

# Ο Μαγνητικό Τομογράφος

**Αλέξανδρος Μητελούδης Βαγιωνάς**

Μαθητής Β2 Γυμνασίου, Ελληνικό Κολλέγιο Θεσσαλονίκης

**Επιβλέπων Καθηγητής:**

**Κωνσταντίνος Παρασκευόπουλος**

Καθηγητής Πληροφορικής Ελληνικού Κολλεγίου Θεσσαλονίκης

## Περίληψη

Η Μαγνητική Τομογραφία είναι μια ακτινολογική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού ενός οργανισμού. Ο μαγνητικός τομογράφος αποτελείται από μαγνήτες, πηνία ραδιοσυχνοτήτων, Η/Υ και λογισμικό. Ο πρώτος μαγνητικός τομογράφος λειτούργησε πειραματικά το 1977, ενώ η εμπορική εφαρμογή του στην ιατρική ξεκίνησε το 1992. Η λειτουργία του στηρίζεται στον ηλεκτρομαγνητισμό και στο μαγνητικό συντονισμό των ατόμων υδρογόνου του σώματός μας. Η μαγνητική τομογραφία, έχει φέρει νέα επανάσταση στην ακτινοδιαγνωστική, καθώς με τη χρήση μαγνητικού τομογράφου είναι δυνατή η λήψη πληροφοριών σχετικά με την βιοχημική κατάσταση των ιστών με την μορφή εικόνων και φασμάτων. Η MRI προσφέρει την δυνατότητα του έγκαιρου εντοπισμού διαφόρων βιοχημικών αλλαγών οι οποίες συμβαίνουν πριν το σχηματισμό κακοήθειας, ενώ δεν επιβαρύνει τον εξεταζόμενο με ιονίζουσες ακτινοβολίες.

**Λέξεις-κλειδιά:** Μαγνητικός τομογράφος, MRI, ιατρική

## Ο μαγνητικός τομογράφος στην ιατρική

Ο μαγνητικός τομογράφος ανήκει στην γενική τεχνολογική ενότητα της ιατρικής. Η Ιατρική είναι επιστήμη και τέχνη που ασχολείται με την έρευνα και την εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για την πρόληψη, τη διάγνωση και τη θεραπεία των ασθενειών του ανθρώπου. Η ανάγκη της βελτίωσης των μεθόδων πρόληψης ασθενιών, της αποκατάστασης και της διατήρησης της υγείας με σκοπό την μακροζωία (και ίσως την ελπίδα της αθανασίας) ώθησαν τον άνθρωπο να δημιουργήσει και να εξελίξει τεχνολογίες και όργανα με τα οποία θα επιτύχει

τον σκοπό αυτό. Η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (Magnetic Resonance Imaging - MRI), ή αλλιώς Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός, ή όπως είναι περισσότερο γνωστή στην Ελλάδα, Μαγνητική Τομογραφία είναι μια ακτινολογική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού ενός οργανισμού. Θεωρείται τεράστια ιατρική πρόοδος.

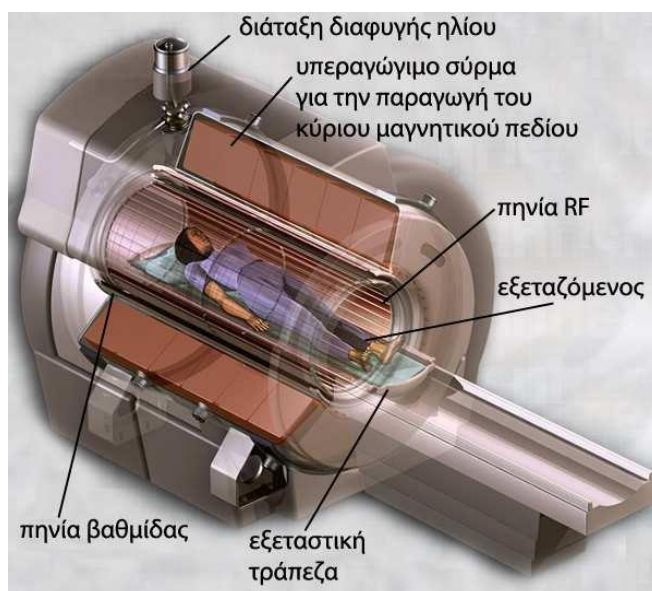
### Περιγραφή του μαγνητικού τομογράφου

Τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας μαγνητικός τομογράφος είναι:

- Οι μαγνήτες που παράγουν τα μαγνητικά πεδία.
- Τα πηνία ραδιοσυχνοτήτων (RF coils) που στέλνουν και λαμβάνουν ραδιοκύματα με τρόπο παρόμοιο με την κεραία ενός ραδιοφώνου.
- Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής που υποδέχεται τα σήματα των πηνείων λήψης ραδιοσυχνοτήτων.
- Το λογισμικό του υπολογιστή που επεξεργάζεται αυτά τα σήματα και τα μετατρέπει σε εικόνα.

Επίσης, έχει και συνοδευτικά εξαρτήματα, όπως την εξεταστική τράπεζα στην οποία ξαπλώνει ο εξεταζόμενος, κλπ (Εικόνα 1).

Εικόνα 1: Σχέδιο της δομής μαγνητικού τομογράφου



## Ιστορική εξέλιξη του μαγνητικού τομογράφου

Στην ανακάλυψη και στη συνεχή βελτίωση του μαγνητικού τομογράφου οδήγησε η ανάγκη για την λεπτομερή παρουσίαση των ιστών των εσωτερικών οργάνων ενός ανθρώπου με σκοπό την πρόληψη και διάγνωση ασθενειών. Οι άνθρωποι γνώριζαν την ύπαρξη του μαγνητισμού απ' τα αρχαία χρόνια. Οι προσπάθειές τους να καταλάβουν και να εξηγήσουν το φαινόμενο οδήγησαν σε θρησκευτικές διώξεις, ελιξίρια ζωής, θεραπείες για την επιληψία, εργαλεία για την εξερεύνηση της γης, την πλοήγηση στη θάλασσα και σε μηχανήματα που μπορούν να παράγουν τρισδιάστατες απεικονίσεις των εσωτερικών οργάνων των ανθρώπων.

Σχετικά με το θεωρητικό υπόβαθρο του μαγνητικού τομογράφου αρχικά πρέπει να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στον μαθηματικό Ζοζέφ Φουριέ ο οποίος ανακάλυψε τους ομώνυμους μετασχηματισμούς, χωρίς τους οποίους θα ήταν αδύνατη σήμερα η ανακατασκευή των φασμάτων και στον Νικόλα Τέσλα για τις εφευρέσεις του σχετικά με τον ηλεκτρομαγνητισμό οι οποίες έδωσαν μεγάλη ώθηση στην περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας. Αρχικά το 1924 ο Pauli μετά από σειρά μελετών πρότεινε την θεωρητική ύπαρξη μιας εγγενούς πυρηνικής περιστροφής. Το 1925 οι Uhlenbeck και Goudsmit εισήγαγαν στην φυσική την έννοια του περιστρεφόμενου ηλεκτρονίου. Δύο χρόνια αργότερα, ο Pauli και ο Charles Galton Darwin ανέπτυξαν ένα θεωρητικό πλαίσιο για την έννοια της περιστροφής ηλεκτρονίων με βάση τους νόμους της κβαντικής μηχανικής που αναπτύχθηκαν από τον Έρβιν Σρέντινγκερ και τον Βέρνερ Χάιζενμπεργκ.

Οι πρώτες μελέτες σχετικά με τις μαγνητικές ιδιότητες των πυρήνων ξεκινούν στις αρχές της δεκαετίας του '30 με τους Gorter και Rabi. Το 1933 ο Otto Stern και ο Walther Gerlach ήταν σε θέση να μετρήσουν την επίδραση της πυρηνικής περιστροφής από την εκτροπή μιας ακτίνας μορίων υδρογόνου. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '30, το εργαστήριο του Isidor Isaac Rabi στο πανεπιστήμιο Κολούμπια της Νέας Υόρκης έγινε σημαντικό κέντρο σχετικών μελετών. Ο Gorter χρησιμοποίησε αρχικά τον όρο "πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός" σε μια δημοσίευση που εμφανίστηκε στην Ολλανδία το 1942.

