111}In -WBC σε μία μόνο λήψη, ενώ όταν χρησιμοποιηθεί η σήμανση των λευκών αιμοσφαιρίων με $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO ο ασθενής θα χρειασθεί να έρθει και δεύτερη φορά για την επανάληψη των ίδιων λήψεων με εκείνες του σπινθηρογραφήματος των οστών αν και η ποιότητα της απεικόνισης είναι καλύτερη από εκείνη του ινδίου.

Η ταυτόχρονη λήψη του σπινθηρογραφήματος των οστών με $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP και του ^{111}In -WBC διευκολύνει όχι μόνο τη διαφοροποίηση της οστικής πρόσληψης από την πρόσληψη των μαλακών ιστών αλλά επιτρέπει και τον πιο ακριβή εντοπισμό της οστικής φλεγμονώδους εστίας. Η συνδυασμένη αυτή μελέτη διεξάγεται ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας τα χωριστά παράθυρα ενεργειών της φωτοκορυφής του τεχνητίου και του ινδίου και οι εικόνες που αποκτώνται με αυτόν τον τρόπο μπορούν να απεικονισθούν χωριστά ή και μαζί και δείχνουν πιο ευδιάκριτα τη συγκέντρωση από τα μαλακά μόρια ή από τα οστά. Όταν συνυπάρχει και άρθρωση του

Charcot, που τυπικά αφορά την περιοχή της ποδοκνημικής άρθρωσης και το μετατάρσιο τότε μπορεί να δημιουργηθούν ψευδώς θετικά ευρήματα επειδή και το ^{111}In -WBC συγκεντρώνεται στον φυσιολογικό μυελό των οστών της άρθρωσης Charcot που είναι ενεργοποιημένος. Για διαφορική διάγνωση θα απαιτηθεί ταυτόχρονη μελέτη με την απεικόνιση του μυελού των οστών με τη βοήθεια του $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sulfur colloid ή του $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -nanocolloid και με ^{111}In -WBC. Αυξημένη πρόσληψη των με ^{111}In -WBC σε απουσία αντίστοιχης πρόσληψης κολλοειδούς σημαίνει λοίμωξη ενώ παρόμοια ευρήματα αποκλείουν την οστεομυελίτιδα και επιβεβαιώνουν την ύπαρξη νευροπαθητικής άρθρωσης του Charcot.

2.7.5.4 Οστεομυελίτιδα στα έλκη από κατάκλιση

Μια συχνή ένδειξη για σπινθηρογράφιση είναι η κλινική υποψία οστεομυελίτιδας σε ασθενή με έλκη από κατάκλιση εφόσον η ποσότητα μαλακού ιστού που υπερκαλύπτει το οστό δεν είναι μικρή. Εδώ ο καλύτερος συνδυασμός είναι η ταυτόχρονη μελέτη με ^{111}In -WBC και με $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP.

2.7.6 Αρθρίτιδες

Το σπινθηρογράφημα οστών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει την ύπαρξη αρθρίτιδας εάν οι ακτινογραφίες είναι φυσιολογικές. Το σπινθηρογράφημα μπορεί να απεικονίσει την αρθρίτιδα νωρίτερα, και η ολοσωματική κατανομή των παθολογικών αρθρώσεων να βοηθήσει στη διαφορική διάγνωση. Η μέθοδος ανιχνεύει και εκτιμά με ποσοτικούς δείκτες την ύπαρξη ιερολαγονίτιδας με τον ιερολαγονίο δείκτη (που είναι ο λόγος των κρούσεων της λαγονίου περιοχής προς ίση περιοχή στη μεσότητα του ιερού οστού, με φυσιολογικές τιμές που διαφέρουν μεταξύ των εργαστηρίων) εφόσον δεν υφίσταται πρόσφατο stress στην περιοχή αυτών των αρθρώσεων. Αν και η σκελετική σπινθηρογράφιση είναι μία ευαίσθητη απεικονιστική μέθοδος για την ύπαρξη οστεοαρθρίτιδας και ρευματοειδούς αρθρίτιδας, η τεχνική αυτή παρά τις προσπάθειες που έχουν γίνει έως σήμερα δεν μπόρεσε ακόμη να εκτιμήσει ικανοποιητικά το στάδιο, τη βαρύτητα της νόσου και την απάντηση της στη θεραπεία. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τη θεραπευτική επιτυχία σε υμενεκτομές που γίνονται με

