



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ**

ΜΟΡΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΑΣΤΟΥ

**Σκιαδοπούλου Μαρία
Αριθμός Μητρώου: 48014092**

**Επιβλέπων Καθηγητής
Καλύβας Νεκτάριος, Καθηγητής**

Αθήνα, 11/03/2024

Τριμελής επιτροπή:

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Νεκτάριος Καλύβας

Καθηγητής

Αικατερίνη Σκουρολιάκου

Καθηγήτρια

Ευστράτιος Δαυίδ

Επίκουρος Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα Μαρία Σκιαδοπούλου του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 4814092 φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

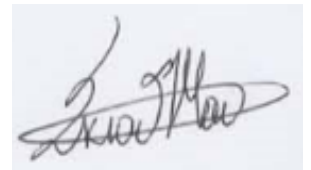
«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους,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

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

Ημερομηνία

11/03/2024

Η Δηλούσα



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Νεκτάριο Καλύβα για την καθοδήγηση και τον χρόνο που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Για όλη τη βοήθεια και στήριξη κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου ετών θα ήθελα ευχαριστήσω τους φίλους μου συνεπιβάτες σε αυτό το «ταξίδι» από την πρώτη σχεδόν μέρα μέχρι και σήμερα, Αλέξανδρο, Γρηγόρη, Κέλλυ και Μάνο.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ για όλη την υποστήριξη και βοήθεια στην οικογένεια μου και στον τετράποδο φίλο μου, τον Τέσλα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της τεχνικής της μοριακής απεικόνισης μαστού (MBI) και πως αυτή μπορεί να συνδράμει στην έγκαιρη και έγκυρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού. Στην εργασία αναφέρονται οι περισσότερες τεχνικές απεικόνισης μαστού που χρησιμοποιούνται έως και σήμερα καθώς και η συμβολή τους στη διάγνωση και αντιμετώπιση του.

Το σύστημα της μοριακής απεικόνισης του μαστού (MBI) παρόλο που δεν είναι νέο και υπάρχουν συστήματα στο εμπόριο εδώ και αρκετά χρόνια, αυτά δεν είναι ευρέως διαδεδομένα παγκοσμίως, πέρα από τις Η.Π.Α. Στο εμπόριο υπάρχουν μόλις τρία εξειδικευμένα συστήματα εκ των οποίων τα δύο διαθέτουν διπλής κεφαλής ανιχνευτή και το άλλο μονής κεφαλής ανιχνευτή.

Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες και έχουν αναπτυχθεί πρωτόκολλα που αναλύουν τα πλεονεκτήματα και τις χρήσεις που έχει το σύστημα μοριακής απεικόνισης. Παρόλα αυτά, ο εξοπλισμός αυτός αποτελεί μια υψηλού κόστους επένδυση, και η ευρεία υιοθέτηση του απαιτεί περαιτέρω εκπαίδευση τεχνικού και ιατρικού προσωπικού καθώς και περισσότερα κλινικά δεδομένα που να το καθιστούν απαραίτητο.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μοριακή Απεικόνιση Μαστού, MBI, Γ-κάμερα, Καρκίνος του μαστού, Μαστογραφία

ABSTRACT – KEY WORDS

The aim of this study is to investigate the technique of Molecular Breast Imaging (MBI) and how it can assist in the timely and accurate diagnosis of breast cancer. The paper discusses most of the breast imaging techniques used today as well as their contribution to the diagnosis and management of breast cancer.

The molecular breast imaging (MBI) system although not new and systems have been commercially available for several years, they are not widely used worldwide, outside of the USA. There are only three specialized systems commercially available, two of which have dual-head detector and the other a single-head detector.

Several studies have been conducted and protocols have been developed analyzing the advantages and applications of the Molecular Breast Imaging system. However, this equipment constitutes a high-cost investment, and its widespread adoption requires further training of technical and medical personnel as well as more clinical data to make it indispensable.

KEY WORDS: Molecular Breast Imaging, MBI, Gamma camera, Breast cancer, Mammography

Περιεχόμενα

	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ.....	8
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1	ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΜΑΣΤΟΥ.....	11
1.2	ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΣΤΟΥ.....	12
1.3	ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΣΤΟΥ ΣΤΟΥΣ ΑΝΔΡΕΣ.....	13
1.4	ΜΟΡΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΑΣΤΟΥ.....	13
2	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΑΣΤΟΥ.....	14
2.1	ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	14
2.2	ΤΟΜΟΣΥΝΘΕΣΗ Η ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΣΗ (3D) ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	15
2.3	POSITRON EMISSION MAMMOGRAPHY (PEM).....	16
2.4	ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ (MRI).....	17
2.5	ΥΠΕΡΗΧΟΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	18
2.6	ΓΑΛΑΚΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	19
2.7	ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ.....	20
2.8	ΟΠΤΙΚΗ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ ΔΙΑΧΥΣΗΣ.....	20
2.9	ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕ ΛΕΙΖΕΡ (CTLM).....	21
3	ΜΟΡΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΑΣΤΟΥ (MBI).....	23
3.1	ΣΥΣΤΗΜΑ.....	23
3.2	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	25
3.3	ΧΡΗΣΕΙΣ.....	25
	<i>Συμπληρωματικός έλεγχος για πυκνούς μαστούς.....</i>	<i>25</i>
	<i>Υπαρξη περιορισμών στη λήψη μαστογραφίας.....</i>	<i>25</i>
	<i>Αξιολόγηση της έκτασης της νόσου (αρχικό στάδιο).....</i>	<i>26</i>
	<i>Αξιολόγηση της ανταπόκρισης στη νεοεπικουρική (neoadjuvant) χημειοθεραπεία.....</i>	<i>26</i>
	<i>Βιοψία.....</i>	<i>26</i>
	<i>Έλεγχο συμπτωμάτων.....</i>	<i>27</i>
	<i>Μετά από διάγνωση καρκίνου του μαστού.....</i>	<i>27</i>
3.4	ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	27
4	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ.....	28
4.1	ΣΥΣΤΗΜΑ LUMAGEM® ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ CMR NAVISCAN.....	28
4.2	ΣΥΣΤΗΜΑ EVE CLEAR SCAN E680 & EVE CLEAR SCAN E750 ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ SMART BREAST ..	30
5	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ.....	33
5.1	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ.....	33
	<i>Λήψη εικόνας για την κρανιοκεφαλική προβολή.....</i>	<i>33</i>
	<i>Λήψη εικόνας για την προβολή MLO.....</i>	<i>33</i>
5.2	ΒΙΟΨΙΑ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ.....	34
	<i>Σύστημα με γάμμα κάμερα μονής κεφαλής.....</i>	<i>34</i>
	<i>Σύστημα με γάμμα κάμερα διπλής κεφαλής.....</i>	<i>34</i>
6	Η ΜΟΡΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ.....	36
6.1	MOLECULAR IMAGING AS A TOOL FOR TRANSLATING BREAST CANCER SCIENCE.....	37
6.2	MOLECULAR BREAST IMAGING: USE OF A DUAL-HEAD DEDICATED GAMMA CAMERA TO DETECT SMALL BREAST TUMORS.....	38
6.3	MOLECULAR IMAGING OF THE BREAST.....	38

6.4	COLLIMATOR DESIGN FOR A DEDICATED MOLECULAR BREAST IMAGING-GUIDED BIOPSY SYSTEM: PROOF-OF-CONCEPT.....	39
6.5	A MOLECULAR APPROACH TO BREAST IMAGING.	40
6.6	FACTORS INFLUENCING THE UPTAKE OF ^{99m} Tc-SESTAMIBI IN BREAST TISSUE ON MOLECULAR BREAST IMAGING.....	41
6.7	MOLECULAR IMAGING OF BREAST CANCER: PRESENT AND FUTURE DIRECTIONS.	42
6.8	BACKGROUND PARENCHYMAL UPTAKE DURING MOLECULAR BREAST IMAGING AND ASSOCIATED CLINICAL FACTORS.....	43
6.9	CLINICAL DIAGNOSIS AND MANAGEMENT OF BREAST CANCER.....	44
6.10	BACKGROUND PARENCHYMAL UPTAKE ON MOLECULAR BREAST IMAGING AS A BREAST CANCER RISK FACTOR: A CASE-CONTROL STUDY.	45
6.11	MOLECULAR BREAST IMAGING FOR SCREENING IN DENSE BREASTS: STATE OF THE ART AND FUTURE DIRECTIONS.	46
6.12	MOLECULAR BREAST IMAGING: A COMPREHENSIVE REVIEW.....	47
6.13	MOLECULAR BREAST IMAGING: ADMINISTERED ACTIVITY DOES NOT REQUIRE ADJUSTMENT BASED ON PATIENT SIZE.	47
6.14	BEST PRACTICES IN MOLECULAR BREAST IMAGING: A GUIDE FOR TECHNOLOGISTS.	48
6.15	GUIDELINES FOR QUALITY CONTROL TESTING OF MOLECULAR BREAST IMAGING SYSTEMS.	49
6.16	LET’S GET REAL ABOUT MOLECULAR BREAST IMAGING AND RADIATION RISK.....	49
6.17	CLASSIFICATION OF BACKGROUND PARENCHYMAL UPTAKE ON MOLECULAR BREAST IMAGING USING A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK.	50
6.18	COMPARATIVE BENEFIT-TO-RADIATION RISK RATIO OF MOLECULAR BREAST IMAGING, TWO-DIMENSIONAL FULL-FIELD DIGITAL MAMMOGRAPHY WITH AND WITHOUT TOMOSYNTHESIS, AND SYNTHETIC MAMMOGRAPHY WITH TOMOSYNTHESIS.....	51
6.19	BREAST DENSITY IMPLICATIONS AND SUPPLEMENTAL SCREENING.....	51
6.20	THE CLINICAL UTILITY OF A NEGATIVE RESULT AT MOLECULAR BREAST IMAGING: INITIAL PROOF OF CONCEPT.	52
6.21	MOLECULAR BREAST IMAGING-GUIDED PERCUTANEOUS BIOPSY OF BREAST LESIONS: A NEW FRONTIER ON BREAST INTERVENTION.	53
6.22	MOLECULAR BREAST IMAGING IN CLINICAL PRACTICE.	54
6.23	MOLECULAR BREAST CANCER IMAGING IN THE ERA OF PRECISION MEDICINE.....	54
6.24	ADVANCES AND FUTURE DIRECTIONS IN MOLECULAR BREAST IMAGING.....	56
6.25	SNMMI PROCEDURE STANDARD/EANM PRACTICE GUIDELINE FOR MOLECULAR BREAST IMAGING WITH DEDICATED G-CAMERAS.	56
6.26	BREAST IMAGING: BEYOND THE DETECTION.	58
6.27	UPDATES IN MOLECULAR BREAST IMAGING.	58
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	60
8	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

ABUS: Automated Breast Ultrasound

ARRT: American Registry of Radiologic Technologists

AUC: Area Under the Curve

BI-RADS: Breast Imaging Reporting and Data System

BMI: Body Mass Index

BPE: Bio Processing Equipment

BPU: Background Parenchymal Uptake

BRSA: Breast Cancer Gene

BSGI: Breast Specific Gamma Imaging

CA: California State

CAMRT: Canadian Registry of Medical Radiologic Technologists

CC: Craniocaudally

CDS: Clinical Decision Support

CEM: Contrast enhanced Mammography

CESM: Contrast Enhanced Spectral Mammography

cm: centimetres

CNR: Contrast to Noise Ratio

CSH: Conical Slant-hole

CT: Computed Tomography

CTLM: Computed Tomography Laser Mammography

CZT: Cadmium Zinc Telluride

DBT: Digital Breast Tomography

DWI: Diffusion Weighted Imaging

FDA: Food and Drug Administration

FDG: Fluorodeoxyglucose

FFDM: Full Field Digital Mammography

FNR: False Negative Rate

FOV: Field of View

FWHM: Full Width at Half Maximum

GE: General Electrics

HERZ: Human Equipment Growth Factor Receptor Z

HHUS: Handheld Ultrasound

IMF: Imaging of Musculoskeletal Function

keV: kiloelectron volt

MBI: Molecular Breast Imaging

MBq: Mega Becquerel

mCi: millicurie

MLO: Mediolateral oblique

mm: millimetres

MRI: Magnetic Resonance Imaging

MRS: Magnetic Resonance Spectrum

mSv: millisievert

NaI: Sodium Iodide

NAT: Neoadjuvant Therapy

nm: nanometres

NMR: Nuclear Magnetic Resonance

NMTCB: Nuclear Medicine Technology Certification Board

NPV: Negative Predictive Value

PEM: Positron Emission Mammography

PET: Positron Emission Tomography

PPV: Positive Predictive Value

RF: Radio Frequency

SPECT: Single Photon Emission Computed Tomography

US: Ultrasound

VA: Virginia State

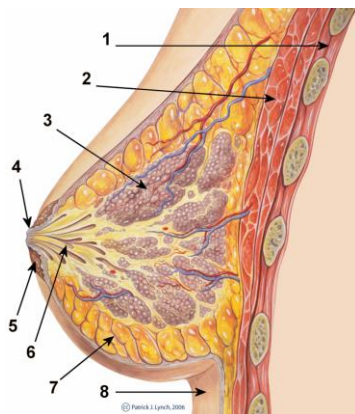
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ανατομία και φυσιολογία του μαστού.

Ο μαστός βρίσκεται μπροστά από το θωρακικό τοίχωμα και αποτελείται από τον μαστικό ή μαζικό αδένα που βρίσκονται μέσα σε λιπώδη ιστό, μαζί με αιμοφόρα αγγεία, λεμφαγγεία και νεύρα. Αναπτύσσεται σε μεγαλύτερο μέγεθος στις γυναίκες κατά την εφηβεία και λιγότερο στους άνδρες. Αναλυτικότερα, αποτελείται από τα παρακάτω μέρη (Εικόνα 1) (*Breast, 2024*)

- Μαζικοί αδένες: βρίσκονται μέσα στον υποδόριο ιστό, άνωθεν του μείζονα και του ελάσσονα μυ.
- Θηλέα άλω: το έγχρωμο κυκλικό τμήμα που περιβάλλει τη θηλή.
- Θωρακική περιτονία: αποτελεί τα 2/3 του υποστρώματος του μαστού και καλύπτει τον μείζονα θωρακικό μυ. Το υπόλοιπο 1/3 καλύπτει τον πρόσθιο οδοντωτό μυ.
- Οπισθομαζικός χώρος: ένα επίπεδο χαλαρού συνδετικού μαστού μεταξύ του μαστού και της θωρακικής περιτόνιας.
- Μασχαλιαία απόφυση ή ουρά Spence: ένα μικρό τμήμα του μαζικού αδένα που εκτείνεται κατά μήκος του άκρου του μείζονος θωρακικού μυός προς τον μασχαλιαίο βόθρο.
- Κρεμαστήρες σύνδεσμοι (Cooper): βοηθούν στην στήριξη των λοβών και των λοβίων του μαζικού αδένα.
- Γαλακτοφόροι πόροι: από αυτούς διαπλάσσονται 15-20 λοβία μαζικού αδένα, τα οποία δημιουργούν το παρέγχυμα, τη λειτουργική ουσία του μαζικού αδένα.
- Γαλακτοφόρος κόλπος: η διατεταμένη μοίρα του κάθε γαλακτοφόρου πόρου κάτω από την θηλέα άλω.

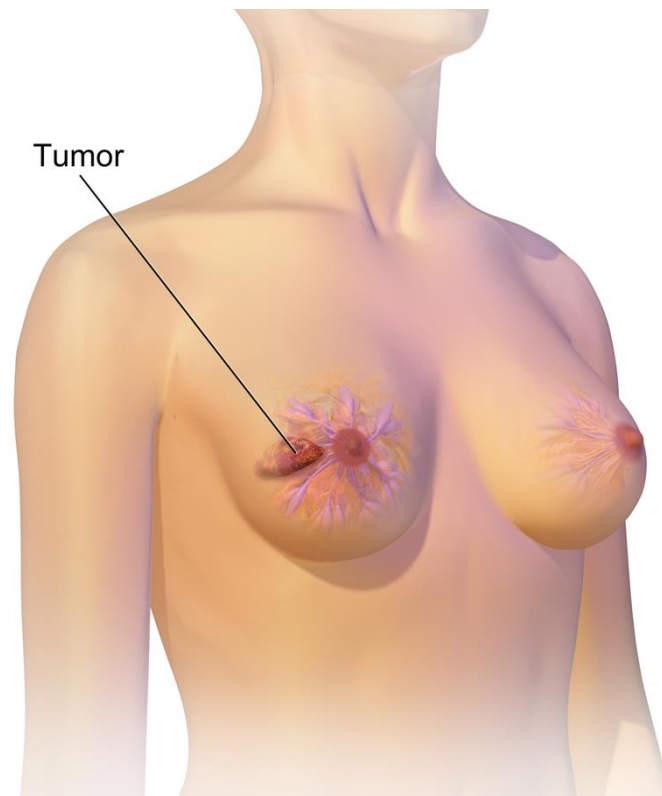
(*Moore, Dalley, & Agur, 2012*)



Εικόνα 1: Σχήμα διατομής του μαστικού αδένα. (1) Θωρακικό τοίχωμα, (2) Θωρακικοί μύες, (3) Λοβία, (4) Θηλή, (5) Αρεολά / θηλέα άλω, (6) Γαλακτοφόρος αγωγός, (7) Λιπώδης ιστός, (8) Δέρμα (*Breast, 2024*)

1.2 Καρκίνος του μαστού.

Ο καρκίνος του μαστού συνήθως εμφανίζεται στις περιοχές των γαλακτοφόρων πόρων (πορογενής καρκίνος) και στα λοβία (λοβιακός καρκίνος). (Καρκίνος του μαστού, 2023) Τα συμπτώματα που εμφανίζονται είναι: ένα εξόγκωμα στο στήθος, μια αλλαγή στο σχήμα του μαστού, δημιουργία λακκακίων στο δέρμα, αποβολή υγρού από τη θηλή, αναστροφή της θηλής ή/και εμφάνιση κόκκινου σημαδιού με φολιδωτή υφή. (εικόνα 2) (Breast cancer, 2024) Η κύρια μέθοδος απεικόνισης, με σκοπό την πρόληψη και τη διάγνωση του, που χρησιμοποιείται είναι η μαστογραφία και συμπληρωματικά χρησιμοποιούνται και άλλοι μέθοδοι κατόπιν σύστασης ιατρού, σε περίπτωση ανίχνευσης κάποιας ανωμαλίας. Συνήθως, οι γυναίκες με πυκνούς μαστούς πραγματοποιούν συμπληρωματικές εξετάσεις και αυτό διότι, οι παθολόγοι του μαστού εμφανίζονται όμοιοι με τους πυκνούς μαστούς σε μια μαστογραφία, πράγμα που δυσκολεύει πολύ την ανίχνευση τους. Μέθοδοι με καλύτερα αποτελέσματα σε πυκνούς μαστούς αποτελεί ο υπέρηχος, η μαγνητική μαστογραφία και η μοριακή απεικόνιση μαστού. (Breast cancer screening, 2024)



Εικόνα 2: Μαστός με εμφάνιση ερυθρού σημαδιού με φολιδωτή υφή. (Breast cancer, 2024)

1.3 Καρκίνος του μαστού στους άνδρες.

Όπως και στις γυναίκες ο καρκίνος του μαστού στους άνδρες παρουσιάζεται στους μασχάλιους λεμφαδένες και ως συμπτώματα εμφανίζονται ορατή ή/και ψηλαφητή μάζα κάτω από τη θηλέα άλω ή έκκριση από μια θηλή. Επειδή ο καρκίνος του μαστού στους άνδρες δεν είναι συνηθισμένος, οι επιπτώσεις συνήθως είναι σοβαρές γιατί ανιχνεύεται αργά.

1.4 Μοριακή απεικόνιση μαστού.

Η μοριακή απεικόνιση μαστού (MBI), την οποία θα αναλύσω σε αυτή την εργασία , αποτελεί μια νέα μέθοδο απεικόνισης πυρηνικής ιατρικής για την ανίχνευση του καρκίνου του μαστού. Έχει καλύτερα αποτελέσματα για την απεικόνιση πυκνών μαστών, με ανίχνευση 2-3 φορές περισσότερους καρκίνους σε αυτόν τον πληθυσμό και επιτρέπει καλύτερη απεικόνιση με σημαντικά χαμηλότερες δόσεις ακτινοβολίας. (*Breast cancer screening, 2024*) Χρησιμοποιείται για την απεικόνιση καρκίνου του μαστού, για τον έλεγχο συμπτωμάτων και μετά από την διάγνωση του. (*Mayo Clinic Staff, 2022*)

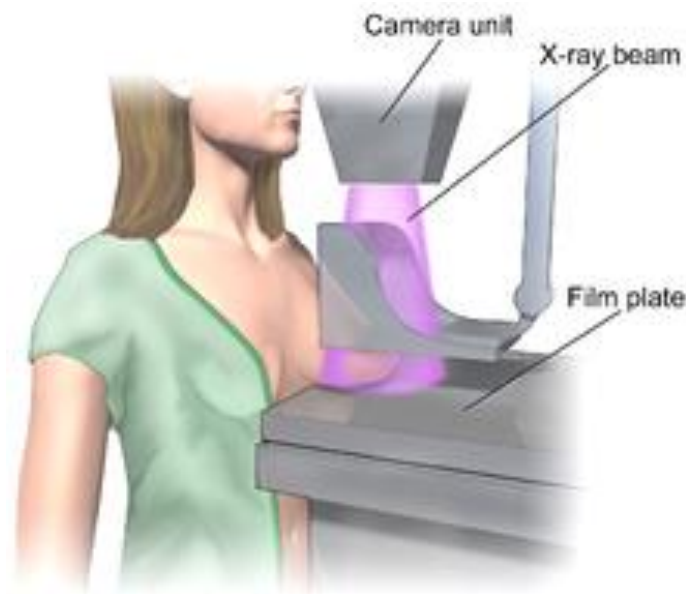
2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΑΣΤΟΥ.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν όλα τα γνωστά συστήματα απεικόνισης μαστού που έχουν χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα με σκοπό την έγκαιρη και έγκυρη διάγνωση του καρκίνου του μαστού.

