



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

**«Ιστορία και κοινωνικές προεκτάσεις  
της Απεικόνισης Μαγνητικού  
Συντονισμού»**

**Αποστόλου Δέσποινα-Αθηνά  
Αριθμός Μητρώου: 18017005**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Ιωάννης Κανδαράκης, Ομότιμος καθηγητής**

**Αθήνα 05/04/2024**

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Ιωάννης Κανδαράκης

Παναγιώτης Λιαπαρίνος

Χρήστος Μιχαήλ

Ομότιμος καθηγητής

Αναπληρωτής καθηγητής

Αναπληρωτής καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο/η υπογράφων/ουσα Αποστόλου Δέσποινα Αθηνά του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 48017005 φοιτητής/τρια 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

05/04/24

Ο/Η Δηλών/ούσα



## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (Magnetic Resonance Imaging - MRI) είναι μια από τις πιο χρήσιμες απεικονιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ιατρική, για την απεικόνιση δομών του ανθρώπινου σώματος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η ιστορία της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, των επιστημόνων που με τις ανακαλύψεις τους βοήθησαν άμεσα ή έμμεσα, στην δημιουργία της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού και της εξέλιξης της μέχρι και σήμερα. Γίνεται αναφορά σε όσους τιμήθηκαν με βραβείο Νόμπελ για τις ανακαλύψεις αυτές αλλά και τις διαμάχες που είχαν προκύψει σχετικά με αυτό. Επίσης μελετήθηκε η κοινωνική κατάσταση που επικρατούσε την περίοδο που άρχισε να υπάρχει ευρεία χρήση της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Ακόμα γίνεται αναφορά στα συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού που υπάρχουν στην Ελλάδα, στην κατανομή, την χρήση, το κόστος τους τις πρακτικές που χρησιμοποιούνται για την ασφάλεια τόσο των ασθενών όσο και του νοσηλευτικού προσωπικού. Τέλος, γίνεται σχολιασμός των μελλοντικών εξελίξεων και της Βιοηθικής στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού.

*Λέξεις Κλειδιά: Διπλωματική εργασία, Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού, MRI, ιστορική αναδρομή, βραβείο Νόμπελ, πρακτικές ασφαλείας, εξέλιξη MRI*

## **ABSTRACT**

Magnetic Resonance Imaging (MRI) is one of the most useful imaging techniques used in medicine today for the visualization of human body structures. This dissertation is about the history of Magnetic Resonance Imaging and the scientists whose discoveries directly or indirectly contributed to the creation of Magnetic Resonance Imaging and its evolution up to the present day. There is a reference to all those who were awarded the Nobel Prize for these discoveries and the controversies that had arisen in this regard. Also, the social situation that existed during the period when the widespread use of Magnetic Resonance Imaging began is mentioned. Furthermore, there is a discussion on the Magnetic Resonance Imaging systems that exist in Greece, their distribution, use, cost and practices used for the safety of both patients and nursing staff. Lastly, there is a commentary on future developments and bioethics in Magnetic Resonance Imaging.

Keywords: Dissertation, Magnetic Resonance Imaging, MRI, historical review, Nobel Prize, safety practices, MRI evolution

**Ευχαριστίες:**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Κανδαράκη, για την βοήθεια του κατά το διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα αγαπημένα μου πρόσωπα για την στήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

Εισαγωγή	8
1. Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού	9
1.1 Βασικές αρχές μαγνητικού συντονισμού	9
1.2 Δομή μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού	14
1.3 Βασικά χαρακτηριστικά	16
1.4 Πλεονεκτήματα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού	16
2. Ιστορία της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού	17
2.1 Πρώιμες ανακαλύψεις	17
2.2 Δεκαετίες ανακαλύψεων (1920 - 1970)	19
2.3 Πρώιμες εφαρμογές σε βιολογία και ιατρική	27
2.4 Οι πρώτες εικόνες μαγνητικού συντονισμού	35
2.5 Κλινικές εφαρμογές	36
2.6 Άλλες μέθοδοι MR	37
2.7 Η εξέλιξη της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού	38
2.8 Κοινωνικοί παράγοντες στην εξέλιξη Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού	39
2.8.1 Μηχανήματα πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού στην ακτινολογία	39
2.8.2 Αναπαράσταση των αποτελεσμάτων	41
2.8.3 Αντιπυρηνικά κινήματα και αλλαγές στην ονομασία	42
3. Βραβείο Νόμπελ και διαμάχη για την πρωτιά	44
3.1 Τα βραβεία Νόμπελ	44
3.1.1 Νόμπελ Φυσιολογίας ή Ιατρικής	44
3.1.2 Αποτελέσματα Βραβείων Νόμπελ	45
3.2 Διαμάχες για τα βραβεία Νόμπελ	45
3.3 Η διαμάχη για το Νόμπελ Φυσιολογίας ή Ιατρικής του 2003	49
3.3.1 Η αντίδραση του Damadian	50
3.3.2 Η εξαίρεση του Damadian από το βραβείο Νόμπελ	51
3.4 Νικητές Βραβείων Νόμπελ με άμεση σχέση με τον μαγνητικό συντονισμό	53
4. Μονάδες Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα	58
4.1 Κατανομή μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα	60
4.1.1 Σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης	62
4.2 Χρήση μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα	63
4.3 Κόστος χρήσης μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα	65
4.4 Πρακτικές ασφάλειας στην Ελλάδα	66
4.5 Δημόσιος και Ιδιωτικός Τομέας	69
5. Τελευταίες εξελίξεις και μελλοντικές προοπτικές	72
5.1 MR-AI	74
5.2 Βιοηθική στην Απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού	75
6. Συμπέρασμα	78
Βιβλιογραφία	80

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η διερεύνηση και η εξέλιξη του Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού είναι αποτέλεσμα τριών μεγάλων επιστημονικών επαναστάσεων, που προκάλεσαν μεγάλη αλλαγή στις μεθόδους επιστημονικής σκέψης και έρευνας, αλλά και στις τεχνολογικές εξελίξεις.

Δηλαδή:

1. Της ανάπτυξης της Κβαντικής Θεωρίας που, πέραν του θεωρητικού ενδιαφέροντος, προκάλεσε θεμελιώδεις αλλαγές στην τεχνολογία (ημιαγωγοί και Ηλεκτρονική Τεχνολογία, Χημεία και Χημική Τεχνολογία, Ατομική και Πυρηνική Τεχνολογία με εφαρμογές στην Ενέργεια, στη Βιομηχανία και στην Υγεία, Τεχνολογία Υλικών κλπ) και θεωρείται ότι συνεισέφερε στην Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση
2. Της διαμόρφωσης της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας και της Τεχνολογίας των ραδιοσημάτων με τεράστιες εφαρμογές (τηλεπικοινωνίες και διάδοση ΗΜ σημάτων, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανικές εφαρμογές, οπτικά φαινόμενα κλπ) που συνεισέφεραν στην Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση.
3. Της Μαθηματικής θεωρίας της Ανάλυσης και του Μετασχηματισμού Fourier κλπ.



## **Κεφάλαιο 1. Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού**

Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ) (Magnetic Resonance Imaging - MRI) είναι μια σύγχρονη απεικονιστική μέθοδος την οποία χρησιμοποιούμε προκειμένου να απεικονίσουμε δομές του ανθρώπινου σώματος. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο φαινόμενο του μαγνητικού συντονισμού το οποίο προκύπτει από τους πυρήνες κάποιων ατόμων, όταν αυτοί εκτεθούν σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Η τεχνική αυτή δεν επιβαρύνει τους ασθενείς με ιοντίζουσες ακτινοβολίες όπως άλλες απεικονιστικές μέθοδοι.

### **1.1 Βασικές αρχές μαγνητικού συντονισμού**

Όλα τα έμβια και άβια όντα αποτελούνται από άτομα, τα οποία με την σειρά τους αποτελούνται από πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια. Τα πρωτόνια και τα νετρόνια συνιστούν τον πυρήνα ενός ατόμου (τα ονομάζουμε αλλιώς και νουκλεόνια) και τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από αυτόν. Κάθε άτομο χαρακτηρίζεται από τον ατομικό αριθμό ( $Z$ ), δηλαδή τον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα, και τον μαζικό αριθμό ( $A$ ), δηλαδή τον αριθμό των νουκλεονίων.

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πως όταν σε έναν πυρήνα όλα τα νουκλεόνια σχηματίζουν ζεύγη τότε η στροφορμή του πυρήνα είναι ίση με μηδέν. Αντίθετα, όταν υπάρχουν ασύζευκτα νουκλεόνια η στροφορμή του πυρήνα είναι μη μηδενική, πράγμα το οποίο είναι απαραίτητο για την ύπαρξη σήματος πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού και συνεπώς για την εφαρμογή της μεθόδου ΑΜΣ (MRI). Δηλαδή, για να μπορέσει να γίνει απεικόνιση με MRI πρέπει οι πυρήνες να έχουν περιττό αριθμό πρωτονίων ή νετρονίων.

Για να καταλήξουμε στο στοιχείο το οποίο απεικονιζόμενο μέσω της MRI θα μας δώσει δεδομένα για την σύσταση του ανθρώπινου σώματος έπρεπε να ληφθεί υπόψιν ποια στοιχεία περιέχονται στους ιστούς του σώματος σε μεγάλο ποσοστό, ποια ισότοπα αυτών των στοιχείων πληρούν την προϋπόθεση των ασύζευκτων νουκλεονίων και αποτελούν ταυτόχρονα ένα μεγάλο ποσοστό του αντίστοιχου στοιχείου. Είναι σημαντικό το ισότοπο να βρίσκεται σε μεγάλη συγκέντρωση διότι όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωσή του, τόσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος του σήματος προς τον ηλεκτρονικό θόρυβο (SNR- Signal to Noise Ratio) και συνεπώς η εικόνα που θα λάβουμε έχει μεγαλύτερη ευκρίνεια. Στον πίνακα της εικόνας 1 αναγράφονται τα στοιχεία των ιστών, η μέση συγκέντρωσή τους στο ανθρώπινο σώμα, τα ισότοπα τους που είναι κατάλληλα για Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού, η ισοτοπική τους αφθονία (το ποσοστό του ισοτόπου που υπάρχει στη φύση) και τέλος, η μέση συγκέντρωση των ισοτόπων αυτών στο ανθρώπινο σώμα. [1]

Στοιχείο	Μέση συγκέντρωση του στοιχείου στους ανθρώπινους ιστούς (moles/kg)	Μέση συγκέντρωση του στοιχείου στο ανθρώπινο σώμα (moles/kg)	Ισότοπο με μη μηδενική πυρηνική στροφορμή	Ισοτοπική αφθονία (%)	Μέση συγκέντρωση του ισότοπου στο ανθρώπινο σώμα (moles/kg)
H	70 (στην πρωτεΐνη) 125 (στο λίπος) 111 (στο νερό)	100	$^1\text{H}$	99,9885	100
C	44,3 (στην πρωτεΐνη) 62,5 (στο νερό)	10	$^{13}\text{C}$	1,07	0,1
N	11,5 (στην πρωτεΐνη)	2	$^{14}\text{N}$	99,636	2
O	14,2 (στην πρωτεΐνη) 7,8 (στο λίπος) 55,5 (στο νερό)	40	$^{17}\text{O}$	0,038	0,015
Na	0,15 (στα εξωκυττάρια υγρά)	0,035	$^{23}\text{Na}$	100	0,035
P	6 (στα οστά) 0,05 (στο υπόλοιπο σώμα)	0,3	$^{33}\text{P}$	100	0,3
K	0,15 (στην κυτταρική μάζα)	0,055	$^{39}\text{K}$	93,26	0,05

**Πίνακας 1.1** Πίνακας με τα στοιχεία των ιστών, την μέση συγκέντρωσή τους στα διάφορα τμήματα του σώματος και στο ίδιο το σώμα, τα ισότοπα τους που είναι κατάλληλα για απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού, η ισοτοπική τους αφθονία και τέλος, η μέση συγκέντρωση των ισότοπων αυτών στο ανθρώπινο σώμα [1]

Τα ισότοπα του άνθρακα και του οξυγόνου ( $^{13}\text{C}$  και  $^{17}\text{O}$  αντίστοιχα), δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν λόγω της χαμηλής ισοτοπικής αφθονίας. Το άζωτο παρόλη την μεγάλη ισοτοπική του αφθονία εμφανίζεται μόνο στις πρωτεΐνες και με την χρήση του θα μπορούσαμε να λάβουμε μόνο εικόνες των μυών και των οργάνων του σώματος. Τέλος, η εξέταση νατρίου και καλίου δεν έχει πρακτική αξία καθώς βρίσκονται σε πολύ μικρή συγκέντρωση όπως επίσης και ο φώσφορος. Το υδρογόνο όπως είναι φανερό, είναι το στοιχείο που βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό και συγκεκριμένα το ισότοπο του  $^1\text{H}$  φαίνεται να είναι το πλέον κατάλληλο. Το  $^1\text{H}$  αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο τα οποία περιστρέφονται γύρω από τον άξονα τους. Η κίνηση αυτή είναι γνωστή ως σπιν του πυρήνα, και σπιν του ηλεκτρονίου αντίστοιχα, και λόγω αυτής δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο λειτουργεί σαν ένας μαγνήτης. [1]

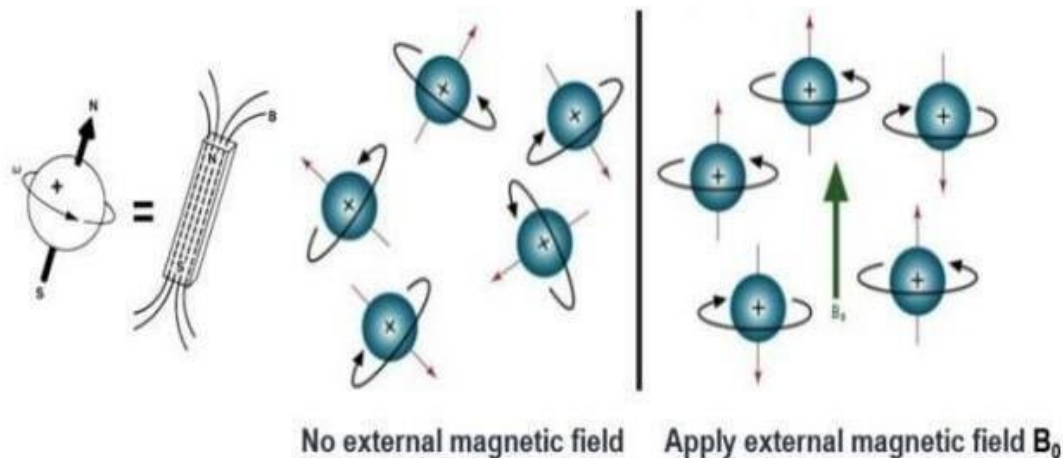
Η μαγνητική κατάσταση ενός σωματιδίου περιγράφεται από την στροφορμή, και στην περίπτωση που εξετάζουμε την στροφορμή ιδιοπεριστροφής (ή αλλιώς σπιν), και την μαγνητική ροπή ( $\mu$ ) τα οποία είναι δύο διανυσματικά μεγέθη. Ο τρόπος με τον οποίο θα προσανατολιστούν οι μαγνητικές ροπές γίνεται με τυχαίο τρόπο. Αν οι περιστρεφόμενοι πυρήνες τοποθετηθούν σε ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο ( $B_0$ ) η συμπεριφορά τους αλλάζει και οι μαγνητικές ροπές των πυρήνων τείνουν να ευθυγραμμιστούν με αυτό είτε παράλληλα είτε αντί-παράλληλα. Το αν θα είναι παράλληλοι ή όχι εξαρτάται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου και από το επίπεδο της θερμικής ενέργειας των πυρήνων.

Με την εφαρμογή του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου προκαλείται μια επιπλέον κίνηση, η περιστροφή της μαγνητικής ροπής του πυρήνα του υδρογόνου γύρω από τον εαυτό του, η οποία λέγεται μετάπτωση. Λόγω της μετάπτωσης οι μαγνητικές ροπές κινούνται κυκλικά γύρω από το μαγνητικό πεδίο και η τροχιά που ακολουθούν λέγεται μονοπάτι μετάπτωσης και η γωνιακή ταχύτητα με την οποία κινούνται συχνότητα μετάπτωσης ή συχνότητα Larmor. Η τιμή της υπολογίζεται από την εξίσωση Larmor:

$$\vec{\omega}_0 = \gamma \vec{B}_0 \quad (1)$$

όπου:

- $\omega_0$  είναι η συχνότητα μετάπτωσης (ή συχνότητα Larmor)
- $B_0$  η Μαγνητική επαγωγή (ένταση) του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου
- $\gamma$  είναι ο γυρομαγνητικός λόγος. Είναι μια σταθερά που περιγράφει την σχέση της μαγνητικής ροπής και της στροφορμής των ενεργών πυρήνων στον μαγνητικό συντονισμό.



Εικόνα 1.1 Επίδραση εξωτερικού μαγνητικού πεδίου [4]

Συντονισμός παρατηρείται όταν ένα αντικείμενο ταλαντώνεται λόγω διέγερσης και έχει συχνότητα ίση με την φυσική συχνότητα ταλάντωσης του αντικειμένου. Κατά την

ταλάντωση ενός πυρήνα λόγω εξωτερικής διέγερσης, ο πυρήνας συντονίζεται και απορροφά ενέργεια εφόσον η προσφερόμενη ενέργεια έχει ίση συχνότητα με τη συχνότητα Larmor.

Όπως αναφέραμε, στην πράξη εκμεταλλευόμαστε τους πυρήνες υδρογόνου. Για να συντονιστούν πρέπει να γίνει εφαρμογή ενός παλμού του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ραδιοσυχνοτήτων (RF) με ενέργεια που να ταυτίζεται με την συχνότητα Larmor του υδρογόνου. Οι υπόλοιποι ενεργοί πυρήνες δεν θα συντονιστούν διότι έχουν διαφορετικές συχνότητες Larmor. Η εφαρμογή του παλμού RF που καταλήγει σε συντονισμό ονομάζεται διέγερση και προκαλεί την αύξηση του αριθμού των πυρήνων που ευθυγραμμίζονται αντί-παράλληλα με το μαγνητικό πεδίο. Κατά τον συντονισμό το διάγραμμα της μαγνήτισης, το οποίο μας δείχνει την ισορροπία μεταξύ πυρήνων υψηλής και χαμηλής ενέργειας, αποκλίνει από το  $B_0$  και δεν είναι πλέον παράλληλο σε αυτό αλλά σχηματίζει γωνία. Η γωνία αυτή λέγεται γωνία εκτροπής και εξαρτάται από το εύρος και τη διάρκεια του παλμού RF. Το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο  $B_0$  ορίζει το επονομαζόμενο διάμηκες επίπεδο και το επίπεδο των  $90^\circ$  με το  $B_0$  αναφέρεται ως εγκάρσιο επίπεδο (εγκάρσια μαγνήτιση). Το άθροισμα των δύο συνιστωσών ονομάζεται συνολική μαγνήτιση. Άλλο ένα αποτέλεσμα του μαγνητικού συντονισμού είναι πως οι μαγνητικές ροπές των πυρήνων του υδρογόνου κινούνται σε φάση μεταξύ τους και μπορούν να εντοπιστούν κάθε στιγμή στο μονοπάτι της μετάπτωσης.

Αποτέλεσμα του συντονισμού είναι η μαγνήτιση να εκτελεί μετάπτωση στο εγκάρσιο επίπεδο με την συχνότητα Larmor. Από τον νόμο επαγωγής του Faraday προκύπτει πως αν τοποθετήσουμε ένα πηνίο λήψης σε ένα κινούμενο μαγνητικό πεδίο, επάγει διαφορά δυναμικού στα άκρα αυτού του πηνίου δέκτη. Στον μαγνητικό συντονισμό το σήμα παράγεται όταν σύμφωνη μαγνήτιση διατρέχει κάθετα αυτό το πηνίο. Τότε παράγει διακυμάνσεις οι οποίες προκαλούν διαφορά δυναμικού στο πηνίο, η οποία αποτελεί το σήμα μαγνητικού συντονισμού. Η συχνότητα του σήματος ισούται με τη συχνότητα Larmor και η ένταση του σήματος εξαρτάται από την ένταση μαγνήτισης στο εγκάρσιο επίπεδο.

Μετά την διακοπή του παλμού RF η μαγνήτιση επηρεάζεται ξανά από την επίδραση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου  $B_0$  και οι πυρήνες τείνουν πάλι να ευθυγραμμιστούν με αυτό. Προκειμένου να συμβεί αυτό οι πυρήνες πρέπει να αποδώσουν την ενέργεια που έλαβαν από τον παλμό με μια διαδικασία που λέγεται χαλάρωση (relaxation) ή μαγνητική αποκατάσταση. Τότε η μαγνήτιση επανέρχεται και ευθυγραμμίζεται με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.

Κατά την χαλάρωση οι πυρήνες του υδρογόνου αποδίδουν την ενέργειά τους στο περιβάλλον επανέρχονται στην αρχική ενεργειακή κατάσταση και θέση. Το γεγονός πως χάνουν ενέργεια επιτρέπει στις μαγνητικές ροπές των πυρήνων να επανακτήσουν τη μαγνήτιση τους. Η μαγνητική χαλάρωση χαρακτηρίζεται από δύο χρονικές παραμέτρους, τους χρόνους μαγνητικής χαλάρωσης T1 και T2.

Ο **χρόνος T<sub>1</sub>** εκφράζει την ταχύτητα με την οποία η διαμήκης μαγνήτιση λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της  $M_L = M$  και συνήθως χρησιμοποιούμε τους όρους: **χρόνος διαμήκους χαλάρωσης** (longitudinal relaxation time) ή **χρόνος χαλάρωσης σπιν - πλέγματος** (spin – lattice relaxation time) ή και χρόνος χαλάρωσης T<sub>1</sub>. Ο χρόνος T<sub>1</sub> είναι ο χρόνος που απαιτείται, προκειμένου να αποκατασταθεί το 63% της διαμήκους μαγνήτισης των πυρήνων του υδρογόνου στους ιστούς. Αφορά τον ρυθμό με τον οποίο μεταφέρεται η ενέργεια μεταξύ των σπιν και του περιβάλλοντος και οι διεργασίες που γίνονται κατά την χρονική αυτή διάρκεια οφείλονται στις περιοδικές κινήσεις των μορίων. Όταν η συχνότητα των κινήσεων αυτών είναι σχεδόν ίση με τη συχνότητα Larmor έχουμε την μέγιστη απόδοση της μαγνητικής χαλάρωσης (αποκατάστασης). Διαφορετικά, αν υπάρχει αρκετή διαφορά από τη συχνότητα Larmor η απόδοση θα ελαττωθεί και ο χρόνος T<sub>1</sub> θα αυξηθεί σημαντικά. Για τους ιστούς ο χρόνος T<sub>1</sub> κυμαίνεται μεταξύ 100 ms - 3000 ms και εξαρτάται από την ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου και τη θερμοκρασία την στιγμή που θα γίνει η μέτρηση.

Ο **χρόνος T<sub>2</sub>** εκφράζει την ταχύτητα, με την οποία μηδενίζεται η εγκάρσια μαγνήτιση ( $M_T = 0$ ) και συνήθως χρησιμοποιούμε τους όρους: **χρόνος εγκάρσιας χαλάρωσης** (transverse relaxation time) ή **χρόνος χαλάρωσης σπιν – σπιν** (spin – spin relaxation time) ή και χρόνος απόσβεσης. Ο χρόνος T<sub>2</sub> αφορά την χρονική φάση στην οποία οι οριζόντιες συνιστώσες των μαγνητικών ροπών  $\mu$  (προβολές  $\mu_{xy}$  ή  $\mu_T$ ) σταματούν να είναι συμφασικές, δηλαδή αφορά την φάση πριν τον παραλληλισμό της μαγνήτισης  $M$  με το πεδίο  $B_0$ . Οι μεταπτωτικές κινήσεις των μαγνητικών ροπών παύουν να βρίσκονται σε συγχρονισμό και συνεπώς η συνισταμένη των οριζόντιων προβολών τους (δηλαδή η  $M_T$ ) τείνει να μηδενισθεί. Στην πράξη ο χρόνος T<sub>2</sub> είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε η εγκάρσια μαγνήτιση να μειωθεί στο 37% της μέγιστης τιμής της.

Η χαλάρωση είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που είναι διαφορετική ανάλογα το υλικό αλλά το αποτέλεσμα της είναι πάντα η μαγνήτιση  $M$  να γίνει παράλληλη με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο  $B_0$ . Στην περίπτωση που το εξεταζόμενο δείγμα είναι «καθαρό» υγρό, η χαλάρωση περιγράφεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$M_L(t) = M_0 \cos \theta e^{-t/T_1} + M_0 (1 - e^{-t/T_1}) \quad (2)$$

ή

$$M_L(t) = (M_L(0) - M_0) e^{-t/T_1} + M_0, \quad M_L(0) = M_0 \cos \theta \quad (3),(4)$$

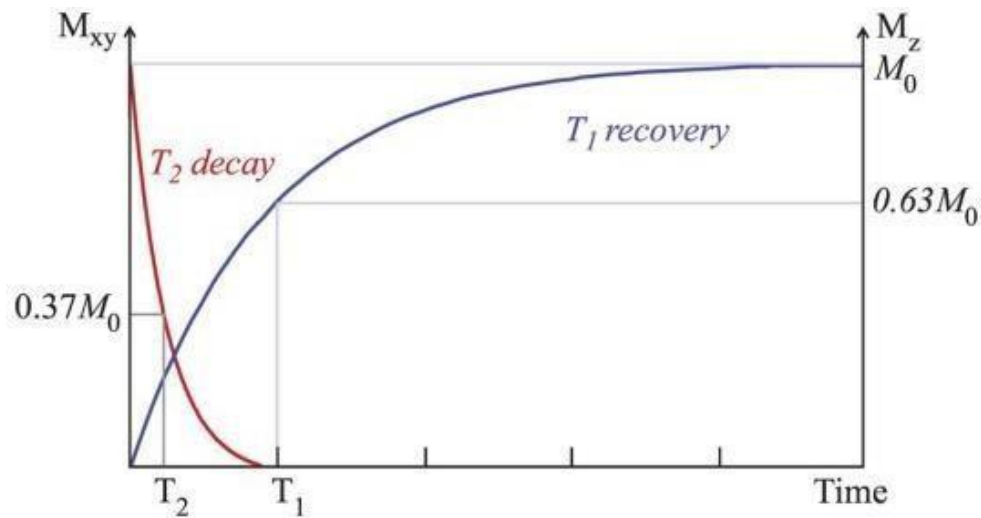
και  $M_T(t) = M_0 \sin \theta e^{-t/T_2} \quad (5)$

$$M_T(t) = M_T(0) e^{-t/T_2}, \quad M_T(0) = M_0 \sin \theta \quad (6),(7)$$

Οι ποσότητες  $M_L(0)$ ,  $M_T(0)$  είναι οι τιμές της διαμήκους και της εγκάρσιας μαγνήτισης τη στιγμή της πάυσης του παλμού  $B_1$ , που χαρακτηρίζονται και ως τιμές εκκίνησης του φαινομένου της μαγνητικής χαλάρωσης. Οι τιμές αυτές δεν ταυτίζονται με την  $M_0$ , δηλαδή την τιμή της μαγνήτισης σε συνθήκες θερμοδυναμικής ισορροπίας. Αυτό συμβαίνει γιατί πάντα υπάρχει μια μικρή γωνία απόκλισης  $\theta$  μεταξύ της μαγνήτισης

και του κατακόρυφου άξονα z (δηλαδή δεν υφίσταται πλήρης θερμοδυναμική ισορροπία). Στην πρώτη περίπτωση, που αφορά την διαμήκη μαγνήτιση  $M_L$  μπορεί να θεωρηθεί ότι η εκθετική σχέση εκφράζει την εκθετική μείωση της διαφοράς  $M_L(0) - M_0$ .

Η χρονική μεταβολή της διαμήκουσ μαγνήτισης  $M_L(M_Z)$  και της εγκάρσιας μαγνήτισης  $M_{xy}(M_T)$  μετά τη λήξη του παλμού ΡΣ παρουσιάζεται γραφικά στην εικόνα 1.2



Εικόνα 1.2 Καμπύλες χρόνου χαλάρωσης  $T_1$  (μπλε γραμμή) και χρόνου απόσβεσης  $T_2$  (κόκκινη γραμμή) [4]

## 1.2 Δομή μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού

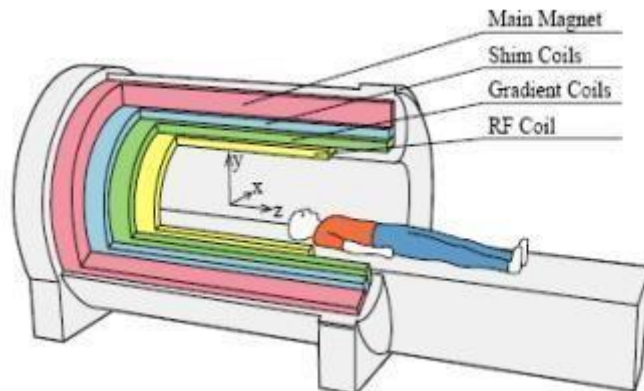
Τα συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού που βρίσκονται στο εμπόριο ποικίλλουν σε τεχνολογικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες, υπάρχουν όμως βασικά τμήματα που είναι κοινά για όλους. Το κύριο μέρος ενός συστήματος Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αποτελεί ο βασικός μαγνήτης ο οποίος παράγει ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Υπάρχουν τρεις τύποι μαγνητών που χρησιμοποιούνται: [5]

- Οι μόνιμοι (Permanent magnets)
- Οι υπεραγώγιμοι (Superconductive magnets)
- Οι μαγνήτες αντιστάσεως (Resistive magnets) ή αλλιώς κλασικοί μαγνήτες

Πέραν του βασικού μαγνήτη ένα σύστημα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αποτελείται από τρία είδη πηνίων:

- Πηνία βαθμίδας (Gradient coils) τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βαθμιδωτών πεδίων και τον χωρικό προσδιορισμό του σήματος
- Πηνία εξομάλυνσης (Shim coils) που χρησιμοποιούνται για την διατήρηση της ομοιογένειας του μαγνητικού πεδίου
- Πηνία ραδιοσυχνότητας (RF coils) τα οποία παράγουν παλμούς RF.

Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και τα πηνία επιφανείας (surface coils) προκειμένου να βελτιωθεί η διακριτική ικανότητα της εικόνας που θα λάβουμε. Τα πηνία αυτά τοποθετούνται στην περιοχή που μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε και υπάρχουν εξειδικευμένα πηνία για κάθε ανατομική περιοχή. Για παράδειγμα υπάρχουν εξωτερικά πηνία για το κεφάλι, την σπονδυλική στήλη, τους μαστούς κ.α.



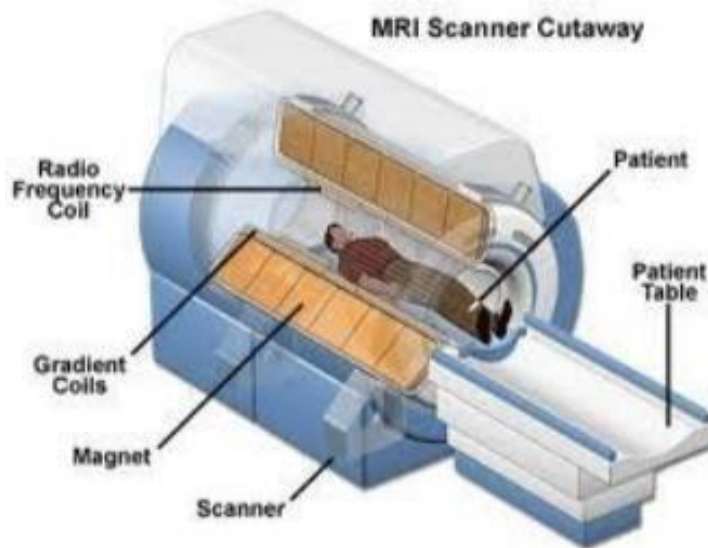
**Εικόνα 1.3** Είδη πηνίων ενός συστήματος απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού

[Πηγή: <https://uwaterloo.ca/research/practical-algorithmic-cooling-technique-mri-and-nmr-imaging>]

Το σύστημα του μαγνήτη με τα πηνία αποτελεί το βασικό σώμα (ικρίωμα-gantry) μιας μονάδας Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού και συνήθως το σχήμα του είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με ένα άνοιγμα στη μέση στο οποίο εισάγεται ο ασθενής. Σε μαγνήτες ανοικτού τύπου (open magnets) το άνοιγμα αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο. Άλλα τμήματα που περιλαμβάνονται είναι: μια σειρά από ηλεκτρονικές διατάξεις όπως πομπός (transmitter), δέκτης (receiver) και αναλογικοψηφιακοί μετατροπείς (Analog-Digital Converter - ADC), η εξεταστική τράπεζα, η διάταξη τροφοδοσίας, οι κονσόλες χειρισμού και η καμπίνα του υπολογιστή, ο εκτυπωτής λέιζερ και η κρυογεννήτρια με τη φιάλη φύλαξης υγρού ηλίου σε περίπτωση που έχουμε υπεραγώγιμο μαγνήτη.



**Εικόνα 1.4** Σύστημα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού [3]



**Εικόνα 1.5** Σχηματική αναπαράσταση συστήματος Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού με ασθενή [Πηγή:<https://www.rpworld.com/en/resources/case-study/mri-components-with-engineering-materials.html> ]

### 1.3 Βασικά χαρακτηριστικά

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος μαγνήτη είναι [5] :

1. Η ένταση, η ομοιογένεια και η χρονική σταθερότητα του μαγνητικού πεδίου
2. Οι διαστάσεις του μαγνήτη αλλά και του χώρου στον οποίο βρίσκεται το απεικονιστικό σύστημα και στον οποίο εκτείνεται το μαγνητικό πεδίο
3. Το βάρος του μαγνήτη
4. Το κόστος λειτουργίας
5. Προβλήματα που αφορούν την σχεδίαση των χώρων εγκατάστασης ενός μαγνήτη και σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται παραπάνω.