θεραπευτική ενδοαρθρική χορήγηση ραδιονουκλιδίων. Γενικά οι αρθρίτιδες των άκρων δεν είναι διαγνωστικό πρόβλημα. Το απεικονιστικό πρόβλημα βρίσκεται στην περιοχή της χαμηλής οσφυϊκής μίσρας της σπονδυλικής στήλης που είναι συχνή θέση μεταστάσεων αλλά και οστεοαρθρίτιδας όπου απαιτείται διαφορική διάγνωση. Η περιοχή αυτή εκτιμάται καλύτερα με τη τεχνική SPECT σε συνδυασμό με αξονική ή μαγνητική τομογραφία.

2.7.7 Άσηπτη νέκρωση (Avascular necrosis, AVN)

Η άσηπτη νέκρωση του οστού είναι το αποτέλεσμα προσωρινής ή μόνιμης απώλειας της αιματικής παροχής του. Χωρίς αίμα, ο οστίτης ιστός πεθαίνει και εάν η όλη διαδικασία περιλαμβάνει τα οστά πλησίον μίας άρθρωσης, τότε οι αρθρικές επιφάνειες καταστρέφονται με αποτέλεσμα την αναπηρία. Αυτή η ασθένεια είναι επίσης γνωστή ως οστεονέκρωση ή άσηπτη ή και ισχαιμική νέκρωση των οστών. Τα αίτια είναι τραυματικά (μικροκατάγματα) και μη τραυματικά (όπως η χρήση κορτικοστεροειδών ή αλκοόλ, η νόσος του Gaucher, η παγκρεατίτιδα, η χημειοθεραπεία ή ακτινοθεραπεία, η δρεπανοκυτταρική αναιμία κ.λπ.). Η θεραπεία εξαρτάται από το στάδιο διάγνωσης και περιλαμβάνει μείωση του βάρους στην άρθρωση, βοηθητικές επεμβάσεις οστεοτομής, οστικό μόσχευμα και τελικά αρthroπλαστική.

Τόσο το MRI όσο και το σπινθηρογράφημα των οστών χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της άσηπτου νέκρωσης κυρίως στην περιοχή των ισχίων, αφού πρώτα γίνει ακτινογραφία περιοχής για αποκλεισμό άλλων καταστάσεων. Στις πρώτες 7-10 ημέρες το σπινθηρογράφημα των οστών θα δείξει στην οστική φάση την κεφαλή του μηριαίου οστού ως «ψυχρή» περιοχή ενώ αργότερα στην επιδιορθωτική φάση όπου συνήθως υπάρχει πόνος θα απεικονισθεί η νεκρωθείσα μηριαία κεφαλή ως «θερμή» περιοχή από την προσπάθεια οστεογένεσης που γίνεται. Η φάση 1 και 2 συνήθως δεν βοηθάει. Το σπινθηρογράφημα των οστών έχει υψηλή ευαισθησία αλλά η ειδικότητα μειώνεται εάν δεν γίνει μελέτη SPECT και όταν προϋπάρχουν οστεοαρθρικές αλλοιώσεις. Το MRI θεωρείται καλύτερο αλλά πιο δαπανηρό οικονομικά.

Για την έρευνα της οστεονέκρωσης σε άλλες οστικές περιοχές (π.χ. στο γόνατο) η σπινθηρο-

γραφική μέθοδος βοηθάει αλλά με μικρότερη ειδικότητα από ότι για την κατ' ισχίον διάρθρωση. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να απαιτηθεί MRI ή συνδυασμός σπινθηρογραφήματος και MRI.