2.1 Μαστογραφία

Η μαστογραφία είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί ακτίνες-X χαμηλής ενέργειας, έως 38 kVp για διάγνωση και προληπτικό έλεγχο. Στοχεύει στην έγκαιρη ανίχνευση χαρακτηριστικών μαζών ή μικροαποτιτανώσεων. (Mammography, 2024)

Το σύστημα αποτελείται από τη λυχνία ακτίνων-X, τον ανιχνευτή και το πίεστρο, το οποίο βρίσκεται εγγύτερα της λυχνίας ακτίνων-X, όπως φαίνεται στην εικόνα 4. Ο μαστός τοποθετείται ανάμεσα στον ανιχνευτή και το πίεστρο. Η συμπίεση του μαστού από το πίεστρο Η προκύπτουσα εικόνα μεταφέρεται σε υπολογιστή για εξέταση από τον ακτινολόγο. (Mammography, 2024)



Εικόνα 3: Σύστημα μαστογραφίας. (Mammography, 2024)

Η συμπίεση του μαστού εξυπηρετεί πολλούς σημαντικούς σκοπούς για τη βελτίωση της ποιότητας της εικόνας με ταυτόχρονη μείωση των δόσεων. Αναλυτικά:

- Απλώνει τους ιστούς, μειώνοντας την υπέρθεση, και έτσι κάνει τα όρια των βλαβών πιο ευδιάκριτα, μειώνοντας ταυτόχρονα την μεγέθυνση..
- Σε ένα λεπτότερο στήθος, η μετάδοση της πρωτογενούς ακτινοβολίας είναι υψηλότερη, επιτρέποντας μείωση της δόσης, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η αναλογία διασποράς προς

πρωτεύουσα ακτινοβολία και επομένως απαιτούν μικρότερο γεωγραφικό πλάτος έκθεσης ή δυναμικό εύρος από το φιλμ.

- Όταν ο μαστός είναι ακινητοποιημένος, υπάρχει λιγότερη θόλωση της εικόνας λόγω ανατομικής κίνησης άρα και βελτίωση της χωρικής ανάλυσης.

(*Breast cancer screening., 2016*)



Εικόνα 4: Απεικόνιση σε σύστημα μαστογραφίας. (*Breast cancer screening., 2016*)

2.2 Τομοσύνθεση ή τρισδιάσταση (3D) ψηφιακή μαστογραφία

Η τομοσύνθεση ή τρισδιάστατη (3D) ψηφιακή μαστογραφία είναι άλλη μια μορφή απεικόνισης μαστού όπου καταγράφονται πολλαπλές εικόνες του μαστού από διαφορετικές γωνίες και ανακατασκευάζονται σε ένα σύνολο τρισδιάστατων εικόνων.

Το σύστημα είναι παρόμοιο με τις αξονικής τομογραφίας, αν και η δόση ακτινοβολίας για ορισμένα συστήματα είναι ελαφρώς υψηλότερη από τη δόση που χρησιμοποιείται στην τυπική μαστογραφία. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης, ένας βραχίονας ακτινών X σαρώνει σε ένα ελαφρύ τόξο πάνω από το στήθος λαμβάνοντας πολλαπλές εικόνες ακτινών X χαμηλής δόσης. Στην συνέχεια ένας υπολογιστής παράγει συνθετικές 2D και 3D εικόνες οι οποίες μειώνουν την επικάλυψη του ιστού του μαστού και δίνουν μια καλύτερη εικόνα για τον ακτινολόγο. (*Friedewald, Rafferty, Rose, et al, 2014*)

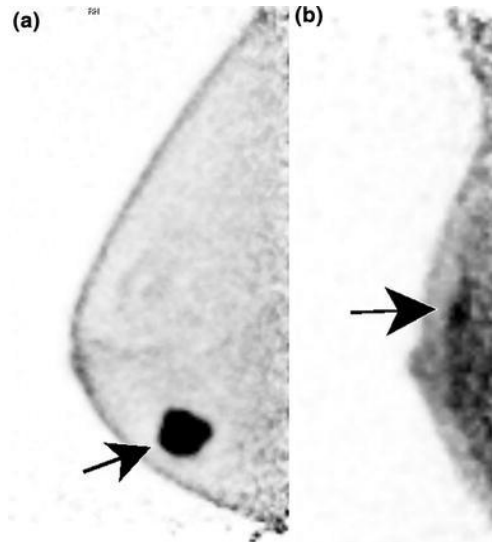
2.3 Positron emission mammography (PEM)

Το σύστημα PEM χρησιμοποιεί ένα εξειδικευμένο σύστημα σάρωσης για την απεικόνιση του μαστού. (Εικόνα 5) Κάποια συστήματα θυμίζουν τα συστήματα των μικρών PET ενώ άλλα αποτελούνται από ένα ζεύγος ανιχνευτών ακτινοβολίας γ οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο πάνω και στο κάτω μέρος του μαστού. Κατά την εξέταση εφαρμόζεται μικρή πίεση με στόχο τη μείωση του πάχους του μαστού. Η υπόλοιπη διαδικασία ανίχνευσης και λήψης της εικόνας είναι ίδια με ενός κλασσικού PET συστήματος. (Positron emission mammography, 2023)



Εικόνα 5: Διαδικασία απεικόνισης με σύστημα PEM. (Positron emission mammography, 2023)

Γενικά η εξέταση αυτή δεν προτείνεται ως εξέταση ρουτίνας ή για προσυμπτωματικό έλεγχο λόγω της υψηλής δόσης ακτινοβολίας σε σύγκριση με άλλες μεθόδους. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει υψηλή ειδικότητα και μερικές από τις περιπτώσεις που προτείνεται είναι όταν υπάρχει όγκος άνω των δύο εκατοστών ή όταν υπάρχει πολύ επιθετική κακοήθεια. (Positron emission mammography, 2023)



Εικόνα 6: Απεικόνιση μαστού με σύστημα PEM. (Positron emission mammography, 2023)

2.4 Μαγνητική μαστογραφία (MRI)

Το σύστημα μαγνητικής τομογραφίας είναι ένα απεικονιστικό μέσο που δημιουργεί ένα ισχυρό ομογενές μαγνητικό πεδίο μέσα στο οποίο τοποθετείται το υπό εξέταση όργανο. Το σύστημα χρησιμοποιεί την αρχή του Πυρηνικού Μαγνητικού συντονισμού, καθώς και την ηλεκτρομαγνητική θεωρία για να προσανατολίσει, εκτρέψει και πάρει σήμα από τους πυρήνες υδρογόνου του ανθρώπου. (ΨΑΡΡΑΚΟΣ, ΜΟΛΥΒΔΑ - ΑΘΑΝΟΣΟΠΟΥΛΟΥ, ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ - ΨΑΡΡΑΚΟΥ, & ΣΙΟΥΝΤΑΣ, 2012) Στη συνέχεια οι υπολογιστές χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν μια διδιάστατη εικόνα της δομής του ιστού.



Εικόνα 7: Εικόνα μαγνητικής μαστογραφίας. (Breast MRI, 2024)

Για την μαγνητική μαστογραφία ο εξεταζόμενος ξαπλώνει μπρούμυτα, με τα στήθη τοποθετημένα μέσα από ανοίγματα στο τραπέζι και ο τεχνολόγος παρακολουθεί τη διαδικασία μέσα από ένα παράθυρο. Για την πραγματοποίηση της εξέτασης απαιτείται η χρήση σκιαγραφικού που εγχέεται σε μια φλέβα του βραχίονας πριν ή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Το σκιαγραφικό βοηθά στη δημιουργία πιο καθαρών εικόνων που περιγράφουν πιο εύκολα τις ανωμαλίες. (*Breast MRI, 2024*)

Τα κύρια στοιχεία του συστήματος είναι:

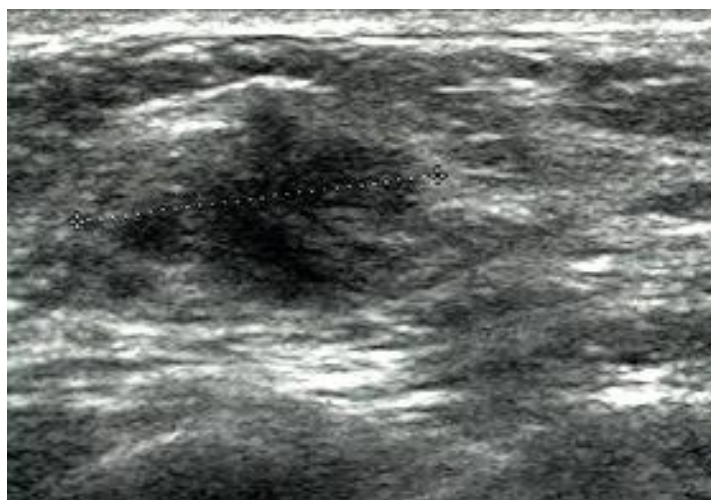
- ο μαγνήτης που διεγείρει το δείγμα
- τα πηνία εξομάλυνσης που διορθώνουν τις ανομοιογένειες στο κύριο μαγνητικό πεδίο
- το σύστημα των πηνίων βάρθρωσης που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τομογραφικής εικόνας.
- το σύστημα RF που διεγείρει το δείγμα και ανιχνεύει το σήμα NMR που προκύπτει.

Επιπλέον ολόκληρο το σύστημα ελέγχεται από έναν ή περισσότερους υπολογιστές.

2.5 Υπερηχοτομογραφία.

Η απεικόνιση με υπερήχους είναι μια μη επεμβατική ιατρική εξέταση του στήθους που δεν χρησιμοποιεί ακτινοβολία. Τα μηχανήματα υπερήχων αποτελούνται από μια κονσόλα υπολογιστή, μια οθόνη βίντεο και έναν προσαρτημένο μορφομετατροπέα, η οποία εκπέμπει τους υπερήχους. (*Breast ultrasound, 2023*)

Η λειτουργία της ελαστογραφίας στους υπερήχους είναι αυτή που μπορεί να ανιχνεύσει όγκους και να μετρήσει τη δυσκαμψία του ιστού. Το σύστημα χρησιμοποιείται επίσης και κατά τη διαδικασία της βιοψίας με λεπτή βελόνα.

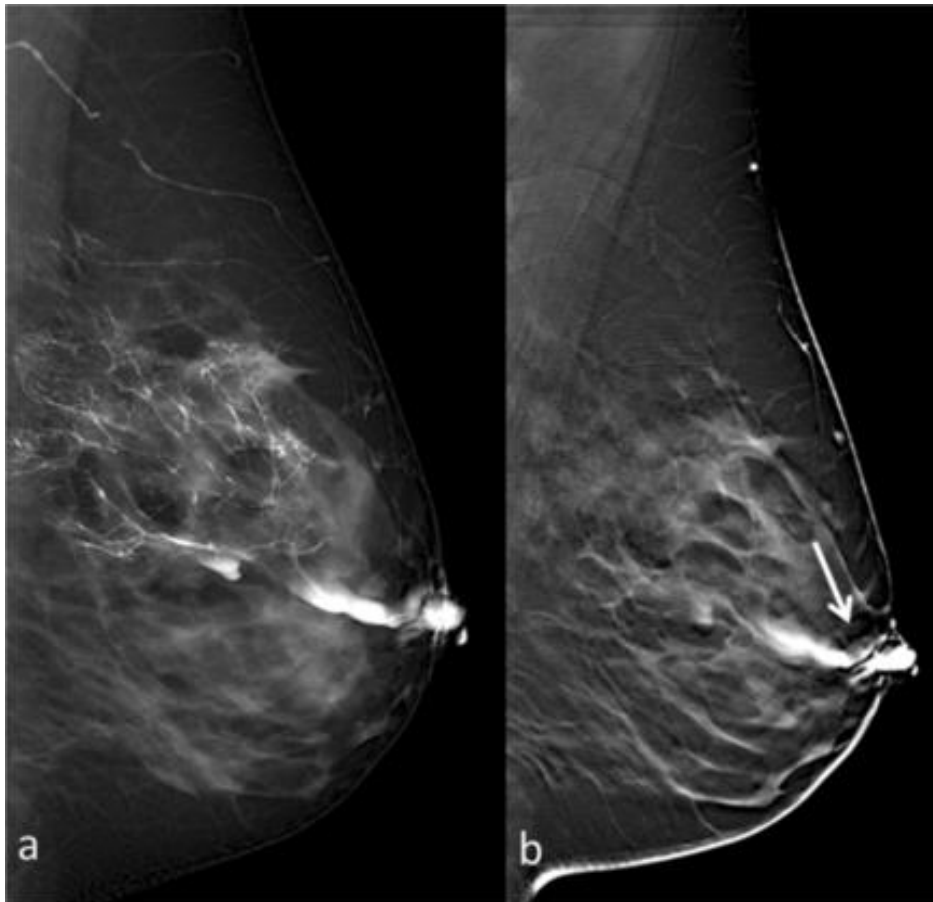


Εικόνα 8: Απεικόνιση με σύστημα υπερηχοτομογραφίας. (*Breast ultrasound, 2023*)

2.6 Γαλακτογραφία.

Η γαλακτογραφία είναι μια απεικονιστική τεχνική που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση βλαβών που προκαλούν εκκρίσεις από τη θηλή. Βοηθά στον ακριβή εντοπισμό της μάζας μέσα στον ιστό του μαστού και δίνει χρήσιμες πληροφορίες για χειρουργική προσέγγιση και σχεδιασμό. (Singh G, Niknejad M, El-Feky M, et al, 2009)

Για την εκτέλεση χρησιμοποιείται μια βελόνα με αμβλύ άκρο για την έγχυση σκιαγραφικού μέσω των γαλακτοφόρων αγωγών και λαμβάνεται μια τυπική μαστογραφία δύο όψεων. Το σκιαγραφικό υλικό μπορεί να αναμειχθεί με μπλε μεθυλένιο για προεγχειρητική εκτίμηση και εντοπισμό του αγωγού που προσβάλλει. (Singh G, Niknejad M, El-Feky M, et al, 2009)



Εικόνα 9: Απεικόνιση μαστού με σύστημα γαλακτογραφίας. (Galactography, 2023)

Χρησιμοποιείται ένα σύστημα ακτίνων-X χαμηλής δόσης για την εξέταση των μαστών και ένα υλικό αντίθεσης για τη λήψη εικόνων, που ονομάζονται γαλακτογράμματα του εσωτερικού των γαλακτοφόρων αγωγών του μαστού. Το σύστημα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για εξετάσεις ακτίνων X μαστού και διαθέτει ειδικά εξαρτήματα για τον περιορισμό της έκθεσης σε ακτίνες X μόνο στο στήθος. Διαθέτει μια συσκευή για να συγκρατεί και να συμπιέζει το στήθος και να το τοποθετεί έτσι ώστε ο τεχνολόγος να μπορεί

να καταγράφει εικόνες σε διαφορετικές γωνίες. Για την εξέταση χρειάζονται μικρά καλώδια που ονομάζονται διαστολείς, έναν μικρό καθετήρα (πλαστικός κοίλος σωλήνας) και ένα αμβλύ άκρο που εισάγεται στον αγωγό γάλακτος στη θηλή για την έγχυση μιας μικροσκοπικής ποσότητας σκιαγραφικού υλικού. (*Galactography, 2023*)

2.7 Μαστογραφία καταμέτρησης φωτονίων

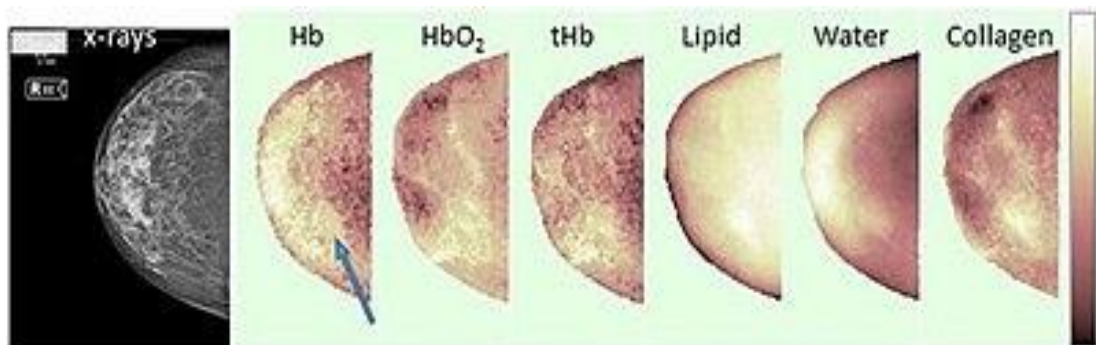
Η μαστογραφία καταμέτρησης φωτονίων βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της δόσης σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες και επιτρέπει τη φασματική απεικόνιση.

Το σύστημα βασίζεται σε μια σειρά ανιχνευτών λωρίδων πυριτίου σε διαμόρφωση πολλαπλών σχισμών που σαρώνεται σε όλο το αντικείμενο για να αποκτήσει μια εικόνα.. Οι ανιχνευτές καταγράφουν το άθροισμα όλων των γεγονότων μέσα σε ένα συγκεκριμένο ενεργειακό παράθυρο. Η ενεργειακή ανάλυση του ανιχνευτή του συστήματος κυμαίνεται από 2,0-2,3keV. (*Nygård, et al., 2009*)

2.8 Οπτική μαστογραφία διάχυσης

Η οπτική μαστογραφία διάχυσης είναι μια τεχνική απεικόνισης που επιτρέπει τη διερεύνηση της σύστασης του μαστού μέσω της φασματικής ανάλυσης. Χρησιμοποιείται ως μη επεμβατικό εργαλείο για την αξιολόγηση κινδύνου καρκίνου του μαστού, χαρακτηρισμό της βλάβης, παρακολούθηση θεραπείας και πρόβλεψη της έκβασης της θεραπείας. (*Taroni, P., Paganoni, A., et al, 2017*)

Το σύστημα διερευνά τη σύσταση του μαστού μέσω της φασματικής ανάλυσης μελετώντας τη διάδοση του φωτός σε βιολογικούς ιστούς που εργάζονται στο φασματικό εύρος του κόκκινου και του κοντινού υπέρυθρου μεταξύ 600 και 1100 nm. (*Taroni, P., Paganoni, A., et al, 2017*)



Σε

Εικόνα 10: Εικόνα οπτικής τομογραφίας μαστού (*Diffuse optical mammography, 2023*)

αντίθεση με τη μαστογραφία η μέθοδος αυτή είναι οικονομικότερη και παρουσιάζει καλά αποτελέσματα σε πυκνούς μαστούς χωρίς να έχει παρουσιάσει κάποια παρενέργεια μπορεί να

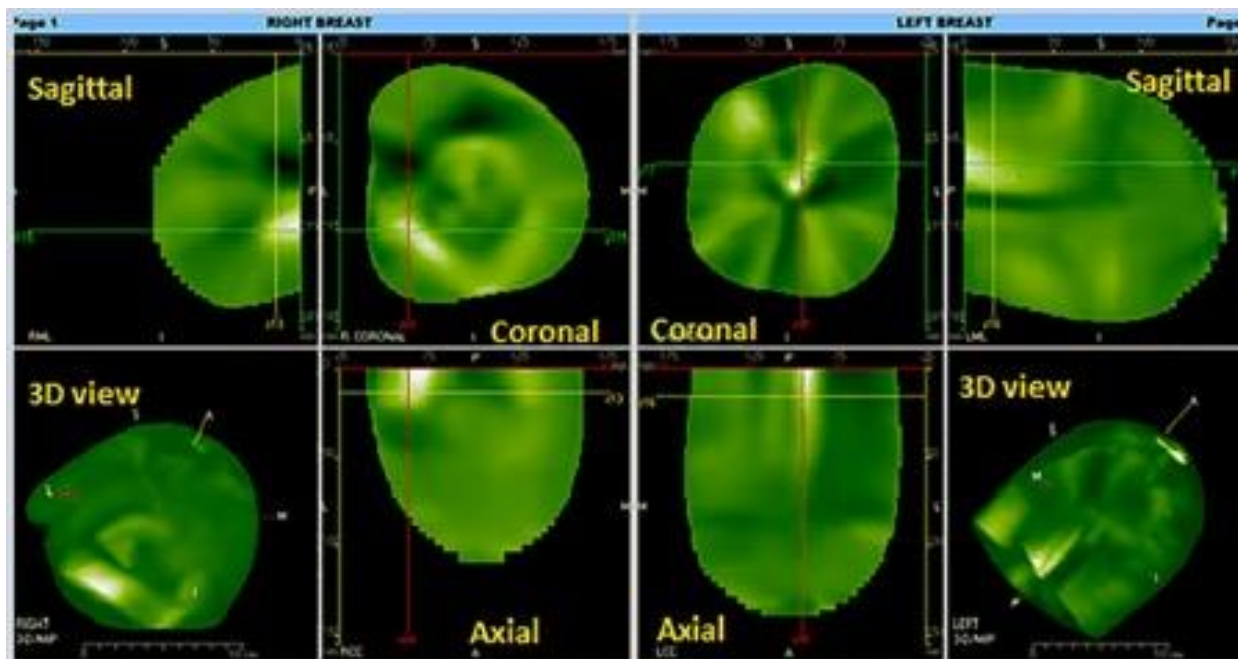
χρησιμοποιηθεί και σε καθημερινή βάση για την παρακολούθηση της κατάστασης της ασθενούς. Λόγω όμως της χαμηλής χωρικής ανάλυσης που παρουσιάζει στις έρευνες που πραγματοποιούνται, προτείνεται ως συμπληρωματική μέθοδος. (*Diffuse optical mammography, 2023*)