### 1.4 Πλεονεκτήματα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού

Τα πλεονεκτήματα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού είναι:

1. Εκμεταλλεύεται πολλές φυσικές παραμέτρους για την λήψη εικόνων στα τρία χωρικά επίπεδα
2. Δεν επιβαρύνονται οι εξεταζόμενοι με ιοντίζουσες ακτινοβολίες
3. Μπορεί να προσδιορίσει την βιοχημική σύσταση του οργανισμού και να απεικονίσει διάφορα λειτουργικά χαρακτηριστικά

Η παραγωγή του σήματος ραδιοσυχνότητας που καταγράφεται από το πηνίο δέκτη του συστήματος και βασίζεται στον πολύ γνωστός νόμος της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday, που αφορά στη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου από χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (8)$$



## Κεφάλαιο 2. Ιστορία της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού

Η πορεία συγκρότησης της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ), ως μιας μεθόδου Ιατρικής Απεικόνισης, συμπίπτει χρονικά με τις επιστημονικές επεξεργασίες που διαμόρφωσαν τη μεγάλη επιστημονική επανάσταση της Κβαντομηχανικής κι τις αντίστοιχες εξελίξεις στη Μικροφυσική, τη Χημεία, την Πυρηνική Τεχνολογία, την Ηλεκτρονική κλπ. Σε πολιτικό επίπεδο οι αποφάσεις για στροφή προς τις ειρηνικές εφαρμογές της πυρηνικής ενέργειας και οι δράσεις για την καταπολέμηση του καρκίνου προσέφεραν τη δική τους καθοριστική ώθηση στις εξελίξεις.

### 2.1 Πρώιμες ανακαλύψεις

Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού είναι μια τεχνική απεικόνισης που έχει εξελιχθεί πάρα πολύ τα τελευταία χρόνια, οι βάσεις όμως για την ανακάλυψη της μπορούν να ανιχνευθούν πάνω από έναν αιώνα πριν.



Εικόνα 2.1 Jean Baptiste Joseph Fourier [6]

Ένας από τους ανθρώπους που έχουν συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό με τις μελέτες του είναι ο Jean Baptiste Joseph Fourier. Ο Fourier γεννήθηκε το 1768 στην πόλη Auxerre (Οσέρ) της Γαλλίας που ήταν ένα από τα πιο σημαντικά κέντρα διδασκαλίας και μάθησης κατά τον ένατο και δέκατο αιώνα. Από πολύ μικρή ηλικία φάνηκε το ταλέντο του στα Μαθηματικά και την Φυσική και ενώ αρχικά είχε δείξει ενδιαφέρον για την εκκλησία και ήθελε να γίνει ιερέας η ιδέα αυτή γρήγορα εγκαταλείφθηκε. Το επίκεντρο της ζωής του ήταν τα Μαθηματικά και έκανε πολλές σημαντικές συνεισφορές. Το πιο αξιοσημείωτο θεώρημα του, γνωστό ως Θεώρημα Ολοκληρώματος Fourier θεωρείται από τα πιο θεμελιώδη αποτελέσματα της σύγχρονης μαθηματικής ανάλυσης και έχει ευρείες φυσικές και τεχνικές εφαρμογές.[7] Για την Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού συγκεκριμένα, ο μετασχηματισμός Fourier είναι πάρα πολύ σημαντικός καθώς χωρίς αυτόν δεν θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε εικόνες μαγνητικού συντονισμού (Magnetic Resonance-MR). Ο Fourier ανέπτυξε μια μαθηματική μέθοδο

μετασχηματισμού προκειμένου να αναλυθεί η μεταφορά θερμότητας μεταξύ στερεών σωμάτων και χάρη σε αυτή μπορούμε να επεξεργαστούμε σήματα φάσης και συχνότητας των δεδομένων (Nuclear Magnetic Resonance -NMR) και να αξιοποιήσουμε τις πληροφορίες για την ανακατασκευή εικόνων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την ανάλυση σήματος μαγνητικού συντονισμού και την ανακατασκευή εικόνας από τον Richard Ernst το 1975 και έκτοτε χρησιμοποιείται σε όλα τα σύγχρονα συστήματα μαγνητικού συντονισμού. [6]

Μεγάλη ήταν και η συνεισφορά του Nikola Tesla. Ο Tesla (1856 -1943) ήταν Σέρβος εφευρέτης και μηχανικός. Σπούδασε Φυσική και Μηχανική τη δεκαετία του 1870. Είναι κυρίως γνωστός για την συνεισφορά του στους κλάδους του Ηλεκτρισμού και του Μαγνητισμού και ανακάλυψε το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που είναι η βάση για την εφαρμογή του σημερινού συστήματος εναλλασσόμενου ρεύματος. Μεταξύ των εφευρέσεων του είναι το πηνίο που φέρει το όνομα του (πηνίο Tesla), το οποίο εφηύρε το 1891, το ραδιόφωνο (1955), τα πολυφασικά συστήματα διανομής ισχύος και ο κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος. Το 1943 το Ανώτατο Δικαστήριο των Ηνωμένων Πολιτειών τον αναγνώρισε ως τον εφευρέτη της ασύρματης επικοινωνίας. Κέρδισε διακρίσεις από πολλές ακαδημίες και κατοχύρωσε διάφορες πατέντες και ευρεσιτεχνίες. Τέλος, το Γενικό Συνέδριο Μέτρων και Σταθμών του Παρισιού το 1960 έδωσε στην μονάδα έντασης (Μαγνητικής Επαγωγής) του μαγνητικού πεδίου το όνομα του στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων για να τον τιμήσει.

Φυσικά δεν γίνεται να μην γίνει αναφορά και στον Sir Joseph Larmor (1857-1942), που ήταν Ιρλανδός φυσικός και μαθηματικός που έκανε σημαντικές ανακαλύψεις για την κατανόηση του Ηλεκτρισμού, της Θερμοδυναμικής και της θεωρίας των ηλεκτρονίων της ύλης.[9] Υπολόγισε τον ρυθμό με τον οποίο εκπέμπεται ενέργεια από ένα επιταχυνόμενο ηλεκτρόνιο και εξήγησε τη διάσπαση των φασματικών γραμμών σε ένα μαγνητικό πεδίο. Στον τομέα του Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού είναι γνωστός για την εξίσωση Larmor, που έχει πάρει την ονομασία της από τον ίδιο. Σύμφωνα με την εξίσωση αυτή, η γωνιακή συχνότητα ( $\omega$ ) είναι ανάλογη με την ένταση του μαγνητικού πεδίου ( $B_0$ ) και του γυρομαγνητικού λόγου ( $\gamma$ ). Η εξίσωση αυτή είναι σημαντική διότι στην συχνότητα αυτή ο πυρήνας απορροφά ενέργεια, η οποία αναγκάζει το πρωτόνιο να αλλάξει την ευθυγράμμιση του.

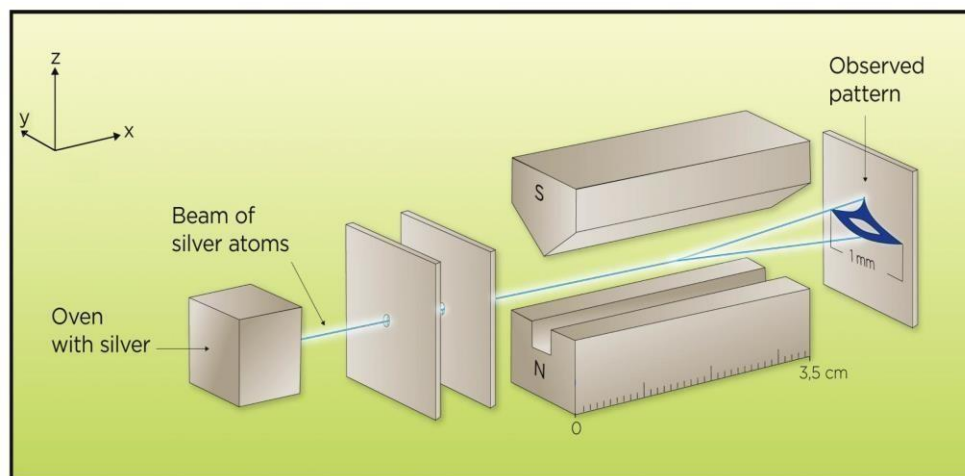


**Εικόνα 2.2** Από αριστερά προς τα δεξιά: Nikola Tesla [8], Sir Joseph Larmor [9] και Wolfgang Pauli [10]

## 2.2 Δεκαετίες ανακαλύψεων (1920 - 1970)

Οι βασικές αρχές της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού άρχισαν να εμφανίζονται στις αρχές της δεκαετίας του 1920, χάρη στην θεωρητική εργασία του Wolfgang Pauli, ενός νεαρού φυσικού από την Βιέννη. Ο Pauli ανακάλυψε πολλά για τα σωματίδια και την κβαντική τους συμπεριφορά και τιμήθηκε με το Νόμπελ Φυσικής το 1945, για την διατύπωση της απαγορευτικής αρχής του Pauli. Σύμφωνα με αυτήν δεν γίνεται δύο ηλεκτρόνια του ίδιου ατόμου να έχουν πανομοιότυπα σύνολα κβαντικών αριθμών. [10] Το 1924 πρότεινε, μαζί με τον Charles Galton Darwin, πως όλα τα υποατομικά σωματίδια, (ηλεκτρόνια, πρωτόνια) και κατ' επέκταση οι ατομικοί πυρήνες, πρέπει να έχουν δύο ιδιότητες: σπιν και μαγνητική ροπή οι οποίες θα λαμβάνουν διακριτές τιμές. [15] Αυτό αποδείχθηκε από τους Otto Stern και Walther Gerlach στο ομώνυμο πείραμα Stern-Gerlach. [11] Ένα χρόνο αργότερα, το 1925, οι Uhlenbeck και Goudsmit εισήγαγαν την έννοια του σπιν του ηλεκτρονίου.

Στο πείραμα των Stern-Gerlach μελετήθηκε το πως μπορούν να εκτραπούν άτομα αργύρου όταν προσπέσουν σε μια πλάκα ανιχνευτή με την χρήση σταθερού μαγνητικού πεδίου. Παρατηρήθηκε πως τα άτομα αργύρου χωρίστηκαν σε δύο δέσμες κάτι που απέδειξε πως τα σωματίδια έχουν μαγνητική ροπή και στροφορμή που είναι κβαντισμένη. Το πρώτο συμπέρασμα βασίζεται στο ότι αν δεν είχαν μαγνητική ροπή και στροφορμή θα πήγαιναν όλα τα σωματίδια ευθεία. Το δεύτερο συμπέρασμα βασίζεται στο ότι αν η στροφορμή δεν ήταν κβαντισμένη, η δέσμη αντί να διασπαστεί σε διακριτές δέσμες θα είχε εξαπλωθεί σε ένα συνεχές εύρος τιμών.[11] Στην εικόνα 2.5 παρουσιάζεται μια σχηματική αναπαράσταση του πειράματος αυτού.



Εικόνα 2.3 Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης Stern-Gerlach [12]

Αυτά τα πειράματα και οι κβαντομηχανικές και ηλεκτρομαγνητικές θεωρίες που ακολούθησαν αποτέλεσαν βάση για την σύγχρονη Χημεία και Φυσική. Τόσο στον Otto Stern όσο και στον Wolfgang Pauli απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1943 και το 1945 αντίστοιχα. Ο Stern ήταν ο μοναδικός αποδέκτης του βραβείου εκείνη την χρονιά και δεν υπήρξε καμία αναφορά στον Gerlach, παρόλου που πραγματοποίησαν το πείραμα μαζί, καθώς ο Gerlach εργαζόταν για την ναζιστική Γερμανία. [4]

Λόγω του γενικού ενθουσιασμού που επικρατούσε γύρω στο 1927, σχετικά με τον πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό, ένας νεαρός φυσικός, ο Isidor Isaac Rabi, δέχτηκε μια διετή υποτροφία στην Ευρώπη όπου συνεργάστηκε με πολλούς διακεκριμένους φυσικούς όπως οι Niels Bohr, Wolfgang Pauli, Otto Stern, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger και Arnold Sommerfeld.

Με την επιστροφή του στην Νέα Υόρκη το 1930 ο Rabi δέχτηκε την θέση του καθηγητή στο τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Columbia, για να διδάξει Κβαντομηχανική. Τα πρώτα δύο έτη ασχολήθηκε με θεωρητική έρευνα που αφορούσε την Φυσική Στερεάς Κατάστασης. Το 1931, ο συνάδελφος του Harold Urey δημοσίευσε μια εργασία στην οποία δήλωνε πως δεν μπορεί με φασματοσκοπικά πειράματα να προσδιορίσει το πυρηνικό σπιν του νατρίου. Αυτό ενέπνευσε τον Rabi να ξεκινήσει το εργαστήριο μοριακής δέσμης, με στόχο τον προσδιορισμό του πυρηνικού σπιν του νατρίου. [13],[14] Με τον συνάδελφο του Gregory Breit ανέπτυξαν, το 1931, έναν τύπο ο οποίος έδειχνε τη μεταβολή της μαγνητικής ροπής ενός ατόμου και έτσι η μέθοδος δέσμης μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την διερεύνηση των πυρηνικών ιδιοτήτων των ατόμων. Στην συνέχεια με τον μεταπτυχιακό του φοιτητή Victor Cohen, ξεκίνησε έρευνα για την ακριβή μέτρηση των πυρηνικών ιδιοτήτων. Δημοσίευσαν τα αποτελέσματά τους το 1934 και ήταν καλύτερα από αυτά του Stern, που την προηγούμενη χρονιά με την ομάδα του μέτρησαν την μαγνητική ροπή του πρωτονίου.

Το μεγαλύτερο μέρος της δεκαετίας του 1930 ο Rabi και οι συνεργάτες του, στους οποίους συμπεριλαμβάνονταν και οι Polykarp Kusch, Sydney Millmann και Norman

Ramsey, μελετούσαν τα δύο πρώτα ισότοπα του ατόμου του υδρογόνου. Χρησιμοποίησαν δύο μαγνητικά πεδία τα οποία είχαν ρυθμιστεί ώστε να εκτρέπουν τα σωματίδια της δέσμης σε αντίθετες κατευθύνσεις, και ένα τρίτο στατικό πεδίο με μια ασθενή συνιστώσα πεδίου που εκτελούσε ταλάντωση σε ρυθμιζόμενη συχνότητα [13] Ουσιαστικά, αυτό που έδειξε με αυτό το πείραμα είναι πως μια δέσμη σωματιδίων που περνά μέσα από ένα μαγνητικό πεδίο μπορεί να εκπέμψει ραδιοκύματα σε συχνότητες που εξαρτώνται από το φορτίο των σωματιδίων και την ένταση του μαγνητικού πεδίου.

“Όταν η συχνότητα μετάπτωσης Larmor στο στατικό πεδίο ταυτίζεται με τη συχνότητα του ταλαντούμενου πεδίου, πολλά άτομα αλλάζουν προσανατολισμό και χάνουν τον ανιχνευτή. Στην περίπτωση αυτή, ο ανιχνευτής καταγράφει ένα έντονο ελάχιστο συντονισμού, η δε θέση της συχνότητας αυτού του ελάχιστου προσδιορίζεται με την εξαιρετική ακρίβεια που επιτυγχάνεται με το μετρητή ραδιοσυχνοτήτων. Όταν η συχνότητα Larmor δεν βρίσκεται πλέον σε συντονισμό με τη συχνότητα του ταλαντούμενου πεδίου, τα άτομα επαναπροσανατολίζονται όλα στον ανιχνευτή και το σήμα είναι και πάλι μεγάλο.” [13] Αυτός είναι ο πυρήνας της μεθόδου του μαγνητικού συντονισμού.

Η πρώτη καμπύλη Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού ανιχνεύθηκε από τον Rabi και τους συνεργάτες του τον Ιανουάριο του 1938 σε μια δέσμη χλωριούχου λιθίου, μετά από επίσκεψη του Cornelius Jacobus Gorter. Η εργασία υποβλήθηκε και δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Physical Review. Ο Gorter ήταν Ολλανδός φυσικός και είχε προσπαθήσει και αυτός να προκαλέσει και να ανιχνεύσει πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό σε διάφορα υλικά το 1936, όχι όμως με επιτυχία.[16] Ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός (Nuclear Magnetic Resonance) σε δημοσίευση το 1942 αποδίδοντας την επινόηση της φράσης στον Rabi. [15] Το 1944 ο Rabi βραβεύτηκε με το Νόμπελ Φυσικής για την μέθοδο συντονισμού που εφάρμοσε για την καταγραφή των μαγνητικών ιδιοτήτων των ατομικών πυρήνων.

Σημαντικές συνεισφορές στον Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό γίνονταν φυσικά και εκτός των Ευρωπαϊκών συνόρων. Μεγάλη συνεισφορά είχε ο Lev Vasiljevich Shubnikov, ο οποίος ήταν πειραματικός φυσικός και είχε αποφοίτησε από το Πολυτεχνικό Ινστιτούτο του Λένινγκραντ το 1926. Στην συνέχεια πήγε στην Ολλανδία και συγκεκριμένα στο εργαστήριο κρυογένεσης Leiden που ήταν το μοναδικό εργαστήριο παγκοσμίως που είχε υγρό ήλιο. Ήταν ο πρώτος που παρατήρησε την βαθμιαία διεύδυση ενός μαγνητικού πεδίου σε ορισμένους υπεραγωγούς: το χαρακτηριστικό γνώρισμα της υπεραγωγιμότητας τύπου II. Λόγω της εμπειρίας που απέκτησε στο Leiden, κατά την επιστροφή του έγινε διευθυντής του εργαστηρίου κρυογένεσης στο πρόσφατα ιδρυμένο Ουκρανικό Φυσικο-τεχνικό Ινστιτούτο στο Χάρκοβο το οποίο διέθετε υγρό υδρογόνο (το 1931) και υγρό ήλιο (το 1933). Μια από τις βασικές έρευνες του εργαστηρίου αφορούσε την υπεραγωγιμότητα. Κατά τη διάρκεια αυτών των ετών ο Shubnikov σε συνεργασία με τον Boris G. Lazarev μετρήσε επίσης την μαγνητική ροπή πρωτονίου. [21]



**Εικόνα 2.4** Lev V. Shubnikov [21]

Όπως και ο Gorter έτσι και ο Yevgeni K. Zavoisky είχε προσπαθήσει να ανιχνεύσει Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό το 1941 αλλά απέτυχε κι αυτός. Προς το τέλος όμως του Β' Παγκόσμιου Πολέμου, τον Ιανουάριο του 1944, ανακάλυψε τον συντονισμό των σπιν των ηλεκτρονίων (Electron Spin Resonance-ESR) στο Πανεπιστήμιο του Καζάν στην Ρωσία. Δημοσίευσε αυτή την ανακάλυψη στην διατριβή του το 1944 και το 1945 σε μια σύντομη εργασία. [15]



**Εικόνα 2.5** Από αριστερά προς τα δεξιά: I. I. Rabi, C. J. Gorter, Y. K. Zavoisky [94]

Μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου οι επιστήμονες επέστρεψαν στην έρευνα πάνω στις φυσικές επιστήμες η οποία είχε σταματήσει κατά την διάρκεια του πολέμου και το πρώτο μεγάλο αποτέλεσμα για την Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού ήρθε από τους Edward M. Purcell και Felix Bloch. Οι δύο αυτοί επιστήμονες το 1945, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, περιέγραψαν ένα φαινόμενο που βασίζεται στις μαγνητικές ιδιότητες ορισμένων πυρήνων του περιοδικού πίνακα και ξεκίνησαν πειράματα με σκοπό να διερευνήσουν τις μαγνητικές ιδιότητες των στερεών και υγρών.

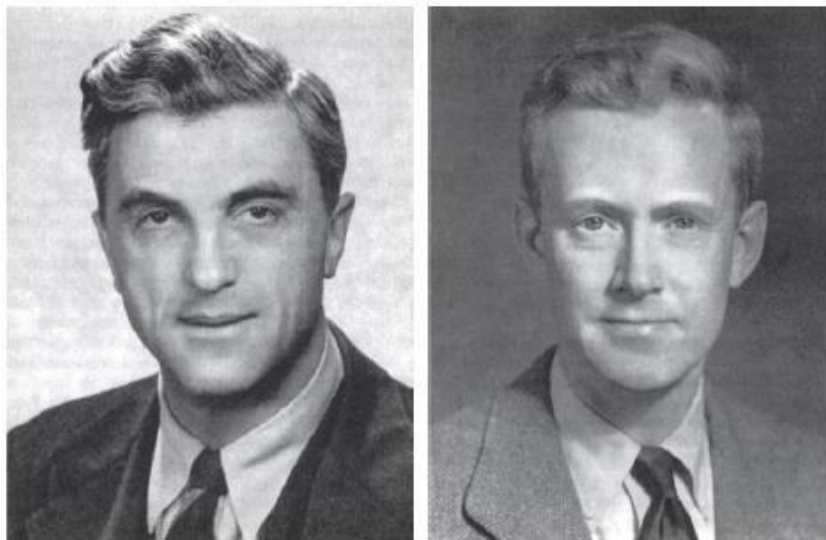
Ο Purcell, γεννήθηκε το 1912 στο Ιλινόις και σπούδασε ηλεκτρολόγος μηχανικός. Παράλληλα με τις σπουδές του συμμετείχε σε μια έρευνα στον τομέα Πυρηνικής Φυσικής και προσελκύθηκε σε αυτόν τον τομέα. Στην μεταπτυχιακή του διατριβή, στο Χάρβαρντ, ασχολήθηκε με την χρήση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων για να κατευθύνει φορτισμένα σωματίδια. Κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου

εργάστηκε στο Εργαστήριο Ακτινοβολίας (Radiation Laboratory-Rad Lab) στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT) και μάλιστα ηγούνταν της ομάδας προηγμένων εξελίξεων. [16] Το 1945 μαζί με τους συνεργάτες του (Henry Torrey και Robert Pound ) στο MIT, θέλησαν να μελετήσουν την απορρόφηση που προκαλείται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας και για αυτόν τον λόγο χρησιμοποίησαν μια κοιλότητα συντονισμού με παραφίνη.[11] Με ένα μαγνητικό πεδίο 7000 Gauss ανάγκασαν τους πυρήνες υδρογόνου (πρωτόνια) της παραφίνης να πάρουν μια από τις δύο επιτρεπόμενες ευθυγραμμίσεις και έπειτα στέλνοντας κύματα σταθερής ραδιοσυχνότητας (RF) στην κοιλότητα αύξησαν σταδιακά την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Με την αύξηση της έντασης του πεδίου υπήρχε αύξηση και στην ενεργειακή διαφορά των δύο καταστάσεων μέχρι που αυτή έφτασε την ενέργεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων RF. Τότε οι μετρήσεις έδειξαν μια μεγάλη αύξηση στην απορροφούμενη ακτινοβολία λόγω της αλλαγής των ενεργειακών καταστάσεων των πυρήνων. Όταν ένας πυρήνας βρεθεί στην πιο υψηλή κατάσταση, μεταπίπτει στην χαμηλότερη και εκπέμπει ένα φωτόνιο RF. Αφού επανέλαβαν το πείραμα μερικές φορές έστειλαν μια επιστολή στο Physical Review η οποία δημοσιεύτηκε το 1946. [16],[17]

Ο Bloch γεννήθηκε το 1905 στην Ελβετία και ξεκίνησε τις σπουδές του το 1924 σκοπεύοντας να γίνει μηχανικός, όμως το ενδιαφέρον του στράφηκε προς την Φυσική. Έκανε μάλιστα τις μεταπτυχιακές του σπουδές με υπεύθυνο καθηγητή τον Heisenberg, και η διατριβή του αφορούσε την κβαντομηχανική επεξεργασία των ηλεκτρονίων στους κρυστάλλους. Τα επόμενα χρόνια πέρασε σε διάφορες μεταδιδακτορικές θέσεις, μάλιστα στο διάστημα 1928-1929 ήταν βοηθός του Pauli (στην Ζυρίχη) και το 1930-1931 βοηθός του Heisenberg (στην Λειψία). Έφτασε στο Πανεπιστήμιο Stanford το 1934. Αρχές του 1946 μαζί με τους συνεργάτες του, William Hansen και Martin Packard, έκανε τα πρώτα πειράματα στην πυρηνική επαγωγή. [16] Τοποθέτησαν ένα δοχείο με 2cm<sup>3</sup> νερού σε ένα ρυθμιζόμενο μαγνητικό πεδίο και γύρω του τύλιξαν ένα πηνίο που παρείχε ακτινοβολία RF σε συχνότητα μερικών megahertz. Κάθετα στο πρώτο πηνίο τοποθέτησαν και ένα δεύτερο για να μην μετρούν και τα κύματα εισόδου. Στη συνέχεια, όπως και ο Purcell με τους συνεργάτες του, προκάλεσαν μεταβολή της έντασης του μαγνητικού πεδίου για να πετύχουν συντονισμό. Αυτό που κατάφεραν είναι να ανιχνεύσουν την επανεκπομπή της ακτινοβολίας συντονισμού. [17]

Τα πειράματα αυτά αποτελούν την βάση για τον σύγχρονο Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό σε στερεές και υγρές καταστάσεις. Επίσης ήταν τα πρώτα πειράματα που έδειξαν πως ο μαγνητικός συντονισμός είναι δυνατός in vivo. Αυτό που διαπίστωσαν οι Bloch και Purcell ήταν πως όταν ορισμένοι πυρήνες τοποθετούνται σε μαγνητικό πεδίο απορροφούν ενέργεια στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και επανεκπέμπουν την ενέργεια αυτή όταν οι πυρήνες επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση. Για την ανάπτυξη νέων μεθόδων μέτρησης της πυρηνικής μαγνητικής μετάπτωσης και τις σχετικές ανακαλύψεις τους, οι Bloch και Purcell μοιράστηκαν το 1952 το βραβείο Νόμπελ Φυσικής. [6],[11]

Τα πειράματα αυτά άνοιξαν τον δρόμο για την μελέτη Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού σε πολλά διαφορετικά υλικά. Περαιτέρω εργασίες στον Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό από τους Herman Carr και Purcell, οδήγησαν στη δημιουργία παλμικών ακολουθιών ραδιοσυχνότητας και μαγνητικής ενέργειας (ακολουθίες CPMG). Οι ακολουθίες αυτές μπορούσαν να προσδιορίσουν ρυθμούς απόσβεσης του μαγνητικού πεδίου για έναν δεδομένο τύπο στοιχείου που βρίσκεται σε διάφορα χημικά και φυσικά περιβάλλοντα. [20]



**Εικόνα 2.6** Από αριστερά προς τα δεξιά: Felix Bloch και Edward M. Purcell [15]

Ο Erwin L. Hahn ο οποίος έχει χαρακτηριστεί ως “Μάγος του μαγνητικού συντονισμού” συμμετείχε ενεργά στην ανάπτυξη αυτού του τομέα. Λίγα χρόνια μετά τους Purcell και Bloch, και συγκεκριμένα το 1949, δημοσίευσε μια εργασία στο *Physical Review*, που αφορούσε την ελεύθερη απόσβεση πυρηνικής επαγωγής (nuclear free-induction decay-FID). [18] Κατά την ελεύθερη απόσβεση επαγωγής οι πολωμένοι πυρήνες εκτίθενται σε έναν παλμό μαγνητικού πεδίου και αφήνονται να “εξελιχθούν” όσο παρακολουθείται η μαγνήτισή τους. Η μελέτη αυτή αποτελεί θεμέλιο για τον παλμικό πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό (Pulsed NMR), που είναι η πιο δημοφιλής σύγχρονη προσέγγιση του NMR και ήταν μια ιδέα που είχε προτείνει αρχικά ο Bloch. [18] Ενώ μελετούσε τη χαλάρωση πυρηνικής συνοχής σπιν (nuclear spin coherence relaxation) εφάρμοσε δύο παλμούς που απέχουν μεταξύ τους ένα χρονικό διάστημα. Αυτό που παρατήρησε, πέρα από τα δύο σήματα απόσβεσης FID, ήταν ένα τρίτο σήμα “φάντασμα” το οποίο εμφανιζόταν μετά τον δεύτερο παλμό, σε διάστημα ίσο με το χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο παλμών. Δεν ήταν κατανοητό από που είχε προέλθει αυτό το τρίτο σήμα -η ηχώ εμφανίστηκε μετά το σήμα FID. Τελικά ο Hahn κατέληξε πως το σήμα “ηχούς” οφείλεται στην επανεστίαση της μεταπτωτικής κίνησης των μαγνητικών ροπών των διαφόρων πυρήνων του δείγματος, η οποία εξαιτίας της ανομοιογένειας του πεδίου γίνεται σε ελαφρώς διαφορετικές συχνότητες. [18] Η ανακάλυψη αυτή έδωσε τη δυνατότητα για τη μέτρηση των χρόνων χαλάρωσης σπιν-πλέγματος και σπιν-σπιν, και την μελέτη των συναρτήσεων κατανομής των τοπικών μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων στους κρυστάλλους. Η έρευνα του έβαλε τις βάσεις για την ανάπτυξη παλμικών μεθόδων στο NMR και συμπληρώνει τις μεθόδους των



Bloch και Purcell. [19] Σήμερα η ηχώ - σπιν και οι παραλλαγές της αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των εφαρμογών του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, ιδιαίτερα στην ιατρική απεικόνιση.



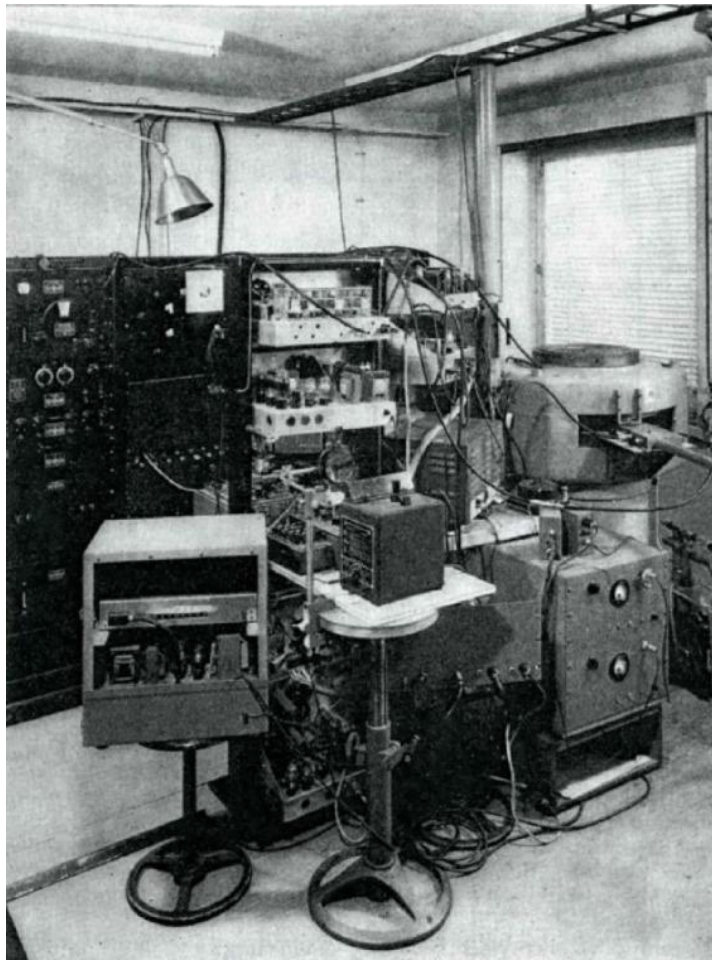
**Εικόνα 2.7** Erwin L. Hahn [18]

Το να χρησιμοποιηθεί αυτή η νέα τεχνική στην Ιατρική και την Βιολογία ήταν δύσκολο. Ο *in vivo* NMR ξεκίνησε να χρησιμοποιείται κατά την δεκαετία του 1950. Το 1955 οι Erik Odeblad και Gunnar Lindström δημοσίευσαν την μελέτη τους με τίτλο "Some preliminary observations on the proton magnetic resonance in biologic samples" στις οποίες εξέτασαν ζωντανά κύτταρα και ζωικούς ιστούς και συμπεριλάμβαναν και τις μετρήσεις των χρόνων χαλάρωσης.[15],[21] Ο Odeblad ήταν πρωτοπόρος και συνέβαλε στο να τεθούν οι βάσεις για τη χρήση του NMR αλλά και του MRI στην βιοϊατρική. Ο Odeblad σπούδασε Ιατρική στη Σουηδία και αμέσως μετά πήγε στο Πανεπιστήμιο Berkeley της Καλιφόρνια με σκοπό να μελετήσει εξελιγμένες τεχνολογίες που θα μπορούσε να αξιοποιήσει στην ιατρική του έρευνα. Μια από αυτές που τον ενδιέφεραν ήταν και η NMR. Σύμφωνα με κείμενα του Dr. Peter A. Rinck ο Odeblad γνωρίστηκε στο Stanford στο Σαν Φρανσίσκο με τον Felix Bloch, από τον οποίο ζήτησε να χρησιμοποιήσει το φασματόμετρο του NMR για την μελέτη ανθρώπινων δειγμάτων. Η απάντηση του Bloch ήταν αρνητική διότι το θεωρούσε εργαλείο για τους φυσικούς και όχι για έρευνα στη Φυσιολογία, την Ιατρική ή τη Βιολογία, καθώς ήταν ένα αρκετά πολύπλοκο σύστημα που χωρίς εκπαίδευση στην Πειραματική Φυσική και τα Ηλεκτρονικά, κανείς δεν θα ήταν σε θέση να το χειριστεί. Αφού δεν μπόρεσε να λάβει την άδεια για να χρησιμοποιήσει το μηχάνημα, ο Odeblad επέστρεψε στην Σουηδία το 1954. Σύντομα γνώρισε τον Gunnar Lindström με τον οποίο ξεκίνησαν να μελετούν βιολογικούς ιστούς με το μηχάνημα NMR που είχε φτιάξει ο Lindström για την διατριβή του, μετά από κάποιες προσαρμογές. [38]

Τα μηχανήματα αυτά στις αρχές της δεκαετίας του 1950 δεν χρησιμοποιούσαν γρήγορο μετασχηματισμό Fourier οπότε τα πειράματα γίνονταν με αργή σάρωση του μαγνητικού πεδίου ώστε να παρατηρηθούν οι κορυφές συντονισμού. Δύο σήματα

πρωτονίων εμφανίζονταν για κάθε δείγμα κάτω από το μαγνητικό πεδίο σάρωσης. Οι Odeblad και Lindström στην εργασία τους αναφέρονται σε διάφορους βιολογικούς ιστούς πχ λίπος, τένοντας, χόνδρος κ.α. Κατέληξαν σε ένα συμπέρασμα συγκρίνοντας το σήμα του καθαρού νερού με το σήμα ενός άλλου δείγματος. Μεταξύ του σήματος του νερού και του σήματος του ιστού μπορούν να βρεθούν ορισμένες διαφορές. Για παράδειγμα, οι συγγραφείς ανέφεραν πως “Σε χόνδρους και ινώδεις ιστούς, στους οποίους τα σήματα πρωτονίων πιθανώς προέρχονται από εξαιρετικά ιξώδες νερό με σύντομο χρόνο χαλάρωσης σπιν-πλέγματος, τα σήματα ήταν μεγαλύτερα από ό,τι θα αντιστοιχούσε στην περιεκτικότητα σε νερό”. Υπέθεσαν ότι οι διαφορές των σημάτων μεταξύ του νερού και των βιολογικών ιστών θα μπορούσαν να αποδοθούν στην απορρόφηση και την οργάνωση των μορίων του νερού στις πρωτεΐνες του ιστού, κάτι που ήταν αξιοσημείωτα ακριβείς. Οι διαφορετικοί ιστοί του ανθρώπινου σώματος έχουν και διαφορετικούς χρόνους χαλάρωσης και αυτό συμβαίνει διότι κάθε ιστός έχει διαφορετική περιεκτικότητα σε νερό και άλλους δεσμούς με λιπίδια, το οποίο εξηγεί και τη διαφορετική αντίθεση των ιστών όταν απεικονίζονται στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού. [6],[38]

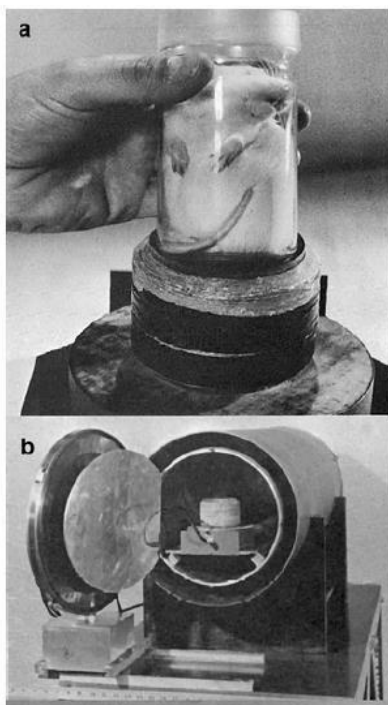
Το 1959 ο Jay Singer, ο οποίος δούλευε στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, μελέτησε την μέτρηση της ροής του αίματος στις ουρές ποντικών με μια μέθοδο Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού.