2.7.7.1 Επώδυνο ισχίο (Νόσος Legg - Calve-Perthe's, LCPD)

Η LCPD είναι πάθηση της παιδικής ηλικίας και το πλήρες αίτιο της παραμένει άγνωστο. Θεωρείται ότι συμβαίνει ιδιοπαθής οστεονέκρωση από ισχαιμία της κυρίας επίφυσης της μηριαίας κεφαλής από αγγειακές μεταβολές. Τα συμπτώματα είναι συνήθως πρῶιμα και στο 15-20% των παιδιών με LCPD η πάθηση είναι αμφοτερόπλευρη. Η νόσος μπορεί να αρχίσει με επώδυνο ισχίο και με συνοδό περιορισμό της κίνησης του. Μπορεί όμως ή αρχή να είναι σιωπηρή και μόνο σε εμφάνιση επιπλοκών (από υμενίτιδα ή από συντριβή της επίφυσης) να αναπτυχθεί πόνος και ο περιορισμός της κίνησης. Τα διάφορα ακτινολογικά ευρήματα δεν είναι ευαίσθητα ούτε ειδικά. Η μέση διάρκεια των συμπτωμάτων και της εμφάνισης ακτινολογικών ευρημάτων υπολογίζεται σε 5 μήνες. Η μαγνητική τομογραφία θεωρείται ευαίσθητη μέθοδος κυρίως στα απώτερα στάδια, ενώ το σπινθηρογράφημα των οστών με pinhole collimator (μεγεθύνει την εικόνα) έχει μεγαλύτερη ή παρόμοια ευαισθησία. Το πλεονέκτημα του σπινθηρογραφήματος των οστών είναι ότι βοηθάει στη διάγνωση με έλεγχο όλου του κάτω άκρου, βοηθάει στη σταδιοποίηση της νόσου, στον αποκλεισμό της οστεομυελίτιδας και στον τρόπο επαναιμάτωσης της μηριαίας κεφαλής που σχετίζεται άμεσα με την πρόγνωση της νόσου όπου το MRI δεν θεωρείται τόσο ευαίσθητο και ειδικό. Επίσης το σπινθηρογράφημα των οστών είναι πιο εύκολο να γίνει στα παιδιά σε σχέση με το MRI όπου απαιτείται και αναισθησία, για πλήρη ακινησία. Το σπινθηρογράφημα υπερέρχει στα πρῶιμα στάδια όπου μπορεί να διαγνώσει την πάθηση. Διακρίνονται διάφορα στάδια. Στα αρχικά στάδια της νόσου στο σπινθηρογράφημα των οστών απεικονίζονται τα κλασικά τυπικά ευρήματα της «ψυχρής» περιοχής στο προσθιοπλάγιο τμήμα της μηριαίας κεφαλής (άνω-έξω τμήμα της μηριαίας κεφαλής, Εικ. 2.15) λόγω αγγειακών μεταβολών και τοπικής άσηπτης νέκρωσης του μυελού των οστών και του οστού. Σε μικρότερη έκταση η νόσος συμβαίνει στα



Εικόνα 2.15. Περίπτωση LCPD στη δεξιά κατ ίσχύο άρθρωση σε παιδί 3 ετών. Παρατηρείστε τη θέση της φωτοπενικής περιοχής. Απεικόνιση με υψηλής διακριτικής ικανότητας collimator (HR) και σε μεγέθυνση με pinhole collimator με οπή 3 mm.

επιφυσιακά αναπτυξιακά κέντρα και στο χόνδρο της άρθρωσης. Με την πάροδο του χρόνου, χωρίς θεραπεία, όλη η μηριαία κεφαλή γίνεται παθολογική. Αν και παλαιά η όλη θεραπευτική αγωγή στηρίζεται στα ακτινολογικά ευρήματα που σήμερα θεωρούνται όχι ευαίσθητα και μη ειδικά, σήμερα η θεραπεία στηρίζεται στο σπινθηρογράφημα με pinhole collimator επειδή ανιχνεύει με μεγάλη ευαισθησία την έκταση της επαναιμάτωσης στα διάφορα στάδια μέχρι και την πλήρη επαναγγείωση της κεφαλής.