2.9 Υπολογιστική Μαστογραφία με λέιζερ (CTLM)

Αυτή η μέθοδος απεικόνισης χρησιμοποιεί ενέργεια λέιζερ στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα για τον εντοπισμό της αγγειογένεσης στον μαστικό ιστό. Χρησιμοποιεί οπτική μοριακή απεικόνιση τόσο για την οξυγονομένη όσο και για την αποοξυγονομένη αιμοσφαιρίνη. Η τεχνολογία λειτουργία παρομοίως με την υπολογιστική τομογραφία, καθώς οι ακτίνες λέιζερ διασχίζουν τον ιστό και παρουσιάζουν εξασθένηση. (*Computed tomography laser mammography, 2024*)

Το σύστημα αυτό βασίζεται στο ότι διαφορετικά συστατικά του ιστού έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά σκέδασης και απορρόφησης για κάθε μήκος κύματος και ότι ένα κακοήθης όγκος καθώς αναπτύσσεται απαιτεί αγγειογένεση για να αναπτυχθεί σε μέγεθος άνω των δύο χιλιοστών. Η αγγειογένεση σε ένα σημείο οδηγεί στην αύξηση της αιμοσφαιρίνης, η οποία οπτικοποιείται με την μέτρηση της απορρόφησης των ακτινών λέιζερ. Η συσκευή χρησιμοποιεί δίοδο λέιζερ που εκπέμπει φως μήκους 808nm, υλικά όπως το νερό, το λίπος και το δέρμα απορροφούν ασθενώς το φως αυτού του μήκους κύματος. Αυτή η δέσμη λέιζερ διεισδύει στον μαστικό ιστό οποιασδήποτε πυκνότητας. Το CTLM ψάχνει της περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση αιμοσφαιρίνης και επειδή οι περιοχές αυτές είναι μεγαλύτερες από τον ίδιο τον όγκο, η μέθοδος αυτή μπορεί να ανιχνεύσει και πολύ μικρούς όγκους. (*Computed tomography laser mammography, 2024*)

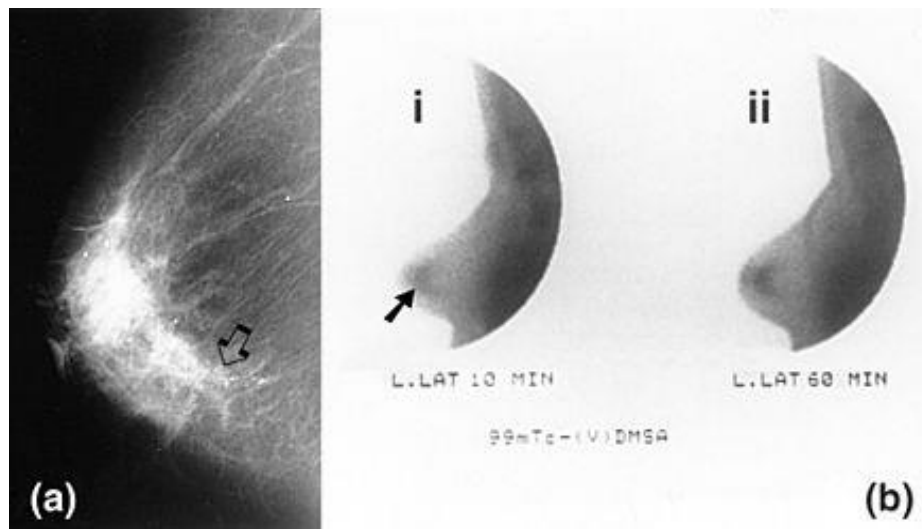
Κατά την εξέταση η ασθενής ξαπλώνει σε πρηνή θέση με το στήθος μέσα στον θάλαμο σάρωσης χωρίς να έρχεται τίποτα σε επαφή με το στήθος. Οι θάλαμοι σάρωσης αποτελούνται από δύο δακτυλίους με ογδόντα τέσσερις ανιχνευτές και ένα λέιζερ σε μια κυκλική πλατφόρμα ο καθένας. Το σύστημα αυτό περιστρέφεται 360 μοίρες γύρω από το στήθος και λαμβάνει περίπου δεκαέξι χιλιάδες μετρήσεις απορρόφησης ανά τομή. Μετά το λέιζερ κατεβαίνει στο κάτω επίπεδο και επαναλαμβάνει τη διαδικασία για κάθε τομή. Το βήμα τομής έχει πάχος δύο με τέσσερα χιλιοστά ανάλογα με το πάχος του μαστού και τέλος πραγματοποιείται ανασύνθεση των τομών μέσω αλγορίθμων. (*Computed tomography laser mammography, 2024*)



Εικόνα 11: Απεικόνιση τομών σε σύστημα υπολογιστικής μαστογραφίας με laser. (Computed tomography laser mammography, 2024)

3 ΜΟΡΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΑΣΤΟΥ (MBI)

Η Μοριακή Απεικόνιση Μαστού χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική/δεύτερη μέθοδος εμφάνισης για γυναίκες με πυκνό στήθος. Οι εικόνες που παράγονται από μια εξέταση MBI είναι οι ίδιες τυπικές προβολές προσυμπωματικού ελέγχου όπως η μαστογραφία, η κρνιακή ουραία (CC) και η μεσοπλάγια λοξή (MLO). Η ευαισθησία και ειδικότητα έχει αναφερθεί ότι είναι πάνω από 90% και 99,9% αντίστοιχα. (CMR Naviscan)



Εικόνα 12: Απεικόνιση μαστού σε σύστημα MBI. (Molecular breast imaging, 2023)

3.1 Σύστημα

Το σύστημα MBI χρησιμοποιεί ένα ραδιοϊσότοπο (ιχνηθέτη) και είναι ουσιαστικά μία γ-κάμερα στη μορφή ενός μαστογράφου.

Ο πιο συνηθισμένος ιχνηθέτης είναι το Technetium-99m (Tc99m), το οποίο είναι ένα ραδιοϊσότοπο με χρόνο ημιζωής έξι ωρών και εκπέμπει ενέργεια γάμμα 140 keV, ιδανικό για κλινική απεικόνιση, εφόσον η ραδιενέργεια που εκπέμπει είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Το ραδιοϊσότοπο αυτό είναι μια ένωση ισονιτρίλιου που έχει εγκριθεί από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) ως ραδιοφάρμακο για την ανίχνευση του καρκίνου του μαστού (γνωστό ως Miraluma). Το Tc99m συσσωρεύεται και παγιδεύεται στα κυτταρικά μιτοχόνδρια με τρόπο που εξαρτάται από την ενέργεια. (Hruska CB, Phillips SW, Whaley DH, Rhodes DJ, & O'Connor MK, 2008)

Η υψηλή κυτταροπλαστική πυκνότητα των μιτοχονδρίων είναι ένα από τα χαρακτηριστικά των κυττάρων ενός όγκου, επομένως με τη χρήση του Tc99m ως ιχνηθέτη, τα μιτοχόνδρια επισημαίνονται σε κυτταρικό επίπεδο η μεταβολική αυτή πρόσληψη καταμετράται από τις γ-κάμερες. Επιπλέον, ένα άλλο τυπικό χαρακτηριστικό του καρκινικού ιστού είναι η

αγγειογένεση, η οποία αυξάνει τη ροή του αίματος με αποτέλεσμα την αυξημένη παροχή του ιχνηθέτη στα καρκινικά κύτταρα. (Adrada, Moseley, Kappadath, Whitman, & Rauch, 2020)

Το σύστημα γ-κάμερας που υπάρχει στα συστήματα μοριακής απεικόνισης μαστού, χρησιμοποιούν διαφορετικού τύπου γ-κάμερες, οι οποίες έχουν μικρό οπτικό πεδίο και είναι αποκλειστικά για απεικόνιση μαστού. Το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο σύστημα (2000) ήταν ένας ανιχνευτής σπινθηρισμού μονής κεφαλής (ιωδιούχου νατρίου ή ιωδιούχου καισίου) συζευγμένο με σωλήνες φωτοπολλαπλασιαστή ευαίσθητους στη θέση και γνωστό ως ειδικευμένη απεικόνιση στήθους με ακτίνες γάμμα, Breast Specific Gamma Imaging (BSGI). (Adrada, Moseley, Kappadath, Whitman, & Rauch, 2020)

Αυτό υπήρχε στο σύστημα Dilon 6800, Dilon Technologies, Newport News, VA, το οποίο πλέον έχει αγοραστεί και κυκλοφορεί από την εταιρεία SmartBreast Corp., Sherman Oaks, CA με το εμπορικό όνομα Eve Clear Scan e680. Αργότερα (2010) η τεχνολογία εξελίχθηκε με ένα σύστημα ανίχνευσης διπλής κεφαλής, άμεσης μετατροπής ημιαγωγού καδμίου-ψευδάργυρου τελλουριού (CZT). Αυτή η εξέλιξη χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο Discovery NM 750b, GE Healthcare, Milwaukee, WI, το οποίο επίσης έχει αγοραστεί και κυκλοφορεί από την εταιρεία SmartBreast Corp., Sherman Oaks, CA με το εμπορικό όνομα Eve Clear Scan e750, και στο μοντέλο LumaGem 3200, CMR, Naviscan, γνωστό ως MBI. (Adrada, Moseley, Kappadath, Whitman, & Rauch, 2020) Οι κεφαλές της γ-κάμερας εφαρμόζουν μόνο ήπια συμπίεση για την ακινητοποίηση του μαστού. Το σύστημα MBI διαθέτει κраниοκεφαλικές και μεσοπλάγιες λοξές όψεις κάθε μαστού, το οποίο διευκολύνει τη σύγκριση μεταξύ εικόνων MBI και των εικόνων μαστογραφίας. (Hruska CB, Phillips SW, Whaley DH, Rhodes DJ, & O'Connor MK, 2008)

Το στήθος τοποθετείται ανάμεσα στις δύο κεφαλές γ-κάμερας κατασκευασμένες με τμηματοποιημένους (pixelated) ανιχνευτές στερεάς κατάστασης από καδμίου-ψευδάργυρου τελλουριού (CZT). Αυτή η διαμόρφωση διασφαλίζει ότι μια βλάβη του μαστού δεν μπορεί ποτέ να είναι περισσότερο από το μισό πάχος του μαστού από έναν ανιχνευτή και βελτιώνει σημαντικά την ευαισθησία της τεχνικής για την ανίχνευση μικρών όγκων του μαστού. (Hruska CB, Phillips SW, Whaley DH, Rhodes DJ, & O'Connor MK, 2008)

Οι ενσωματωμένοι ανιχνευτές CZT έχουν καλύτερη ενεργειακή και χωρική διακριτική ικανότητα και ξεπερνούν έναν από τους κυριότερους περιορισμούς, μειώνοντας τον νεκρό χώρο στην άκρη του οπτικού πεδίου του ανιχνευτή από 8-10cm σε 5-8mm. (Coover, Caravaglia, & Kuhn, 2004) Επιτυγχάνουν ενεργειακή διακριτική ικανότητα 3-4% ενώ οι πολυκρυσταλλικές 12-20%. Η βελτίωση αυτή οφείλεται στη μικρότερη διασπορά στις εικόνες και στη βελτιωμένη αντίθεση, επιπλέον οι τρέχοντες ανιχνευτές κατασκευάζονται σε μεγέθη

pixel 1,6 x 1,6 mm, με δυνατότητα ακόμη μικρότερων μεγεθών στο μέλλον. (Hruska CB, Phillips SW, Whaley DH, Rhodes DJ, & O'Connor MK, 2008)

3.2 Διαδικασία

Η διαδικασία σάρωσης του μαστού μπορεί να ξεκινήσει πέντε λεπτά μετά την ένεση στον ασθενή με μια μικρή ποσότητα ραδιενεργού ιχνηθέτη (6-8mCi) Tc-99m. Ο ιχνηθέτης κατά προτίμηση συσσωρεύεται στα καρκινικά κύτταρα και δεν επηρεάζεται από την πυκνότητα του μαστού. (Pollak, Coletta, & Ha)

Ο ασθενής κάθεται αναπαυτικά ενώ ο μαστός είναι ακινητοποιημένος ανάμεσα σε δύο γ-κάμερες, χρησιμοποιώντας αρκετή πίεση ώστε να παραμείνει ακίνητος για 5-10 λεπτά κατά τη λήψη των εικόνων. Η συμπίεση χρησιμοποιείται μόνο για την επαρκή σταθεροποίηση του μαστού, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτείται ελάχιστη συμπίεση σε σύγκριση με τη μαστογραφία.

Ολόκληρη η μελέτη προσυμπτωματικού ελέγχου για τον καρκίνο του μαστού διαρκεί περίπου 40-45 λεπτά. και οι εικόνες είναι άμεσα διαθέσιμες για ερμηνεία από γιατρό. (CMR Naviscan)

3.3 Χρήσεις

Συμπληρωματικός έλεγχος για πυκνούς μαστούς

Χρησιμοποιείται μερικές φορές για να αναζητηθεί καρκίνος του μαστού σε άτομα χωρίς συμπτώματα με πυκνούς μαστούς. Ο ιστός του μαστού αποτελείται από λιπώδη ιστό και πυκνό ιστό, ο οποίος αποτελείται από αδένες γάλακτος, γαλακτοφόρους πόρους και ινώδη ιστό. Ένα πυκνό στήθος έχει περισσότερο πυκνό ιστό από λιπώδη ιστό και ο πυκνός ιστός δυσκολεύει στην απεικόνιση του καρκίνου του μαστού. Ο συνδυασμός μιας μοριακής απεικόνισης του μαστού και μιας μαστογραφίας μπορεί να εντοπίσει περισσότερες αλλοιώσεις από μια μαστογραφία μόνη της. (Mayo Clinic Staff, 2022)

Ύπαρξη περιορισμών στη λήψη μαστογραφίας

Σε περιπτώσεις γυναικών οι οποίες λόγω κληρονομικότητας, λόγω παθολογικών μεταλλάξεων στο γονίδιο BRCA, (Μετάλλαξη BRCA, 2023), έχουν αυξημένες πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου του μαστού και γυναίκες με ιστορικό ακτινοβολήσης προτείνεται

συμπληρωματική εξέταση, κυρίως με MRI. Αλλά γυναίκες με βηματοδότη, άλλης εμφυτευμένης συσκευής, νεφρικής δυσλειτουργίας, εγκυμοσύνης, σοβαρής αντίδρασης στο σκιαγραφικό, σοβαρής κλειστοφοβίας ή βάρους, δεν είναι δυνατό να πραγματοποιήσουν MRI, και τότε προτείνεται η MBI. (Dibble, Hunt, Ehman, & O'Connor, 2020)

Αξιολόγηση της έκτασης της νόσου (αρχικό στάδιο)

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση πολυεστιακής, πολυκεντρικής ή ετερόπλευρης κακοήθειας με στόχο την εύρεση του σταδίου της νόσου. Η MBI είναι αρκετά αποτελεσματική για τοπική σταδιοποίηση της νόσου στη μασχαλιαία περιοχή και στο θωρακικό τοίχωμα. Επίσης το Tc-99m που χρησιμοποιηθεί η μέθοδος παρουσιάζει έντονη πρόσληψη από τα διηθητικά καρκινώματα πόρου, με αποτέλεσμα υψηλότερα ποσοστά ανίχνευσης τους. (Covington, Parent, Dibble, Rauch, & Fowler, 2022)

Αξιολόγηση της ανταπόκρισης στη νεοεπικουρική (neoadjuvant) χημειοθεραπεία.

Λόγω της ικανότητας της να απεικονίσει τη λειτουργία του όγκου και να δώσει στον γιατρό περισσότερα δεδομένα προς αξιολόγηση της αντίδρασης του όγκου στη χημειοθεραπεία που δέχεται η ασθενής σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους απεικόνισης. Παρουσιάζει υψηλή ακρίβεια στην πρόβλεψη του υπολειπόμενου όγκου, ειδικά στους επιθετικούς. (Dibble, Hunt, Ehman, & O'Connor, 2020)

Βιοψία

Σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε οι εξεταζόμενοι πριν τη διαδικασία της βιοψίας πραγματοποίησαν MBI στο τέλος διαπιστώθηκε ότι ένα ποσοστό βλαβών της τάξης του 24% δεν ήταν ορατές με υπέρηχο και χρειάστηκε να προχωρήσουν σε βιοψία MBI. Η τεχνική αυτή είναι διαθέσιμη σε ένα από τα συστήματα που υπάρχουν στην αγορά. Πραγματοποιείται με ανεξάρτητο εξάρτημα το οποίο τοποθετείται δίπλα στο σύστημα διπλής κεφαλής και περιλαμβάνει ένα γωνιακό ζεύγος ανιχνευτών CZT για τη λήψη στερεοτακτικών προβολών. (Covington, Parent, Dibble, Rauch, & Fowler, 2022)

Έλεγχο συμπτωμάτων

Χρησιμοποιείται για να δώσει μια πιο προσεκτική ματιά σε μια αλλοίωση που ανιχνεύθηκε σε μια μαστογραφία ή στη θέση της μαγνητικής τομογραφίας αν η εξεταζόμενη δεν μπορεί να κάνει μαγνητική. (Mayo Clinic Staff, 2022)

Μετά από διάγνωση καρκίνου του μαστού

Χρησιμοποιείται μερικές φορές αφού έχει διαγνωστεί καρκίνος στον μαστό προς αναζήτηση πρόσθετων περιοχών καρκίνου. Επιπλέον μπορεί να βοηθήσει τον θεράποντα να παρακολουθήσει την πορεία της χημειοθεραπείας. (Mayo Clinic Staff, 2022)

3.4 Ποιοτικός Έλεγχος Συστήματος

Είδος ελέγχου	Συχνότητα επανάληψης	Επιθυμητά όρια
Έλεγχος ομοιομορφίας	Ημερησίως	$\leq 5\%$ ομοιομορφία
Έλεγχος διακριτικής ικανότητας	Ανά εξάμηνο	Πληροί τις προδιαγραφές του κατασκευαστή
Έλεγχος ευαισθησίας	Ετησίως	$\leq 10\%$ διαφορά μεταξύ των δύο ανιχνευτών
Έλεγχος ανάλυσης ενέργειας	Ετησίως	Πλήρες πλάτος στο μισό μέγιστο $\leq 10\%$
Έλεγχος αντίθεσης	Ανά τρίμηνο	CNR > 3 μετρήστε τον αριθμό των ορατών βλαβών σε κάθε βάθος

(Nardinger, και συν., 2018)

4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ.

Σήμερα στο εμπόριο υπάρχουν τρία συστήματα μοριακής απεικόνισης τα δύο συστήματα διαθέτουν ανιχνευτές διπλής κεφαλής ενώ το τρίτο μονής κεφαλής, εκ των οποίων μόνο το ένα έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται σε εξετάσεις βιοψίας.

4.1 Σύστημα LumaGEM® του οίκου CMR NAVISCAN

Το σύστημα LumaGEM αποτελεί ένα σύστημα διπλής κεφαλής το οποίο χρησιμοποιεί ανιχνευτή CZT και παρέχει σαρώσεις με πρωτοποριακής εσωτερική ανάλυση 1,6 mm και ενεργειακή ανάλυση 4,5% FWHM.



Εικόνα 13: Σύστημα LumaGEM της εταιρείας CMR NAVISCAN (CMR Naviscan, n.d.)

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος που είναι διαθέσιμες στην επίσημη ιστοσελίδα του κατασκευαστικού οίκου. (CMR Naviscan)

<u>ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ</u>	
Detector Configuration	Dual head
Detectors	Cadmium Zinc Telluride (CZT)
Typical Clinical Dose	8 mCi (99mTc-Sestamibi)
Whole-Body Dose	2.4mSv (στα 8 mCi)
Intrinsic Spatial Resolution	1.6mm
Energy Resolution: Full-Width Half-Maximum (FWHM)	<5% (at 140 keV)
Sensitivity	91% (with mammo)
Specificity	93%
Collimator	Registered tungsten
Field-of-View	16×20 cm ²

Λόγω του ότι η τεχνική MBI αποτελεί συμπληρωματικό έλεγχο μετά τη εξέταση της μαστογραφίας, το σύστημα διαθέτει αλγόριθμο που επιτρέπει την ανάγνωση της λήψης MBI με την λήψη της μαστογραφίας τη μια δίπλα στην άλλη. Προσφέροντας μια τόση άμεση ροή εργασίας βοηθά στην άμεση διάγνωση, σε βελτιωμένα αποτελέσματα και στην ικανοποίηση του εξεταζόμενου.

4.2 Σύστημα EVE CLEAR SCAN e680 & EVE CLEAR SCAN e750 του οίκου SMART BREAST

Το σύστημα EVE CLEAR SCAN e680 σε αντίθεση με τα άλλα δύο συστήματα διαθέτει ανιχνευτή μονής κεφαλής με κρυσταλλικό σπινθηριστή ιωδιούχου νατρίου (NaI), (*Smart Breast Corp.*) Αποτελεί ένα φορητό σύστημα που δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να το μετακινήσει στην επιθυμητή περιοχή εξέτασης.



Εικόνα 14: Σύστημα Eve Clear Scan model e680 της εταιρείας Smart Breast. (Smart Breast Corp.)