Ο μαγνητικός συντονισμός περιστροφής ηλεκτρονίων ανακαλύφθηκε στο πανεπιστήμιο Kazan από τον Yevgeni K. Zavoisky προς το τέλος του 1943. Ο Zavoisky είχε ανιχνεύσει τον πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό το 1941 και παρουσίασε τα πορίσματά του σε αγγλόφωνο ρωσικό επιστημονικό περιοδικό, αλλά δεν είχε αντίκτυπο στην επιστημονική κοινότητα της εποχής. Επίσημα το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (nuclear magnetic resonance-NMR) ανακαλύφθηκε ανεξάρτητα από τους Φέλιξ Μπλοχ (Stanford) και Έντουαρντ Πάρσελ (Harvard) το 1946 και το 1952 βραβεύονται με βραβείο Νόμπελ φυσικής.

Λίγα χρόνια αργότερα αναπτύχθηκε η φασματοσκοπία NMR, η οποία ξεκινά να εφαρμόζεται κυρίως για την *in vitro* έρευνα στοιχείων και χημικών ενώσεων (σε μελέτες με πολλές τεχνικές δυσκολίες και με αρκετά σφάλματα). Το 1955/1956, ο Erik Odeblad και ο Gunnar Lindstrom από τη Στοκχόλμη δημοσίευσαν τις πρώτες μελέτες NMR, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων χρόνων χαλάρωσης, μελετών ζωντανών κυττάρων και αξιολόγησης ζωικών ιστών. Ο Odeblad συνέχισε τις μελέτες σε ζωντανούς ιστούς καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του '50 και του '60. Το 1959 ο Jay Singer μελέτησε την δυνατότητα μέτρησης ροών σε ιστούς. Στα τέλη της δεκαετίας του '60 γίνονται έρευνες για την λήψη σημάτων και προσδιορισμού των χρόνων χαλάρωσης σε ανθρώπους και σε ζώα με κυριότερη την μελέτη του J. Johns, ο οποίος μελέτησε την χημική σύσταση των ιστών ζωντανών ζώων (1967). Η εφεύρεση του αξονικού τομογράφου στα μέσα της δεκαετίας του '60 επηρέασε θετικά την έρευνα για την εξέλιξη των εφαρμογών απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού. Μερικές εβδομάδες μετά την εγκατάσταση του πρώτου αξονικού τομογράφου (Αγγλία, 1971) ο Paul Lauterbur ανακαλύπτει την δυνατότητα χωρικής χαρτογράφησης των μοριακών συγκεντρώσεων συνδυάζοντας τα γραμμικά βαθμιδωτά πεδία (χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά από τον Erwin L. Hahn το 1950) και την τεχνική της οπισθοπροβολής (σε αυτή βασίζεται η αξονική τομογραφία).

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 πραγματοποιούνται οι πρώτες μελέτες της φασματοσκοπίας φωσφόρου για την ανάλυση δειγμάτων ερυθροκυττάρων (Moon 1973). Το 1974 ο Hoult μελετά με την φασματοσκοπία φωσφόρου την σύσταση των μυικών ιστών ποντικών. Τότε γίνεται φανερό ότι η φασματοσκοπία προσφέρει μη επεμβατική *in vivo* ανάλυση της σύστασης και του μεταβολισμού των ιστών.