2.7.8 Η εκτίμηση της βιωσιμότητας σε οστικό μόσχευμα

Το σπινθηρογράφημα τριών φάσεων είναι μία εξαιρετική μέθοδος για τον αναίμακτο έλεγχο της βιωσιμότητας του οστικού μοσχεύματος. Το αυτόλογο μόσχευμα με επαναγγείωση θα εμφανίζει μία αυξημένη συγκέντρωση ραδιοφαρμάκου και στις 3 φάσεις που αργότερα (σε σειρά απεικονίσεων ελέγχου) θα γίνει ομοιογενές και με ίση ένταση

πρόσληψης με το γειτονικό φυσιολογικό οστό καθώς το μόσχευμα ενσωματώνεται στην περιοχή.

2.7.9 Μεταβολικές παθήσεις οστών

Το σπινθηρογράφημα των οστών δεν είναι χρήσιμο στην αρχική διάγνωση των μεταβολικών παθήσεων του ασβεστίου των οστών όπως σε πρωτοπαθή ή δευτεροπαθή υπερπαραθυροειδισμό αν και μερικά πρότυπα (π.χ. superscan) μπορεί να κάνουν βέβαιη διάγνωση. Το σπινθηρογράφημα των οστών είναι χρήσιμο κυρίως σε υπόνοιες επιπλοκών όπως σε ψευδοκατάγματα και σε πιθανή ύπαρξη φαιών όγκων (brown tumors) σε υπερπαραθυροειδισμό. Στον **πρωτοπαθή υπερπαραθυροειδισμό** οι ασθενείς σε ποσοστό 50-80% έχουν φυσιολογικό σπινθηρογράφημα οστών στη λήψη των 2-5 ωρών και μόνο σε προχωρημένες καταστάσεις θα υπάρξουν ευρήματα αυξημένης οστεοβλαστικής δραστηριότητας, κυρίως στις περιοχές αφαλάτωσης (demineralization). Οι περιοχές αυτές είναι τα μακρά οστά, οι ακρωμιοκλειδικές αρθρώσεις, τα οστά της άκρας χειρός, η κάτω γνάθος, το κρανίο και το στέρνο. Εστιακές ανωμαλίες αυξημένης πρόσληψης ραδιοφαρμάκου απεικονίζονται σε φαιούς όγκους ή σε συμπίεστικά κατάγματα. Συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου σε μαλακά μόρια συμβαίνει σε μεταστατική επασβέστωση και ιδιαίτερα στους πνεύμονες, νεφρούς και στόμαχο. Με αφαίρεση των παθολογικών παραθυροειδών αδένων η μεταστατική επασβέστωση των πνευμόνων επανέρχεται στο φυσιολογικό πριν από τις οστικές μεταβολές. Αυτή η πνευμονική απάντηση διαφέρει από εκείνη που συμβαίνει στο τελικό στάδιο της νεφρικής οστεοδυστροφίας που είναι ανθεκτική και επηρεάζεται πολύ λιγότερο.

Δευτεροπαθής Υπερπαραθυροειδισμός: Εδώ, σε αντίθεση με τον πρωτοπαθή υπερπαραθυροειδισμό το σπινθηρογράφημα είναι συνήθως παθολογικό. Μπορεί να επικρατεί η εικόνα του «super scan» (Εικ. 2.16) με τη διάχυτο αυξημένη πρόσληψη του ραδιοφαρμάκου και τη μειωμένη νεφρική απεικόνιση. Οι πλευροχονδρικές συνενώσεις μπορεί να έχουν κομβολογοειδή εμφάνιση και οι τυχόν φαιοί όγκοι μπορεί να παράγουν εστιακές ανωμαλίες.

Οστεομαλακία: Η πάθηση χαρακτηρίζεται από φυσιολογική μάζα οστών αλλά με μειωμένη τη μεταλλοποίηση του νεοσχηματισθέντος οστεοειδούς.