Το σύστημα EVE CLEAR SCAN e750 διαθέτει ανιχνευτή διπλής κεφαλής με ημιαγωγό άμεσης μετατροπής από CZT και αποτελεί το μόνο σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην υποβοήθηση βιοψίας μαστού. (*Adrada, Moseley, Kappadath, Whitman, & Rauch, 2020*) Χρησιμοποιεί τεχνολογία στερεάς κατάστασης με τον συμπαγή σχεδιασμό του ανιχνευτή διπλή κεφαλής και επιτρέπει την απεικόνιση μειώνοντας την απόσταση του μαστού από το θωρακικό τοίχωμα. Το αποτέλεσμα που προσφέρει διαθέτει βελτιωμένη ανίχνευση βλαβών, εγγενής ανάλυση, χωρική ανάλυση, ευαισθησία και ομοιομορφία χωρίς υποβάθμιση κάποιου παράγοντα. (*Smart Breast Corp.*)



Εικόνα 15: Σύστημα Eve Clear Scan model e680 της εταιρείας Smart Breast. (*Smart Breast Corp.*)

Γενικότερα και τα δύο συστήματα προτείνονται για χρήση ως συμπληρωματικό εργαλείο απεικόνισης για πυκνούς μαστούς και σε περιπτώσεις με υψηλό κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου σύμφωνα με τα εργαλεία αξιολόγησης, όπως το μοντέλο Gail ή το μοντέλο Tyrer-Cuzick. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καθοδήγηση του προεγχειρητικού σχεδιασμού, για την αξιολόγηση ευρημάτων σε άλλη τεχνική απεικόνισης, κυρίως μαστογραφία και υπερηχογράφημα καθώς και για την αξιολόγηση της έκταση του όγκου. (*Smart Breast Corp.*)

Τέλος, τα συστήματα διαθέτουν λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης και λογισμικό CDS (Υποστήριξη κλινικής απόφασης) για την ενίσχυση της διαγνωστικής διαδικασίας. (*Smart Breast Corp.*)

5 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

5.1 Τοποθέτηση ασθενούς για διαφορετικές προβολές

Λήψη εικόνας για την κρανιοκεφαλική προβολή.

Για την κρανιοκεφαλική προβολή, η κάμερα είναι τοποθετημένη στις 0°. Ο/Η εξεταζόμενος πρέπει να ακουμπάει τα χέρια άνετα στην αγκαλιά του/της για να διατηρεί τους ώμους χαλαρούς. Κατά την τοποθέτηση πρέπει η κρανιοκεφαλική όψη πρέπει να περιλαμβάνει τον ιστό του μαστού από την έσω διάσπαση για να συναντά τη μασχάλη πλευρικά, με τη θηλή να διατηρείται σε προφίλ. Εάν η θηλή δεν είναι σε προφίλ πρέπει να διορθωθεί το ύψος του μηχανήματος.

Λήψη εικόνας για την προβολή MLO

Για την προβολή MLO, η κάμερα είναι περίπου στις 45°, με το χέρι του ασθενούς να ακουμπάει πάνω της. Οι ασθενείς με μακρύ κορμό και μικρότερους μαστούς απαιτούν μεγαλύτερη γωνία ενώ οι ασθενείς με μικρότερο κορμό και μεγαλύτερους μαστούς απαιτούν μικρότερη γωνία. Το ύψος της κάμερας ρυθμίζεται έτσι ώστε ο μασχάλιος ιστός, το κάτω μέρος του μαστού και το IMF να μπορούν να συμπεριληφθούν στο FOV. Η θηλή διατηρείται σε προφίλ και πραγματοποιείται αργά η συμπίεση για να ακινητοποιηθεί το στήθος.

Γενικά η τοποθέτηση ταυτίζεται με τα πρότυπα της μαστογραφίας για τη διασφάλιση της μέγιστης οπτικοποίησης του μαστού, εκτός από τη δύναμη συμπίεσης (συνιστώμενη μέγιστη στη μέθοδο MBI, 67N, συνιστώμενη μέγιστη στη μαστογραφία, 51-158N). Πρέπει να χρησιμοποιούνται οι πρόσφατες μαστογραφικές εικόνες του ασθενούς ως αναφορά για την σωστή τοποθέτηση του μαστού, αναγνωρίζοντας ότι ο αυξημένος νεκρός χώρος και η μειωμένη δύναμη συμπίεσης κάνουν τον μαστό να εμφανίζεται ελαφρώς διαφορετικός. Η σύγκριση των προβολών είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της θέσης του πιθανού ευρήματος. Επίσης η/ο ασθενής πρέπει να παραμένει ακίνητος/η. (Swanson, και συν., 2018)

5.2 Βιοψία με συστήματα μοριακής απεικόνισης

Σύστημα με γάμμα κάμερα μονής κεφαλής.

Το σύστημα μοριακής απεικόνισης Eve Clear Scan e680 από την SmartBreast (αρχικά Dilon 6800, Dilon Technologies, Newport News, VA) αποτελεί την πρώτη πυρηνική ιατρική συσκευή βιοψίας μαστού που εγκρίθηκε από το FDA το 2009 **με έναν ανιχνευτή**. Η αρχή της βιοψίας καθοδηγούμενη από σύστημα συσκευή BSGI βασίζεται στον στερεοτακτικό εντοπισμό βλαβών, με τη βοήθεια του ιχνηθέτη Tc99m, με χρήση συρόμενης διάταξης κεκλιμένης οπής για λήψη δυο ξεχωριστών εικόνων σε διαφορετικές γωνίες. (Adrada, Moseley, Kappadath, Whitman, & Rauch, 2020)

Διαδικασία Βιοψίας

Μετά τον κατάλληλο καθαρισμό του δέρματος και τη χορήγηση τοπικής αναισθησίας 600-800 MBq Tc99m, εγχέονται σε μια φλέβα του βραχίονα αντίθετα από τη βλάβη του μαστού. Λαμβάνονται στερεοτακτικές εικόνες σε γωνία 20° και μέσω λογισμικού υπολογίζονται οι συντεταγμένες x,y και z. Πραγματοποιείται μια εγκοπή στο δέρμα από την οποία εισέρχεται στο στήθος μια βελόνα τροκάρ. Γίνεται μια λήψη για την επαλήθευση της βελόνας στο στήθος και στη συνέχεια η βελόνα αντικαθίσταται από μια πηγή 139Cerium. Το 139Cerium έχει ενέργεια εκπομπής 165,8keV και χρόνο ημιζωής 137 ημέρες. Μια δεύτερη λήψη λαμβάνεται κάτω από το παράθυρο διπλής ενέργειας που διακρίνει την εκπομπή 139Cerium από το Tc99m για να επαληθευτεί η θέση της βελόνας. Η βιοψία πραγματοποιείται με τη χρήση συσκευής 9-gauge με υποβοήθηση κενού, μετά τη βιοψία τοποθετείται δείκτης και εκτελείται απεικόνιση δείγματος με την κάμερα μονής κεφαλής για να επιβεβαιωθεί η ανάκτηση του στόχου.

Σύστημα με γάμμα κάμερα διπλής κεφαλής.

Το σύστημα μοριακής απεικόνισης Eve Clear Scan e750 από την SmartBreast (αρχικά Discovery NM 750b, GE Healthcare, Milwaukee, WI) εγκρίθηκε από το FDA το 2016. Το σύστημα βιοψία με χρήση MBI είναι προαιρετικό εξάρτημα του μοντέλου. Αυτή η μονάδα βιοψίας διαθέτει δυο βραχίονες ανιχνευτή εξοπλισμένους με δυο μικρούς ανιχνευτές CZT οι οποίοι έχουν κλίση ο ένας με τον άλλον, της τάξης των +30ο και -30ο . Οι γωνία που σχηματίζονται επιτρέπουν τη λήψη δυο στερεοτακτικών ζευγών δισδιάστατων εικόνων, που

καθορίζουν τον τρισδιάστατο εντοπισμό της βλάβης του στόχου, ενώ ο μαστός συγκρατείται στη θέση του με τη συμπίεση μεταξύ του κάτω ανιχνευτή και του κουμπιού του εξαρτήματος βιοψίας. Η βελόνα της βιοψίας εισέρχεται στον μαστό μεταξύ του κενού των δύο ανιχνευτών. (Adrada, Moseley, Kappadath, Whitman, & Rauch, 2020)

Διαδικασία Βιοψίας

Πραγματοποιείται στον ασθενή μια ένεση 600-800 MBq Tc99m, αν και στο διαγνωστικό MBI πραγματοποιείται συνήθως 300MBq (8mCi) Tc99m. Τα 600-800 MBq χρησιμοποιούνται για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη ορατότητα του στόχου. Γίνεται λήψη εικόνων για την εξασφάλιση της ορατότητας του στόχου και μόλις ο στόχος οπτικοποιηθεί γίνεται μια λήψη στη στοχευμένη περιοχή για να υπολογιστούν οι x και y συντεταγμένες.

Το δέρμα καθαρίζεται με άσηπτη τεχνική, γίνεται τοπική αναισθησία και εισάγεται εντός της βλάβης στόχου ο εισαγωγέας. Ο εισαγωγέας που χρησιμοποιείται σε αυτή τη διαδικασία αποτελεί το ίδιο ομοαξονικό σύστημα που χρησιμοποιείται για βιοψίες MRI. Μια ράβδος επαλήθευσης αποτελούμενη από Γαδολίνιο (Gd153) που εκπέμπει 103keV με χρόνο ημιζωής 241 ημέρες. Αυτό, τοποθετείται στον εισαγωγέα και πραγματοποιείται σάρωση επαλήθευσης για να διασφαλιστεί ότι η άκρη της ράβδου ήταν στο κέντρο του στόχου. Μόλις επιβεβαιωθεί η σωστή θέση, τοποθετείται βελόνα βιοψίας με υποβοήθηση κενού 9-gauge και λαμβάνονται τα δείγματα. Τα δείγματα τοποθετούνται σε πλαστικό δοχείο και σαρώθηκε με τον ανιχνευτή MBI. (Adrada, Moseley, Kappadath, Whitman, & Rauch, 2020)

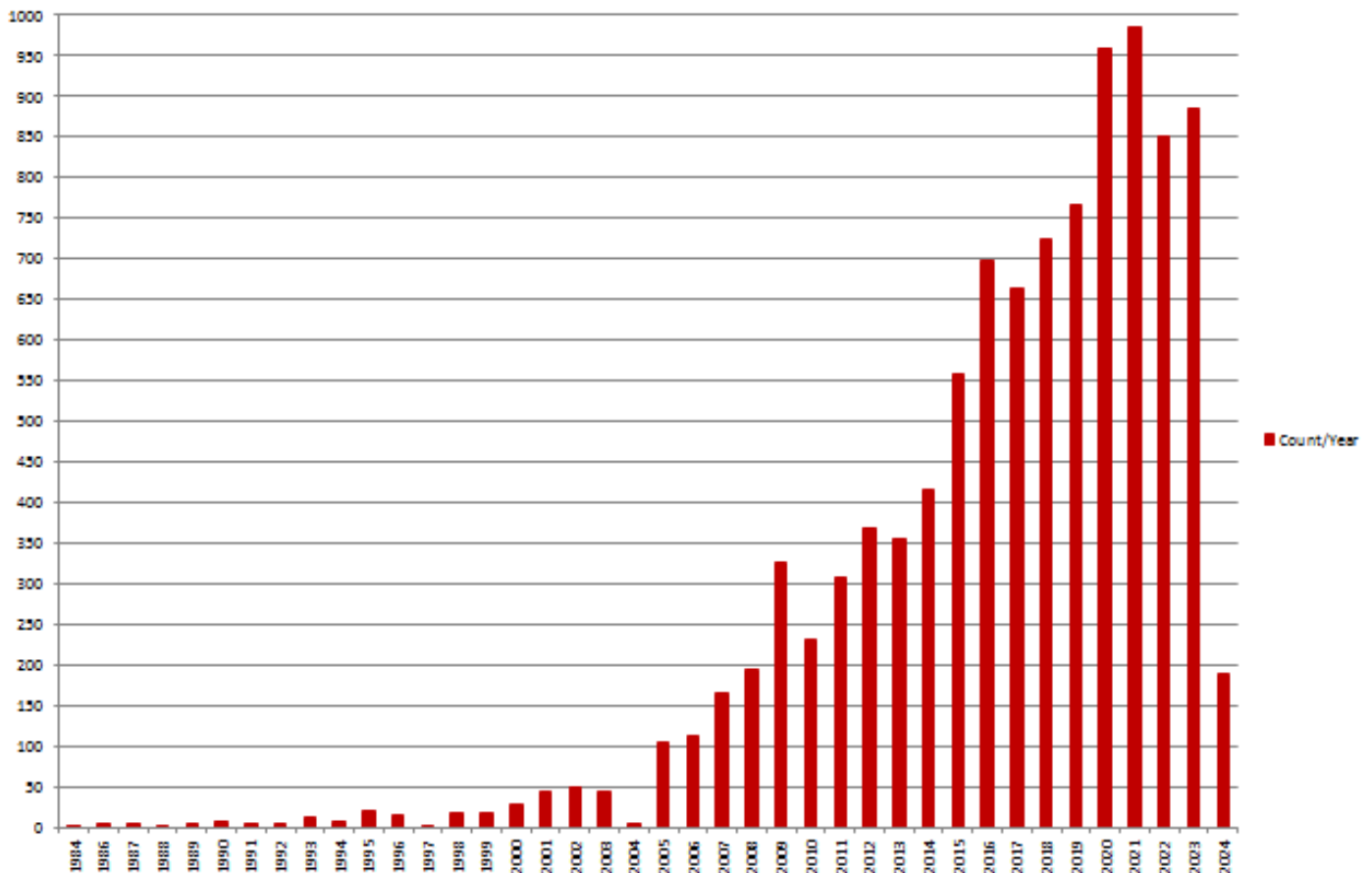
6 Η ΜΟΡΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ

Τα συστήματα της μοριακής απεικόνισης παρόλο που χρησιμοποιούνται πλέον σαν συμπληρωματική εξέταση δεν είναι μια ευρέως διαδεδομένη πρόταση. Τα συστήματα που υπάρχουν δεν είναι διαδεδομένα στην παγκόσμια αγορά ιατροτεχνολογικών προϊόντων, πόσο μάλλον στην Ελληνική, και υπάρχουν κυρίως στις ΗΠΑ. Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε τη παρουσία της τεχνικής MBI στην έρευνα μέσα από ερευνητικά άρθρα που έχουν δημοσιευτεί.

Για την αναζήτηση ερευνητικών άρθρων σχετικά με τη μοριακή απεικόνιση μαστού, επισκέφθηκα το website, PubMed και πραγματοποίησα αναζήτηση με τον όρο «Molecular Breast Imaging» κατά την οποία προέκυψαν 8.966 αποτελέσματα επιστημονικών άρθρων από το 1984 έως σήμερα. Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα (εικόνα σε μορφή πίτας σχετικά με τα άρθρα έχουν δημοσιευθεί ανά έτος.

Το πρώτο έτος που δημοσιεύθηκε άρθρο σχετικά με τη μοριακή απεικόνιση μαστού ήταν το 1984, κατά το οποίο δημοσιεύθηκαν 2 μόλις άρθρα και μαζί με το έτος 1997 αποτελούν τα έτη με τις λιγότερες δημοσιεύσεις. Το έτος με τις περισσότερες δημοσιεύσεις αποτελεί το 2021 με 984 δημοσιευμένα άρθρα και το έτος 2024 προς το παρόν έχει 188 δημοσιεύσεις.

Search query: Molecular breast imaging



Παρακάτω παρατίθενται οι περιλήψεις άρθρων/ερευνών σχετικά με την τεχνική ή τα συστήματα της μοριακής απεικόνισης. Οι περιλήψεις αυτές είναι ταξινομημένες με αύξουσα χρονολογική σειρά ώστε να είναι εμφανείς οι εξελίξεις της τεχνικής καθώς και της τεχνολογίας των συστημάτων.

6.1 Molecular imaging as a tool for translating breast cancer science.

Ο David A Mankoff το 2008, στο άρθρο του συζητά τη σημασία της εξέτασης των βιολογικών χαρακτηριστικών του καρκίνου για την κατανόηση και τη θεραπεία του καρκίνου του μαστού. Αναφέρει ότι οι παραδοσιακές εξετάσεις απαιτούν δειγματοληψία ιστού, παρεμβαίνοντας στο σύστημα που μετράται, ενώ οι μη επεμβατικές μοριακές εξετάσεις, όπως η μοριακή απεικόνιση, προσφέρουν τη δυνατότητα μέτρησης χωρίς επεμβατική παρέμβαση. Η μοριακή απεικόνιση, συμπεριλαμβανομένων μεθόδων όπως η MRI και η MRS, παρέχουν αξιολόγηση της περιφερειακής βιολογίας του όγκου. Παρά τα πλεονεκτήματά τους, οι μέθοδοι απεικόνισης συμπληρώνονται από παραδοσιακές εξετάσεις λόγω του κόστους, των περιορισμένων δυνατοτήτων δειγματοληψίας και της ανάγκης για εξελιγμένο εξοπλισμό. Η έμφαση πλέον δίνεται στην εξερεύνηση της βιολογίας του καρκίνου του μαστού και στην αξιολόγηση των επιδράσεων θεραπευτικών παρεμβάσεων. Εξετάζονται μέθοδοι απεικόνισης για τη μελέτη της βιοσύνθεσης, της σύνθεσης πρωτεϊνών και της σύνθεσης μεμβρανών. Υπογραμμίζει τη δυνατότητα της μοριακής απεικόνισης στη μέτρηση της ειδικής έκφρασης συγκεκριμένων πρωτεϊνών, ιδίως των υποδοχέων όγκου, επισημαίνοντας τις προκλήσεις και τις επιτυχίες διάφορων τεχνικών απεικόνισης σε αυτό το πλαίσιο. Δίνεται ειδική έμφαση στην απεικόνιση στεροειδών υποδοχέων, οι οποίοι παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την έκφραση του ER, προβλέποντας αντιδράσεις στην ενδοκρινική θεραπεία. Όμως η μοριακή απεικόνιση επεκτείνεται στο μικροπεριβάλλον του όγκου, συμπεριλαμβανομένης της υποξίας και της αγγειογένεσης και ειδικότερα, εξετάζει τεχνικές απεικόνισης γονιδίων αναφοράς και κατηγοριοποίηση κυττάρων, βοηθώντας στην παρακολούθηση της γονικής θεραπείας και της ανοσοθεραπείας για τον καρκίνο του μαστού. Οι πρόοδοι που έχουν σημειωθεί στη μοριακή βιολογία ανοίγουν ευκαιρίες για την κατανόηση και τη θεραπεία του καρκίνου του μαστού, οδηγώντας στην ανάπτυξη προηγμένων δοκιμών. Η μοριακή απεικόνιση, κυρίως με SPECT και PET, προσφέρει μη επεμβατική αξιολόγηση της βιολογίας του όγκου, ενώ ορισμένες μέθοδοι όπως το FDG PET χρησιμοποιούνται κλινικά, πολλές βρίσκονται ακόμα σε πρώιμα προκλινικά στάδια. Η μοριακή απεικόνιση βοηθά στη «μετάφραση» της βασικής επιστήμης σε κλινικά οφέλη, με αρχικές εφαρμογές σε μοντέλα ζώων και ανθρώπων. Παρά τα εμπόδια,

οι προσπάθειες υποδεικνύουν έναν κρίσιμο ρόλο για τη μοριακή απεικόνιση στην έρευνα και την καταπολέμηση του καρκίνου του μαστού.

6.2 Molecular Breast Imaging: Use of a Dual-Head Dedicated Gamma Camera to Detect Small Breast Tumors.

Οι Carrie B. Hruska et al, το 2008, αναφέρουν τους περιορισμούς της μαστογραφίας στον εντοπισμό του καρκίνου σε πυκνούς μαστούς και εξερευνούν τις εναλλακτικές μεθόδους απεικόνισης. Συγκρίνουν τη ψηφιακή μαστογραφία, την υπερηχογραφία, τη μαγνητική τομογραφία και τη μοριακή απεικόνιση μαστού, τονίζοντας τα οφέλη και τις προκλήσεις της καθεμιάς. Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε είχε ως στόχο την αξιολόγηση της ευαισθησίας της μοριακής απεικόνισης του μαστού και τη δυνατότητα της στην εύρεση μικρών βλαβών με τη χρήση του συστήματος με γ-κάμερα διπλής κεφαλής. Στη μελέτη αυτή συμμετείχαν περίπου 150 εξεταζόμενοι με ύποπτες βλάβες στον μαστό. Η λήψη μέσω MBI πραγματοποιήθηκε πριν τη βιοψία με ποσοστό ανίχνευσης 90% και με μέση διάμετρο τα 13mm. Ανιχνεύθηκαν βλάβες οι οποίες δεν είχαν εντοπιστεί στη μαστογραφία ή στο υπερηχογράφημα δίνοντας ως συμπέρασμα ότι η ευαισθησία του συστήματος σε βλάβες μικρότερες των 10mm είναι σημαντικά καλύτερη. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη διέθετε γ-κάμερα διπλής κεφαλής με ανιχνευτές CZT για τον εντοπισμό μικρών βλαβών στον μαστό. Η τεχνική της MBI δείχνει ότι θα αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό του καρκίνου και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να εξεταστεί η κλινική χρησιμότητα της.

6.3 Molecular Imaging of the Breast.

Οι Robyn L. Birdwell et al το 2009, στο άρθρο τους συζητούν το δυναμικό των τεχνικών της μοριακής απεικόνισης, όπως η αντίθεση ενισχυμένου MRI, η MR φασματοσκοπία (MRS) και η πυρηνική ιατρική απεικόνιση sestamibi, στο να παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για τον καρκίνο του μαστού πέρα από τη δομική απεικόνιση. Επισημαίνεται η σημασία των πινάκων έκφρασης γονιδίων στον εντοπισμό των μοριακών υποτύπων του καρκίνου του μαστού και την επίδρασή τους στις αποφάσεις θεραπείας. Η μελέτη υπογραμμίζει τον ρόλο της μοριακής απεικόνισης στην αναγνώριση διαφορών φαινοτύπων μεταξύ των υποτύπων του καρκίνου του μαστού, προσφέροντας πληροφορίες για την ανταπόκριση της θεραπείας και την ατομική φροντίδα του ασθενούς. Το άρθρο καλεί για περαιτέρω έρευνα για την αξιοποίηση της

μοριακής απεικόνισης για την εξατομικευμένη ανίχνευση, θεραπεία και παρακολούθηση του όγκου. Συζητά την εφαρμογή διαφόρων τεχνικών απεικόνισης, επικεντρώνοντας λεπτομερώς στο Proton MRS. Το Proton MRS, εδραιωμένο από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, εντοπίζει παθολογία στον ανθρώπινο ιστό με υψηλή ακρίβεια, αποκαλύπτοντας χημικές αλλαγές που σχετίζονται με την ανάπτυξη του όγκου. Η μελέτη υπογραμμίζει το δυναμικό του MRS στις εφαρμογές in vivo, ιδιαίτερα στον εγκέφαλο και το στήθος. Εξετάζονται και άλλες προηγμένες εφαρμογές του MRI, όπως η δυναμική αντίθεση ενισχυμένο MRI και η απεικόνιση βαρύτητας διάχυσης. Επιπλέον, το άρθρο καλύπτει το CT, τις πυρηνικές ιατρικές τεχνικές (απεικόνιση sestamibi, PET), την οπτική απεικόνιση και τη στοχευμένη απεικόνιση για τη διάγνωση και τη θεραπεία του καρκίνου του μαστού.