**Εικόνα 2.8** Το μηχάνημα NMR που είχε φτιάξει ο Lindström για την διατριβή του [38]

### 2.3 Πρώιμες εφαρμογές σε Βιολογία και Ιατρική

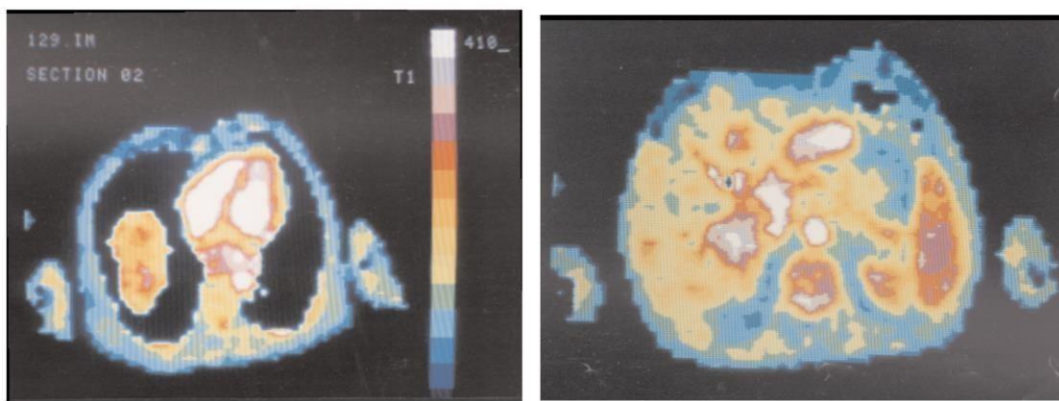
Κατά τις δεκαετίες του 1960-1970 υπήρξε μεγάλος όγκος εργασιών που αφορούσαν τη χαλάρωση, τη διάχυση και τη χημική ανταλλαγή του νερού σε διάφορα κύτταρα και ιστούς. Για παράδειγμα ο Oleg Jardetzky και οι συνεργάτες του το 1956 έκαναν μελέτες NMR νατρίου στο αίμα, το πλάσμα και τα ερυθρά αιμοσφαίρια. Το 1965 ο Bratton και οι συνεργάτες του δημοσίευσαν τις μετρήσεις των χρόνων χαλάρωσης T1- και T2- σε σκελετικούς μύες ζωντανών βατράχων και το 1967 ο Ligon παρουσίασε τις μετρήσεις του για τη χαλάρωση του νερού με πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό στα χέρια ζωντανών ανθρώπων. Η πρώτη δημοσίευση σήματος NMR από ένα ζωντανό ζώο (έναν αρουραίο) ήρθε το 1968 από τους Jackson και Langham, οι οποίοι ήταν οι πρώτοι που κατασκεύασαν φασματογράφο ικανό να χωρά ένα ολόκληρο ζώο (Εικόνα 2.9). Ο Jim Hutchison στα τέλη της δεκαετίας του 1960 ξεκίνησε να χρησιμοποιεί τον μαγνητικό συντονισμό σε *in vivo* πειράματα συντονισμού των σπιν των ηλεκτρονίων σε ποντίκια. Ο Hazlewood συνέβαλε κι αυτός στις μετρήσεις του χρόνου χαλάρωσης με την έρευνα του σε αναπτυσσόμενο μυϊκό ιστό και με παρόμοια θέματα ασχολήθηκαν και οι Cooke και Wien. Οι έρευνες του Hansen συμπεριλάμβαναν και NMR εγκεφαλικού ιστού. [15],[21] Επίσης το 1967, ο J. Johns ασχολήθηκε με την μελέτη της χημικής σύστασης των ιστών ζωντανών ζώων με στόχο να λάβει σήμα και να υπολογίσει τους χρόνους χαλάρωσης αρχικά σε πειραματόζωα και στη συνέχεια σε ανθρώπους. [22] Εκείνο το διάστημα, γιατροί και επιστήμονες, χωρίς κάποιο υπόβαθρο στην επιστήμη του NMR, συμμετείχαν στις έρευνες καθώς τους ενδιέφεραν οι πιθανές βιολογικές εφαρμογές των χρόνων χαλάρωσης. Ανάμεσα σε αυτούς ήταν και ο Raymond Damadian στον οποίο θα γίνει αναλυτική αναφορά παρακάτω.



**Εικόνα 2.9** Ο πρώτος φασματογράφος που χωρούσε ολόκληρο ζώο [21]

Ο Jim Hutchison και η Meg Foster είχαν πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Συνεργάστηκαν με τον John Mallard στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και ήταν επηρεασμένοι από μέρος της δουλειάς του Raymond Damadian και από το ότι ο μαγνητικός συντονισμός των πρωτονίων συμβαίνει σε χαμηλότερες συχνότητες απ' ό,τι των ηλεκτρονίων. Αυτό σήμαινε πως το να κατασκευαστεί ένα μηχάνημα NMR ήταν πιο εύκολο. Αυτό που εντόπισαν είναι πως οι χρόνοι T1 ήταν μεγαλύτεροι στους κακοήθεις ιστούς απ' ό,τι στους φυσιολογικούς αλλά δεν υπήρχε τόσο μεγάλη απόκλιση όση είχε αναφέρει ο Damadian. Οι διαφορές που παρουσίαζαν οι ιστοί έχουν σχέση με την περιεκτικότητά του κάθε ιστού σε νερό. Αυτό έδειχνε πως η απεικόνιση με NMR θα βοηθούσε στην ανάδειξη διαφόρων οργάνων του σώματος και ενδεχομένως να βοηθήσει στην παρατήρηση όγκων και φλεγμονών. Εφόσον υπήρχαν διαθέσιμα όλα τα προγράμματα υπολογιστών της Υπολογιστικής Τομογραφίας (Computed Tomography - CT) είχαν την δυνατότητα να ασχοληθούν και με την απεικόνιση NMR και μάλιστα τον Μάρτιο του 1974 έλαβαν την εικόνα ολόκληρου ποντικού. [39]

Ο John Mallard, όπως αναφέρει και σε κείμενο του [39], είχε αντιληφθεί από την εμπειρία του πως οποιαδήποτε νέα απεικονιστική τεχνική έπρεπε να δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης όλων των μερών του σώματος, για είναι πραγματικά χρήσιμη. Έτσι, το 1974 με την ομάδα του αποφάσισαν να κατασκευάσουν μια συσκευή για την απεικόνιση όλου του σώματος που θα έδινε και την δυνατότητα απεικόνισης του χρόνου T1 και της συγκέντρωσης πρωτονίων. Η μέγιστη ένταση πεδίου που χρησιμοποίησαν ήταν τα 0,04T για να πετύχουν την απαιτούμενη ομοιομορφία. Το 1975 στην ομάδα τους μπήκε και ο Bill Edelstein και το 1979 είχαν ήδη ξεκινήσει να λαμβάνουν εικόνες από εθελοντές. Το 1980 λήφθηκαν και οι πρώτες κλινικά χρήσιμες εικόνες από ασθενείς.



**Εικόνα 2.10** Οι πρώτες κλινικά χρήσιμες εικόνες Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού [39]

Ο Ian Young με την ομάδα του, το 1981, σχεδίασαν και εγκατέστησαν το πρότυπο μηχάνημα απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού “Neptune” στο νοσοκομείο Hammersmith. Ήταν μάλιστα το πρώτο που λειτουργούσε με υπεραγώγιμο μαγνήτη το

οποίο του έδινε μεγαλύτερη ισχύ σήματος και οι εικόνες είχαν μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

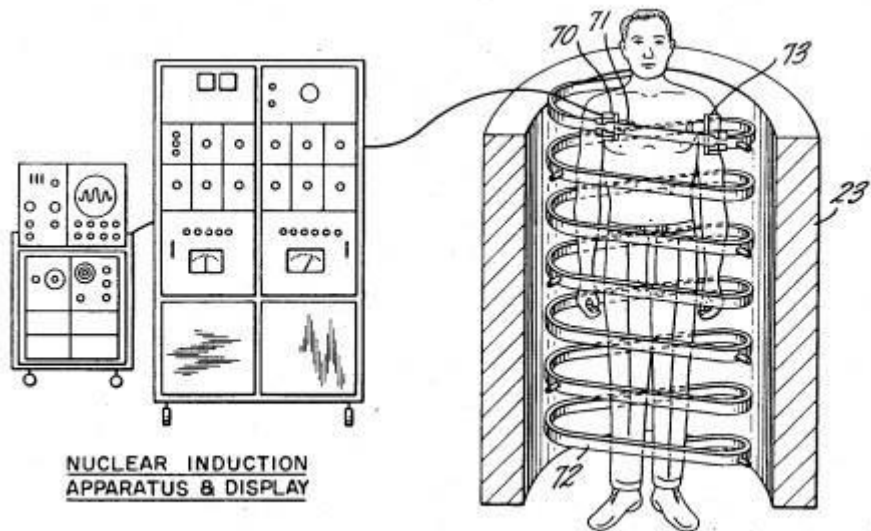
Ο Raymond Vahan Damadian γεννήθηκε το 1936 στην Νέα Υόρκη. Πήρε πτυχίο στα Μαθηματικά το 1956 και στη συνέχεια έλαβε πτυχίο και στην Ιατρική το 1960. Η εισαγωγή του στην θεωρία του Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού έγινε το 1963 που παρευρέθηκε σε μια διάλεξη του Edward Purcell στο Harvard. Επηρεασμένος από τον Szent-Gyorgyi που είχε ισχυριστεί πως ο καρκινικός ιστός έχει “χαμηλότερο βαθμό οργάνωσης και λιγότερη δομή νερού από τον κανονικό ιστό” θέλησε να χρησιμοποιήσει NMR για την μελέτη καρκινικών κυττάρων. Σκέφτηκε πως τα σήματα NMR που θα λάμβανε από τα πρωτόνια του νερού θα έπρεπε να είναι διαφορετικά σε έναν φυσιολογικό ιστό από έναν καρκινικό ιστό. [22] Πριν ασχοληθεί όμως με τους καρκινικούς ιστούς η έρευνα του αφορούσε πώς το κάλιο και το νάτριο δημιουργούν ηλεκτρικές τάσεις στο ανθρώπινο σώμα. Το 1969 ο Freeman Cope, γιατρός καιφυσιολόγος, που ήθελε να μετρήσει το κάλιο σε βακτήρια του ζήτησε βοήθεια. Αφού καλλιέργησαν βακτήρια, τα έβαλαν σε ένα μηχάνημα NMR. Έλαβαν άμεσα σήμα και μέτρησαν τον ρυθμό διάσπασης του καλίου. Όπως είχε πει και σε συνέντευξη του στο περιοδικό Inc είχε μείνει έκπληκτος καθώς μια τέτοια μέτρηση θα είχε πάρει αρκετές μέρες στο εργαστήριο. Σκέφτηκε λοιπόν πως θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένας σαρωτής που να διαπερνά το ανθρώπινο σώμα και να ανιχνεύει τον καρκίνο. [23]

Το 1971 δημοσίευσε την εργασία “Tumor Detection by Nuclear Resonance Imaging” στο περιοδικό Science η οποία αφορούσε τους χρόνους χαλάρωσης T1, T2 σε φυσιολογικούς και καρκινικούς ιστούς, που είχε αφαιρέσει από αρουραίους, με χρήση ενός φασματόμετρου NMR. Αυτό που διαπίστωσε ήταν πως οι χρόνοι χαλάρωσης ήταν διαφορετικοί για φυσιολογικούς και καρκινικούς ιστούς και συγκεκριμένα πως οι καρκινικοί ιστοί έχουν μεγαλύτερους χρόνους χαλάρωσης. Θεώρησε πως αυτή ήταν μια απόδειξη πως το NMR θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ιατρική διάγνωση. [11],[22] Ο Donald P. Hollis και οι συνεργάτες του από το Πανεπιστήμιο John Hopkins επανέλαβαν τα πειράματα του Damadian όμως κατέληξαν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Παρόλο που δεν υπήρξε επαλήθευση των ισχυρισμών του ο Damadian συνέχισε να προωθεί τα αποτελέσματά του ως την απόλυτη τεχνολογία για την ανίχνευση του καρκίνου. [21]

Τον Φεβρουάριο του 1973, ο Zenuemon Abe και οι συνεργάτες του υπέβαλαν αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σχετικά με έναν στοχευμένο σαρωτή NMR και δημοσίευσαν την τεχνική αυτή το 1974 η οποία όμως δεν ήταν κατάλληλη για απεικόνιση. Ο Damadian ανέφερε μια παρόμοια τεχνική σε μια δημοσίευση δύο χρόνια αργότερα, με την ονομασία "Field Focusing NMR (Fonar)", η οποία περιείχε μια εικόνα των στοιχείων όγκου που σαρώθηκαν μέσω ενός ποντικίου.

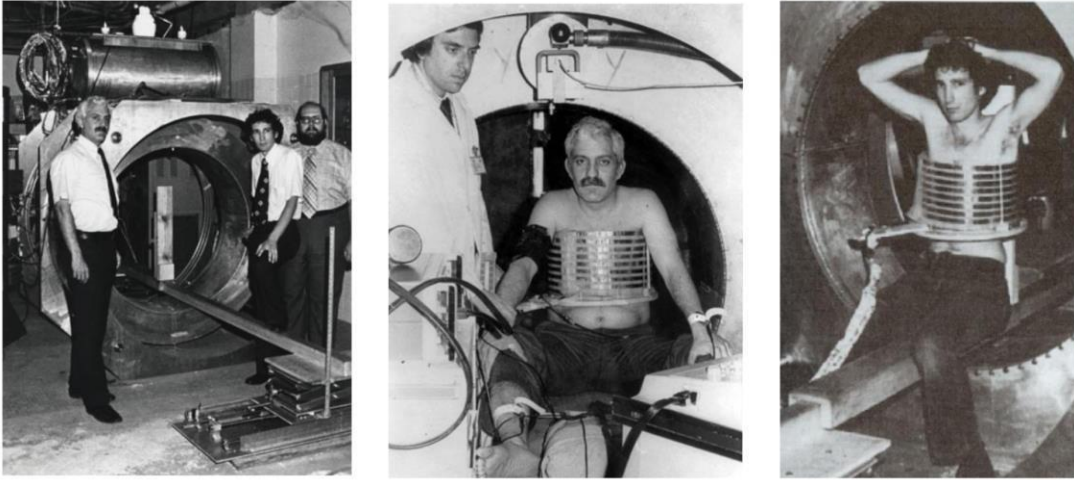
Σε ένα τυπικό μηχάνημα NMR το υλικό που πρόκειται να μελετηθεί τοποθετείται σε έναν μικρό σωλήνα στη μέση του μαγνήτη. Έτσι ο Damadian θέλησε να εξελίξει την μέθοδο αυτή και από την τοποθέτηση υλικού σε δοκιμαστικό σωλήνα να προχωρήσει

στην κατασκευή μιας μηχανής NMR αρκετά μεγάλης ώστε να χωράει μέσα ένας άνθρωπος. Το 1972 μάλιστα, κατέθεσε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας [24] το οποίο έλαβε το 1974. Στην αίτηση περιέγραφε την τεχνική για την χρήση του NMR ως εξωτερικό ανιχνευτή για την μέτρηση των τοπικών χρόνων χαλάρωσης του εσωτερικού του σώματος, δεν ανέφερε όμως πουθενά πως σκόπευε να χρησιμοποιήσει την συσκευή του για την δημιουργία εικόνων. [22],[20] Παρόλα αυτά, η διαπίστωση του Damadian για την χρήση των χρόνων χαλάρωσης NMR στη διάκριση διαφορετικών τύπων ιστών και κακοήθων ιστών είναι αυτό που μας δίνει την ικανότητα να διακρίνουμε τους διάφορους τύπους ιστών στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού. [24]



**Εικόνα 2.11** Συσκευή και μέθοδος για την ανίχνευση καρκίνου σε ιστό" του Raymond Damadian [24]

Η κατασκευή του πρώτου συστήματος Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, που ονομάστηκε Indomitable, έγινε με την βοήθεια δύο μεταδιδακτορικών συνεργατών του, του Larry Minkoff και του Michael Goldsmith. Όπως ανέφερε σε συνέντευξη του στο περιοδικό Inc, η αρχική κεραία είχε διάμετρο 0,3556m (14 ίντσες) και με δυσκολία μπορούσε να χωρέσει τον Damadian, γι' αυτόν τον λόγο αντί για τον Damadian αυτός που μπήκε μέσα στο σύστημα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ήταν ο συνεργάτης του Larry Minkoff και 3 Ιουλίου του 1977 έγινε η πρώτη σάρωση πλήρους σώματος ανθρώπου από την οποία κατάφεραν να πάρουν την πρώτη εικόνα θωρακικής κοιλότητας.[23] Στην συνέχεια, το 1978 ο Damadian ίδρυσε την FONAR (από το "Field Focused Nuclear Magnetic Resonance"), μια εταιρεία που κατασκεύαζε εξοπλισμό Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού.



**Εικόνα 2.12** Από αριστερά προς τα δεξιά: Οι Damadian, Minkoff, Goldsmith με Indomitable [35]. Ο Damadian στην πρώτη αποτυχημένη προσπάθεια να λάβει εικόνα MRI [35]. Ο Larry Minkoff στο Indomitable [21]

Το ίδιο διάστημα με τον Damadian, με την Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού ασχολούνταν ανεξάρτητα και οι Paul C. Lauterbur και Sir Peter Mansfield. Κατά την δεκαετία του 1950 ο Herman Carr είχε δηλώσει πως κατάφερε να δημιουργήσει μια μονοδιάστατη εικόνα μαγνητικού συντονισμού. Με έναυσμα την έρευνα του Damadian για τις εφαρμογές που θα μπορούσε να έχει ο Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός στην ιατρική, ο Paul Lauterbur ανέπτυξε περισσότερο την τεχνική του Carr και ανέπτυξε έναν τρόπο για την παραγωγή των πρώτων δισδιάστατων και τρισδιάστατων εικόνων Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού χρησιμοποιώντας βαθμίδες (gradients). Στη συνέχεια, ο Peter Mansfield ανέπτυξε μια μεθοδολογία που θα έδινε την δυνατότητα οι σαρώσεις να γίνονται σε μόλις λίγα δευτερόλεπτα και να λαμβάνονται εικόνες πιο καθαρές από αυτές του Lauterbur, όπως θα αναλύσουμε και στη συνέχεια. [25]



**Εικόνα 2.13** Από αριστερά προς τα δεξιά: Paul Lauterbur , Sir Peter Mansfield [94]

Ο Paul Lauterbur γεννήθηκε το 1929 στο Sidney του Ohio. Έλαβε πτυχίο στη Χημεία το 1951 και στη συνέχεια εργάστηκε στα εργαστήρια του Mellon Institute με μια διακοπή δύο ετών στα οποία υπηρέτησε στο Army Medical Center. Εκείνο το διάστημα άρχισε να ενημερώνεται για τον Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό και να διαβάζει για αυτή την νέα μορφή φασματοσκοπίας η οποία φαινόταν ιδανική για την διερεύνηση των δομών καθώς και την κατανομή των ηλεκτρονίων στα μόρια. Κατά την στρατιωτική του θητεία, επίσης είχε την δυνατότητα να ασχοληθεί με τον Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό καθώς η μονάδα του διέθετε ένα μηχάνημα NMR και μάλιστα δημοσίευσε τέσσερις εργασίες μέχρι να τελειώσει η θητεία του. Το 1962 τελείωσε με τις διδακτορικές του σπουδές, μετά από τις οποίες δέχτηκε την θέση του αναπληρωτή καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Stony Brook. Το 1969-1970 βρέθηκε στο Πανεπιστήμιο του Stanford ως επισκέπτης καθηγητής Χημείας και πραγματοποίησε μια έρευνα σχετική με το NMR με την συμβολή δύο τοπικών επιχειρήσεων. [26], [27]

Το 1971 βρέθηκε μπροστά σε πειράματα που έγιναν προκειμένου να επιβεβαιωθούν οι παρατηρήσεις του Raymond Damadian. Θεώρησε πως τα πειράματα NMR, τα οποία πραγματοποιούνται με πειραματόζωα, υπόκεινται σε σφάλματα λόγω ανομοιομορφιών στη σύνθεση του δείγματος, στο στατικό μαγνητικό πεδίο και στο μαγνητικό πεδίο συχνοτήτων. Σκέφτηκε πως θα ήταν πολύ χρήσιμο αν γινόταν να μετρηθούν από το εξωτερικό του σώματος ενός ζωντανού οργανισμού οι εντάσεις των σημάτων, οι χρόνοι χαλάρωσης κλπ. [27]

Πρότεινε την εφαρμογή βαθμίδων μαγνητικού πεδίου και στις τρεις διαστάσεις σε συνδυασμό με ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο και χρήση της τεχνικής οπισθοπροβολής για την δημιουργία εικόνων NMR. Με αυτόν τον τρόπο θα ήταν εφικτός ο εντοπισμός των θέσεων των πρωτονίων στο ανθρώπινο σώμα καθώς οι συχνότητες συντονισμού είναι ανάλογες της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Αυτό σε συνδυασμό με τον υπολογισμό των χρόνων χαλάρωσης ή παραμέτρων διάχυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη εικόνων εσωτερικών δομών του σώματος με την χρήση ενός υπολογιστή. Το ότι πρόσθεσε βαθμίδες πριν από την μέτρηση του σήματος μαγνητικού συντονισμού έδωσε στον Lauterbur την δυνατότητα να εντοπίσει από που προέρχεται το σήμα και να ανακατασκευάσει δισδιάστατες εικόνες μαγνητικού συντονισμού. [11], [22]

Το 1973 δημοσίευσε στο περιοδικό Nature την εργασία του «Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance» [28] συνοδευόμενο με τις πρώτες εικόνες δύο τριχοειδών αγγείων 1mm βυθισμένων σε ένα δοχείο με βαρύ νερό (heavy water D<sub>2</sub>O), οι οποίες έδειχναν την διαφορά του συνηθισμένου και του βαρέος ύδατος. Το άρθρο αυτό αρχικά απορρίφθηκε διότι θεωρήθηκε πως δεν θα υπάρχει ενδιαφέρον από το ευρύ κοινό αλλά και επειδή οι εικόνες ήταν πολύ ασαφείς. Ο Lauterbur όμως δεν το έβαλε κάτω, αναθεώρησε το άρθρο και το έστειλε ξανά σε νέο κριτή ο οποίος εξακολούθησε να μην το βρίσκει πειστικό, γνωρίζοντας όμως πως ο Lauterbur ήταν ένα αξιόλογο και αξιόπιστο ερευνητής πρότεινε να γίνει η δημοσίευσή του. Στην εργασία αυτή εξηγούσε την



μέθοδο που χρησιμοποίησε την μέθοδο του για απεικόνιση με NMR. Μέσα στο ίδιο έτος ακολούθησε και η δημοσίευση μιας εικόνας ζωντανού ζώου και ενός μυδιού και το 1974 η απεικόνιση της θωρακικής κοιλότητας ενός ποντικιού. [6],[26] Ο Lauterbur ονόμασε την μέθοδο απεικόνισης του ζευγματογραφία (zeugmatography), από το ελληνικό “ζεύγμα” που σημαίνει ένωση, σύνδεση και το “γράφειν” για να περιγράψει την συσχέτιση των χημικών και χωρικών πληροφοριών. Αργότερα η ονομασία αυτή αντικαταστάθηκε από τον όρο απεικόνιση NMR. Οι εικόνες αυτές ήταν ουσιαστικά μια αλληλουχία απο προβολές σε μια διάσταση οι οποίες ανακατασκευάζονταν σε μια εικόνα δύο διαστάσεων το οποίο ήταν αρκετά χρονοβόρα. Ο Βρετανός φυσικός Peter Mansfield, το 1976 πρότεινε μια αρκετά καινοτόμα μέθοδο λήψης εικόνων η οποία έδινε την δυνατότητα ανακατασκευής μια εικόνας δύο διαστάσεων με μια μόνο διέγερση RF.[11]

Ο Peter Mansfield όπως αναφέρθηκε και παραπάνω δούλευε ανεξάρτητα απο τον Lauterbur. Γεννήθηκε το 1933 στο Λονδίνο και ήταν από τα παιδιά που λόγω του Β' Παγκόσμιου πολέμου στάλθηκαν στην εξοχή για να γλιτώσουν από τους συνεχείς βομβαρδισμούς. Με πολλή δουλειά κατάφερε να γραφτεί σαν φοιτητής στο Πανεπιστήμιο Queen Mary του Λονδίνου και να σπουδάσει Φυσική το 1954 και τον Σεπτέμβρη του 1962 πήρε και το διδακτορικό του στον Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό. Το 1959, κατά τις διδακτορικές του σπουδές ασχολήθηκε με την κατασκευή ενός φασματόμετρου για να το χρησιμοποιήσει σε πειράματα NMR στερεάς κατάστασης, μέσω των οποίων ανακάλυψε την στερεά ηχώ (solid echo). Η στερεά ηχώ παρατηρείται σε κάποια στερεά και δημιουργείται από έναν παλμό  $90^\circ$  που εφαρμόζεται σε χρόνο  $\tau$  μετά από παλμό διέγερσης  $90^\circ$  (οι δύο παλμοί πρέπει να είναι  $90^\circ$  εκτός φάσης). Στη συνέχεια, για τις ανάγκες της εργασίας με την οποία ασχολούταν, κατασκεύασε ένα από τα πρώτα φασματόμετρα NMR το οποίο ελεγχόταν μέσω ενός υπολογιστή. Λόγω αυτών των εξελίξεων κατέληξε στο ότι για να μετρήσει την κρυσταλλική δομή στα στερεά με την χρήση NMR είναι απαραίτητες βαθμίδες μαγνητικού πεδίου. Τα πρώτα πειράματα που αφορούσαν μονοδιάστατη απεικόνιση NMR έγιναν σε ένα δείγμα από πολλές πλάκες πάχους μερικών χιλιοστών από καμφορά (ένα κέρινο στερεό) και δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό Journal of Physics το 1973 (την ίδια χρονιά που δημοσίευσε και ο Paul Lauterbur στο περιοδικό Nature). Αυτό που έκανε ήταν να εφαρμόσει μια βαθμίδα μαγνητικού πεδίου στις πλάκες από καμφορά και στη συνέχεια να μετρήσει το φάσμα NMR. Η κλίση που είχε το πεδίο διασκόρπιζε το σήμα σε ένα μοτίβο περίθλασης. Στη συνέχεια οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την ανακατασκευή εικόνας με την χρήση του μετασχηματισμού Fourier. Η έρευνα του επικεντρώθηκε στη συνέχεια στην απεικόνιση με NMR. [30], [31]

Τα επόμενα χρόνια ο Mansfield εισήγαγε την διαδικασία “επιλογής φέτας”, η οποία ήταν μια τεχνικής σάρωσης γραμμών, και το 1977 έλαβε τις πρώτες εικόνες από το δάχτυλο του διδακτορικού του φοιτητή Andrew Maudsley. Λόγω της εικόνας αυτής κατάφερε να λάβει και χρηματοδότηση ώστε να προχωρήσει στην κατασκευή ενός ολόσωμου σαρωτή 0,1T. Παρά τις ανησυχίες που υπήρχαν για το ενδεχόμενο να

προκληθεί καρδιακή ανακοπή λόγω των βαθμίδων μαγνητικού πεδίου που ενεργοποιούνταν και απενεργοποιούνταν ο Peter Mansfield προσφέρθηκε εθελοντικά για τα πρώτα πειράματα και έτσι έγινε ο πρώτος άνθρωπος στον οποίο έγινε απεικόνιση της κοιλιακής χώρας. Τα αποτελέσματα που έλαβαν αναφέρθηκαν λίγες μέρες μετά στο Συνέδριο Πειραματικού Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού. Το ίδιο διάστημα περίπου ανέπτυξε και την τεχνική ηχο-επίπεδης απεικόνισης (Echo-Planar Imaging - EPI) καθώς τον απασχολούσε η ταχύτητα με την οποία γινόταν η απεικόνιση. Η EPI απαιτεί γρήγορες εναλλαγές στις βαθμίδες του μαγνητικού πεδίου ώστε να γίνει συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για τον σχηματισμό μιας εικόνας μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Διάφορες παραλλαγές της EPI χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα σε πειράματα λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου με χρήση Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, μετά από τις πολλές προσπάθειες του Mansfield για να την καταστήσει κατάλληλη για ευρεία χρήση και την ταυτόχρονη εξέλιξη των υπολογιστών. Στην αρχή της δεκαετίας του 1990 έφτιαξε το πρώτο μικροσκόπιο NMR 500 MHz, ανθρώπινο σαρωτή 3T και ήταν από τους πρώτους που έκαναν μελέτες που αφορούσαν πορώδη μέσα με την χρήση απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού. [30],[31]

Ουσιαστική συμβολή στην εξέλιξη της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού είχε και ο Richard Ernst, ο οποίος ήδη από το 1966 είχε φέρει επανάσταση στη φασματοσκοπία NMR καθώς είχε αποδείξει πως το φάσμα NMR μπορεί να καταγραφεί σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό ήταν εφικτό διεγείροντας όλους τους συντονισμούς του εύρους ζώνης ενός παλμού RF, καταγράφοντας την απόκριση [γνωστή ως Ελεύθερη απόσβεση επαγωγής (Free Induction Decay-FID)] και μετασχηματίζοντας στη συνέχεια το χρονικά εξαρτώμενο σήμα, ώστε να προκύψουν ταυτόχρονα όλες οι συχνότητες που περιέχονται στο FID. [32] Το 1975 περιέγραψε πως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο μετασχηματισμός Fourier, η κωδικοποίηση φάσης και συχνότητας ώστε να γίνει ανακατασκευή δισδιάστατων εικόνων. Η τεχνική αυτή αποτελεί την βάση της σημερινής Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. [6] Τον Απρίλιο του 1974 ο Paul Lauterbur έδωσε μια ομιλία σε ένα συνέδριο στη Βόρεια Καρολίνα, την οποία παρακολούθησε και ο Ernst και σκέφτηκε πως αντί για την οπισθοπροβολή που χρησιμοποιούσε ο Lauterbur θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει εναλλασσόμενες βαθμίδες μαγνητικού πεδίου στο πεδίο του χρόνου. Έτσι το 1975 δημοσίευσε μια εργασία ("NMR Fourier Zeugmatography"), με τους Anil Kumar και Dieter Welti, στην οποία εξηγούσαν μια μέθοδο με τη οποία θα γινόταν μια γρήγορη ανακατασκευή εικόνων από σήματα NMR. Το 1991 για την συμβολή του στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας της Φασματοσκοπίας Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού (NMR)Υψηλής Ανάλυσης και στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού ο Ernst τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Χημείας.[6],[21]

Μια βελτίωση στην τεχνική του Ernst πρότεινε ο Bill Edelstein το 1980 ο οποίος έδειξε ουσιαστικά πως με την εφαρμογή μιας βαθμίδας για σύντομο χρονικό διάστημα, τα σπιν στη πλευρά που είχε υψηλότερη ένταση μαγνητικού πεδίου θα επιταχύνονταν και αυτά στην άλλη πλευρά θα επιβραδύνονταν. Όταν αυτή η κλίση διακοπεί όλα τα σπιν

επανέρχονται στην αρχική τους ταχύτητα όμως αυτά που επιταχύνθηκαν θα έχουν διαφορά φάσης με αυτά που επιβραδύνθηκαν. Επομένως, αν αναλύουμε τις πληροφορίες της αρχικής κατάστασης θα πάρουμε πληροφορίες από την μια μεριά, ενώ αν αναλύουμε πληροφορίες της τελικής φάσης θα πάρουμε πληροφορίες από την άλλη πλευρά. [20]

## **2.4 Οι πρώτες εικόνες μαγνητικού συντονισμού**

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, ο Herman Carr ήδη από την δεκαετία του 1950 είχε πάρει την πρώτη μονοδιάστατη εικόνα μαγνητικού συντονισμού. Το 1973 ο Paul Lauterbur δημοσίευσε τις πρώτες εικόνες δύο σωλήνων νερού στο περιοδικό Nature και μέσα στην ίδια χρονιά δημοσίευσε εικόνα από ένα ζωντανό μύδι. Το 1974, δημοσίευσε επίσης εικόνα της θωρακικής κοιλότητας ενός ποντικιού και την ίδια χρονιά παρουσίασε στο συνέδριο της Διεθνούς Εταιρείας Μαγνητικού Συντονισμού (International Society of Magnetic Resonance - ISMAR) την προσέγγιση του για την απεικόνιση με NMR. Ως αποτέλεσμα πολλοί επιστήμονες που ασχολούνταν με τον Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό παρακινήθηκαν και έτσι διερευνήθηκαν πολλές μέθοδοι απεικόνισης. Ο Waldo Hinshaw το 1974 εισήγαγε την μέθοδο των “ευαίσθητων σημείων” και το 1977 οι Hinshaw, Bottomley και Holland πήραν εικόνα από τον καρπό ενός ανθρώπου. Το 1974 επίσης, η ερευνητική ομάδα του John Mallard στο Πανεπιστήμιο του Aberdeen, οι Jim Hutchison, Bill Edelstein και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν μια τεχνική που ονόμασαν spin-warp και δημοσίευσαν μια εικόνα από το σώμα ενός ποντικιού, με την συμβολή και της Margaret Foster. Το 1977 ο Raymond Damadian με τους συνεργάτες του πήραν εικόνα από τον θώρακα του συνεργάτη του, Larry Minkoff και ακολούθησαν κι άλλες εικόνες από τον θώρακα και την κοιλιακή περιοχή ανθρώπων και από άλλους επιστήμονες. Την ίδια περίοδο ο Peter Mansfield μπόρεσε να λάβει εικόνες από το δάχτυλο ενός μεταπτυχιακού του φοιτητού, του Andrew Maudsley. Το 1978 οι Hugh Clow και Ian R. Young ανέφεραν την πρώτη εγκάρσια εικόνα NMR ανθρώπινου κρανίου και δύο χρόνια αργότερα ο William Moore και οι συνεργάτες του παρουσίασαν τις πρώτες στεφανιαίες και οριζόντιες εικόνες από ανθρώπινο κεφάλι. Το 1980, ο Edelstein και οι συνεργάτες του παρουσίασαν απεικόνιση του σώματος χρησιμοποιώντας την τεχνική του Ernst, με την οποία μπορούσαν να λάβουν μια εικόνα μέσα σε περίπου πέντε λεπτά. Μέχρι το 1986 ο χρόνος αυτός είχε μειωθεί σε πέντε δευτερόλεπτα χωρίς να χαλάσει η ποιότητα της εικόνας. Ο Robert N. Muller το 1982 περιέγραψε μια τεχνική η οποία είναι γνωστή ως απεικόνιση μεταφοράς μαγνήτισης (magnetization transfer). Ο Rinck και οι συνεργάτες του κατέγραψαν τις πρώτες εικόνες πνευμόνων με φθόριο.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και την δεκαετία του 1980 υπήρξε μεγάλη και γρήγορη πρόοδος στις έρευνες για τον Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό και γι’ αυτόν τον λόγο πολλές εργασίες δεν δημοσιεύονταν καθόλου ή παρουσιάζονταν απλά σαν περίληψη. [6],[21], [32],[33]

## **2.5 Κλινικές εφαρμογές**

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, οι εμπορικές εταιρείες είδαν τις δυνατότητες της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού και άρχισαν εμπορικές επενδύσεις με αποτέλεσμα να επιταχυνθούν οι μελέτες για τον απαραίτητο εξοπλισμό.

Η πρώιμη κλινική απεικόνιση ήταν αρκετά δύσκολη, απαιτούσε πολύ χρόνο και συχνά δεν έδινε καλά αποτελέσματα. Οι πρώτες εικόνες Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού βασίζονταν στις διαφορές πυκνότητας των πρωτονίων και αργότερα στη στάθμιση T1 (T1 weighted). Μέχρι το 1982-1983 οι ομάδες Hammersmith, Wiesbaden και Freiburg επισήμαναν ότι οι μακρές ακολουθίες Spin Echo με στάθμιση T2 (T2 weighted) ήταν καλύτερες στην ανάδειξη παθολογιών και έτσι αποτέλεσαν ένα πολύ βασικό μέρος της κλινικής απεικόνισης MR.

Το 1986 ο Le Bihan δημοσίευσε ένα άρθρο στο περιοδικό Radiology, στο οποίο περιέγραφε την απεικόνιση σταθμισμένης διάχυσης (Diffusion Weighted Imaging - DWI). Την ίδια χρονιά οι Jürgen Hennig, Arno Nauwerth και Hartmut Friedburg, από το Πανεπιστήμιο του Freiburg εισήγαγαν την απεικόνιση RARE (Rapid Acquisition with Relaxation Enhancement) που είναι πιο γνωστή ως fast ή turbo spin echo. Εκείνη την εποχή εμφανίστηκε και η FLASH (Fast Low Angle Shot) η οποία είχε μια διαφορετική προσέγγιση και αναπτύχθηκε από τους Axel Haase, Jens Frahm Dieter Matthaei, Wolfgang Hänicke και Dietmar K. Merboldt. Μέχρι να ενσωματωθούν οι τεχνικές αυτές στην κλινική απεικόνιση χρειάστηκε να περάσει αρκετός χρόνος. Έπρεπε να υπάρξει ο συνδυασμός κατάλληλου ειδικού υλικού και λογισμικού ώστε να μειωθεί ο χρόνος απεικόνισης σε σημαντικό βαθμό και η πρώτη περιγραφή μιας τέτοιας τεχνικής περιγράφηκε από τους Daniel K. Sodickson και Warren J. Manning. Το 1987 χρησιμοποιήθηκε η τεχνική EPI, του Peter Mansfield, για την σάρωση μιας φάσης της καρδιάς σε πραγματικό χρόνο και την ίδια χρονιά έγινε σάρωση των αιμοφόρων αγγείων από τον Charles Dumoulin αναπτύσσοντας έτσι την Μαγνητική Αγγειογραφία (magnetic resonance angiography). Τέλος, κατά την δεκαετία του 1980 τα σκιαγραφικά μέσα κίνησαν το ενδιαφέρον των εταιρειών και η Schering έγινε η πρώτη εταιρεία που υπέβαλε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1981 για το Gd-DTPA. [15],[21],[34]

Οι αρχές δεκαετίας του 1990 χαρακτηρίζονται από πληθώρα εξελίξεων στον τομέα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Το 1991 ο Seiji Ogawa δημοσιεύει αποτελέσματα με χρήση της τεχνικής BOLD (Blood Oxygen Level Dependent Imaging). Στη συνέχεια, το 1993 αναπτύχθηκε η τεχνική Λειτουργικής Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού (functional Magnetic Resonance Imaging- fMRI) με τη χρήση της EPI, η οποία μέχρι και σήμερα είναι από τους σημαντικότερους τομείς της μαγνητικής απεικόνισης και χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της καρδιάς και την διερεύνηση των άγνωστων πτυχών του εγκεφάλου. Το 1994 οι ερευνητές στο Κρατικό Νοσοκομείο της Νέας Υόρκης στο Stony Brook και στο Πανεπιστήμιο του Princeton έλαβαν εικόνες από τους πνεύμονες μέσω εισπνοής υπερπολωμένου αερίου Ξένου ( $^{129}\text{Xe}$ ).

Το 1998 επιτράπηκε από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (Food and Drug Administration - FDA) να κυκλοφορήσουν στην αγορά συσκευές ως 4T και το 2002 επιτράπηκε, από τον ίδιο οργανισμό, η χρήση συσκευών ως 3T στον εγκέφαλο ή το σώμα. Οι γιατροί έδειξαν ενδιαφέρον για εξοπλισμούς που έχουν υψηλότερο μαγνητικό πεδίο καθώς μειώνουν τον χρόνο που χρειάζεται για να γίνει μια σάρωση και ταυτόχρονα βελτιώνουν την ποιότητα της εικόνας που λαμβάνεται. Πίστευαν επίσης πως τέτοιοι εξοπλισμοί θα συνέβαλαν και στις τεχνικές φασματοσκοπίας, fMRI και άλλες. [15],[21],[34]

## **2.6 Άλλες μέθοδοι MR [21]**

Λόγω της ανάπτυξης της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αναπτύχθηκαν και αρκετές πιο εξειδικευμένες μέθοδοι για απεικόνιση οι οποίες αναδεικνύουν φυσικές και χημικές διεργασίες του σώματος. Δύο από αυτές τις μεθόδους έχουν γίνει το επίκεντρο ερευνών και αυτές είναι: η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού διάχυσης (Diffusion magnetic resonance imaging) και η Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού.

Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού διάχυσης επωφελείται από την τυχαία κίνηση των μορίων του νερού και την χρησιμοποιούμε στη μαγνητική νευροαπεικόνιση. Οι βασικές εργασίες για την μέθοδο αυτή δημοσιεύτηκαν ήδη από το 1965 από τους Edward O. Stejskal και John E. Tanner στο Πανεπιστήμιο του Wisconsin. Από τότε έχουν γίνει έρευνες από πολλές ομάδες, καθιστώντας την έναν από τους πιο δημοφιλείς ερευνητικούς τομείς της απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού.

Η Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού ήταν επίσης πολύ δημοφιλής για ερευνητές από πολλούς τομείς. Πολλές ερευνητικές ομάδες εστίασαν στη χρήση της στη νευρωνική ενεργοποίηση. Ένας από αυτούς ήταν και ο John W. Belliveau και οι συνεργάτες του στη Βοστώνη οι οποίοι παρακολουθώντας το πρώτο πέρασμα σκιαγραφικού μέσω του εγκεφάλου εντόπισαν μια ενίσχυση των διεγερμένων περιοχών του οπτικού φλοιού. Άλλες ομάδες προσπάθησαν να εκμεταλλευτούν τις μαγνητικές ιδιότητες του αίματος ανάλογα με τα επίπεδα οξυγόνωσης του. Η βάση για αυτό το είδος αντίθεσης περιγράφηκε από τους Pauling και Coryell το 1936.

Άλλες τεχνικές MR που αναφέρονται σε άρθρο του Anil Kumar [32] είναι:

i) Η Φασματοσκοπία Μαγνητικού Συντονισμού (Magnetic Resonance Spectroscopy - MRS) στην οποία γίνεται λήψη σήματος από ένα επιλεγμένο εικονοστοιχείο, καταγράφουμε το φάσμα του και στην συνέχεια το συγκρίνουμε με το φάσμα ενός συμμετρικού του εικονοστοιχείου.

ii) Η Αγγειογραφία Μαγνητικού Συντονισμού (MR-Angiography) η οποία μετρά την ροή του αίματος στο ανθρώπινο σώμα είτε με τη μέθοδο του χρόνου είτε με μέθοδο αντίθετης φάσης.

iii) Η απεικόνιση των πνευμόνων, η οποία έχει αρκετές δυσκολίες λόγω της έλλειψης πρωτονίων στους πνεύμονες και επιτυγχάνεται με χρήση υπερπολωμένων αερίων  $^3\text{He}$  ή  $^{129}\text{Xe}$ .

## **2.7 Η εξέλιξη της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού**

Κατά την δεκαετία του 1990 η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού άρχισε να χρησιμοποιείται όχι μόνο σε νοσοκομεία και ερευνητικά κέντρα αλλά και σε μικρά νοσοκομεία σε πιο αποκρυσμένες περιοχές, κυρίως για νευροαπεικόνιση και μυοσκελετική απεικόνιση. Στη δεκαετία του 2000 υπήρξε ακόμα μεγαλύτερη εξέλιξη και άρχισαν να χρησιμοποιούνται περισσότερο η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού καρδιάς, σώματος, η απεικόνιση εμβρύων και η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού.

Παρόλου που τα κύρια στοιχεία της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού είχαν εδραιωθεί από το 2000 έχουν σημειωθεί από τότε κι άλλα σημαντικά επιτεύγματα όπως η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού υπερυψηλού πεδίου, πηνία φασικής συστοιχίας υψηλής πυκνότητας (high-density phased array coil) και τα υβριδικά συστήματα απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού PET/MRI, δηλαδή συστήματα που συνδυάζουν την τεχνολογία PET και την τεχνολογία MRI. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η χρήση συστημάτων 3T εγκρίθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 2000 και διατέθηκε στο εμπόριο. Σήμερα τα περισσότερα ακαδημαϊκά κέντρα διαθέτουν τέτοια συστήματα και αποτελούν την κύρια πλατφόρμα τόσο για την κλινική πρακτική όσο και για την έρευνα. Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 οι μεγάλες εταιρείες είχαν αρχίσει να κατασκευάζουν συστήματα 7T και στα τέλη του 2020 ορισμένοι από αυτούς έχουν λάβει κανονιστική έγκριση (regulatory approval). Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι πως λόγω της μεγαλύτερης έντασης του πεδίου έχει υψηλότερο SNR (Signal to Noise Ratio) και μπορεί να έχει εφαρμογή στην απεικόνιση υψηλής χωρικής ανάλυσης. [36]

Άλλες σημαντικές εξελίξεις στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού είναι οι ισχυρότερες βαθμίδες απεικόνισης, καλύτερες συστοιχίες πηνίων δέκτη, τεχνολογία ψηφιακού δέκτη, ισχυρότεροι υπολογιστές ανακατασκευής και βελτιωμένα συστήματα για την άνεση του εξεταζόμενου. Παράλληλα, έχουν βελτιωθεί οι μέθοδοι λήψης και ανακατασκευής των εικόνων, πλέον γίνονται σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα και η ποιότητα της εικόνας είναι βελτιωμένη. [37]

## **2.8 Κοινωνικοί παράγοντες στην εξέλιξη της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού**

Κάθε συγγραφέας όταν περιγράφει την εξέλιξη της τεχνολογίας απεικόνισης δίνει έμφαση σε συγκεκριμένες παραμέτρους. Μερικά από τα στοιχεία που διαμορφώνουν το αντικείμενο της μελέτης είναι η πρόσβαση που υπάρχει σε πόρους, η επαγγελματική εξουσία και οι θεσμικές σχέσεις. Οποιαδήποτε καινοτομία είναι μια κοινωνική διαδικασία, όμως δεν έχει ακόμα διερευνηθεί πλήρως το πώς διαμορφώθηκαν οι τεχνολογίες απεικόνισης μέσα από τις δημόσιες συζητήσεις σχετικά με τις πυρηνικές τεχνολογίες. Η καινοτομία προκύπτει μετά από συμμαχίες, οικονομικές αλλά και πολιτικές, και την κοινωνική θέση του ατόμου. Σε αυτήν την ενότητα θα μελετήσουμε λοιπόν πώς η στροφή προς την οπτικοποίηση έδωσε την τεχνολογική και ιδεολογική υποστήριξη ώστε να περάσουμε από τη λήψη αριθμητικών δεδομένων στη λήψη εικόνων, από τα μηχανήματα απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού, την αλλαγή ονομασίας από Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός (NMR) σε Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (MRI) και τέλος την αυξανόμενη δικαιοδοσία των ακτινολόγων. [40]

### **2.8.1 Μηχανήματα Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού στην ακτινολογία**

Η τεχνολογία απεικόνισης NMR ήρθε στην κλινική εφαρμογή τη δεκαετία του 1980 και δεν ήταν από την αρχή ξεκάθαρο ποια ιατρική ειδικότητα θα έπρεπε να την ελέγχει. Το γεγονός ότι παρήγαγε οπτικές και αριθμητικές πληροφορίες σήμαινε πως μπορούσε να τοποθετηθεί σε διάφορα τμήματα. Θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε τμήματα Πυρηνικής Ιατρικής ή Παθολογίας καθώς οι γιατροί Πυρηνικής Ιατρικής και οι παθολόγοι έχουν τις γνώσεις για την κατανόηση και ερμηνεία των πληροφοριών (βιοχημικών, αριθμητικών) που παράγονται από τις τεχνικές NMR. Επειδή όμως παράγει και ανατομικές εικόνες θα μπορούσε να τοποθετηθεί και στο τμήμα Ακτινολογίας αφού οι ακτινολόγοι θεωρούνται ειδικοί στην ερμηνεία εικόνων. [40]

Υπήρχε μεγάλη ποικιλία απόψεων, το 1983 μάλιστα η Αμερικανική Νοσοκομειακή Ένωση (American Hospital Association) συνόψισε σε μια έκθεση της τις διαφορετικές απόψεις που επικρατούσαν. Κάποιοι πίστευαν πως το NMR είναι μια σύνθετη συσκευή και έτσι είναι απαραίτητη η συνεργασία ανθρώπων διαφορετικών ειδικοτήτων πχ παθολόγων, βιοχημικών και άλλων ειδικοτήτων εκτός του ακτινολογικού τομέα. Άλλοι θεωρούσαν πως αυτοί που έχουν τις περισσότερες γνώσεις για την κατανόηση του NMR είναι οι ιατροί Πυρηνικής Ιατρικής. Από την μια μεριά οι απόψεις αυτές στηρίχθηκαν στις διαφορές μεταξύ της Ιατρικής και των άλλων επιστημονικών κλάδων και από την άλλη υπήρξαν προσπάθειες για να περιοριστεί μόνο στον τομέα της Ιατρικής. Επίσης υπήρχε η άποψη πως οι ακτινολόγοι που είχαν εμπειρία με την τεχνολογία της Αξονικής Τομογραφίας θα μάθαιναν τις νέες μεθόδους πιο γρήγορα σε σχέση με άλλους γιατρούς, καθώς η τεχνολογία αυτή τους ήταν οικεία και καθώς γνώριζαν και Βιοφυσική ήταν το πιο εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό για να την κατανοήσει. Επίσης οι ακτινολόγοι έχουν πολύ καλή γνώση της Ανατομίας του

ανθρώπινου σώματος και των ψηφιοποιημένων τομών του σώματος το οποίο είναι από τα πιο βασικά για τη χρήση της τεχνολογίας NMR. [41]

Ο John Mallard πίστευε πως οι βιολόγοι είναι αυτοί που θα έπρεπε να χρησιμοποιούν και να ερμηνεύουν τις εικόνες NMR. Σύμφωνα με τον Gustav von Albertini που ήταν καθηγητής Ακτινολογίας και Πυρηνικής Ιατρικής, για το αν ήταν προφανές από την αρχή σε ποιον τομέα θα εντασσόταν η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού: “Υπήρξαν πολλές αντιπαραθέσεις, οι λεγόμενες μάχες επικράτειας (turf-battles). Σε λίγες περιπτώσεις, μηχανήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού εγκαταστάθηκαν σε νευρολογικά τμήματα. Ωστόσο, οι ακτινολόγοι είναι αυτοί που έχουν τις ανατομικές γνώσεις. Τόσο η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού όσο και η Αξονική Τομογραφία, το PET και η Πυρηνική Ιατρική είναι πολύπλοκες διαδικασίες για τις οποίες είναι απαραίτητες εξειδικευμένες γνώσεις. Όσο πιο πολύπλοκη είναι μια τεχνολογία τόσο πιο κεντρικά πρέπει να εγκατασταθεί.” Ομοίως, ένας άλλος καθηγητής ακτινολογίας, ο Marin Berakovic, αναφέρθηκε σε οικονομικούς λόγους σαν δικαιολογία για το ότι δεν τοποθετήθηκαν τα μηχανήματα κάπου αλλού. Καθώς είναι μεγάλα μηχανήματα που κοστίζουν πολλά χρήματα δεν μπορεί να γίνει η εγκατάστασή τους σε ένα τυχαίο μέρος. Τα μηχανήματα Αξονικής Τομογραφίας και Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού είναι κερδοφόρα μόνο αν εξετάζονται ασθενείς και όχι αν τα μηχανήματα βρίσκονται εκεί χωρίς να χρησιμοποιούνται και για να λειτουργήσει αυτό, τα μηχανήματα πρέπει φυσικά να τοποθετηθούν σε ένα κεντρικό σημείο. Ένας πρώην πρόεδρος ακτινολογικού τμήματος στη Φιλαδέλφεια, ο David C. Levin, κάνει λόγο για τα οικονομικά κίνητρα άλλων ιατρών ως τους μοναδικούς λόγους για την εγκατάσταση συστημάτων απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού στα τμήματά τους: “Για να αυξήσουν τα εισοδήματά τους, όλο και περισσότεροι γιατροί εγκαθιστούν σαρωτές απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού και άλλο εξοπλισμό ιατρικής απεικόνισης στα ιατρεία τους και σαρώνουν οι ίδιοι τους ασθενείς αντί να τους παραπέμπουν σε ακτινολόγο”. Ο Lorenz Nydegger, ο οποίος ήταν ηλεκτρολόγος μηχανικός στον τομέα της ανάπτυξης της καρδιακής Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στις Ηνωμένες Πολιτείες είπε: “Οι σχέσεις των ακτινολόγων με τους καρδιολόγους είναι ένα ζήτημα που προκαλεί εμπόδια στην έρευνα. Κατά την γνώμη του δεδομένου πως οι καρδιολόγοι έχουν πρόσβαση στα δεδομένα των ασθενών είναι και αυτοί που πρέπει να έχουν πρόσβαση στα μηχανήματα, και επίσης απαιτεί λιγότερο κόπο η εκπαίδευση ενός καρδιολόγου στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού παρά ενός ακτινολόγου στην καρδιολογία. Κατέληξε πως ο λόγος που υπάρχει τόσο έντονη διαμάχη σχετικά με το ποιος πρέπει να πάρει τα μηχανήματα είναι το κύρος και τα χρήματα”. [41]

Μετά από συζητήσεις με κλινικούς γιατρούς και ακτινολόγους αναφορικά με το ποιος τομέας είναι αρμόδιος για την ερμηνεία των ευρημάτων των εικόνων, οι περισσότεροι δεν αναφέρθηκαν συγκεκριμένα σε κάποιο κλάδο αλλά αναφέρθηκαν περισσότερο στις ικανότητες που πρέπει να έχει κάποιος για να θεωρηθεί κατάλληλος. Το θέμα όμως ήταν πως ορίζεται αυτός που έχει τα απαραίτητα προσόντα για την ερμηνεία των εικόνων, ανάμεσα στις διάφορες ομάδες. Όπως δήλωσε ένας ακτινολόγος: “Οι



ορθοπεδικοί μπορεί να κατανοούν κάτι για την ορθοπεδική, αλλά δεν έχουν γενικευμένο βλέμμα. Άλλοι κλινικοί γιατροί δεν κατανοούν το νόημα των εικόνων, καθώς υπάρχουν πολλές κρυμμένες πληροφορίες τις οποίες παραβλέπουν. Οι παθολόγοι θα πρέπει να αφήσουν τους ακτινολόγους να βγάλουν αυτές τις πληροφορίες από την εικόνα.” [41]

Βάσει του νόμου κάθε γιατρός που διαθέτει άδεια ασκήσεως επαγγέλματος έχει το δικαίωμα να ερμηνεύει ιατρικές εικόνες. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα οι ακτινολόγοι να χάνουν έσοδα και κύρος και έτσι αμφισβήτησαν την ικανότητα των γιατρών να ερμηνεύουν σωστά τις εικόνες. Με αυτή την κίνηση δημιούργησαν την άποψη πως οι ακτινολόγοι είναι “αυθεντίες” στην ερμηνεία των εικόνων. Στις ΗΠΑ οι ακτινολόγοι απέκτησαν μεγαλύτερη ανεξαρτησία και έλεγχο και μάλιστα στις αρχές της δεκαετίας του 1970 το Αμερικανικό Κολέγιο Ακτινολογίας (American College of Radiology - ACR) τους προέτρεπε να "αποκτήσουν καθεστώς ανεξάρτητης πρακτικής στα νοσοκομεία τους". Αυτή η κίνηση επέτρεψε στους ακτινολόγους να διατηρούν τον έλεγχο των αμοιβών και του εισοδήματός τους. Η δεκαετία αυτή ήταν μια δεκαετία-κλειδί για την άνοδο της ακτινολογίας και για την αύξηση των διαθέσιμων τεχνολογιών για απεικόνιση. Τα νέα μηχανήματα όπως οι Αξονικοί Τομογράφοι και οι υπέρηχοι έγιναν μέρος της κλινικής πρακτικής και έδιναν περισσότερες επιλογές απεικόνισης στους γιατρούς. Η παρουσία των ανατομικών εικόνων στην Ιατρική σε συνδυασμό με το αυξημένο κύρος των ακτινολόγων υποστήριξε την απόφαση της τοποθέτησης των μηχανημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στις ακτινολογικές μονάδες. [40]

## **2.8.2 Αναπαράσταση των αποτελεσμάτων**

Καθώς η έρευνα εξελισσόταν οι επιστήμονες προσπαθούσαν να καταλήξουν στο όνομα που θα χρησιμοποιούσαν, τον σχεδιασμό και τον τρόπο αναπαράστασης της τεχνικής, τα οποία σε αυτό το πρώιμο στάδιο διαμορφώθηκαν κυρίως από τους ερευνητές που εμπλέκονταν στενά στην ανάπτυξη της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός πως υπήρχε η απαραίτητη χρηματοδότηση και οι δομές που έκαναν το έργο τους πιο εύκολο, όμως οι προσδοκίες των ερευνητών επηρέασαν σημαντικά αυτή την περίοδο ανάπτυξης.

Η ιδέα πως τα αριθμητικά δεδομένα δεν είχαν ενδιαφέρον είχε απορριφθεί από τους επιστήμονες. Ο Lauterbur ήταν υποστηρικτής της άποψης πως η εικόνα ήταν το σημαντικό από τα δεδομένα NMR που έπρεπε να χρησιμοποιείται. Παρόλα αυτά οι επιστήμονες συνέχιζαν να δημοσιεύουν και την εικόνα και τα αριθμητικά δεδομένα που λάμβαναν, τα οποία αναφέρονταν στην απορρόφηση και εκπομπή ενέργειας των πυρήνων υδρογόνου. Κάποιοι ήταν υποστηρικτές της άποψης πως οι αριθμοί έδιναν μια εξειδίκευση που χανόταν όταν οι τιμές μετατρέπονταν σε τμήματα εικόνας. Άλλη μια παράμετρος για την οποία έπρεπε να αποφασίσουν ήταν η εμφάνιση του περιεχομένου των εικόνων. Οι ερευνητές NMR δεν είχαν μεγάλη εμπειρία με ανατομικές εικόνες και μπορούσαν να πειραματιστούν με την μορφή. Διάλεξαν έντονα

χρώματα όπως πράσινο, κίτρινο, κόκκινο για την αναπαράσταση του εσωτερικού του σώματος, χρώματα δημοφιλή εκείνη την εποχή. [40]

Οι αποφάσεις αυτές επηρέασαν στη συνέχεια και τον σχεδιασμό του μηχανήματος. Οι πρώτοι σαρωτές είχαν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η αναπαράσταση τόσο με αριθμούς όσο και με εικόνα. Ο Larry Crooks αναφέρει ότι στον σαρωτή του UCSF υπήρχε η δυνατότητα τοποθέτησης ενός δρομέα στην εικόνα και ανάγνωσης του αριθμού της έντασης της εικόνας, σε οποιαδήποτε θέση. Μπορούσαν επίσης να υπολογιστούν ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των αριθμών από οποιαδήποτε περιοχή σχεδίαζε κάποιος επάνω στην εικόνα. Επίσης, σαρωτές άλλων ομάδων είχαν δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν στους χρήστες να μετακινούνται εύκολα μεταξύ της αριθμητικής μορφής αναπαράστασης και της εικόνας. Είχε αποφασιστεί όπως αναφέραμε και παραπάνω τα μηχανήματα NMR να ανήκουν στον τομέα της Ακτινολογίας, οι ακτινολόγοι λοιπόν είναι μαθημένοι στην ερμηνεία εικόνων του ανθρώπινου σώματος και συγκεκριμένα ασπρόμαυρων εικόνων, δεν χρησιμοποιούν αριθμητικά στοιχεία. Ο διάλογος που υπήρχε μεταξύ του επαγγελματικού οράματος των ακτινολόγων και της τεχνολογίας NMR οδήγησε σε δύο μεγάλες αλλαγές που αφορούσαν τον τρόπο παρουσίασης των δεδομένων. Πλέον τα δεδομένα που λαμβάνονταν παρουσιάζονταν αποκλειστικά σε μορφή εικόνας, η οποία δεν αποτελούνταν πια από πολλά χρώματα αλλά από τόνους του γκρι λόγω του ότι έτσι είχαν συνηθίσει από τις ακτίνες X και την Αξονική Τομογραφία και ήταν εκπαιδευμένοι στην ερμηνεία τους. Ο σχεδιασμός λοιπόν τροποποιήθηκε ώστε οι αριθμητικές τιμές να αντιστοιχούν σε αποχρώσεις του γκρι και να εκτυπώνονται σε ασπρόμαυρο φιλμ. Ο λόγος που προτιμούνται εικόνες σε αποχρώσεις ενός χρώματος μόνο είναι επειδή έτσι έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν μικρές ανατομικές αλλαγές, ενώ όταν υπάρχουν διάφορα χρώματα σε μια εικόνα υπάρχει μια ασυνέχεια καθώς η αλλαγή στο χρώμα δύο περιοχών μπορεί να κάνει την διαφορά τους να φαίνεται μεγάλη ενώ στην πραγματικότητα είναι μικρή. Αυτή η διαφορά στο μάτι μπορεί να κάνει τους γιατρούς να παρερμηνεύσουν μια εξέταση αφού δεν αναδεικνύονται οι λεπτές διαφορές των τμημάτων του σώματος. Η χρήση των εκτυπωτών και φιλμ για την παραγωγή ασπρόμαυρων εικόνων αξονικής τομογραφίας και ακτίνων X ήταν αυτή που ενίσχυσε την απόφαση για την επιλογή του γκρι χρώματος. [40]

### **2.8.3 Αντιπυρηνικά κινήματα και αλλαγές στην ονομασία**

Κατά τη δεκαετία του 1980 που έγινε η εισαγωγή της τεχνολογίας Απεικόνισης NMR, υπήρχε μια γενική ευαισθησία στα προβλήματα που έχουν σχέση με τα πυρηνικά όπλα και τους πυρηνικούς σταθμούς ενέργειας στις ΗΠΑ. Μάλιστα είχε δημιουργηθεί και κίνημα κατά των πυρηνικών εργοστασίων από τη δεκαετία του 1970. Άλλες ομάδες όπως η εκστρατεία για το πάγωμα των πυρηνικών όπλων (Nuclear Weapons Freeze Campaign), η Επιτροπή για μια υγιή πυρηνική πολιτική (Committee for a Sane Nuclear Policy- SANE) αμφισβήτησαν τη νομιμότητα των πυρηνικών όπλων και γενικότερα υπήρχε μια ευρεία συνειδητοποίηση της "επικινδυνότητας" των πυρηνικών εξοπλισμών. [40]

Μέσα σε αυτό το κλίμα λοιπόν μπήκε η Απεικόνιση με χρήση Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού στα αμερικανικά νοσοκομεία. Ο κόσμος δεν μπορούσε να αντιληφθεί πως η λέξη "πυρηνικός" στην "Απεικόνιση Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού" δεν σχετιζόταν με την πυρηνική ενέργεια και τα πυρηνικά όπλα και ήταν πολύ επιφυλακτικοί απέναντι σε αυτή τη νέα τεχνολογία. Δεν εμπιστευόντουσαν τους ισχυρισμούς που τους διαβεβαίωναν πως είναι ασφαλής και αντιστέκονταν στην ιδέα του να εισαχθούν αυτά τα μηχανήματα στην υγειονομική περίθαλψη. Έτσι οι γιατροί και τα ανώτατα στελέχη των νοσοκομείων έδωσαν μια νέα ονομασία, "Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού ή MRI" η οποία υιοθετήθηκε γρήγορα παγκοσμίως. [40]

## **Κεφάλαιο 3. Βραβείο Νόμπελ και διαμάχη για την πρωτιά**

### **3.1 Τα βραβεία Νόμπελ**

Τα βραβεία Νόμπελ είναι πέντε και θεσπίστηκαν το 1895 σύμφωνα με τη διαθήκη του Άλφρεντ Νόμπελ. Κάθε χρόνο δίνονται “σε αυτούς που κατά τη διάρκεια του προηγούμενου χρόνου έχουν προσφέρει το μεγαλύτερο όφελος στην ανθρωπότητα”. Η τελευταία επιθυμία του Άλφρεντ Νόμπελ ήταν να ρευστοποιηθεί το σύνολο της περιουσίας που του είχε απομείνει και να επενδυθεί σε ασφαλείς τίτλους των οποίων οι τόκοι θα κατανέμονταν:

- Στο πρόσωπο που έκανε τη σημαντικότερη ανακάλυψη/εφεύρεση στον τομέα της Φυσικής,
- Στο πρόσωπο που έκανε τη σημαντικότερη ανακάλυψη ή βελτίωση στον τομέα της Χημείας,
- Στο πρόσωπο που έκανε τη σημαντικότερη ανακάλυψη στον τομέα της φυσιολογίας ή της Ιατρικής,
- Στο πρόσωπο που παρήγαγε το πιο σπουδαίο έργο σε μια πιο ιδεαλιστική κατεύθυνση, στον τομέα της Λογοτεχνίας και
- Στο πρόσωπο που έκανε το μεγαλύτερο ή καλύτερο έργο για την αδελφοσύνη μεταξύ των εθνών, την κατάργηση ή μείωση των μόνιμων στρατών και για την διεξαγωγή και προώθηση συνεδρίων ειρήνης

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, οι κατηγορίες των βραβείων Νόμπελ είναι: Νόμπελ Φυσικής, Νόμπελ Χημείας, Νόμπελ Φυσιολογίας ή Ιατρικής, Νόμπελ Λογοτεχνίας και Νόμπελ Ειρήνης. Τα βραβεία Φυσικής και Χημείας απονέμονται από τη Σουηδική Ακαδημία Επιστημών, της Φυσιολογίας ή Ιατρικής από το Ινστιτούτο Καρολίνα της Στοκχόλμης, της Λογοτεχνίας από την Ακαδημία της Στοκχόλμης και της Ειρήνης από μια πενταμελή επιτροπή που εκλέγεται από το νορβηγικό κοινοβούλιο ( Norwegian Storting).

#### **3.1.1 Νόμπελ Φυσιολογίας ή Ιατρικής**

Ο Άλφρεντ Νόμπελ θεωρούσε την Φυσιολογία μια μορφή Πειραματικής Ιατρικής, όπως και όλοι εκείνη την εποχή, και την προσπάθεια να έρθει η ιατρική έρευνα στα εργαστήρια. Μάλιστα και ο ίδιος ο Νόμπελ είχε το δικό του εργαστήριο στο Παρίσι και στη συνέχεια στην Ιταλία όπου έκανε πειράματα που αφορούσαν τις μεταγγίσεις αίματος και έμενε ενήμερος για όλες τις εξελίξεις που υπήρχαν. [43]

Το Ινστιτούτο Καρολίνσκα της Στοκχόλμης, το οποίο επιλέχθηκε για την απονομή του βραβείου Φυσιολογίας ή Ιατρικής, πήρε την απόφαση το βραβείο να δίνεται στην θεμελιώδη έρευνα για την ανθρώπινη υγεία συνδέοντας με αυτόν τον τρόπο την Ιατρική με την έρευνα. Πολλά βραβεία δόθηκαν σε έρευνες Φυσιολογίας κατά την δεκαετία του 1930 και ειδικά σε έρευνες που αφορούσαν την ανατομία του νευρικού

συστήματος, τους μυς, το κινητικό και αναπνευστικό σύστημα.

### 3.1.2 Αποτελέσματα Βραβείων Νόμπελ

Με τη δημιουργία των συγκεκριμένων βραβείων ο Άλφρεντ Νόμπελ αποσκοπούσε στην επιτάχυνση των εξελίξεων σε κάποιους επιστημονικούς τομείς και το θεώρησε κίνητρο για τους επιστήμονες καθώς θα γινόταν ευρέως γνωστή η δουλειά τους. Είναι αδιαμφισβήτητο πως ωφελούν άμεσα τους αποδέκτες τους λόγω του χρηματικού ποσού που λαμβάνουν αλλά και της άμεσης αναγνώρισης τους όμως υπάρχει και η αντίθετη πλευρά. Το να μην κερδίσει κάποιος μπορεί να είναι αποθαρρυντικό για τη συνέχιση της έρευνας του, ειδικά αν πιστεύει πως είναι αντάξια ενός τέτοιου βραβείου. Ο Hidde Ploegh είπε πως “η εμμονή με τα βραβεία μπορεί τελικά να υποτιμήσει το πάθος και την εφευρετικότητα τόσων πολλών που δεν θα μοιραστούν ποτέ αυτό το φως της δημοσιότητας”. Σίγουρα τα βραβεία Νόμπελ αυξάνουν το ενδιαφέρον του ευρέος κοινού για την επιστήμη, είναι κίνητρο για τις επιστήμονες είτε συνειδητά είτε ασυνείδητα να επικεντρωθούν σε συγκεκριμένους κλάδους και είναι ευκαιρία να γιορτάσουμε τα ανθρώπινα επιτεύγματα. Λόγω όμως των συγκεκριμένων κλάδων που έχει καθορίσει ο Άλφρεντ Νόμπελ στη διαθήκη του υπάρχουν κλάδοι που ενδεχομένως να παραμελούνται, όπως για παράδειγμα τα Μαθηματικά, και δεν ενισχύεται η διεπιστημονική έρευνα η οποία με την συνεχή εξέλιξη σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους είναι όλο και πιο σημαντική. [44]

### 3.2 Διαμάχες για τα βραβεία Νόμπελ

Αν ανατρέξουμε στη βιβλιογραφία θα δούμε πως έχουν υπάρξει πολλές διαφωνίες και διαμάχες σχετικά με τα βραβεία Νόμπελ, οι οποίες μπορεί να αφορούν την επιλογή των νικητών ή ακόμα και την ύπαρξη του ίδιου του βραβείου. Ακόμα κι αν κάποιος δεν λάβει το βραβείο Νόμπελ μπορεί να λάβει άλλα βραβεία και να αναγνωριστεί η συνεισφορά του από τους συναδέλφους του.

Στον πίνακα 3.1 βλέπουμε έναν πίνακα με τις διαμάχες που αφορούν τα βραβεία Νόμπελ από το 1901 ως και το 2011, όπως τον παρουσιάζουν σε άρθρο τους οι Arturo Casadevall και Ferric C. Fang. Οι περιπτώσεις που αναφέρονται στον πίνακα αυτό έχουν βιβλιογραφία από την οποία τεκμηριώνεται η κάθε διαμάχη και πρέπει να λάβουμε υπόψη πως η λίστα αυτή ενδέχεται να μην αντικατοπτρίζει τον πραγματικό αριθμό των αμφιλεγόμενων βραβείων και στην πραγματικότητα να υπάρχουν περισσότερα.

Χρονιά	Ανακάλυψη	Παραλήπτης	Διαμάχη
1901	Αντισώματα ως αντιτοξίνες	Emil Adolf von Behring	Οι συνεισφορές του Shibasaburo Kitasato δεν αναγνωρίζονται

<b>1901</b>	Ανακάλυψη των ακτίνων X	Wilhelm Roentgen	Ο Phillipp Lenard δεν αναγνωρίστηκε παρά το γεγονός ότι και οι δύο είχαν μοιραστεί άλλα βραβεία.
<b>1914</b>	Θερμιδική αντίδραση (Caloric reaction)	Robert Bárány	Αποκλεισμός των Julius Eduard Hitzig και Josef Breuer
<b>1918</b>	Σύνθεση αμμωνίας	Fritz Haber	Ο Fritz Haber ανέπτυξε επίσης τον πόλεμο με αέριο (gas warfare)
<b>1923</b>	Ινσουλίνη	Frederick Banting and John Macleod	Αποκλεισμός των C. H. Best και J. B. Collip
<b>1923</b>	Φορτίο ηλεκτρονίου	Robert Millikan	Αποκλεισμός του Harvey Fletcher, ισχυρισμός για παραποίηση δεδομένων
<b>1926</b>	Καρκινογένεση που προκαλείται από Spiroptera	Johannes Fibiger	Η ανακάλυψη κρίθηκε εσφαλμένη
<b>1930</b>	Φαινόμενο Raman	C. V. Raman	Αποκλεισμός των G. S. Landsberg και L. I. Mandelstam
<b>1944</b>	Πυρηνική σχάση	Otto Hahn	Αποκλεισμός της Lise Meitner και του Fritz Strassman
<b>1949</b>	Προμετωπιαία λοβοτομή	Egas Moniz	Η διαδικασία έχει αναμφισβήτητα κάνει περισσότερο κακό παρά καλό.
<b>1952</b>	Στρεπτομυκίνη	Selman Waksman	Αποκλεισμός του Albert Schatz
<b>1957</b>	Παραβίαση της ισοτιμίας	Tsung-Dao Lee και Chen Ning Yang	Αποκλεισμός του Chien-Shiung Wu
<b>1961</b>	Αφομοίωση άνθρακα στα φυτά	Melvin Calvin	Αποκλεισμός των Andrew Benson και James Bassham
<b>1962</b>	Δομή του DNA	James Watson, Francis Crick, και Maurice Wilkins	Αποκλεισμός του Erwin Chargaff

<b>1964</b>	Λείζερ	Charles Townes, Nicolay Basov, και Aleksandr Prokhorov	Αποκλεισμός του Theodore Maiman
<b>1968</b>	Γενετικός κώδικας	Robert Holley, Har Gobind Khorana, και Marshall Nirenberg	Αποκλεισμός του Heinrich Matthaei
<b>1973</b>	Ηθολογία	Konrad Lorenz	Ο Lorenz κατηγορείται για υποστήριξη ναζιστικών ιδεών
<b>1974</b>	Κυτταρική βιολογία	Albert Claude, Christian de Duve, και George Palade	Αποκλεισμός του Keith Porter
<b>1975</b>	Ιοί όγκων (Tumor viruses)	David Baltimore, Renato Dulbecco, και Howard Temin	Αποκλεισμός του Satoshi Mizutani
<b>1978</b>	Κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου	Arno Penzias και Robert Wilson	Αποκλεισμός του Ralph Alpher
<b>1979</b>	Τομογραφία υποβοηθούμενη από υπολογιστή	Geoffrey Hounsfield και Allan Cormack	Αποκλεισμός του William H. Oldendorf
<b>1980</b>	Προσδιορισμός της αλληλουχίας DNA	Paul Berg, Walter Gilbert, και Frederick Sanger	Αποκλεισμός του Allan Maxam
<b>1982</b>	Θεωρία των κρίσιμων φαινομένων σε σχέση με τις μεταβάσεις φάσης	Kenneth Wilson	Αποκλεισμός του Leo P. Kadanoff και Michael E. Fisher
<b>1983</b>	Νουκλεογένεση	Willy Fowler και Subrahmanyan Chandrasekhar	Αποκλεισμός του Fred Hoyle
<b>1984</b>	Ανακάλυψη των πάλσαρ (pulsars)	Anthony Hewish και Martin Ryle	Αποκλεισμός του Jocelyn Bell Burnell
<b>1986</b>	Παράγοντες ανάπτυξης	Stanley Cohen και Rita Levi-Montalcini	Αποκλεισμός του Viktor Hamburger
<b>1989</b>	Ογκογονίδια (Oncogenes)	J. Michael Bishop και Harold Varmus	Ο Domenick Stehelin διαμαρτυρήθηκε ότι δεν συμπεριλήφθηκε

<b>1993</b>	Γονιδιακή συγκόλληση	Philip Sharp και Richard Roberts	Αποκλεισμός των Louise Chow και Tom Broker
<b>1997</b>	Prions	Stanley Prusiner	Ισχυρισμοί ότι το βραβείο ήταν πρόωρο και μείωσε τη χρηματοδότηση των ανταγωνιστών
<b>1998</b>	Nitric oxide	Robert Furchgott, Louis Ignarro, και Ferid Murad	Αποκλεισμός των Salvador Moncada και John Hibbs
<b>1999</b>	Υπόθεση σήματος (Signal hypothesis)	Günter Blobel	Αποκλεισμός των David Sabatini, Bernhard Dobberstein και άλλων
<b>2000</b>	Νευροδιαβιβαστές	Arvid Carlsson, Paul Greengard, και Eric Kandel	Αποκλεισμός του Oleh Hornykiewicz
<b>2001</b>	Σύνθεση καταλυτικής ασυμμετρίας	K. Barry Sharpless, Ryoji Noyori, και William Knowles	Αποκλεισμός του Henry Kagan
<b>2002</b>	Ηλιακά νετρίνα (Solar neutrinos)	Raymond Davis, Jr., και Masatoshi Koshihira	Αποκλεισμός του John Bahcall
<b>2003</b>	Απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού	Paul Lauterbur και Peter Mansfield	Αποκλεισμός του Raymond Damadian
<b>2004</b>	Ανακάλυψη της αποικοδόμησης πρωτεϊνών με τη μεσολάβηση της ομπικουιτίνης	Aaron Ciechanover, Avram Hershko, και Irwin Rose	Αποκλεισμός του Alexander Varshavsky
<b>2006</b>	Παρεμβολή RNA (RNA interference)	Andrew Fire και Craig Mello	Αποκλεισμός του Victor Ambros, Gary Ruvkun, και David Baulcombe
<b>2008</b>	HIV	Luc Montagnier και Françoise Barré-Sinoussi	Αποκλεισμός του Robert Gallo
<b>2008</b>	Σύνδεση του HPV με τον καρκίνο	Harald zur Hausen	Αποκλεισμός της Nubia Muñoz
<b>2008</b>	Πράσινη φθορίζουσα πρωτεΐνη	Omamu Shimomura, Martin Chalfie, και Roger Tsien	Αποκλεισμός του Douglas Prasher



<b>2008</b>	Σπασμένη συμμετρία (Broken symmetry)	Makoto Kobayashi, Toshihide Masakawa, και Yoichiro Namba	Αποκλεισμός των Nicola Cabibbo και Giovanni Jona-Lasinio
<b>2009</b>	Συσκευή σύζευξης φορτίου (Charge-coupled device)	Willard Boyle και George Smith	Αποκλεισμός των Eugene Gordon και Michael Tompsett
<b>2010</b>	Γραφένιο (Graphene)	Andre Geim και Konstantin Novselov	Άλλοι συντελεστές που δεν έχουν αναγνωριστεί, συμπεριλαμβανομένων των Walterde Heer και Philip Kim
<b>2011</b>	Έμφυτη ανοσία (Innate immunity)	Ralph Steinman, Jules Hoffmann, και Bruce Beutler	Πολυάριθμοι συνεργάτες που δεν έχουν αναγνωριστεί, συμπεριλαμβανομένων των Ruslan Medzhitov, Shizuo Akira και Bruno Lemaître.

**Πίνακας 3.1** Πίνακας με αμφιλεγόμενα βραβεία Νόμπελ [44]

### 3.3 Η διαμάχη για το Νόμπελ Φυσιολογίας ή Ιατρικής του 2003

Πρόσφατο παράδειγμα μιας τέτοιας διαμάχης για το βραβείο Νόμπελ, η οποία αφορά την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού, αποτελεί η απονομή του βραβείου Νόμπελ Φυσιολογίας ή Ιατρικής το 2003 στους Paul Lauterbur και Peter Mansfield, και η εξαίρεση του Raymond Damadian. Η διαμάχη γύρω από αυτό το γεγονός αφορά κυρίως στο ότι ενώ σε κάθε κατηγορία επιτρέπεται να υπάρχουν μέχρι τρεις παραλήπτες του βραβείου στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν καλύφθηκαν αυτές οι θέσεις. Οι τρεις αυτοί επιστήμονες συνέβαλαν σημαντικά στο ξεκίνημα της ιατρικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού επομένως φαίνεται παράξενο το γεγονός πως μόνο οι δύο από αυτούς ήταν προτεινόμενοι για το βραβείο. [45]

Ο Damadian μάλιστα είχε λάβει πληθώρα βραβείων πριν από το 2003, τα οποία αφορούσαν στην έρευνα του για την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού. Το 1988 τιμήθηκε μαζί με τον Lauterbur, από τον πρόεδρο Ronald Reagan, με το Εθνικό Μετάλλιο Τεχνολογίας για την “ανεξάρτητη συμβολή τους στη σύλληψη και ανάπτυξη της εφαρμογής της τεχνολογίας μαγνητικού συντονισμού σε ιατρικές χρήσεις, συμπεριλαμβανομένης της σάρωσης ολόκληρου του σώματος και της διαγνωστικής απεικόνισης”. Το 1989 εισήχθη στο National Inventors Hall of Fame για την εφεύρεση του πρώτου συστήματος απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού. Το 2001 εισήχθη ξανά στο National Inventors Hall of Fame, αυτή τη φορά για την κατοχύρωση της πατέντας του πρώτου συστήματος Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού και την ίδια χρονιά του απονεμήθηκε το βραβείο Lemelson-MIT Lifetime Achievement Award για τη δημιουργία του πρώτου ολόσωμου σαρωτή και τη λήψη της πρώτης εικόνας του



Ο Damadian σε αυτή του τη μάχη είχε πολλούς υποστηρικτές από την επιστημονική κοινότητα όπως ο John Throck Watson, Eugene Feigelson, V. Adrian Parsegian, David D. Stark, James Mattson κ.α. [49] υπάρχουν όμως και αυτοί που θεωρούσαν πως το αποτέλεσμα ήταν δίκαιο και διαφώνησαν με τον τρόπο που προσπαθούσε να βρει το δίκιο του. Οι νικητές του βραβείου, ο Paul Lauterbur και ο Sir Peter Mansfield, δεν θέλησαν να δώσουν μεγαλύτερη έκταση στο θέμα οπότε δεν έκαναν κάποιο σχόλιο.

Ο Damadian πίστευε πως χωρίς τη δική του συνεισφορά τα συστήματα απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού δεν θα υπήρχαν. Στο άρθρο Nobel Grudge του Richard F. Harris αναφέρεται "Ο Damadian έχει πει πολλές φορές: "Αν δεν είχα γεννηθεί ποτέ, δεν θα υπήρχε μαγνητικός τομογράφος σήμερα", και "Δεν μπορώ να ξεφύγω από το γεγονός ότι εγώ τα ξεκίνησα όλα", αναφέρουν οι L.A. Times. Αυτό προκάλεσε και τη συγγραφή πολλών άρθρων που κατέκριναν τη συμπεριφορά του. Στο ίδιο άρθρο ο Harris αναφέρει πως η Wall Street Journal τον είχε χαρακτηρίσει ως "ασταμάτητο αυτοδιαφημιζόμενο και πλούσιο επιχειρηματία, χάρη στις δικαστικές αποφάσεις που ευνόησαν την εταιρεία του σε μια διαμάχη που αφορούσε διπλώματα ευρεσιτεχνίας". Στη Journal γράφτηκε πως και οι υποστηρικτές του Damadian αναρωτήθηκαν "αν η τάση του για νομικές μάχες και η αντίληψή του ως ένας εγωιστής είχαν κάποια σχέση με την απόφαση της επιτροπής Νόμπελ". Στη New York Times σημειώθηκε επίσης πως υπήρχε διαμάχη μεταξύ των Damadian και Lauterbur η οποία ήταν γνωστή στην επιστημονική κοινότητα και μάλιστα αρκετοί ανησυχούσαν πως αυτό θα αποτελούσε λόγο να αποφύγει η επιτροπή Νόμπελ την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού. [48]

Γενικά ο Damadian ήταν μια αμφλεγόμενη προσωπικότητα στον επιστημονικό χώρο, τον θεωρούσαν περισσότερο επιχειρηματία παρά γιατρό. Επένδυε πολύ στις δημόσιες σχέσεις και μάλιστα χρηματοδότησε ο ίδιος αρκετά βιβλία που γράφτηκαν για τον εαυτό του. Θα μπορούσαμε να πούμε πως είχε αντιπάλους λόγω του χαρακτήρα του, της συμπεριφοράς που είχε στα συνέδρια, αλλά και λόγω των δημοσιεύσεων του που δεν θεωρούνταν επιστημονικά τεκμηριωμένες από πολλούς. Οι ισχυρισμοί του στηρίζονταν μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και όχι σε κάποια συγκεκριμένη ασθένεια, όπως έδειξαν οι αντίπαλοι του, και οι ισχυρισμοί του δεν ευσταθούσαν. Παρόλα αυτά, αυτό δεν πτοούσε τον Damadian που συνέχιζε να προωθεί τις υποθέσεις του. [53]

### **3.3.2 Η εξαίρεση του Damadian από το βραβείο Νόμπελ**

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, η δουλειά του Damadian στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού είχε ήδη αναγνωριστεί και μάλιστα είχε λάβει και βραβεία, πριν από το 2003 που έγινε η απονομή του βραβείου Νόμπελ. Καθώς οι κανόνες επιτρέπουν να υπάρξουν μέχρι τρεις παραλήπτες και στη συγκεκριμένη περίπτωση το έλαβαν μόνο δύο είναι κατανοητό πως η παράλειψη του Damadian ήταν σκόπιμη. Μόνο το 2053 που η επιτροπή Νόμπελ θα ανοίξει τα αρχεία της και θα μπορούσαμε να μάθουμε με σιγουριά με ποια κριτήρια επιλέχθηκαν οι νικητές, μέχρι τότε όμως ας εξετάσουμε μερικούς από τους λόγους που μπορεί να ευθύνονται για την απόφαση αυτή.

Πολλά από τα άρθρα που έχουν γραφτεί αναφέρουν την αντιπαλότητα που υπήρχε μεταξύ του Damadian και του Lauterbur η οποία προέκυψε από το γεγονός πως ο Lauterbur δεν ανέφερε πουθενά την εργασία του Damadian στο άρθρο που δημοσίευσε το 1973 στο περιοδικό Nature, ενώ την ανέφερε στο εργαστηριακό του σημειωματάριο, δίνοντας έτσι την εντύπωση πως δεν είχε βασιστεί στην προηγούμενη εργασία του Damadian. Υπήρχαν επίσης υπονοούμενα πως ο Lauterbur είχε αφήσει να εννοηθεί ότι δεν θα δεχόταν το βραβείο Νόμπελ αν το μοιραζόταν με τον Damadian, και αυτό μπορεί να είναι ένας από τους λόγους που η επιτροπή επέλεξε να εξαιρεθεί ο Damadian. [47]

Οι υποστηρικτές του Damadian προβάλλουν το επιχείρημα πως σύμφωνα και με την διαθήκη του Alfred Nobel, το βραβείο Φυσιολογίας ή Ιατρικής απονέμεται στην πιο σημαντική ανακάλυψη, και όχι σε βελτιώσεις. Θεωρούν πως τόσο η μέθοδος βαθμίδας του Lauterbur όσο και η ηχοεπίπεδη τεχνική του Mansfield είναι σημαντικά ορόσημα αλλά είναι βελτιώσεις στη μαγνητική τομογραφία και όχι ανακαλύψεις. Χωρίς την ανακάλυψη του πως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ιατρική απεικόνιση, η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού θα εξακολουθούσε να χρησιμοποιείται στη Χημεία και τη Φυσική. Οι υποστηρικτές της απόφασης που πήρε η επιτροπή Νόμπελ να παραλείψει τον Damadian τονίζουν πως το βραβείο δόθηκε για την “απεικόνιση μαγνητικής τομογραφίας”, και ενώ όντως ο Damadian ήταν αυτός που επισήμανε πρώτος τις διαφορές στους χρόνους χαλάρωσης και πως μπορούν να ανιχνευθούν με τη χρήση της απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού η προσέγγιση του ήταν πολύ αργή και αν δεν ανακαλύπτονταν άλλες τεχνικές (όπως του Lauterbur και του Mansfield) θα παρέμενε σε αδιέξοδο.[47]

Η Lynn Dehlinger σε άρθρο της που εξετάζει αυτήν την περίπτωση αναφέρει πως ένας ειδικός στην έρευνα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, ο Mike Smith, πιστεύει πως αυτός που κατάφερε να πάρει πρώτος εικόνες με Πυρηνικό Μαγνητικό Συντονισμό ήταν ο Lauterbur. Ο Dr. Alexander Margulis επίσης είπε πως ο Damadian μόνο μιλούσε, ενώ ο Lauterbur είναι αυτός που έκανε πράξεις και κατάφερε να λάβει εικόνα. Η ίδια πιστεύει πως τόσο ο Lauterbur όσο και ο Mansfield ήταν κατάλληλοι για να λάβουν το βραβείο. Η συνεισφορά του Damadian και οι εφευρέσεις του ήταν επίσης σημαντικά αλλά δεν γίνεται να χαρακτηριστούν πρόδρομοι των σαρωτών των συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού που χρησιμοποιούνται καθώς ακόμα και η ίδια εταιρεία του Damadian υιοθέτησε τις τεχνικές του Lauterbur. [51]

Σε άρθρο του, ο William Bradley αναφέρει δύο πιθανές εξηγήσεις. Η πρώτη είναι πως δόθηκε περισσότερη έμφαση στην απεικόνιση και όχι στον Μαγνητικό Συντονισμό καθώς η αρχική συνεισφορά του Damadian δεν ήταν στην απεικόνιση αυτή καθαυτή αλλά στις διαφορές των χρόνων T1, T2 μεταξύ φυσιολογικών και καρκινικών ιστών. Ο λόγος όμως που θεωρεί πιο πιθανό έχει να κάνει με τη συμπεριφορά του Damadian και τον τρόπο που επέλεξε να προβάλλει τον εαυτό του. Παρότι τον γνώριζε για αρκετά χρόνια και τον θεωρούσε έναν λαμπρό επιστήμονα δεν συμφωνούσε με τον τρόπο που προέβαλε τον εαυτό του και πριν και μετά την ανακοίνωση του βραβείου. Παρόλα αυτά πίστευε πως η επιτροπή Νόμπελ έπρεπε να λάβει την απόφαση της με αποκλειστικό

γνώμονα την επιστήμη και όχι να τη βασίσει στην πολιτική και κοινωνική ευπρέπεια. [52]

Ο Anthony Breitzman έκανε μια εμπειρική ανάλυση ώστε να εντοπίσει τους επιστήμονες που είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην ανάπτυξη της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, βάσει επιστημονικών εγγράφων (εργασιών, διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας) που σχετίζονται με την τεχνολογία Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησε αποτελούνταν από διπλώματα ευρεσιτεχνίας (1972-2003) καθώς και δημοσιεύσεις σε περιοδικά (1970-2003) που αφορούσαν την τεχνολογία Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Από αυτή την ανάλυση βρήκε πως υπάρχουν πέντε επιστήμονες που είναι οι κύριοι υποψήφιοι για την αναγνώριση ως υπεύθυνοι για την ανακάλυψη της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού με πιο βασικούς τους Damadian, Lauterbur και Mansfield. Οι τρεις αυτοί επιστήμονες είχαν τη μεγαλύτερη επιρροή και ξεχωρίζουν όσον αφορά στις πατέντες και τα έγγραφα που σχετίζονται με την Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Ο Damadian είχε πιο έντονη επιρροή στους υπόλοιπους πρωτοπόρους επιστήμονες, ο Mansfield είχε μεγαλύτερη επιρροή όταν η τεχνολογία MRI ωρίμαζε περισσότερο, ενώ ο Lauterbur είχε την πιο σημαντική μεμονομένη εργασία από τους τρεις. Αυτές οι διαφορές στον αντίκτυπο του κάθε επιστήμονα παίζουν σημαντικό ρόλο στο πλαίσιο των κριτηρίων για το βραβείο Νόμπελ και ειδικά όταν αφορά την εστίαση στην αρχική ανακάλυψη. [47]

Πολλά έχουν γραφτεί και από πολλούς επιστημονικούς σχολιαστές είτε υπέρ είτε κατά της άποψης πως ο Damadian θα έπρεπε να έχει λάβει κι αυτός το βραβείο Νόμπελ το 2003 για την έρευνα του. Αρκετές από τις απόψεις επικεντρώνονται γύρω από το τι αποτελεί την “ανακάλυψη-κλειδί” στην Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού και οι ίδιοι οι “αντίπαλοι” επιστήμονες αναγνωρίζουν ο ένας την συμβολή του άλλου ως τέτοια.

### 3.4 Νικητές Βραβείων Νόμπελ με άμεση σχέση με τον Μαγνητικό Συντονισμό

Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν όσοι έχουν βραβευτεί με βραβείο Νόμπελ για ανακαλύψεις που έχουν άμεση σχέση με τον Μαγνητικό Συντονισμό.

Όνομα	Χρονιά	Κατηγορία	Περιγραφή
<b>Paul C. Lauterbur</b>	2003	Φυσιολογίας/Ιατρικής	"Για τις ανακαλύψεις τους σχετικά με την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού"
<b>Sir Peter Mansfield</b>	2003	Φυσιολογίας/Ιατρικής	"Για τις ανακαλύψεις τους σχετικά με την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού"

<b>Kurt Wuthrich</b>	2002	Χημείας	"Για την ανάπτυξη της φασματοσκοπίας πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού για τον προσδιορισμό της τρισδιάστατης δομής βιολογικών μακρομορίων σε διάλυμα"
<b>Richard R. Ernst</b>	1991	Χημείας	"Για τη συμβολή του στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας της φασματοσκοπίας πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) υψηλής ανάλυσης"
<b>Felix Bloch</b>	1952	Φυσικής	"Για την ανάπτυξη νέων μεθόδων για μετρήσεις πυρηνικής μαγνητικής ακρίβειας και τις σχετικές ανακαλύψεις"
<b>Edward Mills Purcell</b>	1952	Φυσικής	"Για την ανάπτυξη νέων μεθόδων για μετρήσεις πυρηνικής μαγνητικής ακρίβειας και τις σχετικές ανακαλύψεις"
<b>Isidor Isaac Rabi</b>	1944	Φυσικής	"Για τη μέθοδο συντονισμού του για την καταγραφή των μαγνητικών ιδιοτήτων των ατομικών πυρήνων"

**Πίνακας 3.1** Νικητές βραβείων Νόμπελ με άμεση σχέση με τον Μαγνητικό Συντονισμό [50]

Άλλοι νικητές βραβείων Νόμπελ οι οποίοι έχουν συμβάλει έμμεσα στην ανάπτυξη του μαγνητικού συντονισμού είναι οι: Alfred Kastler, John H. Van Vleck, Nicolaas Bloembergen, K. Alexander Müller, Hans G. Dehmelt και Norman F. Ramsey. Όλοι αυτοί οι νικητές έχουν λάβει το βραβείο Νόμπελ στην κατηγορία Φυσικής.

Ποιο συγκεκριμένα ο Alfred Kastler, Γάλλος φυσικός, έλαβε το βραβείο Νόμπελ το 1966 για την ανακάλυψη και την ανάπτυξη οπτικών μεθόδων για τη μελέτη των συντονισμών Hertzian των ατόμων. Οι συντονισμοί αυτοί προκύπτουν κατά την αλληλεπίδραση των ατόμων ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία έχει συχνότητα τουλάχιστον χίλιες φορές μικρότερη από αυτή του ορατού φωτός. Αυτό αποτελεί έναν μηχανισμό διέγερσης με τη χρήση οπτικής ή ραδιοφωνικής ακτινοβολίας το οποίο είναι

αναγκαίο για την εκπομπή ακτινοβολίας λείζερ. [54]

Ο John H. Van Vleck, Αμερικανός φυσικός και μαθηματικός, κέρδισε το βραβείο Νόμπελ το 1977, μαζί με άλλους δύο επιστήμονες, “για τις θεωρητικές του έρευνες σχετικά με την ηλεκτρονική δομή των μαγνητικών και διαταραγμένων συστημάτων” οι οποίες ήταν σημαντικές για να κατανοηθεί η συμπεριφορά του ηλεκτρονικού μαγνητισμού στα στερεά. [55]

Ο Nicolaas Bloembergen, Ολλανδο-Αμερικάνος φυσικός, κέρδισε το βραβείο Νόμπελ το 1981, μαζί με τους Arthur Schawlow και Kai Siegbahn, για τη συμβολή τους στην ανάπτυξη της φασματοσκοπίας λείζερ. Ο Bloembergen ξεχώρισε ανάμεσα στους άλλους δύο συναδέλφους του διότι χάρη σε αυτόν δημιουργήθηκε ένα νέο επιστημονικό πεδίο που λέγεται “Μη γραμμική οπτική”. [56]

Ο Karl Alexander Müller, Ελβετός φυσικός, πήρε το βραβείο Νόμπελ το 1987 για “την ανακάλυψη της υπεραγωγιμότητας σε κεραμικά υλικά”. [57]

Ο Hans G. Dehmelt, Γερμανο-Αμερικάνος φυσικός, κέρδισε το βραβείο Νόμπελ το 1989 για την ανάπτυξη της παγίδας ιόντων (ion trap technique) το οποίο έκανε σε συνεργασία με τον Wolfgang Pauli. Η τεχνική τους αυτή χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της μαγνητικής ροπής των ηλεκτρονίων. Ο Dehmelt εκείνη τη χρονιά μοιράστηκε το βραβείο με τον Norman F. Ramsey, έναν Αμερικάνο φυσικό που έλαβε το βραβείο για την “εφεύρεση της μεθόδου διαχωρισμένων ταλαντωτικών πεδίων και τη χρήση της στο μείζερ υδρογόνου και σε άλλα ατομικά ρολόγια”. [58],[59]



**Εικόνα 3.4** Από αριστερά προς τα δεξιά: *Alfred Kastler, John H. Van Vleck και Nicolaas Bloembergen [54],[55],[56]*



**Εικόνα 3.5** Από αριστερά προς τα δεξιά: *K. Alexander Müller, Hans G. Dehmelt και Norman F. Ramsey* [57],[58],[59]

Κάθε επιστήμονας πρέπει να παλεύει και να υπερασπίζεται το έργο του, πρέπει όμως και να το κάνει με τον σωστό τρόπο. Αρκεί να αναλογιστούμε πόσες διαμάχες και τσακωμοί θα υπήρχαν στην επιστημονική κοινότητα αν όλοι όσοι ενιωθαν αδικημένοι είχαν αντίστοιχη συμπεριφορά με αυτή του Raymond Damadian όταν δεν κέρδισε το βραβείο Νόμπελ. Αυτός ο τρόπος όχι μόνο δεν είναι εποικοδομητικός αλλά προκαλεί διχασμό και ακόμα και αντιπάθειες στην επιστημονική κοινότητα. Δεν πρέπει να ξεχνάμε πως τα βραβεία και οι τίτλοι δίνονται από ανθρώπους σε ανθρώπους, όσο κι αν θέλουμε να είμαστε αντικειμενικοί αυτό μπορεί να μην είναι πάντα εφικτό. Πολλοί άνθρωποι, ακόμα και άθελα τους μπορεί να πάρουν αποφάσεις οι οποίες δεν έχουν ληφθεί με απόλυτα αντικειμενικά κριτήρια. Σε όλους τους χώρους οι δημόσιες σχέσεις μετρούν και η επιστημονική κοινότητα δεν αποτελεί εξαίρεση.

Κάθε επιστήμονας προκειμένου να διαφυλάξει τα πρωτία θα είναι καλό να έχει τρόπο να αποδείξει τη συνεισφορά του σε οποιαδήποτε καινοτομία και τεχνολογική εξέλιξη και θα πρέπει να έχει κατοχυρώνει τις ιδέες και τις πατέντες του. Καλό είναι να υπάρχουν γραπτά όσο πιο αναλυτικά γίνεται και υπογεγραμμένα και από άλλους συναδέλφους που ήταν παρόντες, όπως έχουν κάνει αρκετοί στο παρελθόν. Αυτό βοηθά όχι μόνο στο να δούμε κατά πόσο κάποιος έχει συνεισφέρει με τη δουλειά του σε μια νέα τεχνολογία ή ανακάλυψη, αλλά και στο να μπορεί να βρεθεί η σωστή χρονική σειρά των γεγονότων.

Βέβαια, ακόμα κι αν γίνουν όλα αυτά θα είναι αδύνατο να επιβραβευτούν όλοι με ένα βραβείο Νόμπελ καθώς ο αριθμός των νικητών είναι συγκεκριμένος και στους τομείς των θετικών επιστημών έχουν σκοπό, να βραβεύσουν τα πρόσωπα με τη σημαντικότερη ανακάλυψη σύμφωνα με τον Άλφρεντ Νόμπελ. Η γραμμή μεταξύ της ανακάλυψης όμως και της εξέλιξης μιας ανακάλυψης είναι λεπτή και μπορούν εύκολα να προκύψουν αδικίες.



Είναι λογικό να μην μπορέσουν όλοι να βραβευτούν όσο κι αν πιστεύουν στο έργο τους αυτό όμως δεν πρέπει να είναι αποθαρρυντικό. Ίσως όμως να πρέπει να αναλογιστούμε πως έχει έρθει η ώρα να γίνουν κάποιες τροποποιήσεις στους κανόνες. Πλέον οι έρευνες που πραγματοποιούνται είναι περισσότερο αποτέλεσμα συνεργασίας των επιστημόνων και όχι ενός μεμονωμένου ατόμου. Αυτό σημαίνει πως όταν έρθει η ώρα να επιλεγούν οι νικητές των βραβείων η επιτροπή θα έχει μεγάλη δυσκολία να επιλέξει ποιοι έχουν ξεχωρίσει και θα είναι πολύ δύσκολο να μην αδικηθεί κανείς. Παρόλα αυτά, στόχος των επιστημόνων δεν πρέπει να είναι η βράβευση, παρόλο που αποτελεί ένα σημαντικό κίνητρο, αλλά η επιθυμία για πρόοδο, για τη συνεχή καλύτερευση της ζωής όλων των ανθρώπων και την απόκτηση γνώσης.

## **Κεφάλαιο 4. Μονάδες Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα**

Στην Ελλάδα, η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού γνώρισε μεγάλη αναγνώριση καθώς υπήρχε εμπιστοσύνη στις ιατρικές εικόνες, οι εμπειρογνώμονες το είδαν σαν ευκαιρία να αποκτήσουν περισσότερες αρμοδιότητες αλλά και κέρδος και υπήρχε έλλειψη κεντρικού σχεδιασμού. Δημοσιεύσεις του περιοδικού “Επιθεώρηση υγείας” έδειξαν πως το 1987 άνοιξαν δέκα διαγνωστικά κέντρα τα οποία αποτελούσαν μεγάλες επενδύσεις ενώ ταυτόχρονα τα κέντρα υγείας αγροτικών περιοχών παρουσίαζαν έλλειψη τόσο σε ιατροτεχνολογικό εξοπλισμό όσο και σε εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι ασθενείς να πρέπει να μεταφερθούν σε νοσοκομεία που βρίσκονταν σε αστικά κέντρα και έτσι δημιουργούνταν μεγάλες λίστες αναμονής.

Από το 1974 ήδη θεσπίστηκε νομοθεσία που αφορούσε την προστασία από ιοντίζουσες ακτινοβολίες, στο οποίο ανήκουν και τα μηχανήματα ακτίνων Χ και τα πυρηνικά μηχανήματα. Το 1988 συστάθηκε στην Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) μια ειδική επιτροπή για τις άδειες και τους ελέγχους. Το 2001 καθορίστηκαν κανονισμοί ακτινοπροστασίας αλλά και μια συγκεκριμένη διαδικασία με την οποία θα χορηγούνταν άδειες σχετικά με τη λειτουργία των απεικονιστικών συστημάτων που χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία. Λίγο αργότερα, το 2008 καθορίστηκαν συγκεκριμένες προδιαγραφές και διαδικασίες για την χορήγηση άδειας λειτουργίας για συγκεκριμένο σκοπό, και δόθηκαν επιπλέον άδειες για συσκευές υψηλής τεχνολογίας. Στο διάστημα 2010-2013 υπήρχαν αλλαγές στο νομικό πλαίσιο σχεδόν κάθε χρόνο. Τον Οκτώβρη του 2013 εκδόθηκε υπουργική απόφαση σχετικά με την κατάργηση των πληθυσμιακών κριτηρίων για την εγκατάσταση και λειτουργία τόσο των αξονικών τομογράφων όσο και των συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Από την απόφαση αυτή μεγάλο όφελος είχαν οι μεγάλες αλυσίδες διαγνωστικών κέντρων καθώς μετά τη δημοσίευση της υπουργικής αυτής απόφασης κατατέθηκαν είκοσι δύο αιτήσεις για την εγκατάσταση αξονικών τομογράφων και συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, από τις οποίες τα  $\frac{2}{3}$  αφορούσαν δύο πολύ μεγάλους ομίλους. [73]

Όσον αφορά τα μηχανήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού υπήρχε μεγάλη διαφορά στα διαθέσιμα μηχανήματα μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα η οποία έγινε ακόμα πιο έντονη μετά το 2004 καθώς προστέθηκαν 153 νέα μηχανήματα στον ιδιωτικό τομέα. Γενικά τα μηχανήματα που υπάρχουν στον δημόσιο τομέα, εκτός του ότι είναι λιγότερα σε αριθμό λειτουργούν και λιγότερο καθώς η πλειοψηφία των εξετάσεων γίνεται σε ιδιωτικά διαγνωστικά κέντρα, οπότε ως αποτέλεσμα δεν υπάρχει και το απαραίτητο προσωπικό.[73]

Το πρώτο σύστημα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού υποστηρίζεται πως εγκαταστάθηκε στην Ελλάδα το 1986 , στον όμιλο Ιατρόπολις, που τότε ονομαζόταν Μαγνητική Τομογραφία και αποτελούσε μια πρωτοποριακή μέθοδο απεικόνισης για

την εποχή αλλά και πιο ασφαλή καθώς οι ασθενείς δεν επιβαρύνονται με ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Υπάρχουν προφορικές αναφορές ότι είχε εγκατασταθεί και ένα σύστημα στο πανεπιστημιακό νοσοκομείο «Αρεταίειο», οι οποίες όμως δεν έχουν επιβεβαιωθεί βιβλιογραφικά, στην παρούσα μελέτη. Στη συνέχεια το 1989 εγκαταστάθηκε το πρώτο σύστημα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού σε νοσοκομείο στην Ελλάδα, και πιο συγκεκριμένα στο νοσοκομείο “ΥΓΕΙΑ”. Η εξέλιξη του απεικονιστικού τμήματος στο νοσοκομείο αυτό, όσον αφορά την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού είχε ως εξής: [60],[61]

- Όπως αναφέρθηκε το 1989 έγινε η εγκατάσταση του πρώτου συστήματος Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού σε νοσοκομείο και μάλιστα τον ίδιο χρόνο έγιναν μαγνητικές αγγειογραφίες των μεγάλων αγγείων του σώματος και της καρδιάς.
- Το 1993 έγιναν οι πρώτες μαγνητικές μαστογραφίες και πυελογραφίες
- Το 1995 στο τμήμα μαγνητικής τομογραφίας εφαρμόστηκε η μαγνητική χολαγγειογραφία (MRCP).
- Το 1997 έγινε χρήση των πρωτοποριακών τεχνικών της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού: fusion, perfusion, δεσμιδογραφίας (DTI) και φασματοσκοπίας (f-MRI).
- Το 1999 χρησιμοποιήθηκε η τεχνική bolus track για την απεικόνιση ολόκληρου του ανθρώπινου σώματος και των αγγείων του με τη χρήση συστήματος Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού (All body MRI και MRA).
- Το 2002 δημιουργήθηκε το τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης Μαγνητικής Καρδιάς λόγω των ιδιαιτεροτήτων των καρδιολογικών παθήσεων.
- Το 2006 έγινε χρήση του συστήματος Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού για την εφαρμογή της τεχνικής της εν τω βάθει νευροδιέγερσης με στόχο τη θεραπεία σπάνιων νοσημάτων του εγκεφάλου.
- Το 2016 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες εξετάσεις με σύντηξη εικόνων υπερήχων και μαγνητικής, που επέτρεψαν τη διενέργεια βιοψιών του προστάτου αδένου με απόλυτη ακρίβεια (USMR Biopsy fusion).

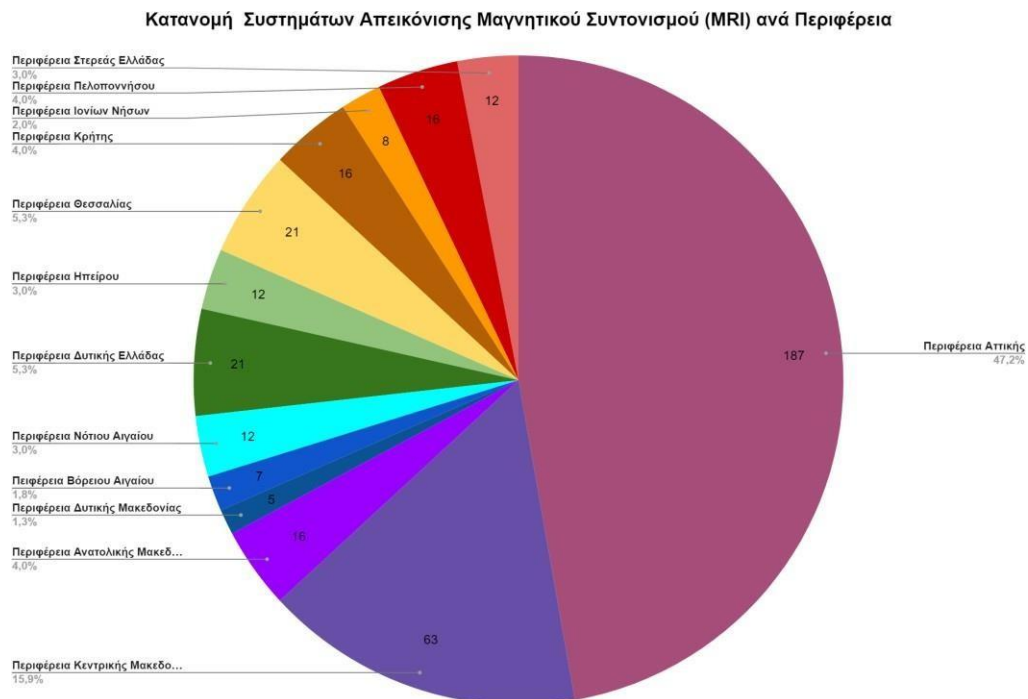
Πλέον, εν έτη 2023, έχει υπάρξει τόσο μεγάλη εξέλιξη της τεχνολογίας που υπάρχουν σε πολλά νοσοκομεία της χώρας, ιδιωτικά και δημόσια, εξελιγμένα συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού 1,5T και 3T. Τα συστήματα αυτά, προσφέρουν άνεση στους ασθενείς, μείωση του χρόνου σάρωσης και του θορύβου. Ειδικότερα οι μονάδες 3T έχουν μεγαλύτερο άνοιγμα, οπότε είναι ακόμα καταλληλότεροι για ασθενείς με κλειστοφοβία, και λόγω του μαγνητικού πεδίου μεγαλύτερης έντασης προσφέρουν εικόνες μεγαλύτερης ευκρίνειας. Υπάρχουν εξελιγμένα μοντέλα που χρησιμοποιούν Τεχνητή Νοημοσύνη, για παράδειγμα το σύστημα απεικόνισης

μαγνητικού συντονισμού 3 TESLA Magnetom Vida για την ανίχνευση ύποπτων όζων στους πνεύμονες. Όλα αυτά συντελούν στο να μπορούν να πραγματοποιηθούν τόσο εξετάσεις ρουτίνας όσο και πιο εξειδικευμένες εξετάσεις διαγνωστικού και ερευνητικού επιπέδου όπως πολυπαραμετρική μελέτη του προστάτη, η Μαγνητική Φασματοσκοπία του εγκεφάλου (MR spectroscopy), η Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού του εγκεφάλου και η μαγνητική δεσμιδογραφία.

#### 4.1 Κατανομή μονάδων απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού στην Ελλάδα

Οι εξελίξεις στη βιοϊατρική τεχνολογία και η ανάπτυξη νέων τεχνικών και εξοπλισμού έχουν αλλάξει τον τρόπο που παρέχεται η φροντίδα υγείας. Ο διαθέσιμος ιατρικός εξοπλισμός έχει μεγάλο ρόλο στη βελτίωση της φροντίδας της υγείας και στην Ελλάδα υπάρχει μια έντονη ανισότητα στην κατανομή του σε διάφορες περιοχές της χώρας, επομένως θα πρέπει να αξιολογηθεί ο εγκατεστημένος εξοπλισμός ώστε να δούμε τι απαιτήσεις υπάρχουν για νέο εξοπλισμό.

Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού μας δίνει τη δυνατότητα ανίχνευσης πολλών διαφορετικών βλαβών καθώς έχει εφαρμογή στις περισσότερες ανατομικές περιοχές. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η κατανομή των εγκατεστημένων μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στις περιφέρειες της Ελλάδας με δεδομένα από την Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) επικαιροποιημένα τον Ιούλιο του 2023.



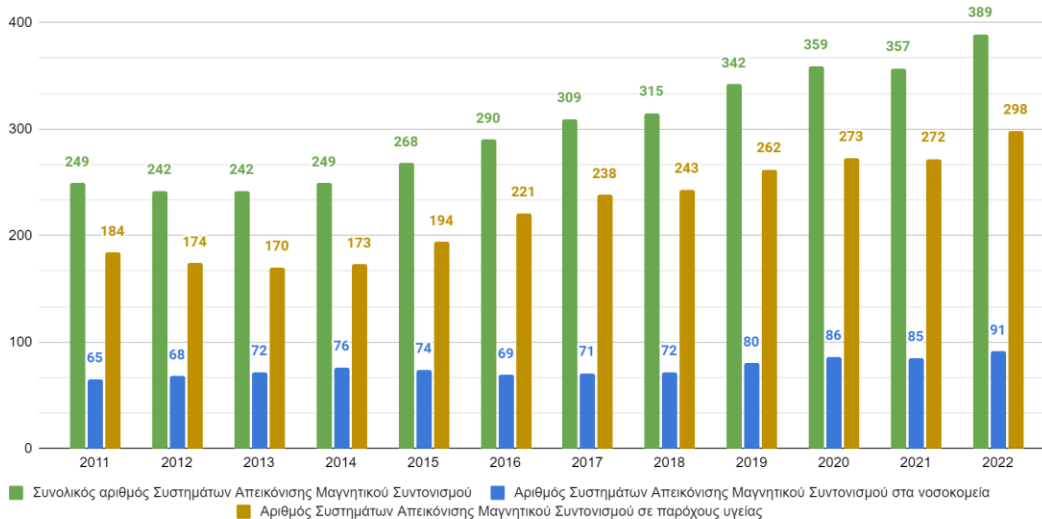
Εικόνα 4.1 Κατανομή Συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ανά Περιφέρεια [67]

Ο μεγαλύτερος αριθμός εγκατεστημένων μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού εντοπίζεται στις περιφέρειες Αττικής και Κεντρικής Μακεδονίας,

γεγονός που δεν προκαλεί εντύπωση αν αναλογιστούμε τον πληθυσμό των δύο αυτών περιφερειών. Ο αμέσως επόμενος μεγαλύτερος αριθμός εγκατεστημένων μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού υπάρχει στις περιφέρειες Δυτικής Ελλάδας και στην περιφέρεια Θεσσαλίας ενώ οι περιφέρειες με τα λιγότερα εγκατεστημένα συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού είναι οι περιφέρειες Ιονίων Νησιών, Βορείου Αιγαίου και Δυτικής Μακεδονίας. Παντελής απουσία μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού υπάρχει σε δώδεκα περιφερειακές ενότητες στην Ελλάδα από τις οποίες οι εννέα αντιστοιχούν σε νησιά (Θάσου, Ικαρίας, Άνδρου, Καλύμνου, Καρπάθου, Μήλου, Μυκόνου, Τήνου και Σποράδων) και οι υπόλοιπες τρεις σε περιφέρειες της ηπειρωτικής Ελλάδας (Γρεβενών, Ευρυτανίας, Φωκίδας). [67]

Προκειμένου να αξιολογήσουμε την κατανομή των μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού μελετήθηκε ο συνολικός αριθμός μονάδων MRI, ο αριθμός μονάδων MRI που βρίσκεται σε νοσοκομεία και παρόχους υγείας, και η κατανομή τους ανά 1.000.000 κατοίκους με δεδομένα από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) (Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)) για το διάστημα 2011-2022. Τα δεδομένα που πήραμε αποτυπώνονται στα διαγράμματα 4.2 και 4.3.

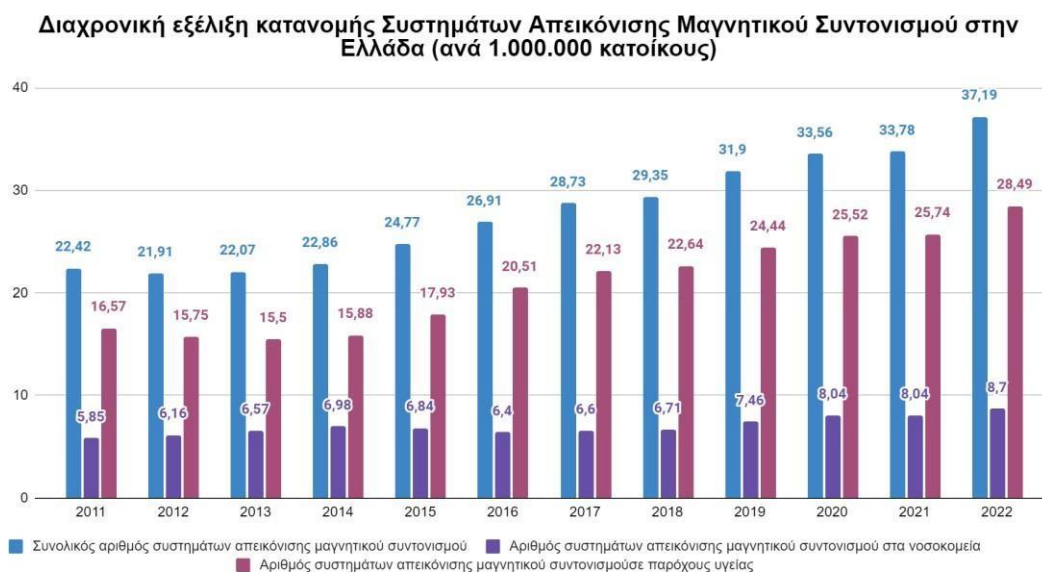
Διαχρονική εξέλιξη αριθμού Συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα



Διάγραμμα 4.2 Διαχρονική εξέλιξη κατανομής Συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα [68]

Μελετώντας το διάγραμμα 4.2 βλέπουμε πως το 2012-2013 υπήρξε μια μικρή μείωση στον συνολικό αριθμό των μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού σε σχέση με το 2011, η οποία όμως από το 2014 και μετά σημειώνει σταθερά ανοδική πορεία με εξαίρεση μόνο το 2021. Αυτό που παρατηρούμε επίσης είναι πως ενώ ο αριθμός των μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού σημειώνει σταθερά αύξηση, η αύξηση αυτή είναι πιο αισθητή στους παρόχους υγείας ενώ στα νοσοκομεία η αύξηση της γίνεται με αρκετά μικρότερη ταχύτητα. Μάλιστα αν παρατηρήσουμε, μείωση στις μονάδες Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στους παρόχους υγείας υπήρξε στο

διάστημα 2012-2014 και το 2021 η οποία όμως μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα καθώς πρόκειται για μια μόνο μονάδα. Αντίστοιχα, στα νοσοκομεία βλέπουμε να υπάρχει μια μείωση του αριθμού των μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού το 2015 και 2016, (μέχρι να έρθει πάλι σε θετικές μεταβολές το 2019) και το 2021 η οποία όμως μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα καθώς πρόκειται για μια μόνο μονάδα.



**Διάγραμμα 4.3** Διαχρονική εξέλιξη κατανομής συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα ανά 1.000.000 κατοίκους [68]

Από το διάγραμμα 4.3 παρατηρούμε πως το 2012 υπάρχει μια μείωση φτάνοντας τα 21,91 συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ανά 1.000.000 κατοίκους ενώ τα επόμενα χρόνια μέχρι και το 2022 που αυτός ο αριθμός έχει φτάσει το 37,19 υπάρχει σταθερή αύξηση. Επίσης βλέπουμε πως υπήρξε μείωση στον αριθμό των μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στους παρόχους υγείας ανά 1.000.000 κατοίκους στο διάστημα 2012-2014 που επιβεβαιώνει τα στοιχεία που πήραμε και από το διάγραμμα 4.2. Αντίστοιχα επιβεβαιώνεται και η μείωση τους στα νοσοκομεία το διάστημα 2015-2016.

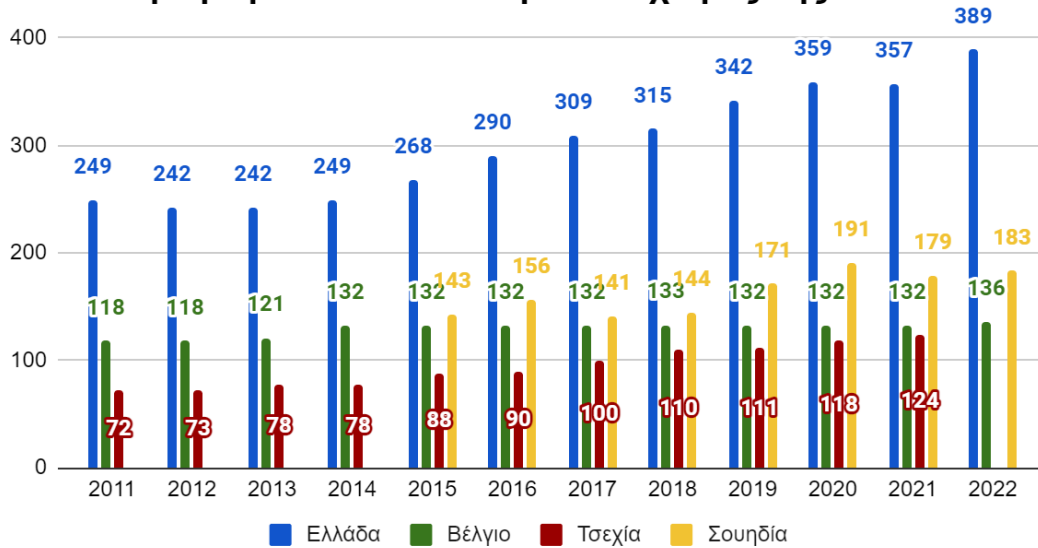
Υπάρχει πολύ γρήγορη πρόοδος στον αριθμό συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αν αναλογιστούμε πως το 2003 με βάση στοιχεία του ΟΟΣΑ υπήρχε στην Ελλάδα 1,5 σύστημα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ανά 1.000.000 κατοίκους και το 2011 ο αριθμός αυτός ήταν 20 φορές μεγαλύτερος με αντιστοιχία 22,42 συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ανά 1.000.000 κατοίκους. [75]

#### 4.1.1 Σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Για να αξιολογηθεί η επάρκεια της Ελλάδας σε μονάδες απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού γίνεται μια σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχουν αντίστοιχο πληθυσμό [69] όπως το Βέλγιο, η Τσεχία, η Σουηδία και η Πορτογαλία. Η σύγκριση αυτή φαίνεται στο διάγραμμα 4.4. Από το διάγραμμα αυτό λείπουν στοιχεία

για τον αριθμό μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού της Σουηδίας το διάστημα 2011-2014 και για την Τσεχία το 2022 καθώς δεν ήταν διαθέσιμα. Παρατηρούμε πως διαχρονικά η Ελλάδα έχει τον υψηλότερο αριθμό μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες.

### Διαχρονική εξέλιξη αριθμού συστημάτων απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού σε χώρες της Ε.Ε.



**Διάγραμμα 4.4** Διαχρονική εξέλιξη κατανομής μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού σε χώρες της Ε.Ε. [68]

Σύμφωνα με την έκθεση του ΟΟΣΑ "Health at a glance 2021" τις δύο τελευταίες δεκαετίες η διαθεσιμότητα σε αξονικούς τομογράφους, τομογράφους PET και μονάδες Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αυξήθηκε σημαντικά. Μάλιστα ο αριθμός των τριών αυτών τεχνολογιών είναι υψηλότερος από τον μέσο όρο του ΟΟΣΑ στην Αυστρία, τη Γερμανία, την Ελλάδα, την Ισλανδία, την Ιταλία, την Κορέα και την Ελβετία. [70] Μάλιστα η Ελλάδα έχει υψηλότερο αριθμό μονάδων σε σχέση με τον πληθυσμό συγκριτικά με άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όχι μόνο στα συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αλλά και στους αξονικούς τομογράφους και στα μηχανήματα μαστογραφίας. [71]

#### 4.2 Χρήση μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα

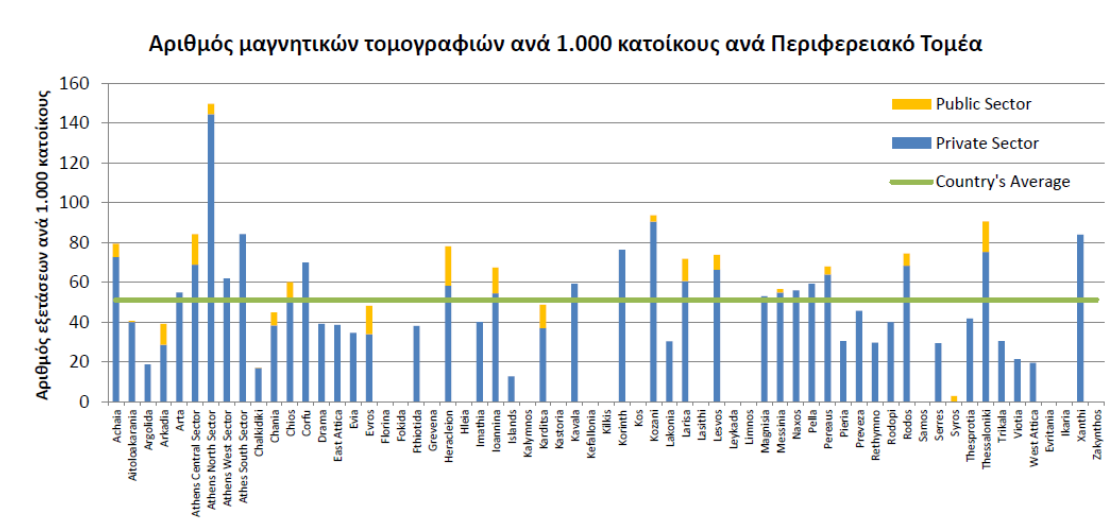
Στη συνέχεια παρατίθεται ένας πίνακας ο οποίος έχει δεδομένα για τον αριθμό των εξετάσεων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού που πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα στο διάστημα 2013-2016 στον ιδιωτικό και στον δημόσιο τομέα. Τα δεδομένα αυτά πάρθηκαν από έκθεση που συντάχθηκε από το Ινστιτούτο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας (INBIT) σε συνεργασία με την Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδος (ΕΦΙΕ) το 2017, γι' αυτό και τα δεδομένα σταματούν στη χρονιά 2016. [71]

Από τον πίνακα λοιπόν βλέπουμε πως η εξέταση Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αυξάνεται σταθερά και η μεγάλη πλειοψηφία των εξετάσεων γίνεται στον ιδιωτικό τομέα. Να σημειωθεί πως ο αριθμός των εξετάσεων αφορά τις εξετάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μέσω του Εθνικού Οργανισμού Υπηρεσιών Υγείας (ΕΟΠΥΥ) επομένως ο πραγματικός αριθμός των μαγνητικών που έχουν πραγματοποιηθεί τις συγκεκριμένες χρονιές ενδέχεται να είναι υψηλότερος.

Έτος	Εξετάσεις ανά έτος		
	Δημόσιος τομέας	Ιδιωτικός τομέας	Σύνολο
2013	55.471	496.049	551.520
2014	59.542	535.316	594.858
2015	58.087	557.350	615.437
2016	59.546	614.365	673.911

**Πίνακας 4.1** Αριθμός εξετάσεων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα [71]

Το 2016 το κόστος για τις εξετάσεις Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ορίστηκε σε 236€ ανά εξέταση στον δημόσιο τομέα και 125€ ανά εξέταση στον ιδιωτικό τομέα, τα οποία αποζημιώνονται από τον ΕΟΠΥΥ. Η αποζημίωση αυτή είναι περίπου το 85% του κόστους της εξέτασης και το υπόλοιπο 15% καταβάλλεται από τον εκάστοτε ασθενή. Όσον αφορά τις εξετάσεις που γίνονται ανά πληθυσμιακή αναλογία όπως είναι αναμενόμενο τα υψηλότερα νούμερα εμφανίζονται στις περιφέρειες με μεγάλες πόλεις και επιβεβαιώνεται στο διάγραμμα 4.5 που είναι από την έκθεση του INBIT και ΕΦΙΕ του 2017. [71]



**Διάγραμμα 4.5** Αριθμός εξετάσεων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ανά 1000 κατοίκους ανά περιφερειακό τομέα. Συμπεριλαμβάνονται τομείς χωρίς διαθέσιμες μονάδες.

[71]



#### 4.3 Κόστος χρήσης μονάδων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα

Για να υπολογιστεί το κόστος χρήσης των συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού χρησιμοποιείται η μέθοδος σταθμισμένων συντελεστών. Υπάρχει μια συγκεκριμένη τιμή που εφαρμόζεται ανάλογα την κατηγορία του μηχανήματος που χρησιμοποιείται. Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτή την τιμή και τον αριθμό των διαθέσιμων μηχανημάτων ανά κατηγορία στην Ελλάδα υπολογίζεται ένας συντελεστής ο οποίος εφαρμόζεται ανά εξέταση ώστε να βρεθεί το συνολικό κόστος αποζημίωσης από τον ΕΟΠΥΥ και το κόστος ιδιωτικής κάλυψης για τις εξετάσεις Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ανά έτος. Οι υπολογισμοί αυτοί φαίνονται στον πίνακα 4.2 και στον πίνακα 4.3 γίνεται ο υπολογισμός του κόστους των εξετάσεων απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού στην Ελλάδα για έτη 2013-2016. [72]

Κατηγορία συστήματος μαγνητικού συντονισμού	Αριθμός συστημάτων μαγνητικού συντονισμού ανά κατηγορία (1)	Αποζημίωση ΕΟΠΥΥ ανά Κατηγορία προ αναμόρφωσης τιμών (3)	Αποζημίωση ΕΟΠΥΥ ανά Κατηγορία μετά αναμόρφωσης τιμών (3)	Σταθμισμένος συντελεστής βάσει αριθμού μηχανημάτων (4)	Σταθμισμένη Αξία Αποζημίωσης ΕΟΠΥΥ ανά Κατηγορία προ αναμόρφωσης τιμών (5)=(2)*(4)	Σταθμισμένη Αξία Αποζημίωσης ΕΟΠΥΥ ανά Κατηγορία μετά αναμόρφωσης τιμών (6)=(3)*(4)	Τιμή βάσει κρατικού τιμολογίου (7)	Ιδιωτική κάλυψη ανά κατηγορία (8)=(7)*15%
<b>B ≤ 0,5T</b>	20	110,70€	95,00€	20/297	7,45€	6,40€	236,95€	35,54€
<b>0,6T ≤ B ≤ 1,4T</b>	45	135,30€	110,00€	45/297	20,50€	16,67€	236,95€	35,54€
<b>1,5T ≤ B ≤ 2,9T</b>	218	147,60€	135,00€	218/297	108,34€	99,09€	236,95€	35,54€
<b>B ≥ 3T</b>	14	147,60€	145,00€	14/297	6,96€	6,84€	236,95€	35,54€
<b>Σύνολο</b>	297				143,25€	128,99€		

Πίνακας 4.2 Υπολογισμός Σταθμισμένης Αξίας Αποζημίωσης ΕΟΠΥΥ και Ιδιωτικής Κάλυψης ανά Κατηγορία Συστήματος Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα [72]

	Αριθμός Εξετάσεων Μαγνητικής Τομογραφίας (1)	Σταθμισμένη Αξία Αποζημίωσης ΕΟΠΥΥ ανά εξέταση προ αναμόρφωσης τιμών (2)	Συνολικό Ετήσιο Κόστος Αποζημίωσης ΕΟΠΥΥ (3) = (1) * (2)	Ιδιωτική Κάλυψη ανά Εξέταση (4)	Συνολικό Ετήσιο Κόστος Ιδιωτικής Κάλυψης (5) = (1) * (4)
<b>2013</b>	551.520	143,25 €	79.006.075,64 €	35,54 €	19.602.399,60 €
<b>2014</b>	594.858	143,25 €	85.214.309,80 €	35,54 €	21.142.740,47 €
<b>2015</b>	615.437	143,25 €	88.162.282,73 €	35,54 €	21.874.169,57 €
<b>2016</b>	673.911	143,25 €	96.538.771,83 €	35,54 €	23.952.481,72 €

**Πίνακας 4.3** Υπολογισμός Ετήσιου Κόστους για Εξετάσεις Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα κατά τα έτη 2013-2016 [72]

Από τους δύο παραπάνω πίνακες βλέπουμε πως κατά μέσο όρο 87 εκατομμύρια ευρώ δαπανήθηκαν από τον ΕΟΠΥΥ και 21 εκατομμύρια ευρώ από τους ασφαλισμένους για τις εξετάσεις Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα για το διάστημα 2013-2016

#### 4.4 Πρακτικές ασφάλειας στην Ελλάδα

Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού έχει μεγάλη διαγνωστική αξία και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ευρεία χρήση της στο κλινικό περιβάλλον. Παγκοσμίως υπάρχουν περισσότερα από 30.000 εγκατεστημένα συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού και εκατομμύρια εξετάσεις πραγματοποιούνται ετησίως, επομένως είναι αυτονόητο το πόσο απαραίτητη είναι η διασφάλιση της ασφάλειας των ασθενών και του προσωπικού. Οι κίνδυνοι που υπάρχουν σχετίζονται με την παρουσία των μαγνητικών πεδίων και τις ιατρικές συσκευές και τα εμφυτεύματα εντός του ανθρώπινου σώματος, τα οποία με την πάροδο του χρόνου γίνονται όλο και περισσότερα. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών (FDA) ανέφερε αύξηση 310% μέσα σε τέσσερα χρόνια στα περιστατικά ασφαλείας που αφορούν τους μαγνητικούς τομογράφους συνεπώς οι πολιτικές ασφάλειας έχουν μεγάλη σημασία.

Ο αυξημένος αριθμός των ανθρώπων με ιατρικές συσκευές και εμφυτεύματα καθιστά τον έλεγχο των ασθενών πριν από την εξέταση εξαιρετικά σημαντικό καθώς είναι και το πρώτο βήμα προκειμένου να εξασφαλιστεί πως μόνο άτομα που πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις θα μπουν στον χώρο που θα γίνει η εξέταση απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού. Δεν είναι λίγα τα περιστατικά που έχουν αναφερθεί τα οποία έχουν προκύψει και οφείλονται σε μη σωστή διεξαγωγή του αρχικού ελέγχου και στο

ότι το προσωπικό δεν είχε όλες τις πληροφορίες για την ύπαρξη σιδηρομαγνητικών υλικών. Με βάση μελέτη που έχει γίνει πάνω από το 25% των συμβάντων που έχουν σχέση με τις διαδικασίες διαλογής αφορούσαν την ύπαρξη κάποιου αντικειμένου που δεν ήταν ασφαλές να εισαχθεί στο χώρο της εξέτασης. Πρέπει λοιπόν να υπάρχουν καλά δομημένα έντυπα διαλογής, έντυπα συγκατάθεσης για τους ασθενείς, που με βάση πολλά εγχειρίδια είναι ένα απαραίτητο βήμα ασφάλειας πριν από την εξέταση. Το Αμερικανικό Κολλέγιο Ακτινολογίας (ACR) έχει προτείνει σαν συμπληρωματικό εργαλείο την εφαρμογή σιδηρομαγνητικών ανιχνευτών.

Σημαντικός για την ασφάλεια είναι και ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων και η κατάλληλη σήμανση των τμημάτων απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού. Στις κατευθυντήριες γραμμές ασφαλείας του ACR υπάρχει ένα σύστημα από τέσσερις ζώνες, η καθεμία με συγκεκριμένο σχεδιασμό και σήμανση, οι οποίες βρίσκονται υπό την επίβλεψη του προσωπικού. Επίσης έχει γίνει πρόταση να υπάρχουν πινακίδες που αφορούν τα ισχυρά μαγνητικά πεδία, προειδοποιήσεις "κινδύνου" και προειδοποίηση ότι ο μαγνήτης είναι πάντα ενεργοποιημένος. Στην Ελλάδα, η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) έχει επίσης εκδώσει ένα πρωτόκολλο ασφαλείας που προτείνει τη χρήση κατάλληλης σήμανσης, με υποχρεωτική σήμανση εντός της περιοχής όπου το μαγνητικό πεδίο υπερβαίνει τα 5 Gauss.

Ο εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης (πχ πυροσβεστήρες ή συσκευές επείγουσας ανάνηψης) πρέπει επίσης να ελέγχεται ότι είναι πλήρως συμβατός με το περιβάλλον MR. Η επικοινωνία αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση στην ανάπτυξη σχεδίων έκτακτης ανάγκης για ακτινολογικά επείγοντα περιστατικά. Πρέπει να υπάρχουν σχέδια ώστε να είμαστε έτοιμοι για κάθε έκτακτη ανάγκη, είτε αυτή είναι πυρκαγιά, καρδιακή ανακοπή, βλάβη νερού ή σβέση. Πρέπει λοιπόν το προσωπικό να έχει την κατάλληλη εκπαίδευση και να γίνονται ανά τακτά διαστήματα ασκήσεις ετοιμότητας ώστε να διασφαλίζεται ότι το επίπεδο ετοιμότητας είναι βέλτιστο.

Η έλλειψη ερευνών σχετικά με την ασφάλεια της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα, σε συνδυασμό με τον σχετικά υψηλό αριθμό συμβάντων που σχετίζονται με την ασφάλεια παγκοσμίως και την ευρεία χρήση εφαρμογών Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στη χώρα μας, έχουν δικαιολογήσει την ανάγκη έρευνας για τη διερεύνηση αυτού του τομέα. Γι αυτόν τον λόγο ο Νικόλας Στογιαννος και η Catherine Westbrook προέβησαν στη διενέργεια της έρευνας με τίτλο "Investigating MRI safety practices in Greece. A national survey" [74]. Σύμφωνα με την ΕΕΑΕ ο αριθμός των λειτουργικών συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα όταν ξεκίνησαν την έρευνα ήταν 307 και συμπεριλαμβάνει τα μηχανήματα που βρίσκονται στα δημόσια νοσοκομεία και στον ιδιωτικό τομέα. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη χρήση ενός ειδικά σχεδιασμένου ερωτηματολογίου το οποίο στάλθηκε μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου στους συμμετέχοντες, μαζί με τα συνοδευτικά ενημερωτικά δελτία και τα έντυπα συγκατάθεσης, μετά από ενημέρωση, και συμπληρώθηκαν από τεχνολόγους Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, ακτινολόγους ή ιατρικούς φυσικούς, διασφαλίζοντας το σχετικό υπόβαθρο των ερωτηθέντων.

Από τα 307 μηχανήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού που λειτουργούν στην Ελλάδα, απάντηση δόθηκε μόλις για τους 104, δηλαδή το ποσοστό ανταπόκρισης ήταν 33,9%. Οι ερωτήσεις που είχε το ερωτηματολόγιο αφορούσαν τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων και τη σήμανση, τον έλεγχο που γίνεται πριν την εξέταση Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στους ασθενείς, την ύπαρξη γραπτού ερωτηματολογίου για τον ίδιο σκοπό και τις ερωτήσεις που περιλαμβάνει, την ύπαρξη εξοπλισμού έκτακτης ανάγκης που είναι συμβατός με τα μηχανήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού και ερωτήσεις σχετικά με την ετοιμότητα για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Από τις απαντήσεις που έλαβαν βρήκαν πως: Για τα 77 μηχανήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού έχει εφαρμοστεί το σύστημα οριοθέτησης που αναφέρεται προηγουμένως στον χώρο εγκατάστασης τους ενώ για 27 δεν χρησιμοποιούν καθόλου το συγκεκριμένο σύστημα. Η πλειοψηφία δεν ακολουθεί την βέλτιστη σήμανση για τη ζώνη IV και επισημαίνεται με την πινακίδα "ο μαγνήτης είναι πάντα ενεργοποιημένος" μόνο σε 45 από τις εγκαταστάσεις. 94 έχουν επισημάνει σαφώς τη ζώνη III με τις κατάλληλες σημάνσεις ενώ 10 απάντησαν ότι δεν ακολουθούν αυτές τις οδηγίες. 48 δήλωσαν πως η πρόσβαση στη ζώνη III περιορίζεται αυστηρά με κλειδαριές με κλειδιά ή άλλες μεθόδους. 90 έχουν επισημάνει σαφώς την περιοχή εντός του μαγνητικού πεδίου που υπερβαίνει τα 5 Gauss (5G).

Όσον αφορά το γραπτό ερωτηματολόγιο που δίνεται πριν από την εξέταση Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού: οι 97 από τους συμμετέχοντες παρέχουν στους ασθενείς γραπτό έντυπο διαλογής και μόνο 28 από τους ερωτηθέντες έχουν εφαρμόσει τον προκαταρκτικό έλεγχο ως τρόπο εξέτασης των ασθενών πριν από τον προγραμματισμό τους για εξετάσεις απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού. Οι περισσότεροι από τους ερωτηθέντες απάντησαν θετικά σε μεγάλο ποσοστό σχετικά με τα εμφυτεύματα/ιατρικές συσκευές που συμπεριλαμβάνονται στο ερωτηματολόγιο που δίνεται στους ασθενείς, με μικρότερο ποσοστό να υπάρχει στην ερώτηση για ύπαρξη νευροδιεγερτών (71), εμφυτευμένων αντλιών φαρμάκων (60) και τα τατουάζ (59).

Σχετικά με τα συμπληρωματικά συστήματα ανίχνευσης μετάλλων: 7 από τους 104 ερωτηθέντες χρησιμοποιούν μαγνήτες χειρός για τον έλεγχο, ενώ 97 από τις μονάδες απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού δεν χρησιμοποιούν καθόλου συστήματα ανίχνευσης μετάλλων.

Για τον εξοπλισμό έκτακτης ανάγκης που να είναι συμβατός με τον χώρο: τα 89 κέντρα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού δεν είναι καθόλου εξοπλισμένα με πυροσβεστήρες. 68 μονάδες Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού είναι εξοπλισμένες με κατάλληλα φορεία και 42 με κατάλληλα αναπηρικά αμαξίδια ενώ οι 85 (81,7%) απάντησαν ότι δεν είναι εξοπλισμένοι με ασφαλή εξοπλισμό επείγουσας ανάνηψης, ούτε είναι πλήρως εξοπλισμένοι με ασφαλή/προϋποχρεωτικό εξοπλισμό, όπως αναπνευστήρες (40), συσκευές παρακολούθησης (47) και αναισθησιολογικά μηχανήματα (20).

Για τις ερωτήσεις που αφορούσαν τη χρήση σκιαγραφικών και την ασφάλεια η

πλειοψηφία των ερωτηθέντων έχει εφαρμόσει διαδικασίες ελέγχου που περιλαμβάνουν ερωτήσεις σχετικά με το άσθμα, τις αλλεργίες και τις προηγούμενες αντιδράσεις σε σκιαγραφικά, καθώς και τη διατήρηση της κατάλληλης φαρμακευτικής αγωγής για την αντιμετώπιση των ανεπιθύμητων αντιδράσεων που σχετίζονται με τα σκιαγραφικά. Αντίθετα, μόνο 55 των κέντρων αναφέρουν τα ανεπιθύμητα συμβάντα στις αρμόδιες αρχές.

Όσον αφορά τα μέτρα που λαμβάνονται για την ενίσχυση του ελέγχου των λοιμώξεων η πλειονότητα των ερωτηθέντων ανέφεραν ότι διαθέτουν δάπεδα χωρίς ραφές (87) και ότι χρησιμοποιούν επίσης απολυμαντικά χεριών σε τακτική βάση (99). Ωστόσο, μόνο 47 ανέφεραν ότι διαθέτουν σταθμούς πλύσης χεριών εντός των τμημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού.

Οι 85 από τους ερωτηθέντες ανέφεραν ότι η μονάδα τους είναι εξοπλισμένη με έξοδο κινδύνου, οι 71 ανέφεραν ότι έχουν αναπτύξει ένα ειδικό σχέδιο για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και 59 πως είναι επίσης εξοπλισμένα με εναλλακτική λύση διακοπής ρεύματος. Μόνο 13 από τους ανταποκριτές πραγματοποιούν ασκήσεις για την αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης.

#### **4.5 Δημόσιος και Ιδιωτικός Τομέας**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο αριθμός των συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στα δημόσια νοσοκομεία είναι διαχρονικά πολύ μικρότερος από αυτόν των παρόχων υγείας. Στην Ελλάδα τα δημόσια νοσοκομεία, και ειδικά αυτά που δεν βρίσκονται σε μεγάλα αστικά κέντρα, παρουσιάζουν έλλειψη σύγχρονου ιατρικού εξοπλισμού αλλά και ιατρικού και νοσηλευτικού προσωπικού το οποίο προκαλεί δυσκολίες στην αντιμετώπιση δύσκολων περιστατικών.

Το δημόσιο σύστημα υγείας έχει αρκετές αδυναμίες στις οποίες περιλαμβάνονται η έλλειψη οργάνωσης στην πρωτοβάθμια φροντίδα υγείας, έλλειψη ξενοδοχειακών υποδομών, νοσηλευτικού προσωπικού και ενός ελεγκτικού μηχανισμού. Ακόμα, το σύστημα υγείας υποχρηματοδοτείται και κάνει κακή διαχείριση των διαθέσιμων πόρων του, το οποίο συμβάλλει ακόμα περισσότερο στην υποβάθμιση του και στρέφει τους πολίτες στον ιδιωτικό τομέα. Το δημόσιο σύστημα δεν μπορεί να ελέγξει τις δαπάνες υγείας και να γίνει πιο αποδοτικό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται μεγάλη αναμονή για εξετάσεις σε όρια που δεν είναι αποδεκτά, να υπάρχουν προβλήματα στις συναλλαγές με δημόσια ταμεία και πολίτες που έχουν χαμηλό εισόδημα και να υπάρχει καθυστέρηση στην καταβολή αποζημιώσεων λόγω των γραφειοκρατικών διαδικασιών. Η επικρατούσα κατάσταση λοιπόν, έχει δώσει την δυνατότητα στον ιδιωτικό τομέα υγείας να αναπτυχθεί καθώς παρέχει ένα ολοκληρωμένο δίκτυο υπηρεσιών που καλύπτει όλη την Ελλάδα και λειτουργεί όλο το 24ωρο.

Τα προβλήματα αυτά δεν είναι πρόσφατα αλλά προϋπάρχουν εδώ και πολλά χρόνια. Μάλιστα σύμφωνα με στοιχεία του ΟΟΣΑ για το διάστημα 1960-2000 οι οκτώ από

τους δέκα Έλληνες δεν ήταν ικανοποιημένοι από το σύστημα δημόσιας υγείας. Σημειώνονται μεγάλες καθυστερήσεις για τον προγραμματισμό ραντεβού και εργαστηριακών εξετάσεων τόσο στα νοσοκομεία όσο και στα ιατρεία του ΙΚΑ και υπάρχουν περιπτώσεις, τουλάχιστον παλαιότερα, που οι ασθενείς έπρεπε να πάνε να πάνε στα εξωτερικά ιατρεία ενός νοσοκομείου από το πρωί για να πάρουν αριθμό προτεραιότητας χωρίς να ξέρουν σε πόση ώρα θα εξεταστούν. Από τις λίγες έρευνες που έχουν γίνει στη χώρα μας σχετικά με την ικανοποίηση από τη νοσοκομειακή φροντίδα έχει βρεθεί πως η δυσαρέσκεια αφορά κατά κύριο λόγο τις ώρες αναμονής στα εξωτερικά ιατρεία και τις ξενοδοχειακές υποδομές των νοσοκομείων και τις συνθήκες διαβίωσης (σίτιση, καθαριότητα). [78][79]

Από στοιχεία του ΟΟΣΑ [82], το 2020 το 81% των δαπανών υγείας στην Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδοτήθηκε από τις κυβερνήσεις και την υποχρεωτική ασφάλιση των πολιτών και το 15% περίπου χρηματοδοτήθηκε από τα χρήματα που πλήρωσαν οι πολίτες. Στην Ελλάδα αντιθέτως οι πληρωμές που έγιναν από τους πολίτες αντιστοιχούσαν στο ένα τρίτο του συνόλου των δαπανών υγείας το 2020. Την ίδια χρονιά, οι δαπάνες που αφορούσαν ιατρικά αγαθά αποτελούσαν επίσης το ένα τρίτο του συνόλου των δαπανών ενώ άλλες χώρες δαπάνησαν μόλις το 10-11% των συνολικών δαπανών υγείας.

Η πρόσβαση στην υγεία μπορεί να περιορίζεται για διάφορους λόγους όπως το κόστος και οι χρόνοι αναμονής όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Στην Ελλάδα το 2020 το κόστος έπαιξε πολύ μεγάλο ρόλο καθώς ο ένας στους έξι πολίτες που έχουν χαμηλό εισόδημα (17%) ανέφεραν πως στερήθηκαν ιατρική περίθαλψη ενώ τη χρειάζονταν, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό ανθρώπων με μεγαλύτερη οικονομική άνεση ήταν 1%. Αυτό μας δείχνει πως η κατανομή των δημόσιων δαπανών δεν γίνεται με σωστό τρόπο καθώς οι ανάγκες των πιο ευάλωτων δεν καλύπτονται. Μάλιστα το 2022 το 5,1% του Εθνικού Ακαθάριστου Προϊόντος (ΑΕΠ) αφορούσε τις δαπάνες υγείας και είναι από τα χαμηλότερα ποσοστά ανάμεσα στις ευρωπαϊκές χώρες. [83]

Από όλα όσα αναφέρονται παραπάνω βλέπουμε πως τα συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού που υπάρχουν στην Ελλάδα δεν είναι ισάξια κατανεμημένα. Είναι λογικό να υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός στα μεγάλα αστικά κέντρα που ζει και μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού όμως υπάρχουν δώδεκα περιφέρειες οι οποίες παρουσιάζουν παντελή απουσία συστημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Αν αναλογιστούμε πως οι εννέα από αυτές τις περιφέρειες είναι νησιά καταλαβαίνουμε την δυσκολία που θα υπάρξει αν χρειαστεί κάποιος μόνιμος κάτοικος, ή ακόμα και κάποιος τουρίστας, να κάνει μια εξέταση λόγω της δυσκολίας που θα υπάρχει στη μετακίνηση. Θα έπρεπε όλες οι περιφέρειες να φροντίσουν να εξοπλιστούν με τουλάχιστον ένα μηχάνημα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, ώστε να υπάρχει πρόσβαση σε όλους χωρίς ταλαιπωρία.

Μεγάλη ανισοκατανομή υπάρχει επίσης και στις μονάδες που υπάρχουν στα δημόσια νοσοκομεία και στον ιδιωτικό τομέα ανά τα χρόνια, με τον ιδιωτικό τομέα να έχει το

2022 τα τριπλάσια μηχανήματα από τον δημόσιο. Αυτό έχει συμβεί λόγω της έλλειψης οργάνωσης του δημόσιου τομέα υγείας, ο οποίος έχει μεγάλες λίστες αναμονής κάτι που εκμεταλλεύτηκαν στον ιδιωτικό τομέα και εξοπλίστηκαν με μηχανήματα ώστε οι πολίτες που χρειάζονται άμεσα διάγνωση να στρέφονται εκεί. Με τον ρυθμό που αυξάνεται ο αριθμός των εξετάσεων που πραγματοποιούνται ετησίως αλλά και το κόστος της συγκεκριμένης εξέτασης που είναι αρκετά υψηλό γίνεται εύκολα αντιληπτό πόσα χρήματα κερδίζει ο ιδιωτικός τομέας κάθε χρόνο μόνο από αυτές τις εξετάσεις.

Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες οι δαπάνες υγείας καλύπτονται στο μεγαλύτερο μέρος από την κυβέρνηση και την ασφάλιση των πολιτών όμως στην Ελλάδα το ένα τρίτο των δαπανών αυτών καλύπτεται από πληρωμές των πολιτών. Αυτό είναι ένα μόνο μεμονωμένο πρόβλημα ενός δυσλειτουργικού συστήματος το οποίο δεν κάνει αρκετά για να καλύψει τις ανάγκες των πολιτών, ιδιαίτερα αυτών με χαμηλότερα εισοδήματα, εδώ και πολλά χρόνια και είναι ένα πρόβλημα που δεν θα σταματήσει να υπάρχει αν δεν υπάρξει η κατάλληλη μέριμνα.

Τέλος θα αναφερθώ στις πρακτικές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για τις εξετάσεις Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα. Είναι μια εξέταση που δεν επιβαρύνει τους εξεταζόμενους με ακτινοβολία όμως αυτό δεν σημαίνει πως δεν υπάρχουν κίνδυνοι κατά τη διεξαγωγή της. Θα πρέπει να υπάρχει ένα αυστηρό πρωτόκολλο με οδηγίες που θα ακολουθούνται από όλους, νοσηλευτικό προσωπικό και ασθενείς. Είναι σημαντικό να γίνεται σωστός έλεγχος των εξεταζόμενων προκειμένου να υπάρχει απόλυτη βεβαιότητα πως δεν έχουν οποιαδήποτε εμφυτεύσιμη ιατρική συσκευή ή κάποιο αντικείμενο που δεν είναι ασφαλές να βρεθεί στον ίδιο χώρο με το μηχανήμα, να υπάρχει εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης και η απαραίτητη σήμανση σε όλους τους χώρους.

Αν υπάρχει πρόβλημα στην εφαρμογή αυτών των μέτρων θα είναι καλό να υπάρξει ένα σώμα ελέγχου το οποίο θα έχει σκοπό την αξιολόγηση των μονάδων και το οποίο θα εξασφαλίζει πως ακολουθούνται οι κανόνες. Από ένα τέτοιο σώμα δεν θα επωφελούνταν μόνο τα τμήματα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αλλά όλοι οι πάροχοι υγείας είτε ανήκουν στον δημόσιο είτε στον ιδιωτικό τομέα, αν και τέτοιες ενέργειες στο παρελθόν τελικά δεν είχαν βρει εφαρμογή.

## **Κεφάλαιο 5. Τελευταίες εξελίξεις και μελλοντικές προοπτικές**

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.7 η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού άρχισε να έχει ευρεία χρήση κατά τη δεκαετία του 2000 και από τότε έχουν σημειωθεί σημαντικά επιτεύγματα όπως η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού υπερ υψηλού πεδίου, πηνία φασικής συστοιχίας υψηλής πυκνότητας (high-density phased array coil) και τα υβριδικά συστήματα απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού PET-MRI.

Ήδη από τις αρχές του 2000 συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού 3T είναι διαθέσιμα στο εμπόριο και μάλιστα χρησιμοποιούνται στα περισσότερα ακαδημαϊκά κέντρα για κλινική πρακτική και έρευνα. Οι μεγάλες αλυσίδες που διαθέτουν τους πόρους αλλά και το προσωπικό από τότε είχαν αρχίσει την έρευνα για την κατασκευή συστημάτων 7T και στα τέλη του 2020 κάποιος έχουν λάβει κανονιστική έγκριση. Άλλες εξελίξεις είναι οι ισχυρότερες βαθμίδες απεικόνισης, καλύτερες συστοιχίες πηνίων δέκτη, τεχνολογία ψηφιακού δέκτη, ισχυρότεροι υπολογιστές ανακατασκευής και βελτιωμένα συστήματα για την άνεση του εξεταζόμενου. Παράλληλα, έχουν βελτιωθεί οι μέθοδοι λήψης και ανακατασκευής των εικόνων, πλέον γίνονται σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα και η ποιότητα της εικόνας είναι βελτιωμένη.

Επίσης χρησιμοποιούνται υβριδικά μηχανήματα PET-MRI τα οποία συνδυάζουν εικόνες από μια Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET) και μια Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού. Η εξέταση αυτή αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα και των δύο εξετάσεων για την παραγωγή λεπτομερών εικόνων του εσωτερικού του σώματος. Επίσης δίνει τη δυνατότητα στους γιατρούς να κάνουν διαγνώσεις ασθενειών και να φτιάξουν ένα πλάνο για τη θεραπεία των ασθενών, και στους εξεταζόμενους να έρθουν μια μόνο φορά και να μην χρειάζεται να κλείσουν ξεχωριστά ραντεβού. Οι σαρώσεις PET-MRI γίνονται ξεχωριστά και στη συνέχεια γινόταν συγχώνευση των δύο εικόνων που είχαν ληφθεί. Πλέον υπάρχουν διαθέσιμοι σαρωτές που εκτελούν ταυτόχρονα και τους δύο τύπους σαρώσεων ώστε να μην χαθούν χρήσιμες πληροφορίες κατά τη συγχώνευση των εικόνων. [85]

Μερικές από τις τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αποτελούν: [86]

1. **Η μαγνητική τομογραφία 0,55T:** Γνωστή αλλιώς και με το όνομα μαγνητική τομογραφία υψηλού V (High-V MRI) , η τεχνολογία αυτή εκμεταλλεύεται την ισχύ της ψηφιοποίησης και την χρησιμοποιούν σε μια νέα ισχύ πεδίου 0,55T.
2. **Χρήση μικρότερης ποσότητας ηλίου:** Αυτό δίνει τη δυνατότητα για εγκατάσταση μικρότερων και ελαφρύτερων μηχανημάτων το οποίο κάνει πιο εύκολη την επιλογή του χώρου που θα τοποθετηθεί το μηχάνημα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού. Επιπλέον, το εκάστοτε νοσοκομείο γίνεται πιο βιώσιμο, καθώς γίνεται προσπάθεια από πολλούς οργανισμούς να περιοριστεί η χρήση του ηλίου που είναι ένας



πολύτιμος πόρος.

3. **Τεχνητή Νοημοσύνη:** Η Τεχνητή Νοημοσύνη έχει γνωρίσει μεγάλη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια και έχει εφαρμογές σε όλο και περισσότερους τομείς, με τον τομέα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού να μην αποτελεί εξαίρεση. Χρησιμοποιείται σε μεθόδους ανακατασκευής ώστε να αυξήσει τον λόγο του σήματος προς τον θόρυβο (SNR), επιτρέποντας είτε να γίνονται οι σαρώσεις σε μικρότερο χρόνο είτε η απεικόνιση να έχει υψηλότερη ανάλυση. Ακόμα, χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα ώστε τα δεδομένα να είναι υψηλότερης ποιότητας πετυχαίνοντας έτσι καλύτερη ανάλυση εικόνας. [87]

4. **Μεγαλύτερο άνοιγμα:** Είναι πλέον δυνατό να κατασκευαστούν συστήματα τα οποία θα έχουν μεγαλύτερο άνοιγμα σε σχέση με παλαιότερα, το οποίο θα είναι εξαιρετικά χρήσιμο για παιδιά, ασθενείς με κλειστοφοβία και γενικά όσους έχουν άγχος με την διαδικασία της αυτής της εξέτασης αλλά και υπέρβαρους ασθενείς.

5. **Χρήση ψυχαγωγικού υλικού:** Η ψυχαγωγία κατά τη διάρκεια της εξέτασης βελτιώνει την εμπειρία του ασθενούς καθώς του δίνει κάτι για να επικεντρωθεί μειώνοντας έτσι το ενδεχόμενο άγχος. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης υπάρχει μια οθόνη στην οποία αναγράφεται ο υπολειπόμενος χρόνος εξέτασης και η οποία χρησιμεύει επίσης στο να φαίνεται μεγαλύτερος ο χώρος του κυρίως σώματος του συστήματος, στον οποίο βρίσκεται τοποθετημένος ο ασθενής.

6. **Βελτιώσεις στην απεικόνιση του ήπατος:** Η απεικόνιση του ήπατος είναι πιο δύσκολη σε σχέση με άλλες εξετάσεις λόγω των κινήσεων που προκαλούνται από την αναπνοή. Γι' αυτόν τον λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές οι οποίες στοχεύουν στην επίλυση αυτού του προβλήματος. Ενδεικτικά μια τεχνική στοχεύει στο να προσπεράσει κινήσεις που είναι χαρακτηριστικές σε συγκεκριμένες εξετάσεις του ήπατος, σε μια άλλη χρησιμοποιείται και σκιαγραφικό ώστε να ενισχυθεί η αντίθεση και ξεπερνά τα τεχνουργήματα που προκαλούνται από κινήσεις και κάποια άλλη ενδείκνυται για την αξιολόγηση του λίπους και του σιδήρου χωρίς να χρειαστεί να γίνει κάποια επέμβαση.

7. **Βελτιώσεις στην επεξεργασία εικόνας αντί της αύξησης του σήματος:** αυτό συνεπάγεται πως η νέα γενιά μηχανημάτων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού θα έχει μικρότερο μέγεθος και θα είναι πιο εύκολη η εγκατάσταση της. Αν οι μαγνήτες έχουν μικρότερη ισχύ αυτό σημαίνει πως θα μπορούν πλέον να εξετάζονται πολλοί περισσότεροι ασθενείς, για παράδειγμα παιδιά, μειώνοντας έτσι την ακτινοβολία στην οποία είναι εκτεθειμένα στις εξετάσεις αξονικής τομογραφίας. [88]

Μελλοντικά η τεχνολογία Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αναμένεται να συνεχίσει να βελτιώνεται. Αναμένεται να υπάρξουν εξελίξεις οι οποίες θα περιλαμβάνουν την ανάπτυξη νέων τεχνικών απεικόνισης και ίσως και την ανάπτυξη νέων σκιαγραφικών ουσιών. Σίγουρα η προσπάθεια για να ελαττωθούν οι χρόνοι

σάρωσης δεν θα σταματήσει σύντομα καθώς κάτι τέτοιο θα έχει πολλά οφέλη με κυριότερο πως θα γίνει η εξέταση αυτή λιγότερο δυσάρεστη και αγχωτική για τους ασθενείς. Εκτός όμως από αυτό, τα μηχανήματα θα είναι έτσι πιο αποδοτικά και θα μπορεί να διεξάγεται μεγαλύτερος αριθμός εξετάσεων μέσα σε μια ημέρα μειώνοντας ίσως έτσι και τις λίστες αναμονής. Η υψηλότερη ανάλυση των εικόνων είναι πάντα επιθυμητή προκειμένου να έχουν οι εικόνες την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και να είναι διακριτές όλες οι λεπτομέρειες.

Έρευνα γίνεται επίσης για την πιθανή χρήση της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού σε άλλες ιατρικές εφαρμογές, για παράδειγμα στην καθοδήγηση διαδικασιών ελάχιστα επεμβατικών ή ακόμα και για την παρακολούθηση της εξέλιξης κάποιας νόσου. Μελετάται επίσης η χρήση φορητών συσκευών Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού χαμηλών πεδίων με σκοπό να χρησιμοποιούνται σε καταστάσεις που είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν τα παραδοσιακά μηχανήματα, δηλαδή σε περιοχές που είναι απομακρυσμένες και δεν υπάρχει εύκολη πρόσβαση ή σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Επίσης εξετάζεται η πολυτροπική απεικόνιση, δηλαδή ο συνδυασμός της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού με κάποια άλλη τεχνική. Ήδη υπάρχουν υβριδικά συστήματα PET-MRI και εξετάζονται και συστήματα που συνδυάζουν την αξονική τομογραφία (CT) ή τον υπέρηχο με την Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού.

Από τις πιο σημαντικές εξελίξεις είναι η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στα συστήματα. Αναμένεται να βοηθήσει στην ακριβέστερη διάγνωση των εικόνων και στον εντοπισμό ανωμαλιών οι οποίες μπορεί ως τώρα να ήταν δυσκολότερο να διακριθούν. Με αυτό τον τρόπο βοηθά στο να γίνονται πιο γρήγορα οι διαγνώσεις και να εντοπίζονται πιο γρήγορα ασθένειες όπως ο καρκίνος.

Ο τομέας της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού γίνεται όλο και πιο εξειδικευμένος καθώς οι επιστήμονες εστιάζουν σε συγκεκριμένους τομείς όπως η Νευροαπεικόνιση, η Μυοσκελετική Απεικόνιση και η Απεικόνιση του σώματος. Πέραν από τη διαγνωστική απεικόνιση που είναι και η βασική χρήση της απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού αναμένεται να εξελιχθούν περισσότερο και τεχνικές όπως η Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού. [89]

## **5.1 MR-AI**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η Τεχνητή Νοημοσύνη εντάσσεται πλέον και στον τομέα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, χωρίς να έχει ακόμα υιοθετηθεί πλήρως. Η εισαγωγή της Τεχνητής Νοημοσύνης καθιστά την Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού ακόμα πιο αξιόπιστη και αποτελεί μια αναβάθμιση του ήδη υπάρχοντος εξοπλισμού. Δίνει την ικανότητα ανίχνευσης καρκινικών όζων, οι οποίοι βρίσκονται ακόμα σε αρχικό στάδιο, ή αλλοιώσεις και ακόμα μπορεί να αξιολογήσει πόσο προχωρημένη είναι μια ασθένεια όπως η άνοια ή το Αλτσχάιμερ.

Σύμφωνα με άρθρο του Johnson Polakkal Joseph, η Τεχνητή Νοημοσύνη μας δίνει τη δυνατότητα να γίνονται πιο σύντομα σαρώσεις εικόνων 3D και ακόμα έχει τη

δυνατότητα να μεταφορτώσει εικόνες από μια Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού σε πλατφόρμες λογισμικού εικονικής πραγματικότητας (VR). Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς μπορεί να παρέχει σε έναν χειρουργό περισσότερες πληροφορίες πριν από μια επέμβαση αλλά μπορεί και να αξιοποιηθεί στην εκπαίδευση φοιτητών ιατρικής και ειδικευόμενων χειρουργών.

Ακόμα ένα πλεονέκτημα, που έχει ήδη αναφερθεί, είναι η δυνατότητα που μας δίνει η Τεχνητή Νοημοσύνη για μείωση των χρόνων σάρωσης και η λήψη εικόνων υψηλότερης ανάλυσης με τη μείωση τυχόν τεχνουργημάτων που μπορεί να δημιουργηθούν από κάποια κίνηση του εξεταζόμενου. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί δείχνουν πως με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης για την ανακατασκευή των εικόνων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού ο χρόνος που χρειάζεται μειώνεται στο μισό ή ακόμα και στο ένα τέταρτο του χρόνου που χρειαζόταν κανονικά. Ακόμα έχει διαπιστωθεί πως οι εικόνες που λαμβάνονται κανονικά και αυτές που λαμβάνονται με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης (και χρησιμοποιούν λιγότερα δεδομένα) δεν είχαν κάποια σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα που έδωσαν και στον τρόπο αξιολόγησης τους από τους γιατρούς. Και με τους δύο τρόπους εντοπίστηκαν στους εξεταζόμενους οι ίδιες παθολογίες και μάλιστα οι εικόνες που δημιουργήθηκαν με χρήση της τεχνητής νοημοσύνης χαρακτηρίστηκαν καλύτερης ποιότητας.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας είναι μια συνεχόμενη διαδικασία η οποία ποτέ δεν σταματά. Οι άνθρωποι συνεχώς θέλουμε να ανακαλύπτουμε νέα πράγματα, νέες τεχνολογίες, να εξελισσόμαστε και να βρίσκουμε τρόπους να διευκολύνουμε την καθημερινότητα μας. Οι βελτιώσεις που γίνονται στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού αφορούν την βελτίωση της ποιότητας των εικόνων που λαμβάνονται, και τη βελτίωση της εμπειρίας των ασθενών μέσω της μείωσης του χρόνου σάρωσης και τη δημιουργία πιο ευχάριστου περιβάλλοντος. Σε αυτό μπορεί να συνεισφέρει η Τεχνητή Νοημοσύνη και γι' αυτό πραγματοποιούνται έρευνες, ώστε να μπορέσει σύντομα να αποκτήσει κλινική εφαρμογή. Η Τεχνητή Νοημοσύνη και η βαθιά μάθηση θα αποτελέσουν έναν βασικό παράγοντα για την εξέλιξη της τεχνολογίας τα επόμενα χρόνια και θα βρουν εφαρμογές και στις τεχνικές απεικόνισης καθώς έχουν πολλά να προσφέρουν.

## **5.2 Βιοηθική στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού**

Το βασικό μέρος των ερευνών, της ανάπτυξης και της περίθαλψης των ασθενών αποτελεί η συμμετοχή των ανθρώπινων υποκειμένων (human subjects). Λόγω της συνεχόμενης εξέλιξης της τεχνολογίας Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού και της έρευνας είναι σημαντικό να εξεταστεί και η σχετική δεοντολογία για τη συμμετοχή των ανθρώπων σε ερευνητικές μελέτες. Σε άρθρο τους οι Hui Mao et al, αναφέρονται στα ηθικά και δεοντολογικά ζητήματα στον τομέα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, και τα οποία ήταν το θέμα του συνεδρίου του 2023 της Διεθνούς Εταιρείας Μαγνητικού Συντονισμού στην Ιατρική [International Society for Magnetic Resonance (ISMRM)]. [92]

Πιο συγκεκριμένα, εφόσον οι άνθρωποι αποτελούν το βασικό μέρος των ερευνών, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πρέπει να υπάρχουν κανονισμοί που να εξασφαλίζουν την ασφάλεια και τα δικαιώματα τους στα πλαίσια των ερευνών. Κατά τη δημιουργία των ομάδων μιας έρευνα είναι σημαντικό να συμπεριλαμβάνονται πολλές ομάδες του πληθυσμού ώστε να μην υπάρξει υποεκπροσώπηση και τα αποτελέσματα να είναι όσο γίνεται πιο αντιπροσωπευτικά. Για αυτόν ακριβώς το λόγο η χρήση των δεδομένων που ήδη υπάρχουν για την ανάπτυξη αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης μπορεί να οδηγήσει σε μεροληπτικά αποτελέσματα. Επίσης, όσο αναπτύσσονται νέες και πρωτοποριακές μεθοδολογίες πρέπει να μην αμελούμε την ισορροπία που πρέπει να υπάρχει μεταξύ της επιδίωξης της καινοτομίας και του κινδύνου στο οποίο θέτουμε τους ανθρώπους που παίρνουν μέρος στις έρευνες. Η ευθύνη αυτή είναι συνεχής και κρίσιμη διότι τα κριτήρια ένταξης διευρύνονται προκειμένου οι έρευνες να είναι πιο συμπεριληπτικές και οι πηγές δεδομένων να γίνονται πιο ανοιχτές.

Η ανταλλαγή των δεδομένων ανάμεσα στις επιστημονικές κοινότητες είναι σημαντική για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται, όπως και η αμερόληπτη δοκιμή και επικύρωση νέων ευρημάτων και τεχνολογιών. Οι διεθνείς συνεργασίες δίνουν την ευκαιρία για την πρόσβαση σε διαφορετικούς πληθυσμούς, το οποίο βοηθάει στην παγκοσμιοποίηση της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αλλά και της τεχνολογίας γενικότερα. Κάθε χώρα, και κάθε πολιτισμός έχει τους δικούς του οργανισμούς και κατευθυντήριες, τα οποία πρέπει να γίνονται σεβαστά, όμως για να αναπτυχθούν οι διεθνείς συνεργασίες πρέπει να δημιουργηθούν πολιτικές σχετικά με τον κώδικα δεοντολογίας οι οποίες να είναι παγκόσμια αποδεκτές.

Οι κατευθυντήριες που έχει ορίσει το Διοικητικό Συμβούλιο του Αμερικανικού Μητρώου Τεχνολόγων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού (American Registry of Magnetic Resonance Imaging Technologists) σχετικά με τα ηθικά πρότυπα που πρέπει να ακολουθούν οι Τεχνολόγοι Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού είναι: [93]

- 1) Να παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες και φροντίδα στους ασθενείς, με ενσυναίσθηση, σεβασμό και ενδιαφέρον για τα δικαιώματα, την ιδιωτική ζωή και την ασφάλεια τους.
- 2) Πάντοτε να γνωρίζουν τις απαραίτητες προφυλάξεις που πρέπει να λαμβάνονται από οποιονδήποτε βρίσκεται στον χώρο που γίνονται οι εξετάσεις Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού, για την ασφάλεια όλων.
- 3) Να σέβονται το απόρρητο και να μην αποκαλύπτουν πληροφορίες ασθενούς σε άτομα που δεν σχετίζονται με τη φροντίδα του ασθενούς.
- 4) Να συμμορφώνονται με τους νόμους, τους κανονισμούς ή τις προδιαγραφές που διέπουν την Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού βάση της νομοθεσίας.
- 5) Να εκτελούν τα καθήκοντα που τους ανατίθενται με υπευθυνότητα και επαγγελματισμό.
- 6) Να προσπαθούν να ενισχύουν και να βελτιώνουν τις γνώσεις και τις δεξιότητες τους μέσω της συνεχόμενης εκπαίδευσης.
- 7) Να μην παραβιάζουν κανέναν νόμο.

8) Να προωθούν την ευαισθητοποίηση της κοινότητας σχετικά με τη σημασία της ποιότητας της υγειονομικής περίθαλψης

Στόχος είναι να προωθείται η εκπαίδευση υψηλών προδιαγραφών και να υπάρχουν υψηλά πρότυπα επαγγελματισμού ώστε να υπάρχουν σωστά καταρτισμένοι επαγγελματίες.

## **Κεφάλαιο 6. Συμπέρασμα**

Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού είναι μια από τις πιο διαδεδομένες και σύγχρονες μεθόδους με την οποία έχουμε τη δυνατότητα να απεικονίσουμε τις εσωτερικές δομές του ανθρώπινου σώματος. Η τεχνική αυτή, όπως και όλες οι απεικονιστικές μέθοδοι είναι μη επεμβατική και μας δίνει τη δυνατότητα να λάβουμε εικόνες υψηλής ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθούν για τη διάγνωση διαφόρων ασθενειών, και κύριο πλεονέκτημα της έναντι άλλων μεθόδων είναι πως δεν επιβαρύνει τον ανθρώπινο οργανισμό με ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

Όπως για όλες τις μεγάλες ανακαλύψεις, έτσι και για την Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνος ένας μόνο επιστήμονας, το οποίο είναι και φανερό μετά τη μελέτη της βιβλιογραφίας. Είναι σημαντικό όλοι οι επιστήμονες να κατοχυρώνουν τις ιδέες και τις παντέντες τους ώστε να μπορεί να υπάρξει η χρονική σειρά των γεγονότων και να μπορούν όλοι να γνωρίζουν που έχει συμβάλλει ο κάθε επιστήμονας μέσα από τις μελέτες, τις έρευνες και τα πειράματα του. Αυτό είναι σημαντικό για δύο λόγους, πρώτον ώστε να λαμβάνει ο καθένας την αναγνώριση που πρέπει για τα επιτεύγματα του και δεύτερον για να μην υπάρχουν διαμάχες στην επιστημονική κοινότητα σχετικά με τα βραβεία που απονείμονται. Ακόμα και σε περιπτώσεις όμως που έχουν γίνει όλα αυτά είναι εύκολο να προκύψουν διαμάχες ανάμεσα σε επιστήμονες που ασχολούνται με το ίδιο αντικείμενο τις ίδιες χρονικές περιόδους όταν θεωρούν πως είχαν ισάξια συνεισφορά ή όταν κάποιος πιστεύει πως έχει συμβάλλει περισσότερο.

Όσον αφορά τα μηχανήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού στην Ελλάδα, όπως είδαμε είναι κατανομημένα με τέτοιο τρόπο που είναι άμεσα προσβάσιμα κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας. Αυτό, ενώ είναι κάτι που βγάζει νόημα αν αναλογιστούμε που ζει το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, σημαίνει πως πολλοί πολίτες δεν έχουν εύκολη πρόσβαση, ενώ άλλοι δεν έχουν καθόλου πρόσβαση καθώς σε δώδεκα περιφερειακές ενότητες υπάρχει παντελής έλλειψη συστημάτων απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού, με τις περισσότερες να είναι νησιά. Αυτό σημαίνει λοιπόν, πως ενώ η Ελλάδα διαθέτει μεγάλο αριθμό συστημάτων απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού, μάλιστα σημαντικά μεγαλύτερο σε σχέση με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες με αντίστοιχο πληθυσμό, δεν έχουν όλοι οι κάτοικοι τις ίδιες παροχές.

Επίσης υπάρχει μεγάλη ανισοκατανομή των μηχανημάτων που βρίσκονται στον ιδιωτικό και τον δημόσιο τομέα, με τον ιδιωτικό τομέα να έχει τον τριπλάσιο αριθμό μηχανημάτων σε σχέση με τον δημόσιο τομέα βάση των δεδομένων που βρέθηκαν. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός πως ο αριθμός των εξετάσεων Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού που πραγματοποιούνται κάθε χρόνο συνεχώς αυξάνεται έχει αποτέλεσμα να δημιουργούνται στα δημόσια νοσοκομεία μεγάλες λίστες αναμονής καθώς είναι μια ακριβή εξέταση, όμως αναγκάζει όσους ασθενείς έχουν κάποιο σοβαρό πρόβλημα να καταφύγουν στον ιδιωτικό τομέα για να μπορέσουν να εξεταστούν

άμεσα.

Όσον αφορά τις πρακτικές που εφαρμόζονται για την ασφάλεια των εξεταζόμενων και του νοσηλευτικού προσωπικού, με βάση ένα δείγμα και όχι τον συνολικό αριθμό των χώρων που πραγματοποιούν αυτές τις εξετάσεις, διαπιστώθηκε πως η απαραίτητη σήμανση δεν υπάρχει σε όλους τους χώρους, και πως δεν γίνεται παντού ενδεδειγμένος έλεγχος των ασθενών πριν από την εξέταση, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα τα οποία δεν είναι σίγουρο πως υπάρχει ο απαραίτητος εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης για να αντιμετωπιστούν.

Οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού αφορούν κατά κύριο λόγο τρόπους για να μειωθεί ο χρόνος της σάρωσης, και γενικά να βελτιωθεί η εμπειρία των εξεταζόμενων ώστε να μην βιώνουν άγχος κατά τη διάρκεια της, και τρόπους να βελτιωθεί η ανάλυση και η ακρίβεια της εικόνας που λαμβάνεται. Σε αυτό αναμένεται να βοηθήσει και η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και γι' αυτό πραγματοποιούνται διάφορες έρευνες και μελέτες

Τέλος, σχετικά με τη Βιοηθική στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού, πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα στο κινήγι της καινοτομίας και στην έκθεση των ανθρώπων σε κίνδυνο. Σε όλες τις έρευνες τον βασικό ρόλο έχουν οι εθελοντές που λαμβάνουν μέρος και πρέπει να διασφαλίζεται η ασφάλεια τους. Με βάση τις κατευθυντήριες σχετικά με τα ηθικά πρότυπα που πρέπει να ακολουθούν οι Τεχνολόγοι απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού, πρέπει όλοι να παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες στους ασθενείς και να δείχνουν σεβασμό στους ίδιους αλλά και στο ιατρικό απόρρητο.

Συμπερασματικά, όσον αφορά τα μηχανήματα απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού στην Ελλάδα θα έπρεπε να υπάρχει μια καλύτερη κατανομή των μηχανημάτων ώστε να μην αποκλείεται κανένα μέρος του πληθυσμού και να υπάρχει πρόσβαση σε όλους. Είναι σημαντικό να βρεθεί μια λύση για τις μεγάλες λίστες αναμονής που υπάρχουν στα δημόσια νοσοκομεία, οι οποίες με τον ρυθμό που αυξάνεται ο αριθμός των εξετάσεων που πραγματοποιούνται δεν πρόκειται να σταματήσουν να μεγαλώνουν. Τέλος, για την ασφάλεια όλων, εξεταζόμενων και νοσηλευτικού προσωπικού, πρέπει να εξοπλιστούν όλοι οι χώροι που διαθέτουν μαγνητικούς τομογράφους με εξοπλισμό έκτακτης ανάγκης, συμβατό με τα μηχανήματα MRI, όπως πυροσβεστήρες, φορεία, εξοπλισμό επείγουσας ανάνηψης κ.α., ακόμα και να πραγματοποιούνται ασκήσεις ετοιμότητας. Εξίσου σημαντικό είναι να υπάρχει και η απαραίτητη σήμανση σε όλους τους χώρους το οποίο δεν ακολουθείται από όλους. Επομένως θα πρέπει ενδεχομένως να δημιουργηθούν νέα πρωτόκολλα, με πιο αυστηρές οδηγίες που θα είναι υποχρεωτικές για όλους, και να γίνεται ανά τακτά διαστήματα έλεγχος για να διασφαλίζεται πως συνεχίζουν να τηρούνται.

## Βιβλιογραφία

- [1] Ζαφειρόπουλος, Β. (2015). Μέθοδοι Τρισδιάστατης Απεικόνισης: MRI & CT [Κεφάλαιο 7] στο *Μέτρηση σύστασης του ανθρώπινου σώματος* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις <https://hdl.handle.net/11419/3632>
- [2] Καρατόπης Α. , Κανδαράκης Ι. (2007) “Μαγνητικές ιδιότητες στοιχειωδών σωματιδίων” [Κεφάλαιο 1] στο *Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Αράκυνθος, pp 26-39
- [3] Klaus D. Toennies (2012) *Guide to Medical Image Analysis: Methods and Algorithms* [online] 2nd ed., Available from: <https://link.springer.com/> (Accessed 23 August 2023)
- [4] Αρετούλης Ε., Μελιανός Χ. (2021) *Η μαγνητική τομογραφία για την απεικόνιση του χόνδρου των αρθρώσεων. Συμβατικές και εξειδικευμένες ακολουθίες παλμών*. Πτυχιακή εργασία, Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
- [5] Καρατόπης Α. , Κανδαράκης Ι. (2007) “Οργανολογία Μαγνητικού Τομογράφου” [Κεφάλαιο 7] στο *Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Αράκυνθος, pp 184-231
- [6] Tal Geva (2006) Magnetic Resonance Imaging: Historical Perspective, *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* [online] vol. 8, 2 August pp 573-580 Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10976640600755302> (Accessed 23 August 2023)
- [7] Lokenath Debnath (2012) A short biography of Joseph Fourier and historical development of Fourier series and Fourier transforms, *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* [online] vol.43 issue 5, 10 June, pp 589-612 Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0020739X.2011.633712> (Accessed 23 August 2023)
- [8] Wikipedia contributors, "Νίκολα Τέσλα" Wikipedia, The Free Encyclopedia.
- [9] Wikipedia contributors, "Joseph Larmor" Wikipedia, The Free Encyclopedia
- [10] The Nobel Prize, Wolfgang Pauli, Biographical [online] Available from: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1945/pauli/facts/> (Accessed 23 August 2023)
- [11] Chase Figley (2014), *General Introduction to Magnetic Resonance Imaging (MRI): A Historical and Theoretical Overview* [online] Available from: <http://www.figleylab.ca/wp-content/uploads/2014/09/Historical-and-Theoretical-Introduction-to-MRI.pdf> (Accessed 23 August 2023)



- [12] Wennerström H, Westlund P-O.(2017) A Quantum Description of the Stern–Gerlach Experiment, *Entropy* [online] vol 19, issue 5 Available from: <https://www.mdpi.com/1099-4300/19/5/186> (Accessed 23 August 2023)
- [13] Luisa Bonolis, *Isidor Isaac Rabi* from: <https://mediatheque.lindau-nobel.org/laureates/rabi/research-profile>
- [14] John S Rigden (1999) Isidor Isaac Rabi:walking the path of God, *Physics World* [online] vol. 12 number 11 Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2058-7058/12/11/28> (Accessed 23 August 2023)
- [15] Peter A. Rinck (2008) A short history of magnetic resonance imaging, *Spectroscopy Europe* [online] vol. 20 number 1 Available from: <https://www.spectroscopyeurope.com/article/short-history-magnetic-resonance-imaging> (Accessed 23 August 2023)
- [16] Carmen J. Giunta, Vera V. Mainz (2020) Discovery of Nuclear Magnetic Resonance: Rabi, Purcell, and Bloch, [chapter 1] from *Pioneers of Magnetic Resonance* pp 3-20 [online] Available from: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/bk-2020-1349.ch001> (Accessed 23 August 2023)
- [17] Lindley D. (2006) Landmarks: NMR–Grandmother of MRI , *Physical Review* [online] vol 18 Available from: <https://physics.aps.org/story/v18/st18> (Accessed 23 August 2023)
- [18] Erwin L. Hahn, *Biographical Memoirs* Available from: <https://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/hahn-el.pdf> (Accessed 23 August 2023)
- [19] Erwin Louis Hahn, The Slovenian Academy of Sciences and Arts (SASA) Available from: <https://www.sazu.si/en/members/erwin-louis-hahn> (Accessed 23 August 2023)
- [20] Filler, A. (2009) The History, Development and Impact of Computed Imaging in Neurological Diagnosis and Neurosurgery: CT, MRI, and DTI, *Nature Precedings* [online] Available from: <https://www.nature.com/articles/npre.2009.3267.1> (Accessed 23 August 2023)
- [21] Peter A. Rinck (2021) An Excursion into the History of Magnetic Resonance Imaging [chapter 20] from *Magnetic Resonance in Medicine; A Critical Introduction* [online] Available from: <https://www.magnetic-resonance.org/index.html> (Accessed 23 August 2023) pp 373-404

- [22] Prasad, A. (2007). The (Amorphous) Anatomy of an Invention: The Case of Magnetic Resonance Imaging (MRI). *Social Studies of Science* [online] Volume 37, Issue 4, Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0306312706075334> (Accessed 23 August 2023)
- [23] Wehrum, K. ‘How I Did It: Raymond DamadianHe invented the MRI device’”then came the hard part.’, *Inc.* [online] Available from: <https://www.inc.com/magazine/20110401/how-i-did-it-raymond-damadian.html> (Accessed 23 August 2023)
- [24] Damadian, R.V. (1974) ‘APPARATUS AND METHOD FOR DETECTING CANCER IN TISSUE’. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/7e/f4/80/0be51bb56d9256/US3789832.pdf>
- [25] Wikipedia contributors, "Raymond Damadian" Wikipedia, The Free Encyclopedia.
- [26] Wikipedia contributors, "Paul Lauterbur" Wikipedia, The Free Encyclopedia.
- [27] Lauterbur, P.C. (2005), All Science Is Interdisciplinary—From Magnetic Moments to Molecules to Men (Nobel Lecture), *Angewandte Chemie International Edition* [online] vol. 44, issue 7 Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/anie.200462400> (Accessed 23 August 2023) pp 1004-1011
- [28] Lauterbur, P.C. (1973) Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance. *Nature* [online] vol 242, Available from: <https://www.nature.com/articles/242190a0> (Accessed 23 August 2023) pp 190–191
- [29] Hargittai, I. (2020) ‘Paul Lauterbur and Peter Mansfield (chapter 24)’, in Mosaic of a scientific life. SPRINGER NATURE Available from: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-34766-6> (Accessed 23 August 2023) pp 89-91
- [30] ‘In Memoriam: Sir Peter Mansfield (1933-2017)’ (2017) *Magnetic Resonance in Medicine*, vol 78, issue 3, Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mrm.26855> (Accessed 23 August 2023) pp. 826–827.
- [31] Turner, R. (2017) ‘Peter Mansfield (1933–2017)’, *Nature* [online] vol 543, issue 7644, Available from: <https://www.nature.com/articles/543180a> (Accessed 23 August 2023) pp.180

- [32] Kumar, A. (2014) ‘History of MRI’, *Journal of the Indian Institute of Science*, [online] vol 94, issue 4, Available from: <http://journal.library.iisc.ernet.in/index.php/iisc/article/view/4522/4821> (Accessed 23 August 2023) pp. 363–369.
- [33] *Frequently asked questions; A SHORT HISTORY OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING FROM A EUROPEAN POINT OF VIEW*, *Internet archive*. Available from: <https://web.archive.org/web/20070413032705/http://www.emrf.org/FAQs%20MRI%20History.html> (Accessed 23 August 2023)
- [34] Elmaoğlu, M. and Çelik, A. (2012) *MRI Handbook: Mr Physics, Patient Positioning, and protocols*. [online] New York: Springer. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4614-1096-6.pdf> (Accessed 23 August 2023)
- [35] The history of MRI, Available at: <https://www.two-views.com/mri-imaging/history.html> (Accessed: 23 August 2023)
- [36] Kabasawa, Hiroyuki. (2022) “MR Imaging in the 21st Century: Technical Innovation over the First Two Decades.” *Magnetic resonance in medical sciences* [online] vol. 21, Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33867419/> (Accessed: 23 August 2023) pp. 71–82
- [37] Grist, T.M. (2019) ‘The next chapter in MRI: Back to the future?’, *Radiology*, [online] vol 293, Available from: <https://pubs.rsna.org/doi/abs/10.1148/radiol.2019192011?journalCode=radiology> (Accessed: 23 August 2023) pp. 394–395.
- [38] Xia Y., Stilbs P. (2016) “The First Study of Cartilage by Magnetic Resonance: A Historical Account” [online] vol. 7 Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27688837/> (Accessed: 14 September 2023) pp. 293-297.
- [39] Mallard, John R. (2003) "The Evolution of Medical Imaging: From Geiger Counters to MRI--A Personal Saga." *Perspectives in Biology and Medicine*, vol. 46 no. 3, pp. 349-370. Available from: <https://muse.jhu.edu/pub/1/article/44814> (Accessed: 14 September 2023)
- [40] Kelly A. Joyce (2006) “From numbers to pictures: The development of magnetic resonance imaging and the visual turn in medicine”, *Science as Culture*, volume 15, issue 1, Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09505430600639322> (Accessed: 14 September 2023) pp 1-22,

[41] Burri, R. V. (2008). “Doing Distinctions: Boundary Work and Symbolic Capital in Radiology” *Social Studies of Science*, [online] volume 38, issue 1, Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0306312707082021> (Accessed: 14 September 2023) pp.35–62.

[42] Wikipedia contributors, "Nobel Prize" Wikipedia, The Free Encyclopedia.

[43] Feldman, B. (2013) *The nobel prize: A history of genius, controversy, and prestige*. 1st edn. New York: Arcade.

[44] Casadevall, A. and Fang, F.C. (2013) ‘Is The nobel prize good for science?’, *The FASEB Journal*, [online] vol 27, issue 12, Available from: <https://faseb.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1096/fj.13-238758> (Accessed 23 August 2023) pp. 4682–4690.

[45] Dreizen, P. (2004) ‘The nobel prize for MRI: A Wonderful Discovery and a sad controversy’, *The Lancet* [online] vol 363, issue 9402, Available from: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(03\)15182-3/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(03)15182-3/fulltext) (Accessed 23 August 2023) pp. 78.

[46] Macchia, R.J., Termine, J.E. and Buchen, C.D. (2007) ‘Raymond v. Damadian, M.D.: Magnetic Resonance Imaging and the controversy of the 2003 Nobel prize in physiology or medicine’, *Journal of Urology* [online] vol 178, issue 3, Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002253470701227X> (Accessed 23 August 2023) pp. 783–785.

[47] Breitzman, A. (2017) *An empirical look at the controversy surrounding The nobel prize for magnetic resonance imaging*, Faculty Scholarship for the College of Science & Mathematics [online] Available from: [https://rdw.rowan.edu/csm\\_facpub/80/?utm\\_source=rdw.rowan.edu%2Fesm\\_facpub%2F80&utm\\_medium=PDF&utm\\_campaign=PDFCoverPages](https://rdw.rowan.edu/csm_facpub/80/?utm_source=rdw.rowan.edu%2Fesm_facpub%2F80&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages) (Accessed 23 August 2023)

[48] Harris, R.F. (2003) ‘Nobel grudge’, *Current Biology*, [online] vol 13, issue 22, Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982203008078> Accessed 23 August 2023)

[49] *The shameful wrong that must be righted*, FONAR. Available at: [http://www.fonar.com/pdf/times\\_ad.pdf](http://www.fonar.com/pdf/times_ad.pdf) (Accessed: 23 August 2023).

[50] Boesch, C. (2004) ‘Nobel prizes for nuclear magnetic resonance: 2003 and Historical Perspectives’, *Journal of Magnetic Resonance Imaging* [online] vol 20, issue 2 Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jmri.20120>

(Accessed: 23 August 2023) pp. 177–179.

[51] Dehlinger, Lynn (2004) "The MRI Inventors: Who Was Responsible?," ESSAI: Vol. 2, Article 9. Available at:

[https://dc.cod.edu/essai/vol2/iss1/9/?utm\\_source=dc.cod.edu%2Fessai%2Fvol2%2Fiss1%2F9&utm\\_medium=PDF&utm\\_campaign=PDFCoverPages](https://dc.cod.edu/essai/vol2/iss1/9/?utm_source=dc.cod.edu%2Fessai%2Fvol2%2Fiss1%2F9&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages)

[52] Bradley, W.G. (2004) 'The nobel prize: Three investigators allowed but two were chosen', *Journal of Magnetic Resonance Imaging* [online] vol 20, issue 2, Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jmri.20121> (Accessed: 23 August 2023) pp. 180.

[53] Rinckside (1990-1991) Science, Medicine, Imaging, Academia, Philosophy, Ethics, Satire, Advice volume 1&2 [online] Available from: <https://www.rinckside.org/Columns/pdf/Vol01-2-1990-1.pdf> (Accessed 14 September 2023)

[54] Wikipedia contributors, "Αλφρέντ Καστλέρ" Wikipedia, The Free Encyclopedia

[55] The Nobel Prize, John H. Van Vleck , Biographical [online] Available from: <https://www.nobelprize.org/> (Accessed 14 September 2023)

[56] Wikipedia contributors, "Nicolaas Bloembergen" Wikipedia, The Free Encyclopedia.

[57] The Nobel Prize, K. Alex Müller , Biographical [online] Available from: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1987/muller/biographical/> (Accessed 14 September 2023)

[58] Wikipedia contributors, "Hans Georg Dehmelt" Wikipedia, The Free Encyclopedia.

[59] The Nobel Prize, Norman F. Ramsey , Biographical [online] Available from: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1989/ramsey/biographical/> (Accessed 14 September 2023)

[60] *Εθνος* (2021) 'Ιατρόπολις: 35 χρόνια λειτουργίας για τον Όμιλο που έφερε τον 1ο Μαγνητικό τομογράφο στην Ελλάδα', 25 June. Available at: <https://www.ethnos.gr/health/article/158272/iatropolis35xronialeitoyrgiasgiatonomilopoyefereton1omagnhtikotomografosthnellada> (Accessed: 14 September 2023).

[61] *Η εξέλιξη των απεικονιστικών τμημάτων*. Available at: <https://www.hygeia.gr/hygeia/50-chronia-ygeia/h-exelixa-tis-iatrikis/i-exelixa-ton-apeikonistikon-tmimaton/> (Accessed: 14 September 2023).

[62] Αξονική / Μαγνητική Τομογραφία. Available at:

<https://www.mitera.gr/department/axoniki-magnitiki-tomografia/> (Accessed: 14 September 2023).

[63] Ιατρικές Απεικονίσεις. Available at: [https://www.iaso.gr/paidiatriki-](https://www.iaso.gr/paidiatriki-kliniki/ypiresies/diagnostikos-tomeas/iatrikes-apeikoniseis/magnitikos-tomografos)

[kliniki/ypiresies/diagnostikos-tomeas/iatrikes-apeikoniseis/magnitikos-tomografos](https://www.iaso.gr/paidiatriki-kliniki/ypiresies/diagnostikos-tomeas/iatrikes-apeikoniseis/magnitikos-tomografos) (Accessed: 14 September 2023).

[64] Εγκαθίσταται στην Ελλάδα ο πρώτος μαγνητικός τομογράφος 1.5T με τεχνολογία AIRTM και τεχνητή νοημοσύνη. Available at:

<https://www.iatronet.gr/results?q=%CE%95%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CE%B8%CE%AF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%B9+%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD+%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1+%CE%BF+%CF%80%CF%81%CF%8E%CF%84%CE%BF%CF%82+%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82+%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%82+1.5T+%CE%BC%CE%B5+%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1+AIRTM+%CE%BA%CE%B1%CE%B9+%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE+%CE%BD%CE%BF%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CF%83%CF%8D%CE%BD%CE%B7#gsc.tab=0&gsc.q=%CE%95%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CE%B8%CE%AF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%B9%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%20%CE%BF%20%CF%80%CF%81%CF%8E%CF%84%CE%BF%CF%82%20%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82%20%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%82%201.5T%20%CE%BC%CE%B5%20%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20AIRTM%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%20%CE%BD%CE%BF%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CF%83%CF%8D%CE%BD%CE%B7&gsc.page=1> (Accessed: 14 September 2023).

[65] Μαγνητική Τομογραφία. Available at:

<https://www.euromedica.gr/%cf%85%cf%80%ce%b7%cf%81%ce%b5%cf%83%ce%af%ce%b5%cf%82/%ce%b1%cf%80%ce%b5%ce%b9%ce%ba%ce%bf%ce%bd%ce%b9%cf%83%cf%84%ce%b9%ce%ba%ce%b5%cf%83/%ce%bc%ce%b1%ce%b3%ce%bd%ce%b7%cf%84%ce%b9%ce%ba%ce%b7-%cf%84%ce%bf%ce%bc%ce%bf%ce%b3%cf%81%ce%b1%cf%86%ce%b9%ce%b1/> (Accessed: 14 September 2023).

[66] MRI. Available at: <https://www.iatropoli.gr/en/diagnostics/mri-scan> (Accessed: 14 September 2023).

- [67] *Ιατρικά εργαστήρια ακτινοβολιών - Συγκεντρωτικοί Πίνακες ανά Περιφέρεια* (2023) *Ελληνική επιτροπή ατομικής ενέργειας*. Available at: <https://eeae.gr/%CE%B9%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%A C-%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE %B9%CE%B1-%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF% CE%BB%CE%B9%CF%8E%CE%BD> (Accessed: 23 August 2023).
- [68] *Healthcare Resources, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)*. Available at: [https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=HEALTH\\_REAC&lang=en](https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=HEALTH_REAC&lang=en) (Accessed: 23 August 2023).
- [69] Wikipedia contributors, "List of European countries by population" Wikipedia, The Free Encyclopedia
- [70] *Health at a Glance 2021 : OECD Indicators, OECD iLibrary*. Available at: [https://www.oecd-ilibrary.org/sites/ae3016b9-en/1/3/5/9/index.html?itemId=%2Fcontent%2Fpublication%2Fae3016b9-en&\\_csp\\_=ca413da5d44587bc56446341952c275e&itemIGO=oecd&itemContentType=book](https://www.oecd-ilibrary.org/sites/ae3016b9-en/1/3/5/9/index.html?itemId=%2Fcontent%2Fpublication%2Fae3016b9-en&_csp_=ca413da5d44587bc56446341952c275e&itemIGO=oecd&itemContentType=book) (Accessed: 23 August 2023).
- [71] Ινστιτούτο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας (INBIT) (2017) *ΕΞΟΡΘΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΑΞΙΑΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΟΥ ΙΑΤΡΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ*. [online] Available at: <https://www.efie.gr/index.php/gr/informations-3/announcements/item/340-eksorthologismos-tis-katanomis-kai-tis-xrisis-tou-ypsilis-aksias-kefalaiouxikou-iatrikou-eksoplismou-stin-ellada> (Accessed: 23 August 2023).
- [72] Κάλλας Γ.(2020) *Μελέτη Κατανομής και Χρήσης των Ιατρικών Απεικονιστικών Συστημάτων στην Ελλάδα*, Μεταπτυχιακή εργασία, Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Available at: <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2925626/theFile> (Accessed: 23 August 2023).
- [73] Vlantoni, K., Kandaraki, A. and Pavli, A. (2017) 'Medical Technologies and Health Policies in Post-Second World War Greece', *History of Technology*, Vol. 33, pp. 107–133. Available at: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:oru:diva-59087> (Accessed: 23 September 2023)
- [74] Stogiannos, N. and Westbrook, C. (2020) 'Investigating MRI safety practices in Greece. A national survey', *Hellenic Journal of Radiology*, [online] volume 5, issue 2, Available from: <https://www.hjradiology.org/index.php/HJR/article/view/347>

(Accessed: 14 September 2023) pp. 24–35.

[75] Τσωλη Θ. (2003) ‘Ο Έλληνας ασθενής στην «Εντατική» της Ε.Ε.’, *Επιθεώρηση Υγείας*, τόμος 14, τεύχος 80, pp 47-48

[76] Πρίφτη Μ. (2017) *Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα δημοσίου και ιδιωτικού τομέα υγείας*, Μεταπτυχιακή εργασία, Αθήνα: Πανεπιστήμιο Πειραιώς Available at: <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/11024> (Accessed: 29 September 2023)

[77] Μουτζίκου Α., Σταμούλη Μ., Αθανασιάδη Ε. (2013) ‘Οι δαπάνες υγείας στην Ελλάδα και τις χώρες της Ε.Ε’ , *Επιθεώρηση Υγείας*, τόμος 24, τεύχος 144, pp 6-17

[78] Συνήγορος του πολίτη και υγειονομικός τομέας, *Επιθεώρηση Υγείας*, τόμος 14, τεύχος 81, pp 10

[79] Μουτζίκου Α., Σταμούλη Μ., Αθανασιάδη Ε., Ξάνθης Χ. (2013) ‘Ποιότητα στις υπηρεσίες υγείας και ικανοποίηση των χρηστών’ , *Επιθεώρηση Υγείας*, τόμος 24, τεύχος 140, pp 23-25

[80] Παπασάββας Ε. (2005) ‘Η λειτουργία του δημόσιου νοσοκομείου και οι προτεινόμενες βελτιώσεις’ *Επιθεώρηση Υγείας*, τόμος 16, τεύχος 95, pp 47-48

[81] Διλιντας Α., Σεβαστακη Ε. (2005) ‘Το ΕΣΥ και οι ανισότητες στην υγεία: Μια κριτική προσέγγιση’ *Επιθεώρηση Υγείας*, τόμος 17, τεύχος 99, pp 11-15

[82] OECD/European Union (2022), *Health at a Glance: Europe 2022: State of Health in the EU Cycle*, OECD, Publishing Available at: [https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-europe-2022\\_507433b0-en](https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-europe-2022_507433b0-en) pp 132-134, 170-171

[83] OECD Data, *Health spending*, Available at: <https://data.oecd.org/healthres/health-spending.htm> (Accessed: 29 September 2023)

[84] Ρεβανογλου Α. (2013), ‘Ο εσωτερικός έλεγχος στα ελληνικά νοσοκομεία’ *Επιθεώρηση Υγείας*, τόμος 24, τεύχος 140, pp 19-20

[85] *PET/MRI Scan* Available at: <https://stanfordhealthcare.org/medical-tests/p/pet-mri-scan.html> (Accessed: 30 September 2023)

[86] ‘What’s New in MRI Technology — 2024 Edition’ (2024), 17 November Available at: <https://www.cassling.com/blog/whats-new-in-mri-technology-2024-edition> (Accessed: 30 September 2023).

[87] *Fujifilm Launches New MRI System, ECHELON Synergy with Deep Learning Reconstruction Technology* (2023) *Imaging Technology News*. Available at:



<https://www.itnonline.com/content/fujifilm-launches-new-mri-system-echelon-synergy-deep-learning-reconstruction-technology> (Accessed: 30 September 2023).

[88] Hendrix, K., *Innovative MRI Machine Makes Imaging Possible For More Patients, Medical University of South Carolina*. Available at: <https://mushealth.org/patients-visitors/about-us/2020-year-in-review/innovative-mri-machine> (Accessed: 30 September 2023).

[89] Hussain, G. (2023) *The Future of Magnetic Resonance Imaging(MRI)*. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/future-magnetic-resonance-imagingmri-ghulam-hussain/> (Accessed: 30 September 2023).

[90] JOSEPH, J.P. (2023) *MRI Meets AI, Imaging Technology News*. Available at: <https://www.itnonline.com/article/mri-meets-ai> (Accessed: 30 September 2023).

[91] Gassenmaier, S. *et al.* (2021) ‘Deep learning applications in Magnetic Resonance Imaging: Has the future become present?’[online] vol.11, issue 12, Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8700442/> (Accessed: 30 September 2023).

[92] Mao, H., Garza-Villarreal, E.A., Moy, L., Hussain, T., Scott, A.D., Lupo, J.M., Zhou, X.J. and Fleischer, C.C. (2024), Ethical Considerations for MRI Research in Human Subjects in the Era of Precision Medicine. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* [online] Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jmri.28969> (Accessed: 28 February 2024)

[93] *ARMRIT Code of Ethics* [online] Available at: [https://www.armrit.org/pdf/Code\\_of\\_Ethics1.pdf](https://www.armrit.org/pdf/Code_of_Ethics1.pdf) (Accessed: 28 February 2024)

[94] Michael Hayden, Pierre-Jean Nacher, History and physical principles of MRI, Luca SABA. *Magnetic Resonance Imaging Handbook*, 1, CRC press, 2016, ISBN-13: 978-1482216288