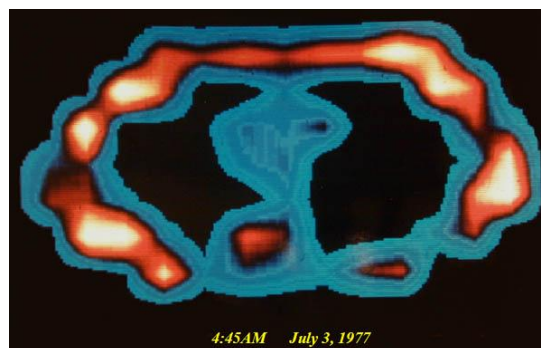
Το 1972 ο Raymond Damadian ανακαλύπτει ότι οι παθολογικοί ιστοί εμφανίζουν μεγαλύτερους χρόνους χαλάρωσης σε σχέση με τους αντίστοιχους υγιείς. Το 1973 ο Lauterbur παρουσιάζει την εικόνα δυο σωλήνων με νερό στο περιοδικό Nature και το 1974 παρουσιάζει την απεικόνιση της θωρακικής κοιλότητας ενός ποντικού. Ονόμασε την τεχνική αυτή ζευγματογραφία, όρος ο οποίος μετέπειτα αντικαταστάθηκε από τον όρο απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού. Το 1974 οι Anil Kumar, Dieter Welti και Richard Ernst παρουσίασαν την εργασία 'NMR Fourier Zeugmatography' η οποία περιγράφει την χρήση χρονικά μεταβαλλόμενων βαθμιδωτών πεδίων και την εφαρμογή των μετασχηματισμών Fourier για την ανακατασκευή των εικόνων. Επίσης το 1974 η εταιρία EMI ασχολήθηκε με την κατασκευή εξοπλισμού αυτού του είδους. Με την συνεισφορά και των εργασιών του Damadian και τις ανακαλύψεις του Lauterbur επήλθε επανάσταση στην ιατρική απεικόνιση καθώς οδήγησε στην δημιουργία του πρώτου υποτυπώδους πειραματικού μαγνητικού τομογράφου.

Οι καθηγητές Damadian, Minkoff και Goldsmith, μόλις ολοκλήρωσαν την κατασκευή του πρώτου υποτυπώδους μαγνητικού τομογράφου (Indomitable), στις 3 Ιουλίου 1977, μετά από μέτρηση 6 ωρών και ανακατασκευή 22 ωρών παρήγαγαν την πρώτη ιατρική εικόνα του ανθρώπινου σώματος (τομή θωρακικής χώρας).

Επίσης το 1977 ο Sir Peter Mansfield και η ομάδα του έλαβαν εικόνες από τομή δακτύλου του χεριού και από την κοιλιακή χώρα με την βοήθεια της τεχνικής Echo Planar Imaging (E.P.I.).

Το 1992 εμφανίστηκε ο πρώτος εμπορικά διαθέσιμος μαγνητικός τομογράφος για ιατρικές εφαρμογές. Στις μέρες μας υπάρχουν περίπου 30000 μαγνητικοί τομογράφοι σε λειτουργία για ιατρική χρήση σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ παρασκευάζονται 2000 καινούργιοι κάθε χρόνο. Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής αντιπροσωπεύουν το 40% της παραγωγής των μαγνητικών τομογράφων. Στην Ελλάδα βρίσκονται εγκατεστημένοι 201 μαγνητικοί τομογράφοι (17,9 μονάδες ανά 1 εκ. Κατοίκους). Η Ελλάδα δεν παράγει μαγνητικούς τομογράφους.

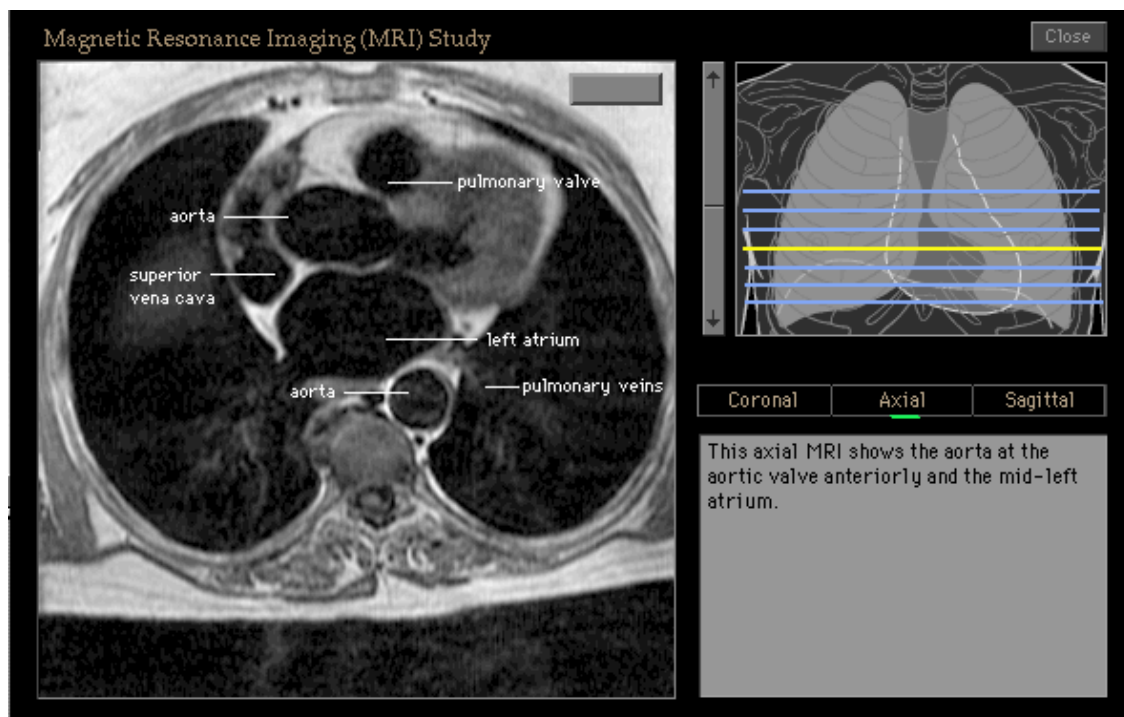
Εικόνες 2, 3: Ο πρώτος μαγνητικός τομογράφος και απεικόνιση του θώρακα από τον πρώτο μαγνητικό τομογράφο



Εικόνες 4,5: Σύγχρονοι μαγνητικοί τομογράφοι



Εικόνα 6: Απεικόνιση του θώρακα από σύγχρονο μαγνητικό τομογράφο



## **Αρχή λειτουργίας μαγνητικού τομογράφου**

Ο μαγνητικός τομογράφος στηρίζεται στον ηλεκτρομαγνητισμό. Έτσι η λειτουργία του βασίζεται σε ένα πηνίο, το οποίο δημιουργεί ένα εξαιρετικά ισχυρό μαγνητικό πεδίο όταν το διαπεράσει ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό το μαγνητικό πεδίο είναι ως και 100.000 φορές ισχυρότερο από το φυσικό μαγνητικό πεδίο της Γης. Για το λόγο αυτό, απαγορεύεται να υπάρχουν μεταλλικά αντικείμενα κοντά στον τομογράφο όταν αυτός λειτουργεί. Ο εξεταζόμενος μπαίνει μέσα στο ισχυρό αυτό και ομοιογενές μαγνητικό πεδίο του τομογράφου. Το μαγνητικό αυτό πεδίο, με δυο λόγια, αναγκάζει τα άτομα υδρογόνου του σώματος μας, να ευθυγραμμιστούν και να στραφούν είτε προς τα πόδια είτε προς το κεφάλι. Τα άτομα υδρογόνου προσφέρονται γι' αυτό, καθώς ο πυρήνας τους συμπεριφέρεται σαν βελόνα πυξίδας. Το σώμα μας είναι γεμάτο υδρογόνο, καθώς το στοιχείο υπάρχει στα μόρια του νερού και είμαστε 65-85 % νερό. Στη συνέχεια, εκπέμπεται στο σημείο του σώματος που είναι υπό εξέταση ένας ραδιοπαλμός. Η συχνότητα του ραδιοπαλμού επιλέγεται έτσι, ώστε τα άτομα υδρογόνου να στροβιλιστούν και να διαταραχθεί το κατά τα άλλα ομοιογενές μαγνητικό πεδίο του σώματός μας. Όταν σταματήσει ο ραδιοπαλμός, οι πυρήνες των ατόμων υδρογόνου ξαναπαίρνουν την προηγούμενη θέση τους, ενώ ταυτόχρονα, λόγω της διέγερσης, εκπέμπουν έναν ασθενή ραδιοπαλμό, ο οποίος μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα και συλλαμβάνεται από έναν ισχυρό ηλεκτρονικό υπολογιστή που αποθηκεύει τα σήματα και με την βοήθεια ειδικού λειτουργικού τα μετατρέπει σε μια απίθανα λεπτομερειακή εικόνα του ιστού. Οι μαγνητικές τομογραφίες είναι ανώδυνες και δεν υπάρχει καμιά ένδειξη ότι προκαλούν παρενέργειες.

## **Χρησιμότητα της μαγνητικής τομογραφίας για τον άνθρωπο**

Με την αποκλειστική χρήση μαγνητικού τομογράφου είναι δυνατή η λήψη πληροφοριών σχετικά με την βιοχημική κατάσταση των ιστών με την μορφή εικόνων και φασμάτων. Η MRI προσφέρει την δυνατότητα του έγκαιρου εντοπισμού διαφόρων βιοχημικών αλλαγών οι οποίες συμβαίνουν πριν το σχηματισμό κακοήθειας. Επίσης σε σχέση με άλλες απεικονιστικές μεθόδους, προσφέρει μεγαλύτερη ευαισθησία, καλύτερη διακριτική ικανότητα και μεγαλύτερη ευελιξία στην εφαρμογή. Η μαγνητική τομογραφία προσφέρει μία πληθώρα εργαλείων για την εύρεση και την παρακολούθηση της πορείας διαφόρων βλαβών καθώς επίσης και την δυνατότητα πολλών επαναλήψεων μιας και οι ασθενείς δεν επιβαρύνονται με ιοντίζουσες ακτινοβολίες ή άλλες χημικές ουσίες. Επίσης η εφαρμογή της γεφυρώνει το χάσμα της ανατομικής απεικόνισης και της μοριακής απεικόνισης καθώς προσφέρει την δυνατότητα χωρικής απεικόνισης της λειτουργικής κατάστασης των ιστών. Με την βοήθεια της μαγνητικής τομογραφίας είναι δυνατή η σταδιοποίηση και ο

χαρακτηρισμός, η εκτίμηση της πορείας της νόσου και η παρατήρηση της ανταπόκρισης των ιστών στην θεραπεία. Η δυνατότητα εφαρμογής σε όλες σχεδόν τις ανατομικές περιοχές και η ραγδαία εξέλιξη της σχετικής τεχνολογίας υπόσχονται ταχύτερη, καλύτερη και ακόμα πιο έγκαιρη διάγνωση σε σχέση με άλλες πιο πολύπλοκες και ακριβότερες διαγνωστικές μεθόδους. Συνοπτικά τα κυριότερα πλεονεκτήματα είναι: α. η εκμετάλλευση πολλαπλών φυσικών παραμέτρων για τη λήψη φασμάτων και μεταβολικών χαρτών υψηλής διαγνωστικής αξίας και στα τρία χωρικά επίπεδα. β. η αποφυγή επιβάρυνσης του εξεταζόμενου με ιοντίζουσες ακτινοβολίες (ακτινοβολίες X, γ, β - δυνατότητα επανάληψης χωρίς σημαντικές επιπτώσεις). γ. ο προσδιορισμός της βιοχημικής σύστασης του οργανισμού με διαδικασίες ανώδυνες, με μη επεμβατικό χαρακτήρα.

Όμως, η μαγνητική τομογραφία, παρότι έχει φέρει νέα επανάσταση στην ακτινοδιαγνωστική, εμφανίζει και ορισμένα μειονεκτήματα: Η αφθονία εφαρμογών και η απαίτηση σύνθετης γνώσης φυσικών παραμέτρων, υπολογιστών, μαθηματικών, φυσιολογίας και ανατομίας για την σωστή εκμετάλλευση αυτού του εργαλείου καθιστά σχετικά δύσκολη την εφαρμογή του. Η μεγάλη χρονική διάρκεια εκτέλεσης ορισμένων ακολουθιών. Η ερμηνεία και η επεξεργασία των εικόνων και των ποσοτικών δεδομένων καθώς επίσης και η δυσκολία αναγνώρισης των ψευδενδείξεων. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στην ιατρική έχουν υψηλό κόστος (περίπου ένα εκατομμύριο δολάρια ανά Τέσλα για μία μονάδα, καθώς και μερικές χιλιάδες ευρώ για τη συντήρησή τους).

Οι σημερινοί τομογράφοι των νοσοκομείων παράγουν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της τάξης των 1,5-3 Τέσλα και μπορούν να «δουν» δομές με μήκος έως ένα χιλιοστό περίπου. Ένας νέος τομογράφος που αναμένεται να λειτουργήσει στο γερμανικό πανεπιστήμιο του Φράιμπουργκ, θα γεννά πανίσχυρα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ικανά να σηκώσουν στον αέρα βάρος 60 μετρικών τόνων (περίπου όσο πέντε διώροφα λεωφορεία του Λονδίνου). Το νέο μηχάνημα, που θα έχει κόστος 200 εκατ. ευρώ, θα παράγει ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της τάξης των 11,75 Τέσλα και θα μπορεί να δει δομές του σώματος έως 0,1 χιλιοστά, δηλαδή θα έχει δεκαπλάσιες δυνατότητες απεικόνισης. Επίσης, θα μπορεί να καταγράψει αλλαγές στο σώμα, που θα συμβαίνουν με ταχύτητα ενός δεκάτου του δευτερολέπτου. Ο μαγνητικός αυτός τομογράφος (ο οποίος περιέχει πάνω από 200 χιλιόμετρα υπεραγωγίων καλωδίων από κράμα νιόβιου και τιτάνιου) κατ' αρχήν προορίζεται ως ερευνητικό εργαλείο για την απεικόνιση ιδίως του εγκεφάλου με περισσότερες λεπτομέρειες από κάθε άλλη φορά, ενώ στην πορεία ίσως ρίξει περισσότερο φως επίσης στα μυστήρια του νου και των ονείρων.

## Βιβλιογραφία και πηγές πληροφοριών

<http://www.matrix24.gr/2013/10/έρχεται-ο-ισχυρότερος-μαγνητικός-τομ/> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://www.eng.ucy.ac.cy/cpitris/courses/ece001/Presentations/L11-MRI.pdf> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://www.scienceillustrated.gr/site/πώς-λειτουργεί-ένας-μαγνητικός-τομογ/> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://www.chemist.gr/2013/02/8703/> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

[http://www.google.com/imgres?start=88&client=safari&rls=en&biw=1440&bih=719&tbn=sch&tbnid=M\\_2xZixZLAyDzM:&imgrefurl=http://mriandmedicalimaging.blogspot.com/2011/12/alzheimer.html&docid=Cn6RMRgtoG4iDM&imgurl=http://3.bp.blogspot.com/-IU6YxFWONkg/Tuxio0gaWnI/AAAAAAAAAAk/6SyeHy\\_y\\_s4/s640/MRI%252B%252525CE%252525BA%252525CE%252525B1%252525CE%252525B9%252BAIzheimer%252Bte%252Blike%252BPage%252B09%252BImage%252B0001.jpg&w=600&h=537&ei=0ibUoqWBIHXtAbL9oCQCw&zoom=1&ved=1t:3588,r:2,s:100,i:10&iact=rc&page=5&tbnh=192&tbnw=191&ndsp=25&tx=79&ty=97](http://www.google.com/imgres?start=88&client=safari&rls=en&biw=1440&bih=719&tbn=sch&tbnid=M_2xZixZLAyDzM:&imgrefurl=http://mriandmedicalimaging.blogspot.com/2011/12/alzheimer.html&docid=Cn6RMRgtoG4iDM&imgurl=http://3.bp.blogspot.com/-IU6YxFWONkg/Tuxio0gaWnI/AAAAAAAAAAk/6SyeHy_y_s4/s640/MRI%252B%252525CE%252525BA%252525CE%252525B1%252525CE%252525B9%252BAIzheimer%252Bte%252Blike%252BPage%252B09%252BImage%252B0001.jpg&w=600&h=537&ei=0ibUoqWBIHXtAbL9oCQCw&zoom=1&ved=1t:3588,r:2,s:100,i:10&iact=rc&page=5&tbnh=192&tbnw=191&ndsp=25&tx=79&ty=97) -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://www.teslasociety.com/mri.htm> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://ojcpd.com/hoenig-l-j/the-first-clinical-use-of-magnetic-resonance-imaging/> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

[http://www.google.com/imgres?client=safari&rls=en&biw=1430&bih=716&tbn=isch&tbnid=SMlkuRMKo22dFM:&imgrefurl=http://www.two-views.com/MRI/advanced-open.html&docid=C4\\_KGFODdXvmbM&imgurl=http://www.two-views.com/images/sitting-mri.jpg&w=250&h=385&ei=w0mbUtLIGMKztAbt4oDQCA&zoom=1&ved=1t:3588,r:4,s:0,i:91&iact=rc&page=1&tbnh=190&tbnw=169&start=0&ndsp=18&tx=68&ty=82](http://www.google.com/imgres?client=safari&rls=en&biw=1430&bih=716&tbn=isch&tbnid=SMlkuRMKo22dFM:&imgrefurl=http://www.two-views.com/MRI/advanced-open.html&docid=C4_KGFODdXvmbM&imgurl=http://www.two-views.com/images/sitting-mri.jpg&w=250&h=385&ei=w0mbUtLIGMKztAbt4oDQCA&zoom=1&ved=1t:3588,r:4,s:0,i:91&iact=rc&page=1&tbnh=190&tbnw=169&start=0&ndsp=18&tx=68&ty=82) -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

[http://www.google.com/imgres?client=safari&rls=en&biw=1430&bih=716&tbn=isch&tbnid=gwV2l3eq6upp0M:&imgrefurl=http://www.webmd.com/brain/open-magnetic-resonance-imaging-mri-machine&docid=UApETRjUzgLDkM&imgurl=http://img.webmd.com/dtmcms/live/webmd/consumer\\_assets/site\\_images/media/medical/hw/h9991392\\_002.jpg&w=460&h=300&ei=w0m](http://www.google.com/imgres?client=safari&rls=en&biw=1430&bih=716&tbn=isch&tbnid=gwV2l3eq6upp0M:&imgrefurl=http://www.webmd.com/brain/open-magnetic-resonance-imaging-mri-machine&docid=UApETRjUzgLDkM&imgurl=http://img.webmd.com/dtmcms/live/webmd/consumer_assets/site_images/media/medical/hw/h9991392_002.jpg&w=460&h=300&ei=w0m)

[bUtlIGMKztAbt4oDQCA&zoom=1&ved=1t:3588,r:3,s:0,i:88&iact=rc&page=1&tbnh=181&tbnw=278&start=0&ndsp=18&tx=99&ty=116](http://bUtlIGMKztAbt4oDQCA&zoom=1&ved=1t:3588,r:3,s:0,i:88&iact=rc&page=1&tbnh=181&tbnw=278&start=0&ndsp=18&tx=99&ty=116) -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://12gymper.mysch.gr/magazino/?p=5258> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://www.youtube.com/watch?v=1CGzk-nV06g> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://www.youtube.com/watch?v=pGcZvSG805Y> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://www.youtube.com/watch?v=tD97Vhna-ic> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://www.youtube.com/watch?v=AwXJNXNcLNs> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://kosmaser.pblogs.gr/tags/leitoyrgia-magnitikoy-tomografoy-gr.html> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

[http://el.wikipedia.org/wiki/Μαγνητική\\_τομογραφία](http://el.wikipedia.org/wiki/Μαγνητική_τομογραφία) -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://magnmat.physics.auth.gr/documents/nomikou-applied-2010.pdf> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013

<http://4lyk-veroias.ima.sch.gr/attachments/article/160/H%20χρησιμότητα%20των%20Μαθηματικών%20στις%20Επιστήμες.pdf> -ανακτήθηκε στις 1/12/2013