6.4 Collimator design for a dedicated molecular breast imaging-guided biopsy system: Proof-of-concept.

Οι Amanda L. Weinmann et al, το 2012, στο άρθρο τους αναφέρονται στην ανάπτυξη ενός νέου collimator για συστήματα βιοψίας με καθοδήγηση από την τεχνική μοριακής απεικόνισης μαστού (MBI). Η τεχνική αυτή έχει επιδείξει σημαντικά αποτελέσματα στον εντοπισμό του καρκίνου του μαστού. Ωστόσο, η ανάγκη για ένα εφικτό σύστημα βιοψίας με καθοδήγηση από MBI είναι ουσιώδης λόγω των προκλήσεων που συνδέονται με τη βιοψία και καθοδήγηση της από μαγνητική τομογραφία (MR). Ο προτεινόμενος collimator στοχεύει στον ακριβή εντοπισμό των βλαβών και στην ταχεία απόκτηση εικόνων κατά τη διάρκεια της βιοψίας. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει την αντικατάσταση ενός ανιχνευτή με ένα πίεστρο, επιτρέποντας βελτιωμένη πρόσβαση στο στήθος, και την τροποποίηση του σχεδιασμού του collimator ώστε να παρέχει πληροφορίες βάθους και να ενισχύσει την ευαισθησία για γρήγορη απεικόνιση κατά τη βιοψία. Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός collimator κωνικής κλίσης (CSH) για συστήματα βιοψίας με καθοδήγηση από MBI συγκρίθηκαν με την απόδοση του υπάρχοντα collimator παράλληλων οπών. Ο σχεδιασμός του collimator CSH είχε ως στόχο τον ακριβή εντοπισμό βάθους της βλάβης και τη βελτίωση της ευαισθησίας για γρήγορη απεικόνιση κατά τη διάρκεια των βιοψιών. Παράμετροι όπως η γωνία κλίσης, η απόσταση των κώνων, το πάχος του τοιχώματος του κώνου, το ύψος του κώνου και η μορφή του διαχωριστικού ελέγχθηκαν για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του collimator. Οι προκαταρκτικές προσομοιώσεις έδειξαν ελπιδοφόρα αποτελέσματα στον ακριβή εντοπισμό των βλαβών και τη βελτίωση της ευαισθησίας της εικόνας. Η μελέτη αξιολόγησε την απόδοση ενός collimator κωνικής κλίσης

(CSH) για συστήματα βιοψίας με καθοδήγηση από μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo. Ο collimator CSH έδειξε βελτιωμένη ευαισθησία στην απαρίθμηση των βλαβών σε σύγκριση με αυτόν των παράλληλων οπών, με αποδεκτή ακρίβεια στην εκτίμηση βάθους. Ωστόσο, οι παραλλαγές στις παραμέτρους του collimator επηρέασαν διαφορετικά την ευαισθησία, την ανάλυση και την εκτίμηση του βάθους, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων αυτών για την ισορροπία ανάμεσα σε αυτούς τους παράγοντες για την βέλτιστη απόδοση. Οι collimator κοντά στο κέντρο είχαν μεγαλύτερη απόσταση, μειώνοντας την ανάλυση και επιτρέποντας την κάθετη είσοδο της ακτινοβολίας, επιδεινώνοντας περαιτέρω την ανάλυση. Οι προεπιλεγμένοι παράμετροι του collimator CSH έδειξαν αποδεκτά σφάλματα εκτίμησης βάθους για μια βλάβη 1 cm. Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων αύξησε την ευαισθησία αλλά επιδείνωσε την ανάλυση. Προσαρμοσμένοι collimator για διαφορετικές βλάβες μπορεί να βελτιώσουν την απόδοση. Πρακτικές προκλήσεις περιλαμβάνουν την πολυπλοκότητα κατασκευής και την εγγύτητα της βλάβης στο άκρο του ανιχνευτή. Μελλοντικές εργασίες περιλαμβάνουν την ανάπτυξη ενός συστήματος βιοψίας που ενσωματώνει τον collimator CSH, ενδεχομένως επιτρέποντας την απεικόνιση της βλάβης σε πραγματικό χρόνο και την παρακολούθηση της βελόνας βιοψίας.

6.5 A Molecular Approach to Breast Imaging.

Η Amy M. Fowler το 2014, στο άρθρο της αναφέρεται στην εξέλιξη της μοριακής απεικόνισης μαστού και στις εφαρμογές της. Η μοριακή απεικόνιση μαστού παρέχει μη επεμβατική οπτικοποίηση της βιολογίας του καρκίνου για την εξατομικευμένη ιατρική. Τεχνικές όπως η σκιαγράφιση με ^{99m}Tc -sestamibi και η PET με ^{18}F -FDG βοηθούν στην ανίχνευση, με ευαισθησία σχεδόν 95%. Αυτά τα συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των BSGI και των PET/PEM, προσφέρουν βελτιωμένη ανάλυση σε σχέση με την απεικόνιση ολόκληρου του σώματος, χρήσιμη για την ανίχνευση μικρών καρκίνων. Οι κλινικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τον προεγχειρητικό σχεδιασμό, την παρακολούθηση της αντίδρασης στη θεραπεία, την αξιολόγηση της επανεμφάνισης και τον συμπληρωματικό έλεγχο για γυναίκες με πυκνούς μαστούς. Η μοριακή απεικόνιση μαστού βοηθά στην προεγχειρητική αξιολόγηση, ανιχνεύοντας πρόσθετους κακοήθεις όγκους σχεδόν στο 20% των περιπτώσεων, αλλά ακόμα λείπουν αποδεικτικά στοιχεία για βελτιωμένα αποτελέσματα. Η σύγκριση με τις άλλες μορφές μοριακής απεικόνισης (BSGI, PEM) δίνει ως απάντηση ότι

διαθέτουν παρόμοια ευαισθησία με βελτιωμένη ειδικότητα. Η απεικόνιση PET με 18F-FDG σε ολόκληρο το σώμα δίνει ευαισθησία (80%) και ειδικότητα (79%) για την αντίδραση στη θεραπεία ενώ η BSGI βελτιώνει την ευαισθησία της μαστογραφίας σε πυκνούς μαστούς, αλλά οι ανησυχίες για την έκθεση στην ακτινοβολία επιμένουν. Τα εμπόδια που υπάρχουν είναι οι υψηλές δόσεις ακτινοβολίας, τα εναρμονισμένα κριτήρια και οι μέθοδοι βιοψίας, αλλά η μοριακή απεικόνιση δείχνει αρκετά υποσχόμενη για τον έλεγχο της θεραπείας και τη πρόγνωση, απαιτώντας επιπλέον έρευνα και κλινικές δοκιμές.

6.6 Factors Influencing the Uptake of ^{99m}Tc-Sestamibi in Breast Tissue on Molecular Breast Imaging.

Οι Michael K. O' Connor et al το 2014, στο άρθρο τους ερευνούν τον περιορισμό της δόσης ακτινοβολίας στην μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) για τον έλεγχο καρκίνου του στήθους. Η MBI με ^{99m}Tc-sestamibi με διπλής κεφαλής κάμερα καδμίου-ψευδάργυρου τελλουριού είναι αποτελεσματική, αλλά οι ανησυχίες σχετικά με την έκθεση στην ακτινοβολία εξακολουθούν να υπάρχουν. Τεχνικές βελτιώσεις επέτρεψαν την χρήση της MBI με περίπου 240 MBq (6,5 mCi) με διατήρηση της ποιότητας της εικόνας, ωστόσο, η μεταβλητή απορρόφηση του ^{99m}Tc-sestamibi στον ιστό του στήθους αποτελεί πρόκληση για την περαιτέρω μείωση της δόσης. Η μελέτη διερευνά την επίδραση παραγόντων (νηστεία, άσκηση, καφεΐνη, θέρμανση) στην απορρόφηση του ^{99m}Tc-sestamibi στον ιστό του στήθους, με στόχο τη βέλτιστη προετοιμασία του ασθενούς και επιπλέον μείωση της δόσης, υποστηρίζοντας τον ρόλο της MBI ως πρόσθετης διαγνωστικής διαδικασίας. Το σύστημα MBI χρησιμοποίησε ανιχνευτές καδμίου-ψευδαργύρου τελλουριού, και η ανάλυση της πυκνότητας μέτρησης αποκάλυψε τις επιπτώσεις των παρεμβάσεων στην απορρόφηση της ^{99m}Tc-sestamibi, παρέχοντας εισηγήσεις για τον βέλτιστο σχεδιασμό πρωτοκόλλων MBI για τον έλεγχο του καρκίνου του στήθους. Ανέλυσε υποδειγματικά τη δραστηριότητα του στήθους σε περίπου 150 υποκείμενα, ενσωματώνοντας παρεμβάσεις όπως η νηστεία, η ελαφριά άσκηση, η καφεΐνη και η θέρμανση των περιφερειακών μερών κατά τη μοριακή εικόνα του στήθους (MBI). Η νηστεία μείωσε σημαντικά τη δραστηριότητα, η ελαφριά άσκηση προκάλεσε σημαντική μείωση, η καφεΐνη δεν είχε σημαντική επίδραση, και η θέρμανση των περιφερειακών μερών οδήγησε σε σημαντική αύξηση της δραστηριότητας του στήθους. Η μελέτη τόνισε τις διακυμάνσεις στη δραστηριότητα του στήθους, τους παράγοντες επηρεάζονται και τη δυνατότητα των παρεμβάσεων να αλλάξουν τα αποτελέσματα του MBI, παρέχοντας πολύτιμες εισηγήσεις για τον βέλτιστο σχεδιασμό

πρωτοκόλλων ελέγχου καρκίνου του στήθους. Δείχνει ότι μικρές τροποποιήσεις στην προετοιμασία του ασθενούς ενισχύουν σημαντικά την απορρόφηση του ^{99m}Tc -sestamibi στον ιστό του στήθους κατά τη μοριακή εικόνα του στήθους (MBI). Η νηστεία και η θέρμανση οδήγησαν σε πάνω από 50% αύξηση της δραστηριότητας του στήθους σε σύγκριση με την ομάδα που είχε φάει. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η βελτιστοποίηση της προετοιμασίας του ασθενούς πριν από την χορήγηση του ^{99m}Tc -sestamibi μπορεί να επιτρέψει μείωση είτε στο χρόνο απόκτησης εικόνας είτε στην απαιτούμενη δόση του ^{99m}Tc -sestamibi, βελτιώνοντας πιθανώς τα κλινικά αποτελέσματα στη μαστογραφία. Η μελέτη τονίζει επίσης τις επιπτώσεις σε άλλες εφαρμογές απεικόνισης που χρησιμοποιούν το ^{99m}Tc -sestamibi.

6.7 Molecular imaging of breast cancer: present and future directions.

Οι David Alcantara et al το 2014, στο άρθρο τους αναφέρουν το πώς με τη μοριακή απεικόνιση πέρα από το να γνωρίζουμε την τοποθεσία ενός όγκο μπορούμε να γνωρίζουμε και την συμπεριφορά του αλλά και την αντίδραση του στη θεραπεία. Στον τομέα της μοριακής απεικόνισης του καρκίνου του μαστού, ποικίλες τεχνικές προσφέρουν εισαγωγές στη μορφολογία και τις διεργασίες του όγκου. Οι προκλήσεις περιλαμβάνουν τις μεταβλητές ευαισθησίες των μεθόδων μοριακής απεικόνισης, απαιτώντας περαιτέρω εξελίξεις στον τομέα. Οι στόχοι για το μέλλον περιλαμβάνουν την κατανόηση των μοριακών κινητήρων των υποτύπων καρκίνου του μαστού, την ανάπτυξη δεικτών για την ευαισθησία στη θεραπεία και την καλλιέργεια πολυτροπικών δεικτών απεικόνισης για ελάχιστα επεμβατική διάγνωση. Με το MRI να διαδραματίζει καίριο ρόλο στη διάγνωση των παθήσεων του μαστού, προσφέροντας συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως η αξιολόγηση της ανταπόκρισης στη θεραπεία, η διακριτική εξέταση υψηλού κινδύνου ασθενών και η εκτίμηση των εμφυτευμάτων στο μαστό. Η PEM αναδύεται ως σαρωτής PET υψηλής ανάλυσης, εξειδικευμένος για την ακριβή ανίχνευση του καρκίνου του μαστού, χρησιμοποιώντας ραδιοσήμανση όπως το ^{18}F -fluorodeoxyglucose (FDG). Οι τεχνικές μοριακής απεικόνισης, ουσιώδεις για την οπτικοποίηση κυτταρικών και μοριακών διεργασιών, περιλαμβάνουν την πυρηνική απεικόνιση (PET, SPECT), την οπτική απεικόνιση και την απεικόνιση με τον μαγνητικό συντονισμό (MRI). Το MRI, μια ευέλικτη και μη-ιονίζουσα τεχνική, χρησιμοποιεί το γαδολίνιο ή νανοσωματίδια για τη μοριακή απεικόνιση. Ενώ οι PET και SPECT δεν παρέχουν ανατομικές λεπτομέρειες, το MRI προσφέρει εξαιρετικές δομικές, λειτουργικές και

μεταβολικές πληροφορίες. Στον τομέα της μοριακής απεικόνισης του καρκίνου του μαστού, ποικίλες τεχνικές προσφέρουν εισαγωγή στη μορφολογία και τις διαδικασίες του όγκου. Οι προκλήσεις περιλαμβάνουν τις μεταβλητές ευαισθησίες των μεθόδων μοριακής απεικόνισης, απαιτώντας επιπλέον εξελίξεις στον τομέα. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, μελλοντικοί στόχοι περιλαμβάνουν την κατανόηση των μοριακών παραγόντων των υποτύπων του καρκίνου του μαστού, την ανάπτυξη επικυρωμένων δεικτών για την ευαισθησία στη θεραπεία, και τη βελτίωση των δεικτών μοριακής απεικόνισης για την ελάχιστα επεμβατική διάγνωση. Άλλοι στόχοι περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ειδικότητας των ραδιοϊχνηθετών για PET/SPECT και την επικύρωση νέων δεικτών μοριακής απεικόνισης σε μεγάλη κλίμακα κλινικών δοκιμών. Στρατηγικές για την καταγραφή της ετερογένειας, τον εντοπισμό επωφελών περιοχών για βιοψίες, και την συλλογή διαφορετικών δεδομένων από πολλαπλές ειδικότητες είναι καθοριστικές για την εξέλιξη της απεικόνισης του καρκίνου του μαστού.

6.8 Background Parenchymal Uptake during Molecular Breast Imaging and Associated Clinical Factors.

Οι Carrie B. Hruska et al το 2015, στη μελέτη τους εξετάζουν τη συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας του μαστού και της υποκείμενης υποδοχής του φόντου (BPE) στη μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI). Η πυκνότητα του μαστού, συσχετιζόμενη με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου του μαστού, συχνά έχει αποτέλεσμα την έλλειψη ακρίβειας στην πρόβλεψη του ατομικού κινδύνου. Η MBI, που χρησιμοποιεί το ^{99m}Tc -sestamibi, αποκαλύπτει μεταβαλλόμενα επίπεδα BPE στον συνδετικό ιστό. Η ανάλυση, βασισμένη σε περίπου χίλιους συμμετέχοντες, εντοπίζει συσχετίσεις μεταξύ των κατηγοριών BPE και παραγόντων όπως η ηλικία, το BMI και η πυκνότητα του μαστού. Η μελέτη υπογραμμίζει τη δυνατότητα της MBI να παρέχει επιπλέον πληροφορίες στον κίνδυνο του καρκίνου του μαστού, ιδίως σε γυναίκες με πυκνούς μαστούς, τονίζοντας την ανάγκη για συνολική αξιολόγηση πέραν της μαστογραφίας. Η μελέτη ανέλυσε περίπου χίλιους συμμετέχοντες που υποβλήθηκαν σε μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) για την αξιολόγηση της υποκείμενης υποδοχής του φόντου (BPU). Παρατηρήθηκε σημαντική συμφωνία μεταξύ των αναγνώστων και εντός του ίδιου αναγνώστη. Εντοπίστηκαν συσχετίσεις μεταξύ της BPU, της ηλικίας, του BMI, της εμμηνοπαυσιακής κατάστασης, της ορμονικής θεραπείας και της πυκνότητας του μαστού. Η φωτοπενική περιοχή ήταν συνηθισμένη σε γυναίκες μετά την εμμηνοπάυση, προκαλώντας πρόκληση στην αναμενόμενη συσχέτιση με πιο πυκνούς μαστούς. Η μελέτη υποδεικνύει ότι η BPU στη MBI μπορεί να αντανάκλα λειτουργικές διαφορές στον συνδετικό ιστό και καλεί για

περαιτέρω έρευνα σχετικά με τον πιθανό ρόλο της στην πρόβλεψη του κινδύνου καρκίνου του μαστού.

6.9 Clinical Diagnosis and Management of Breast Cancer.

Οι Elizabeth S Mc Donald et al το 2016, σε μια μελέτη ανασκόπησης εξετάζουν και αναλύουν τις προσεγγίσεις για τη διάγνωση και τη διαχείριση του καρκίνου του μαστού. Η διάγνωση του καρκίνου του μαστού περιλαμβάνει εξετάσεις είτε στο πλαίσιο ελέγχου, είτε όταν εμφανίζονται συμπτώματα. Η μαστογραφία, συνιστώμενη από την ηλικία των 45 ετών, μειώνει τον κίνδυνο θνητότητας από καρκίνο του μαστού κατά 19%, με διαφορετικά οφέλη ανάλογα με την ηλικία. Ανεπιθύμητες συνέπειες αποτελούν τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα που πέρα του ότι οδηγούν σε επιπλέον έκθεση σε ακτινοβολία επηρεάζουν και αρνητικά την εξεταζόμενη λόγω της θετικής στον καρκίνο διάγνωσης. Η ψηφιακή τομοσύνθεση του μαστού βελτιώνει την ακρίβεια, αλλά παράλληλα οι συνθετικές 2D εικόνες μειώνουν τη δόση ακτινοβολίας. Η MRI αποτελεί μια απεικόνιση συμπληρωματική της μαστογραφίας και προτείνεται ιδίως για γυναίκες με υψηλό κίνδυνο θετικής διάγνωσης. Η παθολογική αξιολόγηση περιλαμβάνει αναρρόφηση με λεπτή βελόνη, βιοψία ή εξαγωγή, με μοριακούς ελέγχους να βοηθούν στον χαρακτηρισμό των ευρημάτων. Η απεικόνιση και η κατηγοριοποίηση χρησιμοποιούν εξετάσεις, μαστογραφίες, υπερήχους και μαγνητικές απεικονίσεις. Η θεραπεία περιλαμβάνει χειρουργική επέμβαση, χημειοθεραπεία, ορμονική θεραπεία και θεραπεία κατευθυνόμενη κατά του HER2. Η ακτινοθεραπεία, αναγκαία σε κάποιες περιπτώσεις, έχει εξελιχθεί με την υποκλασματοποιημένη συμβατική χημειοθεραπεία και την επιταχυνόμενη μερική ακτινοθεραπεία του μαστού, στοχεύοντας στην βέλτιστη αποτελεσματικότητα και κυρίως στη μείωση του χρόνου θεραπείας. Αυτές οι εξελίξεις στοχεύουν στην ενίσχυση της ακρίβειας και την ελαχιστοποίηση των παρενεργειών, συμβάλλοντας σε μια συνολική προσέγγιση της διαχείρισης του καρκίνου του μαστού και κυρίως έχει προσωποποιήσει τη θεραπεία για τον κάθε ασθενή.

6.10 Background parenchymal uptake on molecular breast imaging as a breast cancer risk factor: a case-control study.

Οι Carrie B. Hruska et al το 2016, στο άρθρο τους εξετάζουν την υποκείμενη ικανότητα πρόσληψης του παρεγκεφαλικού ιστού BPU στη μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) ως πιθανό παράγοντα κινδύνου για τον καρκίνο του μαστού, ιδιαίτερα σε γυναίκες με πυκνούς μαστούς. Το MBI, που συμπληρώνει τη μαστογραφία, ανιχνεύει κρυφούς καρκίνους και στη μελέτη αυτή εξετάζονται οι διακυμάνσεις του BPU, ανεξάρτητες από την πυκνότητα. Μια υποκείμενη μελέτη περίπτωσης έλεγχου με περίπου 3000 γυναίκες ανέλυσε δεδομένα MBI, εντοπίζοντας περίπου 60 περιπτώσεις καρκίνου του μαστού. Το BPU, που αξιολογήθηκε ποιοτικά, έδειξε δυναμική σχέση με τον κίνδυνο καρκίνου του μαστού. Η μελέτη υποδηλώνει ότι το BPU στο MBI θα μπορούσε να παρέχει πληροφορίες πέρα από την πυκνότητα, βοηθώντας στην προσωποποιημένη αξιολόγηση του κινδύνου καρκίνου του μαστού. Η μελέτη αξιολόγησε την πυκνότητα του μαστού και την υποκείμενη προσληπτικότητα του παρεγκεφαλικού ιστού (BPU) στη μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) ως πιθανούς παράγοντες κινδύνου για τον καρκίνο του μαστού. Αναλύθηκαν μαστογραφίες από περίπου 230 υποκείμενα, με το BPU να αξιολογείται, και η συμφωνία για το BPU ήταν καλή, τα επίπεδα του συσχετίστηκαν με τον κίνδυνο καρκίνου του μαστού, εμφανίζοντας αυξημένες πιθανότητες σε υψηλότερες κατηγορίες BPU. Οι προσαρμογές για την πυκνότητα BI-RADS και την ποσοστιαία πυκνότητα δεν άλλαξαν τη συσχέτιση BPU με τον καρκίνο του μαστού. Η μελέτη υποδηλώνει ότι το BPU στο MBI μπορεί να παρέχει επιπλέον πληροφορίες στον κίνδυνο καρκίνου του μαστού, συμπληρώνοντας την αξιολόγηση της πυκνότητας του μαστού. Η μελέτη εδραιώνει την υποκείμενη προσληπτικότητα του παρεγκεφαλικού ιστού (BPU) στη μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) ως ένα νέο παράγοντα κινδύνου για τον καρκίνο του μαστού. Οι γυναίκες με μέτριο ή έντονο BPU είχαν υψηλότερες πιθανότητες να αναπτύξουν καρκίνο του μαστού. Αυτή η συσχέτιση διατηρήθηκε ανεξάρτητα από τις προσαρμογές για την πυκνότητα του μαστού και παρέμεινε σημαντική σε γυναίκες μετά το εμμηνοπαυσιακό στάδιο και περιστατικά επιθετικού καρκίνου του μαστού. Το BPU, που αντικατοπτρίζει τη λειτουργική πρόσληψη στον συνδετικό ιστό, παρέχει επιπρόσθετες πληροφορίες κινδύνου πέρα από την πυκνότητα του μαστού. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι το BPU θα μπορούσε να λειτουργήσει ως ένας πολύτιμος παράγοντας κινδύνου για τον εντοπισμό των γυναικών με πυκνούς μαστούς που ενδέχεται να επωφεληθούν από προσαρμοσμένη έλεγχο ή πρόληψη.

6.11 Molecular Breast Imaging for Screening in Dense Breasts: State of the Art and Future Directions.

Η Carrie B. Hruska το 2017, στο άρθρο της αναλύει τα κίνητρα της μοριακής απεικόνισης ως συμπληρωματική εξέταση. Η ενημέρωση σχετικά με την πυκνότητα του μαστού στοχεύει στο να προβάλλει την πιθανή επίδραση του πυκνού ιστού του μαστού στη μαστογραφία, προωθώντας συζητήσεις για επιπρόσθετες επιλογές ελέγχου. Η ευαισθησία της μαστογραφίας επηρεάζεται από την πυκνότητα του μαστού, όπως έδειξαν πρόσφατες μελέτες, και η μαστογραφία παρουσιάζει χαμηλότερη ευαισθησία σε γυναίκες με πυκνό ή υψηλού κινδύνου μαστού. Διάφορες μέθοδοι επιπρόσθετου ελέγχου, όπως ολόκληρος υπέρηχος μαστού, MRI και Μοριακή Απεικόνιση Μαστού (MBI), παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα. Η MBI, που χρησιμοποιεί γ-κάμερες και ιχνηθέτες ανιχνεύει όγκους που είναι αόρατοι στη μαστογραφία, ιδιαίτερα σε πυκνούς μαστούς, προσφέροντας μεγαλύτερα ποσοστά ανίχνευσης καρκίνου. Η τεχνολογία της MBI, συμπεριλαμβανομένων των διπλών ανιχνευτών CZT, ενισχύει την ανίχνευση των βλαβών, χρησιμοποιεί χαμηλής δόσης ^{99m}Tc -sestamibi που χορηγείται ενδοφλέβια και οι εκπομπές κυμαίνονται από 240-300 MBq. Η προετοιμασία του ασθενούς περιλαμβάνει νηστεία 3 ωρών και η λήψη ξεκινά εντός 5 λεπτών, αποκτώντας στάνταρ προβολές για κάθε μαστό υπό ήπια συμπίεση. Οι μελέτες δείχνουν την αποτελεσματικότητα της MBI ως επιπρόσθετης εξέτασης, ιδιαίτερα σε γυναίκες με πυκνούς μαστούς, με αυξημένη ανίχνευση καρκίνου και συγκρίσιμα ποσοστά επανάκλησης με τη μαστογραφία. Σε μια μελέτη που προσέφερε τη Μοριακή Απεικόνιση Μαστού (MBI) σε γυναίκες που υποβάλλονταν σε λήψη μυοκαρδιακής απεικόνισης σχεδόν το 10% κλήθηκε πίσω λόγω των ευρημάτων της MBI, με αυξημένο ρυθμό ανίχνευσης καρκίνου περίπου 13 καρκίνοι ανά 1000 εξεταζόμενες. Από τους καρκίνους που ανιχνεύτηκαν μόνο από την MBI, τα 3/4 ήταν επιθετικοί και περίπου οι μισοί είχαν τουλάχιστον 1 εκατοστό μέγεθος. Οι ανησυχίες για τους κινδύνους ακτινοβολίας που υπάρχουν σχετικά με την τεχνική, αντιμετωπίζονται, τονίζοντας την εξαιρετικά χαμηλή πιθανότητα καρκινογόνων επιδράσεων. Στις μελλοντικές κατευθύνσεις περιλαμβάνεται ο καθορισμός των βέλτιστων χρονικών διαστημάτων ελέγχου, η σύγκριση της MBI με άλλες μεθόδους, καθώς και η απόκτηση υψηλής ποιότητας δεδομένων από κλινικές δοκιμές για την ευρεία χρήση και υιοθέτηση της MBI ως εργαλείο στον καρκίνο του μαστού. Στα επόμενα 5 χρόνια, αναμένονται βελτιώσεις στον εξοπλισμό της Μοριακής Εικονικής Μαστού (MBI), συμπεριλαμβανομένων προόδων στον σχεδιασμό των ανιχνευτών και των τεχνικών βιοψίας. Αναμένεται ότι οι εταίροι της βιομηχανίας θα ενισχύσουν τους ανιχνευτές CZT, οδηγώντας σε αυξημένη ευαισθησία καταμέτρησης, μειωμένους χρόνους εξέτασης και μειωμένη δραστική δραστηριότητα. Ενώ τα

τρέχοντα συστήματα MBI έχουν σταθερούς στύλους, πιθανές εξελίξεις μπορεί να επιτρέψουν φορητές διαμορφώσεις. Οι μελλοντικές πιθανότητες περιλαμβάνουν τον συνδυασμό της MBI με τεχνολογίες τομοσύνθεσης ή υπερήχων για βελτιωμένο εντοπισμό των ευρημάτων. Επί της παρούσης το ^{99m}Tc -sestamibi είναι το προτιμώμενο ισότοπο για την MBI, και παρά τα ελπιδοφόρα αποτελέσματα, η ευρεία υιοθέτηση αντιμετωπίζει εμπόδια που απαιτούν εκπαίδευση, συνεργασία και περαιτέρω κλινικά δεδομένα.

6.12 Molecular Breast Imaging: A Comprehensive Review.

Οι Ashley I. Huppe et al το 2018, στο άρθρο τους αναφέρουν συνοπτικά τη συμβολή της μοριακής απεικόνισης του μαστού στη διάγνωση του καρκίνου. Η Μοριακή Απεικόνιση του Μαστού (MBI) χρησιμοποιείται εδώ και περίπου 15 χρόνια, με ευαισθησία που κυμαίνεται περίπου στο 90-95%, συγκρίσιμη με το MRI. Η MBI είναι ουσιώδης για την απεικόνιση του μαστού, προσφέροντας φυσιολογική απεικόνιση για γυναίκες που δεν μπορούν να υποβληθούν σε MRI. Επιπλέον βελτιώνει τη δυνατότητα διάγνωσης του καρκίνου, ιδίως σε πυκνά στήθη, συμβάλλοντας στην πρόωγη ανίχνευση και την θεραπεία του καρκίνου. Οι μελλοντικές κατευθύνσεις περιλαμβάνουν την ανάπτυξη νέων ραδιοφαρμάκων και την περαιτέρω εξέλιξη των τεχνολογιών που αφορούν στην απεικόνιση του μαστού.

6.13 Molecular Breast Imaging: Administered Activity Does Not Require Adjustment Based on Patient Size.

Οι Thuy D. Tran et al, το 2018, στο άρθρο τους αναφέρουν ότι η μοριακή απεικόνιση μαστού (MBI) χρησιμοποιεί τεχνικές πυρηνικής ιατρικής χαμηλής δόσης με το ^{99m}Tc -sestamibi για την ανίχνευση καρκίνων του μαστού που είναι μαστογραφικά αόρατοι, ιδιαίτερα σε γυναίκες με πυκνό μαστό. Οι εξεταζόμενοι μπορούν να προετοιμαστούν για την εξέταση με μεθόδους όπως νηστεία, θέρμανση κ.α., οι οποίοι έχουν βελτιώσει την απορρόφηση του ραδιοφαρμάκου. Ωστόσο, μια μελέτη σε 200 ασθενείς δεν ανέδειξε σημαντική συσχέτιση μεταξύ παραγόντων μεγέθους του ασθενή (ύψος, βάρος, κλπ.) και απορρόφησης του sestamibi στον ιστό του μαστού. Παρά τις διακυμάνσεις στην πυκνότητα των μετρήσεων, η τροποποίηση της δραστηριότητας που διοχετεύεται βάσει του μεγέθους του ασθενούς για εξετάσεις MBI ενδέχεται να μην είναι απαραίτητη, προτείνοντας περαιτέρω έρευνα για άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση.

6.14 Best Practices in Molecular Breast Imaging: A Guide for Technologists.

Οι Tiffinee N. Swanson et al, το 2018 στο άρθρο τους, αναφέρουν ότι η τεχνική μοριακής απεικόνισης του μαστού οφείλει να συνδυάζει τις δυνατότητες της πυρηνικής ιατρικής με τις τεχνικές τοποθέτησης της μαστογραφίας. Η Μοριακή Απεικόνιση του Μαστού (MBI) είναι μια τεχνική πυρηνικής ιατρικής που είναι επωφελής για τον εντοπισμό κρυμμένων καρκίνων που δεν εντοπίζονται από τη μαστογραφία και το υπέρηχο. Πρόσφατες δοκιμές υπογραμμίζουν την αποτελεσματικότητά της, ειδικά σε πυκνούς μαστούς, ωστόσο, υπάρχει έλλειψη επίσημων προγραμμάτων εκπαίδευσης για τους τεχνολόγους MBI. Οι ασθενείς προτείνεται να νηστεύουν και να ζεσταίνουν το άνω τμήμα του σώματός τους πριν από τη διαδικασία για να βελτιώσουν την απορρόφηση από το μαστό. Οι τεχνολόγοι πρέπει να διασφαλίζουν την κατανόηση του ασθενούς και να επαληθεύουν την ταυτότητά τους και την κατάσταση της υγείας τους πριν προχωρήσουν. Επίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ορμονικοί παράγοντες για την ακριβή ερμηνεία. Το ^{99m}Tc -sestamibi είναι ο κύριος ανιχνευτικός παράγοντας για τη Μοριακή Απεικόνιση Μαστού (MBI), που χορηγείται ενδοφλέβια. Συνιστάται μια σύριγγα χαμηλής προσκόλλησης για την ελαχιστοποίηση της κατακράτησης της δραστηριότητας. Οι τοποθεσίες που πραγματοποιείται η ένεση είναι συνήθως στο πρόσθιο άνω τμήμα του αγκώνα, με προσοχή σε ασθενείς με καρκίνο του μαστού ή αφαίρεση λεμφαδενών. Οι μικρές αλλεργικές αντιδράσεις είναι σπάνιες. Η λήψη ξεκινάει εντός 5 λεπτών μετά την ένεση, χρησιμοποιώντας διπλές προβολές κраниοκαθαδικές και μεσοπλαγιές με θέση ασθενούς παρόμοια με τη μαστογραφία. Η σωστή θέση είναι κρίσιμη για την αποφυγή ψευδενδείξεων κίνησης. Η τεχνική MBI συνήθως χρησιμοποιεί ανιχνευτές μικρότερων μεγεθών από τη μαστογραφία, απαιτώντας διαμερισμένες προβολές για μεγαλύτερα στήθη. Οι ασθενείς με εμφυτεύματα ή βηματοδότες μπορούν να υποβληθούν σε εξέταση MBI χωρίς επιπλέον λήψεις. Η ερμηνεία της εξέτασης ακολουθεί ένα τυποποιημένο λεξικό, συχνά διαβάζεται συγκεντρωτικά με τις λήψεις μαστογραφίας. Η κατάλληλη προετοιμασία του ασθενούς, η εκπαίδευση στις τεχνικές μαστογραφίας και η συμμόρφωση με τις καλύτερες πρακτικές είναι ουσιώδεις για ποιοτικές εξετάσεις MBI και τη μείωση ψευδών αρνητικών.

6.15 Guidelines for Quality Control Testing of Molecular Breast Imaging Systems.

Οι Sara M. Nardinger et al το 2018, στο άρθρο τους περιγράφουν τις προκλήσεις στις φυσικές δοκιμές για τα συστήματα μοριακής απεικόνισης του μαστού (MBI). Επισημαίνεται η ανάγκη για προσαρμοσμένες διαδικασίες ελέγχου ποιότητας λόγω των διαφορών με τις συμβατικές γ-κάμερες. Οι προτεινόμενες δοκιμές περιλαμβάνουν δοκιμές ομοιόμορφης κατανομής, δοκιμές χωρικής ανάλυσης με χρήση ομοιωμάτων μπάρας και δοκιμές ευαισθησίας με σκέψη για συστήματα MBI με μία ή δύο κεφαλές. Παρέχονται πρακτικές οδηγίες και συνιστώμενες συχνότητες ελέγχου, αναγνωρίζοντας τα μοναδικά χαρακτηριστικά των συστημάτων MBI, όπως οι pixelated ψηφιακοί ανιχνευτές και οι παραλλαγές στους collimators. Το άρθρο στοχεύει στη διασφάλιση της ακριβούς και βέλτιστης λειτουργίας του εξοπλισμού MBI μέσω προσαρμοσμένων διαδικασιών φυσικών δοκιμών. Επίσης προτείνει ετήσιες δοκιμές ανάλυσης ενέργειας για τα συστήματα μοριακής απεικόνισης του μαστού (MBI) με δύο μεθόδους, την ανάλυση δεδομένων μετρήσεων από πολλά παράθυρα και η ανάλυση του ρυθμού μέτρησης. Για τον έλεγχο του αντίθετου τόνου, σημαντικός για τον εντοπισμό των ζωντανών σημείων, χρησιμοποιείται ένα ακρυλικό ομοίωμα με μεταβαλλόμενη αναλογία ζημιάς προς το φόντο. Για τις φυσικές δοκιμές, συνιστάται ο έλεγχος ομοιόμορφης κατανομής, χωρικής ανάλυσης, ευαισθησίας, ανάλυσης ενέργειας και αντίθεσης αλλοιώσεων. Τέλος συνιστώνται τριμηνιαίες δοκιμές αντίθεσης αλλοιώσεων, με την συχνότητα να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις πιστοποίησης, προσαρμόζοντας τις τεχνολογικές προόδους στα συστήματα MBI. Συμπερασματικά υπογραμμίζεται η σημασία των τακτικών φυσικών δοκιμών για τον εξοπλισμό MBI.

6.16 Let's Get Real about Molecular Breast Imaging and Radiation Risk.

Η Carrie B. Hruska το 2019, στο άρθρο της συζητά την μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) ως ακόμα ένα εργαλείο για τον εντοπισμό του καρκίνου του μαστού, ιδιαίτερα σε γυναίκες με πυκνό ιστό. Το MBI, χρησιμοποιώντας ιχνηθέτη, ενισχύει τον εντοπισμό του καρκίνου χωρίς να επηρεάζεται από την πυκνότητα του μαστού. Δοκιμές της Mayo Clinic στις Η.Π.Α. αποδεικνύουν την ανωτερότητα του MBI όταν συνδυάζεται με τη μαστογραφία, επιδρώντας σημαντικά στην ευαισθησία. Οι ανησυχίες για τον κίνδυνο ακτινοβολίας της MBI αντιμετωπίζονται με τη σύγκριση του οφέλους της προς τον κίνδυνο ακτινοβολίας με τη μαστογραφία, υποδεικνύοντας επικαλυπτόμενους λόγους. Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία του να μην παρερμηνεύονται οι λόγοι οφέλους προς τον κίνδυνο ακτινοβολίας και

επισημαίνει τον ελπιδοφόρο ρόλο της MBI στον εντοπισμό καρκίνου, καλώντας να μην παραβλέπουμε τη συγκεκριμένη τεχνική απεικόνισης βάσει φόβων για την ακτινοβολία.

6.17 Classification of Background Parenchymal Uptake on Molecular Breast Imaging Using a Convolutional Neural Network.

Οι Rickey E. Carter et al το 2019, στη μελέτη τους εξετάζουν τη χρήση συνελκτικών νευρωνικών δικτύων για την ταξινόμηση της παρεγχυματική πρόσληψη υποβάθρου (BPU) στην μοριακή εικονογράφηση του μαστού (MBI). Το MBI ανιχνεύει τον καρκίνο του μαστού χρησιμοποιώντας τον τεχνητό ιχνηθέτη τεχνητίο-99m sestamibi. Η BPU, που ποικίλλει ανάμεσα στις γυναίκες, σχετίζεται με τον κίνδυνο καρκίνου του μαστού. Η μελέτη είχε ως στόχο την ανάπτυξη ενός μοντέλου βαθιάς μάθησης για την αντικειμενική ταξινόμηση της BPU. Δύο ακτινολόγοι αξιολόγησαν τη BPU σε ένα σύστημα αποτελούμενο από πέντε κατηγορίες και η προ-επεξεργασία της εικόνας περιλάμβανε κανονικοποίηση και φιλτράρισμα. Πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση παραμέτρων, και το τελικό μοντέλο ταξινόμησε τη BPU χρησιμοποιώντας συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα, με στόχο την αυτοματοποιημένη ανάλυση κινδύνου στον έλεγχο καρκίνου του μαστού. Η μελέτη χρησιμοποίησε συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα για την ταξινόμηση της BPU στη μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI), επιδεικνύοντας την ισχυρή απόδοση του μοντέλου. Στατιστικά μέτρα περιλάμβαναν την περιοχή κάτω από την καμπύλη λειτουργίας του δέκτη (AUC), την ευαισθησία και την ειδικότητα. Το μοντέλο επέτυχε ακρίβεια περίπου 70% με άμεση αντιστοίχιση και περίπου 95% ακρίβεια. Η αξιολόγηση του μοντέλου έδειξε ευνοϊκή απόδοση στα εξωτερικά δεδομένα ελέγχου, υποστηρίζοντας την αξιοπιστία του μοντέλου στην ταξινόμηση της BPU στις εικόνες του MBI. Η μελέτη ανέπτυξε και επικύρωσε έναν αυτόματο αλγόριθμο για την ταξινόμηση της BPU στη μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) με υψηλή και αξιόπιστη απόδοση, αντιμετωπίζοντας την εκτεταμένη διακύμανση των δεδομένων και παρέχοντας ένα αντικειμενικό μέσο ταξινόμησης της BPU. Η έρευνα τόνισε το δυναμικό των αυτοματοποιημένων συστημάτων για την κανονικοποίηση της πρόβλεψης κινδύνου στην ογκολογία του μαστού, ιδιαίτερα στην κατανόηση των αλλαγών με τον χρόνο και την πρόβλεψη της αποτελεσματικότητας της αγωγής. Τέλος υπογραμμίζονται τα όρια της ανθρώπινης αξιολόγησης, εμφανίζοντας την ανάγκη για εργαλεία που βασίζονται σε υπολογιστές για την ενίσχυση της κατανόησης και της διαχείρισης του κινδύνου. Η μελλοντική έρευνα στοχεύει στην επέκταση των εργαλείων υποστήριξης κλινικών

αποφάσεων και στον συνδυασμό των παραδοσιακών παραγόντων κινδύνου με τη μοντελοποίηση.

6.18 Comparative Benefit-to–Radiation Risk Ratio of Molecular Breast Imaging, Two-Dimensional Full-Field Digital Mammography with and without Tomosynthesis, and Synthetic Mammography with Tomosynthesis.

Οι Matthew Brown & Matthew F. Covington το 2019, στο άρθρο τους αξιολογούν τους λόγους της ωφέλειας προς τον κίνδυνο για διάφορες μεθόδους ελέγχου καρκίνου του μαστού, συμπεριλαμβανομένης της MBI, της μαστογραφίας και της τομοσύνθεσης. Χρησιμοποιώντας προηγούμενες μελέτες, η ανάλυση λαμβάνει υπόψη διάφορες ηλικιακές ομάδες, διάφορα μεγέθη μαστού και διάφορες τεχνικές απεικόνισης. Η ανάλυση που γίνεται υποδηλώνει πιθανά σενάρια όπου η MBI υπερτερεί της μαστογραφίας σε συγκεκριμένα εύρη ηλικίας και πάχους μαστού, τονίζοντας την ανάγκη για εξατομικευμένες προσεγγίσεις στον καρκίνο του μαστού. Οι εκτιμώμενες ζωές που σώζονται από τον έλεγχο ανά 100.000 γυναίκες δείχνουν θετικά αποτελέσματα τόσο για τη μαστογραφία όσο και για τη MBI. Η ανάλυση συγκρίνει τα ποσοστά οφέλους προς κίνδυνο της MBI με τη μαστογραφία, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ηλικία, το συμπιεσμένο πάχος του μαστού και οι τεχνικές απεικόνισης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα ποσοστά του οφέλους προς τον κίνδυνο της MBI ταυτίζονται με τα χαμηλότερα ποσοστά της μαστογραφίας σε διάφορα σενάρια, γέροντας τη ζυγαριά προς το να μην αποτραπεί η MBI για συμπληρωματικό έλεγχο. Οι ζωές που σώζονται από τον έλεγχο είναι θετικές και για τις δύο μεθόδους, προκαλώντας αμφισβήτηση για την ακαταλληλότητα της MBI βασισμένης μόνο στον κίνδυνο ακτινοβολίας. Συνολικά, το καθαρό όφελος της MBI υποστηρίζει την εξέτασή της για συμπληρωματικό έλεγχο μαστού.

6.19 Breast Density Implications and Supplemental Screening.

Οι Athina Vourtsis & Wendie A. Berg το 2019, στο άρθρο τους αναφέρουν το ζήτημα της απεικόνισης των πυκνών μαστών και πως κάθε είδος απεικόνισης συμβάλλει σε αυτό. Η Μαστογραφία, ενώ είναι αποτελεσματική στη μείωση της θνησιμότητας από καρκίνο του μαστού, έχει περιορισμούς, ειδικά σε γυναίκες με πυκνό μαστικό ιστό, αυτό συμβαίνει επειδή ο πυκνός ιστός αυξάνει τον κίνδυνο καρκίνου και κρύβει καρκίνους, οδηγώντας σε καθυστερημένη διάγνωση και χειρότερα αποτελέσματα. Περίπου 43% των γυναικών έχουν

πυκνό ιστό μαστού, με την πυκνότητα να μετριέται ποσοτικά χρησιμοποιώντας αυτοματοποιημένο λογισμικό. Η πυκνότητα του μαστού είναι σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τον καρκίνο του μαστού, επηρεάζοντας την διαισθητικότητα. Η Ψηφιακή Τομοσύνθεση του Μαστού (DBT), μια τεχνική μαστογραφίας 3D, βελτιώνει τον εντοπισμό του καρκίνου σε γυναίκες με πυκνό ιστό, μειώνοντας τα ποσοστά ανάκλησης. Παρά τις εξελίξεις, υπάρχουν προκλήσεις για την αντιμετώπιση θεμάτων σχετικών με την πυκνότητα του ιστού στη διάγνωση του καρκίνου του μαστού. Η υπερηχογραφία στον καρκίνο του μαστού, συχνά χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική εξέταση της μαστογραφίας και ενισχύει σημαντικά τον εντοπισμό του καρκίνου του μαστού σε γυναίκες με πυκνό ιστό. Οι μελέτες αποκαλύπτουν αυξημένα ποσοστά εντοπισμού καρκίνου, με την τεχνική του υπερήχου να ανιχνεύει 2 με 3 καρκίνους ανά 1.000 εξετάσεις. Η αυτόματη υπερηχογραφία του μαστού (ABS) αναδύεται ως εναλλακτική λύση, εμφανίζοντας ποσοστό ανίχνευσης 2 ανά 1.000 εξετάσεις. Η MRI προτείνεται για γυναίκες με υψηλό κίνδυνο, παρέχει υψηλή ευαισθησία, ειδικά όταν χρησιμοποιείται μόνη ή συνδιαστικά με τη κλασσική μαστογραφία, συμβάλλοντας έτσι στον αποτελεσματικό εντοπισμό του καρκίνου του μαστού. Συνοπτικά, ο εντοπισμός του καρκίνου του μαστού σε γυναίκες με πυκνό ιστό αντιμετωπίζει προκλήσεις λόγω της μειωμένης ευαισθησίας της κλασσικής μαστογραφίας. Η ψηφιακή μαστογραφία βελτιώνει τον εντοπισμό. ο υπέρηχος (US) και η Αυτόματη Υπερηχογραφία του Μαστού (ABS) δείχνουν προοπτικές αλλά αντιμετωπίζουν περιορισμούς, η τομοσύνθεση μειώνει τα ποσοστά ανάκλησης και ενισχύει τον εντοπισμό του καρκίνου και το MRI συνιστάται για γυναίκες υψηλού κινδύνου αλλά είναι δαπανηρή. Επερχόμενες τεχνικές όπως η Φασματική μαστογραφία ενισχυμένης αντίθεσης (CESM) και η Μοριακή Απεικόνιση του Μαστού (MBI) δείχνουν δυνατότητες αλλά απαιτούν περαιτέρω επιβεβαίωση. Παράλληλα νομοθετικές προσπάθειες παγκοσμίως αντιμετωπίζουν την ευαισθητοποίηση για την πυκνότητα του μαστού, αλλά λείπουν σαφείς οδηγίες για την πραγματοποίηση συμπληρωματικών εξετάσεων.

6.20 The Clinical Utility of a Negative Result at Molecular Breast Imaging: Initial Proof of Concept.

Οι Ravi Jain et al, το 2020, στο άρθρο τους αναφέρουν τον ρόλο που κατέχει η MBI ως ένα επιπλέον εργαλείο απεικόνισης για τον εντοπισμό του καρκίνου σε πυκνούς μαστού κάνοντας αναφορές σε μελέτες που δείχνουν την αποτελεσματικότητά της. Παρόλα αυτά η χρησιμότητα που μπορεί να έχει ένα αρνητικό αποτέλεσμα MBI για την αποφυγή της

επιπλέον αξιολόγησης ή βιοψίας παραμένει αβέβαιη. Η μελέτη που αναλύθηκε είχε στόχο την αξιολόγηση της αρνητικής προγνωστικής τιμής (NPV) και του ψευδούς αρνητικού ποσοστού (FNR) της MBI σε ασθενείς που παραπέμπονταν για περαιτέρω αξιολόγηση λόγω ύποπτων ευρημάτων σε μαστογραφία ή υπερηχογράφημα. Πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση περιστατικών δύο ετών, αξιολογώντας ευρήματα, πρωτόκολλα απεικόνισης καθώς και την ερμηνεία και την στατιστική ανάλυση. Η μελέτη ανέλυσε περίπου τετρακόσιες εξετάσεις με περίπου εξακόσια ευρήματα επικεντρώνοντας στην θετική προγνωστική τιμή (PPV), την αρνητική προγνωστική τιμή (NPV) και το ποσοστό των ψευδώς αρνητικών ευρημάτων (FNR). Από τα θετικά αποτελέσματα MBI περίπου το 40% ήταν καρκινικά με το PPV να διαφέρει ανά τύπο ευρήματος. Τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα περιελάμβαναν καλοήθεις καρκίνους και τα υπόλοιπα οδήγησαν σε περαιτέρω αξιολόγηση χωρίς ανίχνευση καρκίνου. Η NPV ήταν αρκετά υψηλή με το ποσοστό να πλησιάζει το 100% καθώς εντοπίστηκε μόνο ένα ψευδώς αρνητικό περιστατικό. Η τεχνική της MBI μείωσε τις βιοψίες κατά περίπου 70%, επιδεικνύοντας ότι αποτελεί ένα εν δυνάμει αξιόπιστο εργαλείο αποκλεισμού του καρκίνου σε ευρήματα μαστογραφιών και υπερηχογραφημάτων χαμηλής υποψίας. Επειδή όμως η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ένα ίδρυμα υπάρχουν ανησυχίες σχετική με τη δόση που δέχτηκαν οι εξεταζόμενοι και τον μη γενικευμένο χαρακτήρα που παρουσιάζει.

6.21 Molecular Breast Imaging-guided Percutaneous Biopsy of Breast Lesions: A New Frontier on Breast Intervention.

Οι Beatriz E. Adrada et al, το 2020, αναφέρονται στη δυνατότητα πραγματοποίησης βιοψίας με ένα σύστημα MBI. Η τεχνική της μαστογραφίας παρόλο που αποδεικνύεται αποτελεσματική, έχει μεταβλητή ευαισθησία, ειδικά σε πυκνούς μαστούς ενώ η MBI μια που χρησιμοποιεί το Technetium-99m sestamibi, προσφέρει μια εναλλακτική λύση με μεγαλύτερη ευαισθησία. Συγκεκριμένα η MBI ανιχνεύει λειτουργικές αλλαγές που είναι ενδεικτικές του καρκινογόνου ιστού, ανεξάρτητα από την πυκνότητα του μαστού ή προηγούμενες χειρουργικές επεμβάσεις. Η αποτελεσματικότητα της MBI ανταγωνίζεται αυτήν της MRI αλλά είναι πιο ανεκτή και προσβάσιμη. Αποτελεί μια καλή συμπληρωματική εξέταση της μαστογραφίας, ανιχνεύοντας επιπλέον καρκίνους και οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία της, συμπεριλαμβανομένων των διπλής κεφαλής ανιχνευτών CZT, βελτιώνουν αισθητά της απόδοση της. Η δυνατότητα βιοψίας, που είναι πλέον διαθέσιμη στα συστήματα MBI, ενσωματώνει περαιτέρω την MBI στις κλινικές διαδικασίες, ενισχύοντας τον ρόλο της στην ανίχνευση και τη διαχείριση του καρκίνου του μαστού. Το σύστημα με γ-κάμερα διπλής

κεφαλής με δυνατότητα βιοψίας χρησιμοποιήθηκε για εξέταση βιοψίας 5 περιστατικών με ύποπτες βλάβες στα στήθος. Παρά τη μεγαλύτερη διάρκεια της διαδικασίας με το συγκεκριμένο σύστημα η βιοψία κατευθυνόμενη από MBI προσφέρει πλεονεκτήματα, όπως η άνεση του εξεταζόμενου, η έλλειψη αντενδείξεων και το χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τη βιοψία κατευθυνόμενη από MRI.

6.22 Molecular Breast Imaging in Clinical Practice.

Οι Elizabeth H. Dibble et al το 2020, στο άρθρο τους ανέλυσαν τις κλινικές χρήσεις και την ερμηνεία που δίνει στις απεικονίσεις μαστού η τεχνική της μοριακής απεικόνισης μαστού (MBI). Η πυρηνική απεικόνιση του μαστού έχει εξελιχθεί από γ-κάμερες υψηλής δόσης σε τεχνολογία ημιαγωγών χαμηλής δόσης. Η μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) με την χρήση του Technetium-99m sestamibi προσφέρει μειωμένη ακτινοβολία, καθιστώντας τη συγκρίσιμη με τη μαστογραφία. Η MBI είναι χρήσιμη για συμπληρωματικό έλεγχο σε πυκνούς μαστούς, εντοπίζοντας τον καρκίνο σε ποσοστό περίπου 10% ανά 1000 εξεταζόμενες. Η αποτελεσματικότητα της MBI συγκρίνεται με την 2D μαστογραφία αλλά υστερεί σε σχέση με το MRI. Η μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) έχει προχωρήσει, προσφέροντας χαμηλού κόστους εξετάσεις σε συνδυασμό με χαμηλότερο επίπεδο πόνου. Αποδεικνύεται χρήσιμη σε πυκνούς και υψηλού κινδύνου μαστούς, εμφανίζοντας καρκίνους που η συμβατική απεικόνιση ενδέχεται να είχε παραλείψει και βοηθά στον έλεγχο των αποτελεσμάτων της νέο-επικουρικής χημειοθεραπείας. Παρόλο που η αποτελεσματική δόση της MBI υπερβαίνει ελαφρώς αυτή της μαστογραφίας, τα οφέλη της περιλαμβάνουν μοναδικές δυνατότητες εντοπισμού καρκίνου και προσαρμοζόμενη χρήση στην κλινική πράξη. Περαιτέρω έρευνα απαιτείται για την επιβεβαίωση των ευρημάτων και την εξερεύνηση τρόπων μείωσης των δόσεων ακτινοβολίας.

6.23 Molecular Breast Cancer Imaging in the Era of Precision Medicine.

Η Saima Muzahir το 2020, στο άρθρο της αναφέρεται στην εξέλιξη της μοριακής απεικόνισης του μαστού ως μια μέθοδος ακριβής διάγνωσης για ασθενείς με καρκίνο στην περιοχή αυτή. Ο καρκίνος του μαστού είναι μια διαδεδομένη και θανατηφόρα νόσος, με τη μαστογραφία να αποτελεί το κύριο εργαλείο διάγνωσης, ωστόσο, οι περιορισμοί της μεθόδου σε περιπτώσεις πυκνών μαστών ή προηγούμενων χειρουργικών επεμβάσεων οδήγησαν στην ανάπτυξη της μοριακής απεικόνισης χρησιμοποιώντας ισότοπα που εκπέμπουν γ-ακτινοβολία όπως το

99mTc-sestamibi. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την καρδιακή απεικόνιση, αλλά αργότερα αποδείχθηκε ότι το ισότοπο ενδείκνυται για διάφορους όγκους, κυρίως θυρεοειδή, μαστού και πνευμόνων. Το πόρισμα αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη της μοριακής απεικόνισης και στην αναβίωση της γάμα κάμερας στην απεικόνιση του μαστού, στην αρχική μορφή της Scintimammography (BSGI), προσφέροντας βελτιωμένη χωρική ανάλυση, με το ζεύγος συσκευών να επιτρέπει χαμηλότερες δόσεις ακτινοβολίας. Οι μελέτες υποστηρίζουν τη διαγνωστική χρησιμότητα της χαμηλής δόσης της BSGI, εμφανίζοντας συγκρίσιμη ευαισθησία με την υψηλή δόση, με τη βέλτιστη προετοιμασία του ασθενούς να μπορεί μειώσει περαιτέρω τις χορηγούμενες δόσεις. Η μοριακή απεικόνιση χρησιμοποιώντας το 99mTc-sestamibi λειτουργεί ως επιπλέον εργαλείο στον έλεγχο για τον καρκίνο του μαστού, αντιμετωπίζοντας τους περιορισμούς της μαστογραφίας σε πυκνούς μαστούς και μετεγχειρητικές περιπτώσεις. Οι μελέτες δείχνουν αυξημένο εντοπισμό καρκίνου με τον συνδυασμό της BSGI με την μαστογραφία, η οποία προσφέρει πλεονεκτήματα έναντι της MRI, αφού δεν υπάρχουν αντενδείξεις, και επιδεικνύει βελτιωμένη ακρίβεια. Η BSGI είναι επίσης πολύτιμη για τον προσδιορισμό της έκτασης της νόσου σε πρόσφατα διαγνωσμένο καρκίνο του μαστού, αποκαλύπτοντας επιπλέον εστίες με θετική προγνωστική αξία. Η νέο-επικουρική χημειοθεραπεία χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τον καρκίνο του μαστού, και η αξιολόγηση της ανταπόκρισης είναι κρίσιμη για το σχεδιασμό της θεραπείας. Η μαστογραφία υπερτερεί σε σχέση με τη φυσική εξέταση, τη μαγνητική και τον υπέρηχο, στην αξιολόγηση της ανταπόκρισης στη χημειοθεραπεία, με ευαισθησία που κυμαίνεται από 86-92%. Η μοριακή απεικόνιση του μαστού (MBI) μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση σε περιπτώσεις αντενδείξεων στην MRI. Η BSGI, καθοδηγούμενη από εικόνες της γ-κάμερας, βοηθά στη βιοψία εστιών που δεν είναι ορατές στη μαστογραφία ή τον υπέρηχο. Ειδικοί σαρωτές PET του μαστού, όπως το PEM, προσφέρουν υψηλότερη ευαισθησία και χωρική ανάλυση από τους σαρωτές PET/CT σε ολόκληρο το σώμα. Ενώ το PEM δείχνει υποσχόμενο για την αξιολόγηση της έκτασης της νόσου και της ανταπόκρισης στη θεραπεία, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν τις ανησυχίες για την ακτινοβολία και την ανάγκη για περαιτέρω μεγάλες κλινικές δοκιμές. Παρόλο που είναι περιορισμένο στον έλεγχο του καρκίνου του μαστού, λόγω έκθεσης στην ακτινοβολία, το PEM δείχνει υποσχόμενο στην αξιολόγηση ύποπτων ασβεστώσεων, με τις μελλοντικές κατευθύνσεις να περιλαμβάνουν νέους δείκτες PET για πιο ολοκληρωμένο χαρακτηρισμό του καρκίνου του μαστού. Η συνεχής εξέλιξη της Μοριακής Απεικόνισης του Μαστού (MBI) προσφέρει εικόνες με χαμηλή δόση, βοηθώντας στην εξατομικευμένη αγωγή και την παρακολούθηση της θεραπείας, η οποία ενισχύει τη φροντίδα του ασθενούς. Παράλληλα το PEM λειτουργεί ως

συμπληρωματικό εργαλείο όταν η MRI του μαστού είναι μη διαθέσιμη ή ανέφικτη για την αξιολόγηση της έκτασης της νόσου και της ανταπόκρισης.

6.24 Advances and Future Directions in Molecular Breast Imaging.

Οι Mathew F. Covington et al το 2022, αναφέρονται στην πρόοδο που έχει σημειωθεί την τελευταία δεκαετία στα συστήματα μοριακής απεικόνισης. Το MBI, κυρίως χρησιμοποιεί το ^{99m}Tc-sestamibi, διαθέτει ανιχνευτές διπλής κεφαλής CZT, βελτιώνοντας τη χωρική ανάλυση. Τα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα MBI είναι το LumaGem και το Eve Clear Scan. Το MBI προτείνεται για συμπληρωματικό έλεγχο, ειδικά σε άτομα με πυκνό μαστό, παρέχοντας υψηλό ποσοστό ανίχνευσης καρκίνου, παρά τα πλεονεκτήματά του, όπως οι ευνοϊκοί ρυθμοί ψευδών θετικών και οι ρυθμοί εκ νέου κλήσεων, το MBI αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως μεγαλύτερους χρόνους απεικόνισης και μεταβλητή κάλυψη από την ασφάλιση. Οι ανησυχίες για τους κινδύνους ακτινοβολίας έχουν επηρεάσει την ευρεία υιοθέτησή του για συμπληρωματικό έλεγχο. Εν εξελίξει δοκιμές, όπως η Density MATTERS, αξιολογούν την απόδοση του MBI σε σύγκριση με την τομοσύνθεση. Η Μοριακή Απεικόνιση του Μαστού (MBI) παίζει ζωτικό ρόλο στη διάγνωση του καρκίνου του μαστού και στον σχεδιασμό της θεραπείας, καθορίζει αποτελεσματικά την τοπική έκταση του όγκου, ειδικά για ασθενείς χωρίς πρόσβαση σε προεγχειρητικό MRI, παρέχοντας συγκρίσιμα αποτελέσματα. Η MBI βοηθά στη νεοεπικουρική θεραπεία (NAT), προβλέποντας την παθολογική ανταπόκριση και αξιολογώντας την υπολειπόμενη νόσο, με ευαισθησία και ειδικότητα που συγκρίνονται ή ξεπερνούν αυτές του MRI. Το MBI μπορεί ακόμα και να οδηγεί τη βιοψία με καθοδήγηση από το ίδιο, μια οικονομική εναλλακτική και αποδοτική λύση με καθοδήγηση από MRI. Ο ρόλος της MBI στην εκτίμηση του καρκίνου του μαστού αυξάνεται, προσφέροντας λειτουργικούς βιοδείκτες απεικόνισης. Οι μελλοντικές εξελίξεις περιλαμβάνουν νέους ανιχνευτές ακτινοβολίας που στοχεύουν σε συγκεκριμένες πτυχές της βιολογίας του όγκου και έτσι η MBI αποδεικνύεται κρίσιμη για την προσαρμοσμένη φροντίδα του καρκίνου του μαστού

6.25 SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline for Molecular Breast Imaging with Dedicated g-Cameras.

Οι Hruska et al, το 2022, έγραψαν αυτό το άρθρο με σκοπό να αναλύσουν τις κλινικές ενδείξεις, τη διαδικασία και τα προσόντα που πρέπει να διαθέτει το προσωπικού χειρισμού

ενός συστήματος MBI. Η τεχνική MBI, χρησιμοποιώντας το ^{99m}Tc -sestamibi, βοηθά στην αντιμετώπιση προβλημάτων για ανωμαλίες στο μαστό, στην σταδιοποίηση, στην παρακολούθηση της θεραπείας, στην απεικόνιση πυκνών μαστών κατά τον έλεγχο και στην επιτήρηση της θεραπείας. Δεν προτείνεται σε εξεταζόμενες σε κατάσταση εγκυμοσύνης και σε ανθρώπους με σπάνιες αλλεργικές αντιδράσεις στο ραδιοφάρμακο. Μόνο γιατροί, πιστοποιημένοι στην πυρηνική ιατρική ή στη ραδιολογία, επιβλέπουν τις εξετάσεις MBI, διασφαλίζοντας την τήρηση των επαγγελματικών προτύπων. Οι ευρωπαϊκές προδιαγραφές είναι συμβατές με αυτές της Βόρειας Αμερικής. Αυτές οι οδηγίες στοχεύουν στο να τυποποιήσουν την πρακτική της MBI και να εξασφαλίσουν την ασφάλεια των ασθενών και την ποιότητα της φροντίδας. Οι τεχνολόγοι που εκτελούν τη Μοριακή Μαστογραφία (MBI) πρέπει να είναι πιστοποιημένοι από τα σχετικά συμβούλια όπως το NMTCB, το ARRT, το CAMRT ή ισοδύναμα. Θα πρέπει να εργάζονται υπό την επίβλεψη ιατρού και μπορεί να λάβουν επιπλέον εκπαίδευση στη θέση του μαστογράφου. Η προετοιμασία του ασθενούς περιλαμβάνει νηστεία, ενυδάτωση, τύλιγμα με ζεστή κουβέρτα στο άνω μέρος του σώματος. Το ^{99m}Tc -sestamibi δίνεται ενδοφλέβια, η απεικόνιση ξεκινά πέντε λεπτά μετά την έγχυση και οι τεχνολόγοι εξασφαλίζουν τη σωστή θέση του ασθενούς. Αυτές οι διαδικασίες εξασφαλίζουν την αποτελεσματικότητα της MBI και την ασφάλεια του ασθενούς. Επιπλέον χρησιμοποιούνται μαξιλάρια τα οποία υποστηρίζουν την πλάτη του ασθενούς για άνεση κατά τη σάρωση. Η άμεση επαφή του στήθους με τον ανιχνευτή και η ελαφριά συμπίεση βοηθούν στην ακινητοποίηση. Τα πρότυπα θέασης περιλαμβάνουν τον κranio-κατανεμητικό (CC) και τον μεσο-πλαγιο-εμβαδικό (MLO). Ο χρόνος απόκτησης ανά σάρωση είναι 7-10 λεπτά, εξασφαλίζοντας την ποιότητα της εικόνας. Η ερμηνεία περιλαμβάνει τη μελέτη του ιατρικού ιστορικού, των χαρακτηριστικών του καρκίνου και τη σύνδεση με άλλα είδη εξετάσεων. Η αξιολόγηση των βλαβών ακολουθεί τις κατηγορίες BI-RADS. Η βιοψία υπό την καθοδήγηση του MBI συνιστάται για ύποπτες βλάβες που δεν είναι ορατές στις συμβατικές απεικονίσεις. Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει την κλινική ένδειξη, τη δοσολογία, τα ευρήματα και τις συστάσεις διαχείρισης. Τα συστήματα MBI διαθέτουν μονής ή διπλής κεφαλής ανιχνευτή, με τα σύγχρονα συστήματα να χρησιμοποιούν κυρίως διπλή κεφαλή ανιχνευτών καδμίου-ψευδάργυρου τελλουριού (CZT). Τα συστήματα είναι σχεδιασμένα για απεικόνιση στήθους, επιτρέποντας την τοποθέτηση του ανάλογα με τη θέση που ζητείται και την ανίχνευση των ακτίνων-γ μεγέθους 140 keV του ^{99m}Tc -sestamibi. Ο έλεγχος ποιότητας, η εκπαίδευση του ασθενούς και τα πρωτόκολλα ασφαλείας από την ακτινοβολία είναι απαραίτητα. Παρόλο που η έκθεση του ασθενούς είναι ελάχιστη και η έκθεση του προσωπικού είναι επίσης χαμηλή, ισχύουν οι απαιτήσεις ακτινοπροστασίας παρόμοιες με αυτές των δωματίων μαστογραφίας.

6.26 Breast imaging: Beyond the detection.

Οι Francesca Galati et al το 2022, στο άρθρο τους αναφέρουν τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση του μαστού σήμερα, τα πεδία στα οποία χρησιμοποιούνται και τις καινοτομίες που προσφέρουν. Αρχικά αναφέρονται οι εξελίξεις της μαστογραφίας πέρα από τον απλό εντοπισμό, τονίζοντας τον κρίσιμο ρόλο της στον προγνωστικό έλεγχο του καρκίνου του μαστού και στον σχεδιασμό της θεραπείας. Τεχνικές όπως η ψηφιακή μαστογραφία πλήρους πεδίου (FFDM), η ψηφιακή τομοσύνθεση του μαστού (DBT) και η ενισχυμένη μαστογραφία με σκιαγραφικά (CEM) έχουν ενισχύσει την διαγνωστική ακρίβεια. Ενώ η αρθρωτή υπερηχογραφία (HHUS) βοηθά στον εντοπισμό του καρκίνου, αλλά έχει περιορισμούς, που αντιμετωπίζονται από την Αυτοματοποιημένη Υπερηχογραφία του Μαστού (ABUS) με βελτιωμένη αναπαραγωγικότητα. Η σημασία αυτών των εξελισσόμενων τεχνικών για τη διάγνωση, το στάδιο και την ανταπόκριση στη θεραπεία του καρκίνου του μαστού είναι μεγάλη. Προηγμένες τεχνικές μαστογραφίας, όπως η μαγνητική τομογραφία (MRI) παρά τα μειονεκτήματά της, όπως το κόστος και ο χρόνος εξέτασης, επιδεικνύει δυνατότητες για τη μείωση του κόστους. Η ακολουθία μοριακής διάχυσης (DWI) μέσα στην MRI βοηθά στη διάκριση καλοηθών από κακοήθων βλαβών. Η Μοριακή Απεικόνιση Μαστού (MBI) και η Μαστογραφία με Ποζιτρονική Εκπομπή (PEM) παρέχουν λειτουργικές προοπτικές, ενώ οι υβριδικοί σαρωτές PET/MRI προσφέρουν μια συνολική προσέγγιση, συνδυάζοντας την ευαισθησία της MRI με την ειδικότητα του PET. Ο ρόλος της μοριακής απεικόνισης του μαστού στην αξιολόγηση των αποκρίσεων στη νέο-επικουρική θεραπεία (NAT), επισημαίνει τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων, όπως η μαστογραφία. Η αξιολόγηση της απόκρισης στην NAT μπορεί επίσης να γίνει με την Ψηφιακή Τομοσύνθεση του Μαστού (DBT) και την Ενισχυμένη Μαστογραφία με σκιαγραφικά (CEM), με τη CEM να δείχνει υποσχόμενη ως εναλλακτική λύση στην MRI. Σημαντικό επίσης ρόλο παίζουν οι ιχνηθέτες για τους οποίους το άρθρο ταξινομεί και επισημαίνει τον ρόλο που μέλλει να παίζει στο μέλλον η τεχνητή νοημοσύνη για την ιατρική απεικόνιση.

6.27 Updates in Molecular Breast Imaging.

Οι Carrie B. Hruska et al το 2023, στο άρθρο τους παραθέτουν τις τελευταίες εξελίξεις της Μοριακής Απεικόνισης Μαστού (MBI). Η μοριακή απεικόνιση μαστού (MBI), είναι μια μέθοδος που εξετάζει τη λειτουργία του ιστού στο κυτταρικό επίπεδο για να συμπληρώσει τη μαστογραφία. Επικεντρωμένη στην απορρόφηση Tc-99m sestamibi, η MBI βοηθά στην

εντοπισμό καρκίνων του μαστού, ιδίως εκείνων που είναι κρυμμένοι από πυκνό ιστό. Παρά τις δεκαετίες ανάπτυξης, τα εμπορικά συστήματα MBI περιορίζονται στη χρήση και παρέχονται κατευθυντήριες οδηγίες για την πρακτική της MBI, αναλύοντας τη χρήση ιχνηθετών και τις εκτιμήσεις εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων τριών εμπορικά διαθέσιμων τεχνολογιών MBI. Το άρθρο υπογραμμίζει τις συνεχείς προσπάθειες για την υπέρβαση των εμποδίων για ευρύτερη εφαρμογή της MBI στη φροντίδα του καρκίνου του μαστού. Η μοριακή απεικόνιση μαστού (MBI) περιλαμβάνει εξειδικευμένους τεχνολόγους πυρηνικής ιατρικής που χορηγούν το Tc-99m sestamibi για τον εντοπισμό καρκίνου του μαστού. Οι ασθενείς υποβάλλονται σε λήψεις, έναν μαστό τη φορά, με την απορρόφηση Tc-99m sestamibi να αντανακλά παράγοντες που σχετίζονται με τον καρκίνο. Μέτρα προετοιμασίας για την εξέταση, όπως νηστεία 3 ωρών και ζεστές κουβέρτες, μπορεί να βελτιώσουν τα αποτελέσματα. Η MBI είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου η συμβατική ψηφιακή μαστογραφία είναι ανεπαρκής, όπως σε πυκνούς ιστούς ή μετεγχειρητικές αλλαγές. Είναι χρήσιμη για επιπρόσθετο έλεγχο, σταδιοποίηση του καρκίνου και παρακολούθηση απόκρισης στη θεραπεία. Παρά την υψηλότερη δόση ακτινοβολίας σε σύγκριση με τη μαστογραφία, η MBI θεωρείται ασφαλής, με συνεχείς προσπάθειες για τη μείωσή της. Ο δοκιμαστικός κλινικός πειραματισμός Density MATTERS στοχεύει στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της MBI στην ολοκληρωμένη σάρωση του πυκνού μαστού και στην αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποδοτικότητας. Το χαμηλό κόστος, η απλότητα και η ασφάλεια της MBI την καθιστούν λειτουργική επιλογή ψηφιακής απεικόνισης για προβληματικές περιπτώσεις ή όταν η μαγνητική τομογραφία του μαστού είναι ανέφικτη. Η συνεχιζόμενη έρευνα στοχεύει στη βελτίωση της κλινικής χρήσης της MBI.

7 Συμπέρασμα

Μετά από τη μελέτη που πραγματοποίησα για την συγγραφή της διπλωματικής αυτή συμπεραίνω ότι η μοριακή απεικόνιση μαστού (MBI) προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στην ανίχνευση και διάγνωση του καρκίνου του μαστού. Ένα από τα κύρια οφέλη της τεχνικής είναι η ικανότητα της στην ανίχνευση μικρών όγκων και βλαβών, ειδικά σε γυναίκες με πυκνό ιστό μαστού, όπου η ευαισθησία στη μαστογραφία μπορεί να μειωθεί. Η MBI μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διαφοροποίηση μεταξύ καλοηθών και κακοηθών βλαβών, μειώνοντας πιθανώς τις περιττές βιοψίες και παρέχοντας πιο ακριβείς διαγνώσεις. Επιπλέον, η MBI είναι μια λειτουργική μέθοδος απεικόνισης, η οποία παρέχει φυσιολογικές πληροφορίες σχετικά με τον ιστό του μαστού που μπορεί να συμπληρώσει την ανατομική απεικόνιση που παρέχεται από τη μαστογραφία και τον υπέρηχο.

Ωστόσο, η MBI έχει επίσης περιορισμούς. Περιλαμβάνει έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία λόγω της χρήση ραδιοϊχνηθετών, αν και η δόση είναι σχετικά χαμηλή, το κόστος του εξοπλισμού και των διαδικασιών μπορεί να υψηλότερο από τις παραδοσιακές μεθόδους απεικόνισης, περιορίζοντας την ευρεία υιοθέτηση του. Επιπλέον, το MBI απαιτεί εξειδικευμένη εκπαίδευση για διερμηνεία και μπορεί να μην είναι άμεσα διαθέσιμο σε όλα τα περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης.

Κοιτάζοντας το μέλλον, οι εξελίξεις στην τεχνολογία MBI στοχεύουν στην αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών και στην επέκταση της χρησιμότητας της. Αυτό περιλαμβάνει έρευνα για εναλλακτικούς ραδιοϊχνηθέτες με χαμηλότερη έκθεση σε ακτινοβολία και οικονομικά αποδοτικά συστήματα απεικόνισης. Επιπλέον, οι βελτιωμένες τεχνικές ανάλυσης δεδομένων μπορεί να βελτιώσουν την ακρίβεια της ερμηνείας της MBI, οδηγώντας σε καλύτερα αποτελέσματα για τους ασθενείς. Με τις συνεχείς εξελίξεις, η MBI είναι έτοιμη να γίνει ολοένα και πιο πολύτιμο εργαλείο για την έγκαιρη ανίχνευση και τον χαρακτηρισμό του καρκίνου του μαστού, προσφέροντας αυξημένη ευαισθησία και ειδικότητα σε σύγκριση με τις υπάρχουσες μεθόδους.

8 Αναφορές

Adrada, B., Moseley, T., Kappadath, S., Whitman, G., & Rauch, G. (2020, September/October). Molecular Breast Imaging-guided Percutaneous Biopsy of Breast Lesions: A New Frontier on Breast Intervention. *Journal of Breast Imaging*, 5(2), σσ. 484-491.

Alcantara, D., Pernia Leal, M., García-Bocanegra, I., & García-Martín, M. (2014, December 18). Molecular imaging of breast cancer: present and future directions. *Frontiers in Chemistry*, 2, σ. 112.

Birdwell, R., Mountford, C., & Iglehart, J. (2009, August). Molecular Imaging of the Breast. *AJR. American journal of roentgenology*, 2(193), σσ. 367-376.

Breast. (2024, January 15). Ανάκτηση January 17, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Breast&oldid=1195891307>

Breast cancer. (2024, January 12). Ανάκτηση January 14, 2024, από Wikipedia contributors: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Breast_cancer&oldid=1195208576

Breast cancer screening. (2024, January 17). Ανάκτηση January 19, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia.: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Breast_cancer_screening&oldid=1196289115

Breast cancer screening. (2016). Ανάκτηση January 12, 2024, από IARC Working Group on the Evaluation of Cancer-Preventive Interventions.: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546556/>

Breast MRI. (2024, January 6). Ανάκτηση January 8, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia.: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Breast_MRI&oldid=1193870844

Breast ultrasound. (2023, December 23). Ανάκτηση January 12, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia.: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Breast_ultrasound&oldid=1191463755

Brown, M., & Covington, M. (2019). Comparative Benefit-to-Radiation Risk Ratio of Molecular Breast Imaging, Two-Dimensional Full-Field Digital Mammography with and without Tomosynthesis, and Synthetic Mammography with Tomosynthesis. *Radiology: Imaging Cancer*, 1(1).

Carter, R., Attia, Z., Geske, J., Connors, A., Whaley, D., Hunt, K., και συν. (2019, February). Classification of Background Parenchymal Uptake on Molecular Breast Imaging Using a Convolutional Neural Network. *JCO clinical cancer informatics*(3), σσ. 1-11.

CMR Naviscan. (n.d.). Ανάκτηση February 25, 2024, από <https://cmr-naviscan.com/lumagem/>

Computed tomography laser mammography. (2024, Wikipedia, The Free Encyclopedia. 17). Ανάκτηση February 28, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia.: https://en.wikipedia.org/wiki/Computed_tomography_laser_mammography

Coover, L., Caravaglia, G., & Kuhn, P. (2004, April). Scintimammography with Dedicated Breast Camera Detects and Localizes Occult Carcinoma. *Journal of Nuclear Medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine*, 4(45), σσ. 553-558.

Covington, M., Parent, E., Dibble, E., Rauch, G., & Fowler, A. (2022, January). Advances and Future Directions in Molecular Breast Imaging. *Journal of nuclear medicine : official publication, Society of Nuclear Medicine*, 1(63), σσ. 17-21.

Dibble, E., Hunt, K., Ehman, E., & O'Connor, M. (2020, January 31). Molecular Breast Imaging in Clinical Practice. *AJR. American journal of roentgenology*, 2(215), σσ. 277-284.

Diffuse optical mammography. (2023, December 3). Ανάκτηση January 12, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia.: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diffuse_optical_mammography&oldid=1188191066

Fowler, A. (2014, February). A Molecular Approach to Breast Imaging. *Journal of Nuclear Medicine*, 2(55), σσ. 177-180.

Friedewald, S., Rafferty, E., Rose, S., & et al. (2014, June). Breast Cancer Screening Using Tomosynthesis in Combination With Digital Mammography. *JAMA*, 24(311), σσ. 2499–2507.

Galactography. (2023, June 4). Ανάκτηση January 12, 2024, από <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Galactography&oldid=1158493952>

Galati, F., Moffa, G., & Pediconi, F. (2022, Jan). Breast imaging: Beyond the detection. *European Journal of Radiology*(146), σ. 110051.

Hruska CB, Phillips SW, Whaley DH, Rhodes DJ, & O'Connor MK. (2008, December). Molecular breast imaging: use of a dual-head dedicated gamma camera to detect small breast tumors. *AJR. American journal of roentgenology*, 6(191), σσ. 1805-1815.

Hruska, C. (2017, February). Molecular Breast Imaging for Screening in Dense Breasts: State of the Art and Future Directions. *AJR. American journal of roentgenology*, 2(208), σσ. 275-283.

Hruska, C. (2019, September). Let's Get Real about Molecular Breast Imaging and Radiation Risk. *Radiological Society of North America, Inc.*, 1(1), σ. e190070.

Hruska, C. (2022, April). Updates in Molecular Breast Imaging. *Seminars in roentgenology*, 2(57), σσ. 134-138.

Hruska, C., Rhodes, D., Conners, A., Jones, K., Carter, R., Lingineni, R., και συν. (2015, March). Background Parenchymal Uptake During Molecular Breast Imaging and Associated Clinical Factors. *AJR. American journal of roentgenology*, 3(204), σσ. 363-370.

Hruska, C., Scott, C., Conners, A., Whaley, D., Rhodes, D., Carter, R., και συν. (2016, April). Background parenchymal uptake on molecular breast imaging as a breast cancer risk factor: a case-control study. *Breast cancer research : BCR*, 1(18), σ. 42.

Huppe, A., Mehta, A., & Brem, R. (2018, February). Molecular Breast Imaging: A Comprehensive Review. *Seminars in ultrasound, CT, and MR*, 1(39), σσ. 60-69.

Mammography. (2024, January 18). Ανάκτηση January 19, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mammography&oldid=1196951171>

Mankoff, D. (2008, December). Molecular imaging as a tool for translating breast cancer science. *BioMed Central Ltd, Suppl 1*(10), σ. S3.

Mayo Clinic Staff. (2022, June). Ανάκτηση February 28, 2024, από Mayo Foundation for Medical Education and Research (MFMER): <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/molecular-breast-imaging/about/pac-20394710>

MBI EXPLAINED. (n.d.). Ανάκτηση January 12, 2024, από SMART BREAST, DENSE BREAST CANCER DETECTION: <https://smartbreast.com/mbi-technology/>

McDonald, E., Clark, A., Tchou, J., Zhang, P., & Freedman, G. (2016, February). Clinical Diagnosis and Management of Breast Cancer. *Journal of nuclear medicine : official publication, Society of Nuclear Medicine, Suppl 1*(57), σσ. 9S–16S.

Molecular breast imaging. (2023). Ανάκτηση February 28, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia.: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Molecular_breast_imaging&oldid=1186022396

Moore, K., Dalley, A., & Agur, A. (2012). ΚΛΙΝΙΚΗ ΑΝΑΤΟΜΙΑ.

Muzahir, S. (2020, December). Molecular Breast Cancer Imaging in the Era of Precision Medicine. *AJR. American journal of roentgenology*, 6(215), σσ. 1512-1519.

Nardinger, S., Tran, T., Swanson, T., Ellingson, L., Solberg, C., O'Connor, M., και συν. (2018, December). Guidelines for Quality Control Testing of Molecular Breast Imaging Systems. *Journal of nuclear medicine technology*, 4(46), σσ. 349-354.

Nygård, E., Iwanczyk, J., Meirav, O., Arenson, J., Barber, W., Hartsough, N., και συν. (2009, June). Photon Counting Energy Dispersive Detector Arrays for X-ray Imaging. *IEEE transactions on nuclear science*, 3(56), σσ. 535–542.

O'Connor, M., Hruska, C., Tran, T., Swanson, T., Connors, A., Jones, K., και συν. (2015, March). Factors influencing the uptake of 99mTc-sestamibi in breast tissue on molecular breast imaging. *Journal of nuclear medicine technology*, 1(43), σσ. 13-20.

Pollak, S., Coletta, S., & Ha, C. (n.d.). *Low Dose Molecular Breast Imaging (MBI) in the Surgical Setting*:. Ανάκτηση January 12, 2024, από Mercy Medical Center: https://www.breastsurgeons.org/meeting/2019/docs/posters/ASBrS_2019_Poster_580961.pdf

Positron emission mammography. (2023, December 27). Ανάκτηση January 12, 2024, από Wikipedia, The Free Encyclopedia: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Positron_emission_mammography&oldid=1192023071

Singh G, Niknejad M, El-Feky M, et al. (2009, November 03). *Breast ductography*. Ανάκτηση February 28, 2024, από Radiopaedia.org: <https://radiopaedia.org/articles/breast-ductography-1>

Smart Breast Corp. (n.d.). Ανάκτηση February 04, 2024, από <https://smartbreast.com/about-us/>

SmartBreast™ Announces Molecular Breast Imaging Partnership with FITI. (2021, Feb). Ανάκτηση January 12, 2024, από BioSpace: <https://www.biospace.com/article/releases/smartbreast-announces-molecular-breast-imaging-partnership-with-fiti/>

Swanson, T., Tran, T., Ellingson, L., O'Connor, M., Rhodes, D., Hunt, K., και συν. (2018, March). Best Practices in Molecular Breast Imaging: A Guide for Technologists. *Journal of nuclear medicine technology*(117), σσ. 3-11.

Taroni, P., Paganoni, A., & et al. (2017, January 16). Non-invasive optical estimate of tissue composition to differentiate malignant from benign breast lesions: A pilot study. *Scientific Reports*(7).

Vourtsis, A., & Berg, W. (2019, April). Breast density implications and supplemental screening. *European radiology*, 4(29), σσ. 1762-1777.

Καρκίνος του μαστού. (2023, Φεβρουαρίου 11). Ανάκτηση Ιανουαρίου 12, 2024, από Βικιπαίδεια, Η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια.: [//el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%9A%CE%B1%CF%81%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%BC%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%8D&oldid=9905467](https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%9A%CE%B1%CF%81%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%BC%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%8D&oldid=9905467)

Μετάλλαξη BRCA. (2023, Ιουλίου 25). Ανάκτηση February 28, 2024, από Βικιπαίδεια, Η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια: [//el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%BE%CE%B7_BRCA&oldid=10150063](https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%BE%CE%B7_BRCA&oldid=10150063)

ΨΑΡΡΑΚΟΣ, Κ., ΜΟΛΥΒΔΑ - ΑΘΑΝΟΣΟΠΟΥΛΟΥ, Ε., ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ - ΨΑΡΡΑΚΟΥ, Α., & ΣΙΟΥΝΤΑΣ, Α. (2012). *ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ* (ISBN: 978-960-12-2092-5 εκδ.). Θεσσαλονίκη: Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών.