

Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός και Βιολογική Ασφάλεια

Δρ. Ιωάννης Τσούγκος
Εργ. Ιατρικής Φυσικής
Παν/μιο Θεσσαλίας



Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού - MRI



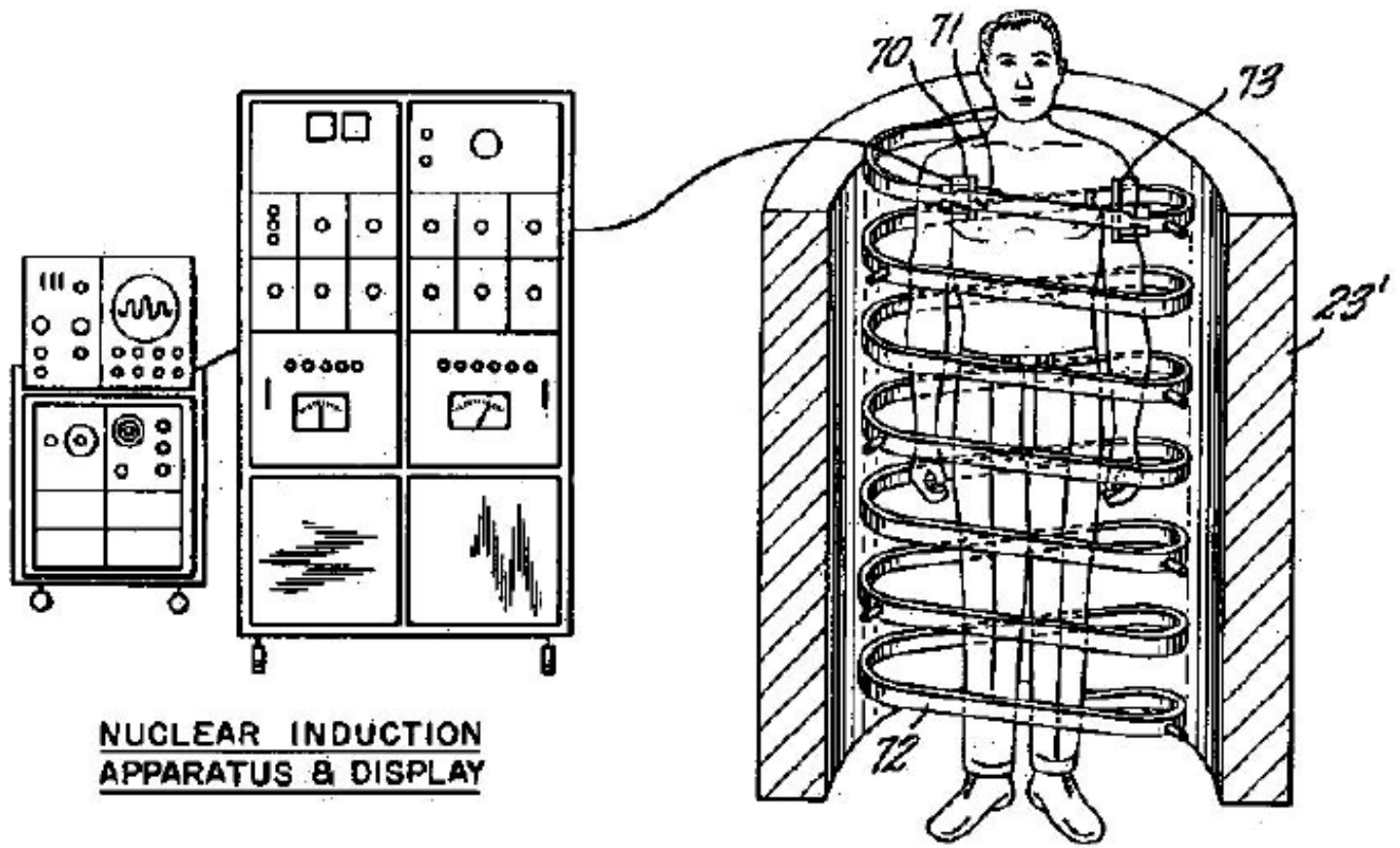
Μαγνητικός Τομογράφος



Ανοικτός Μαγνητικός Τομογράφος

Μαγνητικός Τομογράφος

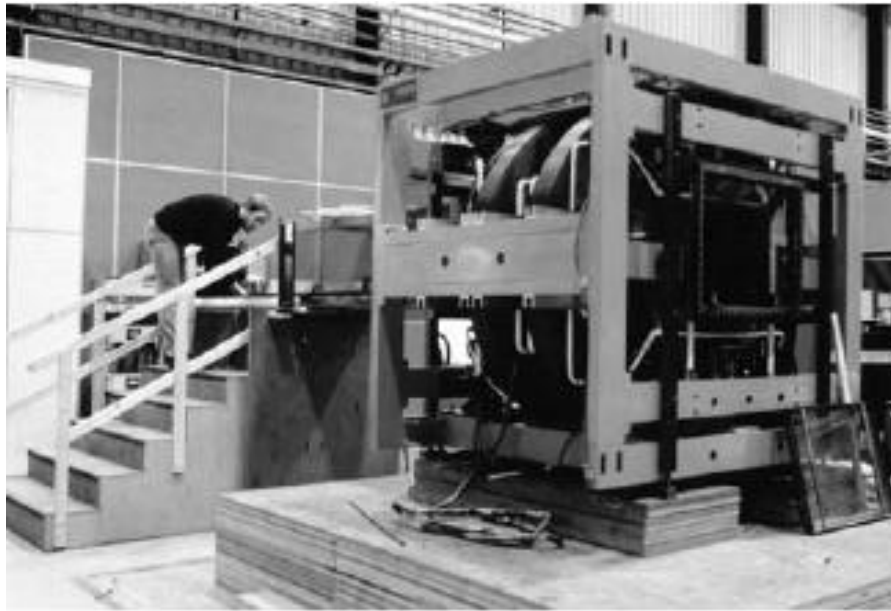
- Το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού ανακαλύφθηκε στη δεκαετία του '50 και για πολλά χρόνια η σημαντική εφαρμογή του ήταν μόνο στον τομέα της φασματοσκοπίας.
- Στη δεκαετία του '80 στην Αγγλία παράγονται πρώτες in vivo εικόνες της ανθρώπινης ανατομίας με ολόσωμους μαγνήτες.
- Εικόνες με άριστη αντίθεση φωτεινότητας σε μαλακούς-ιστούς σε οποιοδήποτε επίπεδο απεικόνισης, και αντίθετα από το CT δεν περιλαμβάνει τη χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας.



NUCLEAR INDUCTION
APPARATUS & DISPLAY

Κατατέθηκε ως US patent 3789832 στις 17/03/1972,
Δόθηκε στις 5/02/1974.

Εικόνα από US Patent and Trademark Office



0.14 T



(a)



(b)



(c)



(d)

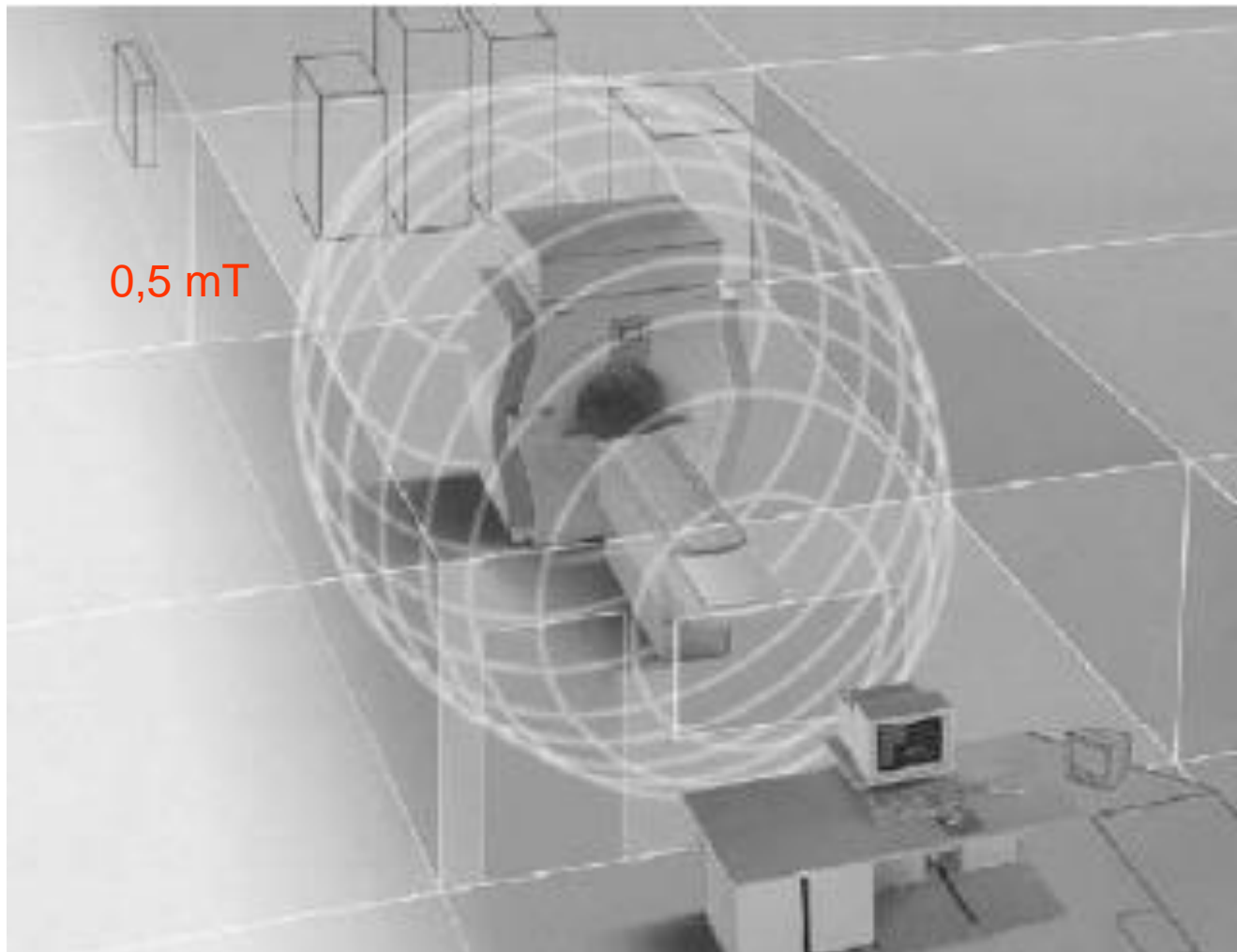


(e)



(f)

Figure 1.5 Nobel prize-winners in NMR: (a) Purcell 1912–1997, (b) Bloch 1901–1999, (c) Bloembergen b. 1920, (d) Ernst b. 1933, (e) Lauterbur b. 1929 and (f) Mansfield b. 1933. Courtesy of the Nobel Museum.



0,5 mT

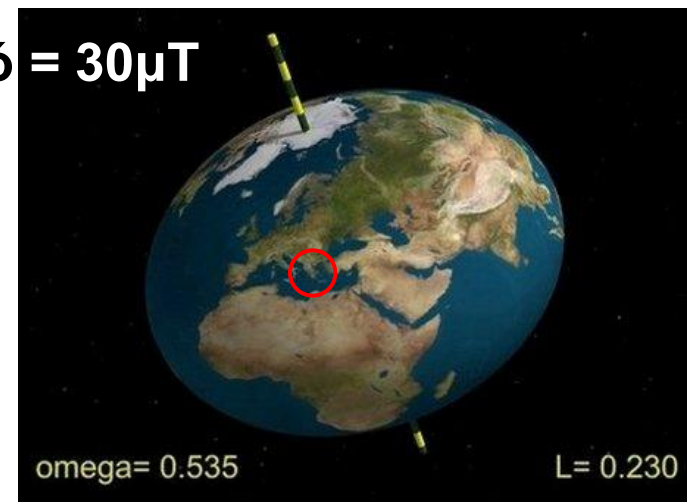
Μαγνήτες

- $1\text{T} = \text{N/A}\cdot\text{m} = 10.000 \text{ Gauss}$
- Ενδεικτικά:
Φασματοσκοπία Χημείας = 2 – 11T

Μαγνήτες σε εργοστάσια αυτοκινήτων ~ 2T

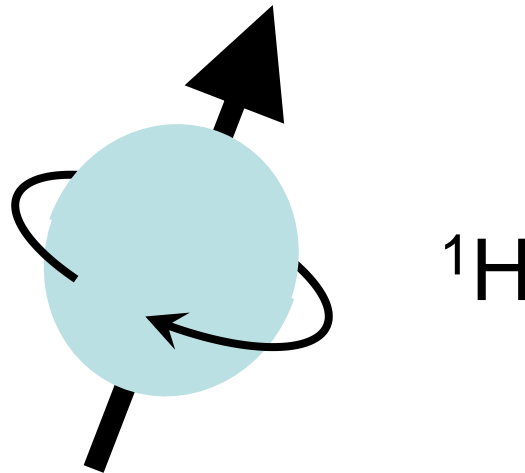
Μαγνήτης Ψυγείου Οικογενειακής Χρήσης ~ 10mT

Μαγνητικό πεδίο της Γης στον ισημερινό = 30μT
και στους πόλους 70μT



Μαγνητικός Συντονισμός

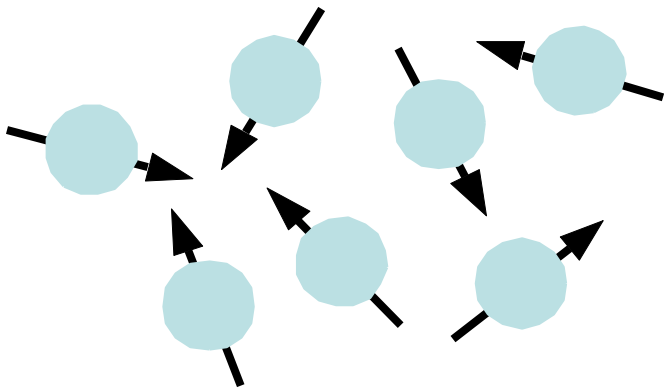
- Τί είναι ο μαγνητικός συντονισμός;
 - Ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο.
 - Ορισμένοι ατομικοί πυρήνες, συμπεριλαμβανομένου του ^1H εμφανίζουν πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό.
 - Η πυρηνική περιστροφή (“spin”) συμπεριφέρεται όπως τα μαγνητικά δίπολα.



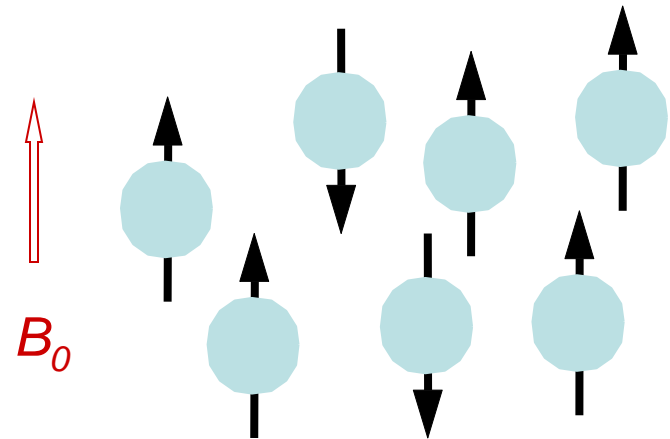
Μαγνητικός Συντονισμός

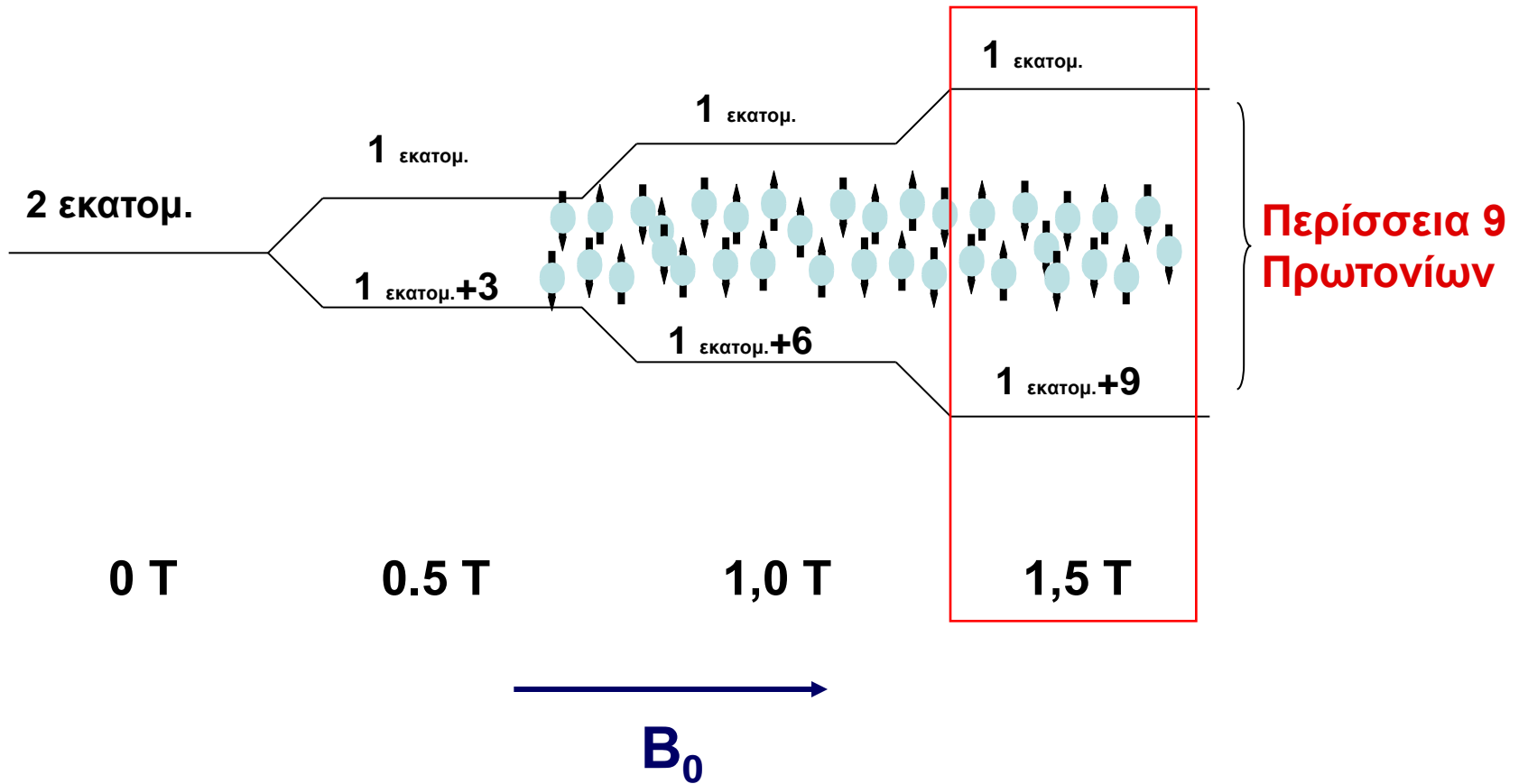
- Τα «spins» προσανατολίζονται τυχαία όταν δεν επιδρά εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.
- Όταν εφαρμόζεται εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, τα spins 'ευθυγραμμίζονται' με το εφαρμοζόμενο πεδίο.
- Το ολικό φαινόμενο είναι μαγνήτιση των 'διπόλων' κατά μήκος του εξωτερικού πεδίου.

Απουσία Εξωτερικού Πεδίου



Παρουσία Εξωτερικού Πεδίου



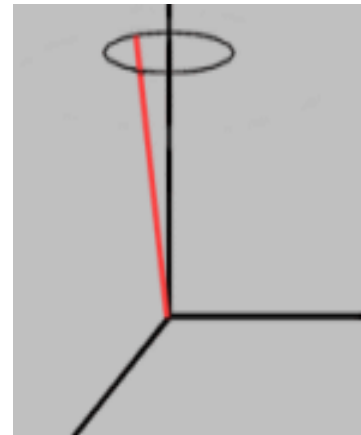
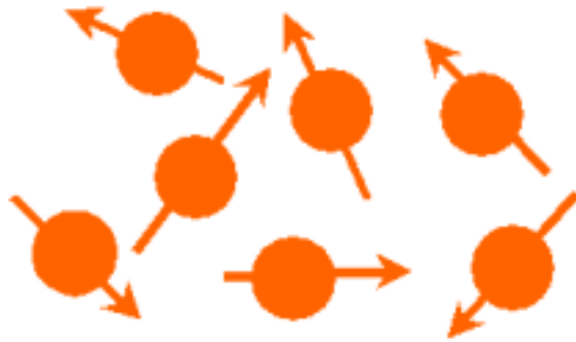
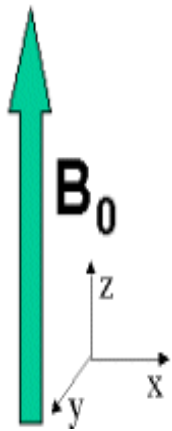


Μαγνητικός Συντονισμός

- Ο αριθμός των πρωτονίων που συντονίζονται σε ένα στοιχείο όγκου (voxel=0.2ml) νερού είναι 6.02×10^{15}
- Αριθμός τόσο μεγάλος που μας επιτρέπει να αγνοήσουμε την κβαντομηχανική και να δούμε το φαινόμενο με απλή μηχανική.
- Συνεπώς το MRI είναι μία εικόνα υδρογόνου..
- Η καλή απεικόνιση λοιπόν στηρίζεται όχι σε μεγάλες ενέργειες, αλλά στο μεγάλο αριθμό πρωτονίων που υπάρχουν στο ανθρώπινο σώμα, κυρίως στο νερό και το λίπος.

Μαγνητικός Συντονισμός

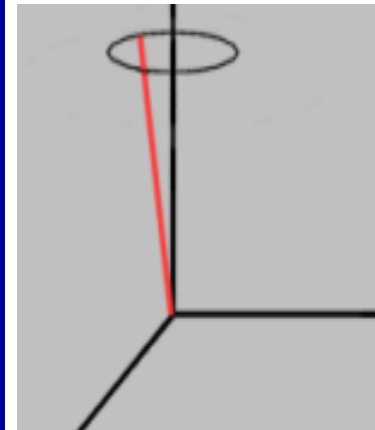
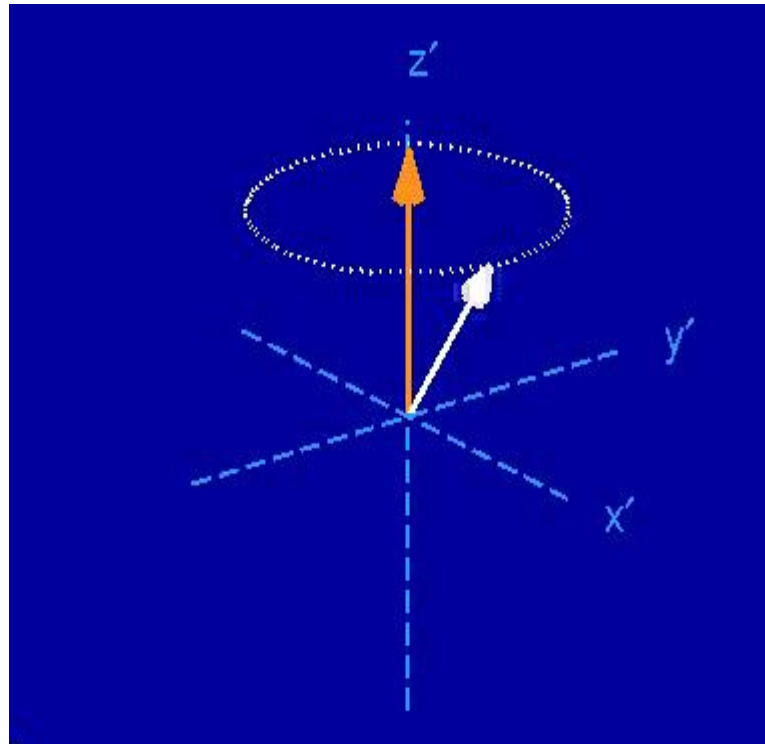
- Για την ακρίβεια..



Μετάπτωση

- Τα Spins εμφανίζουν μετάπτωση παράλληλα με το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο, B_0 (κατά μήκος του άξονα z).
- Η συχνότητα αυτής της μετάπτωσης είναι ανάλογη του εφαρμοζόμενου πεδίου:

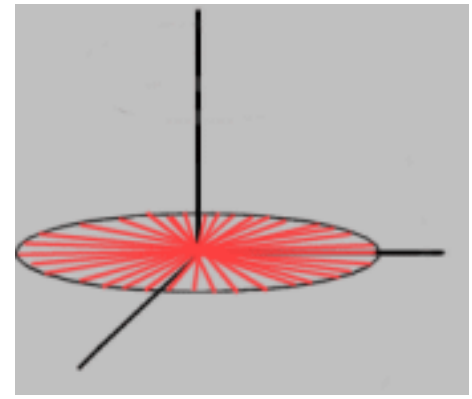
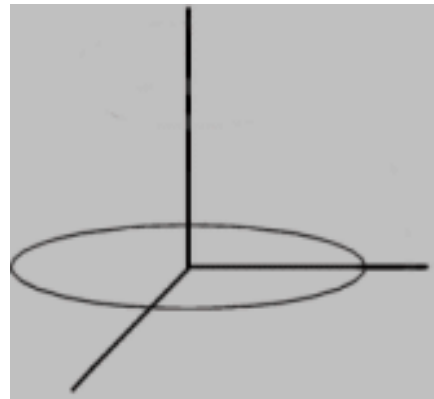
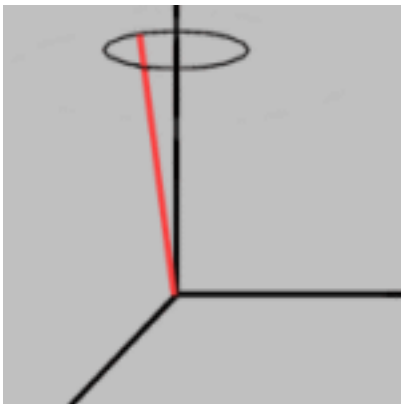
$$\omega = \gamma B$$



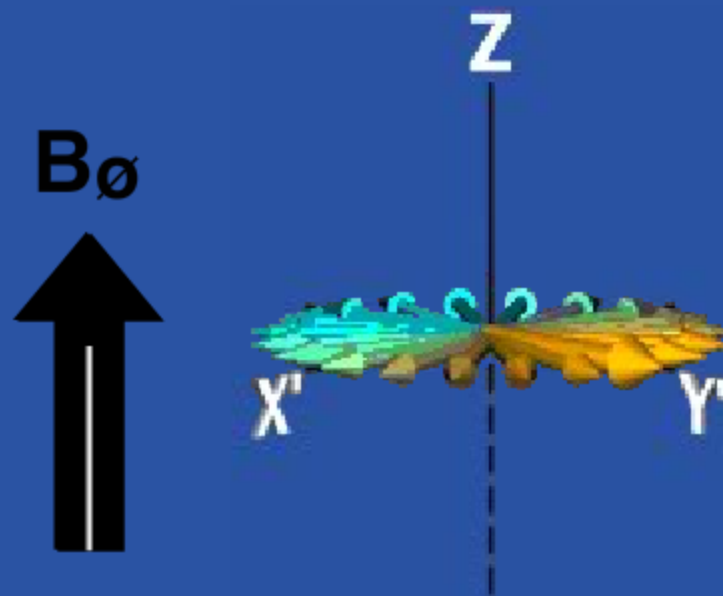
Πυρήνας	Σύμβολο	Συχνότητα / T
Υδρογόνο	H	42,6 MHz/T
Φθόριο	F	40,1 MHz/T
Φώσφορος	P	17,2 MHz/T
Νάτριο	Na	11,3 MHz/T
Άνθρακας	C	10,7 MHz/T

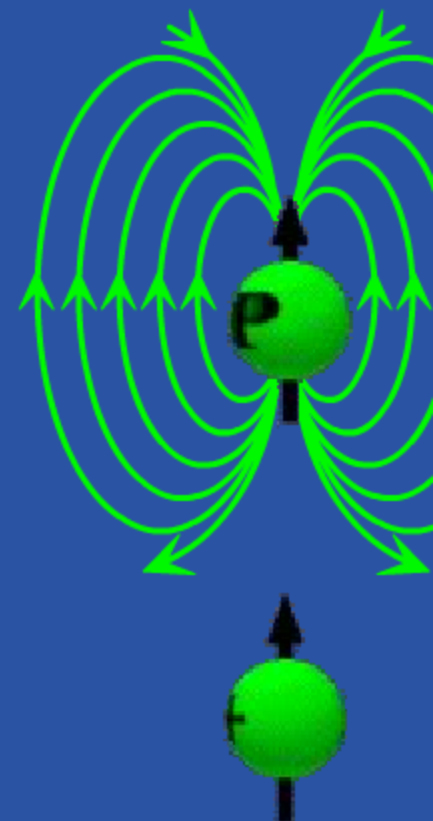
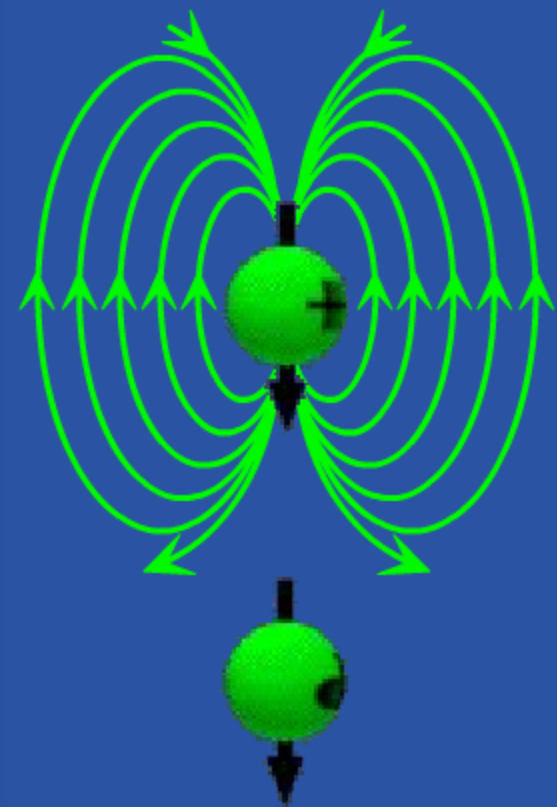
$$\omega = \gamma * B$$

- Συνολικά :



Ναι, αλλά γιατί ??







Μαγνητικός Συντονισμός

- Το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού ανακαλύφθηκε στη δεκαετία του '50 και για πολλά χρόνια η σημαντική εφαρμογή του ήταν μόνο στον τομέα της φασματοσκοπίας.
- Στη δεκαετία του '80 στην Αγγλία παράγονται πρώτες in vivo εικόνες της ανθρώπινης ανατομίας με ολόσωμους μαγνήτες.
- Εικόνες με άριστη αντίθεση φωτεινότητας σε μαλακούς-ιστούς σε οποιοδήποτε επίπεδο απεικόνισης, χωρίς να περιλαμβάνεται χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας.



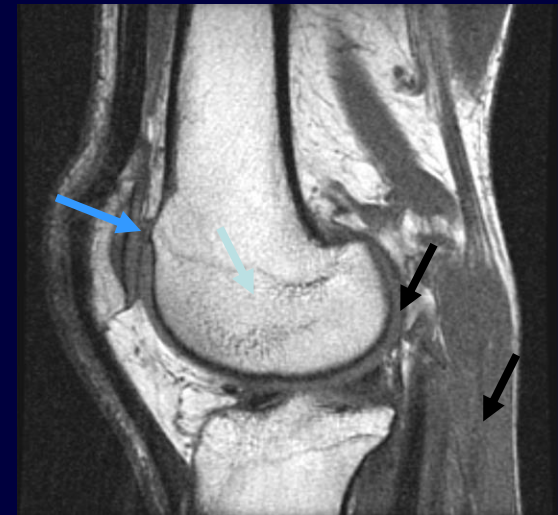
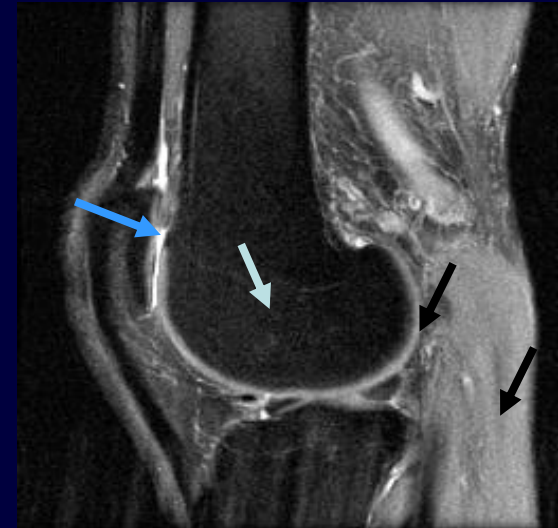
Μαγνητικός Τομογράφος

Πλεονεκτήματα:

- Εξαιρετική / Ρυθμιζόμενη Αντίθεση
- Μη επεμβατική μέθοδος
- Απουσία ιοντίζουσας ακτινοβολίας
- Τομές σε οποιοδήποτε επίπεδο

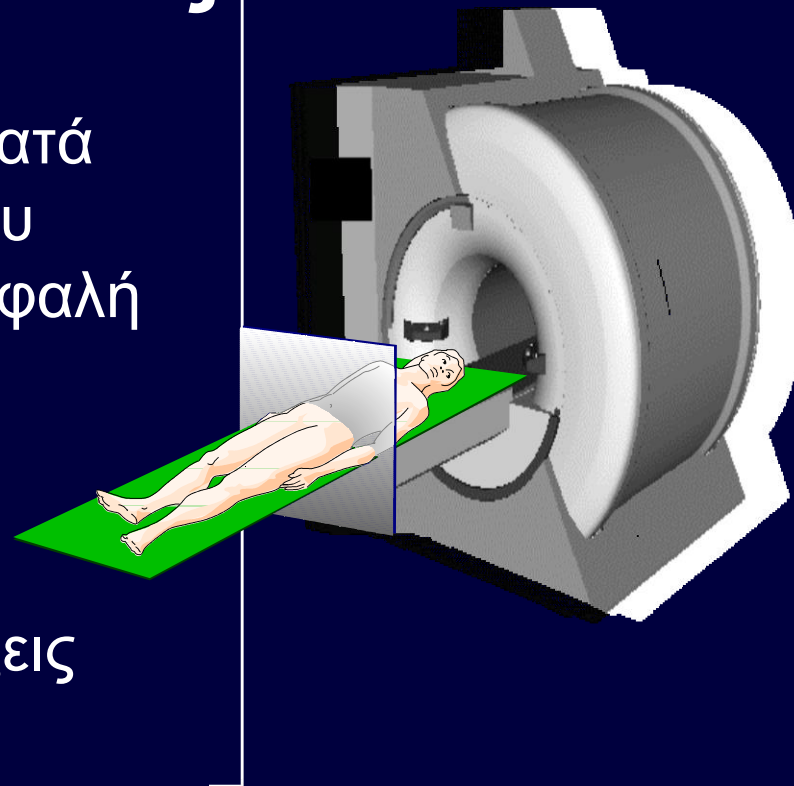
Προκλήσεις.....:

- Νέοι μηχανισμοί αντίθεσης
- Ταχύτερη Απεικόνιση
- Μείωση Κόστους
- **Βιολογικές Επιδράσεις;;**



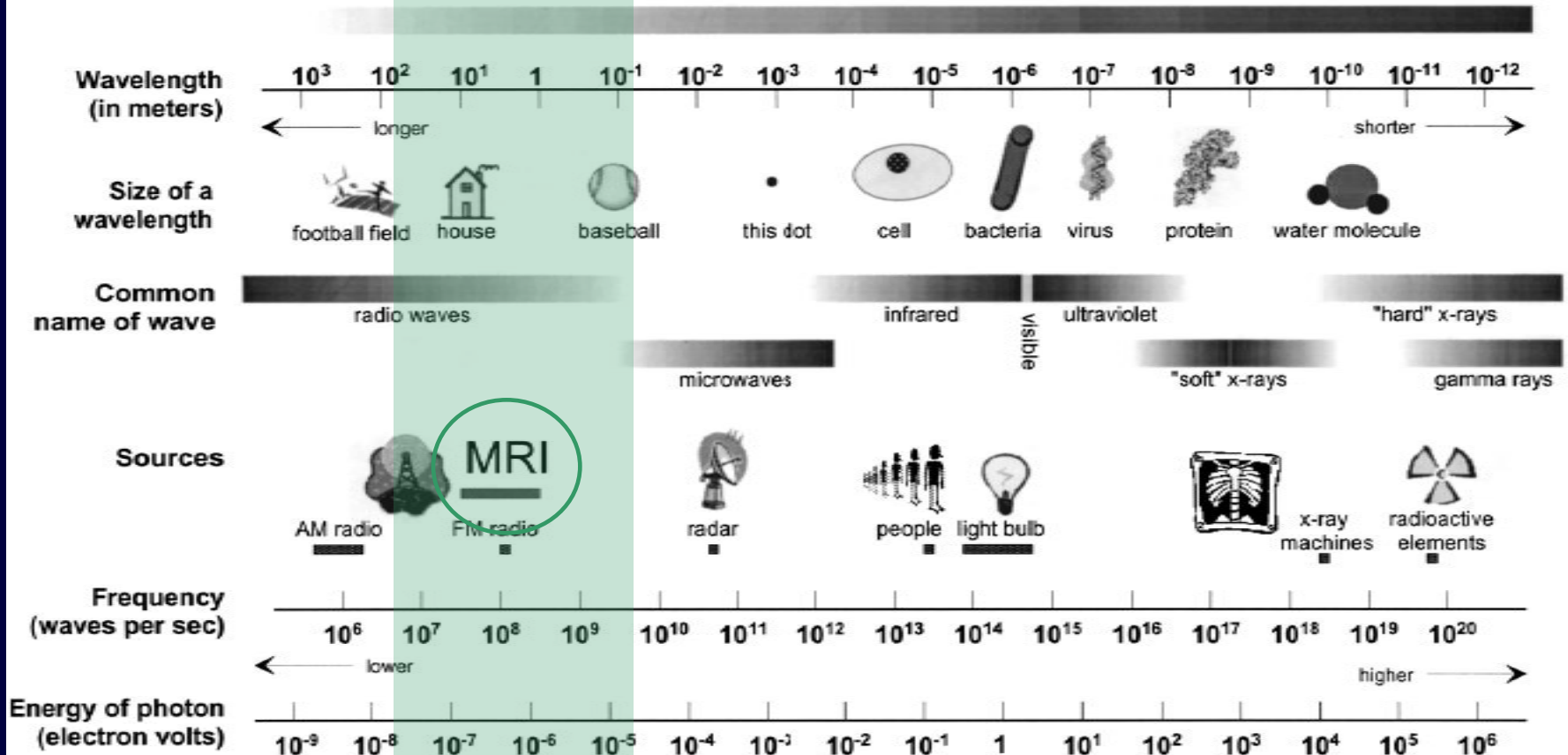
Βιολογικές Επιδράσεις

- Η έρευνα και η κλινική εμπειρία κατά την τελευταία δεκαετία χρήσης του MRI υποδεικνύει μια απόλυτα ασφαλή διαγνωστική μέθοδο.
- Συγκεκριμένα :
‘Δεν αναφέρονται σοβαρές ενδείξεις ότι υπάρχει ή μπορεί να υπάρξει μακροπρόθεσμη ή μη-αναστρέψιμη βιολογική βλάβη που να συνδέεται με την εφαρμογή μαγνητικού πεδίου.’*

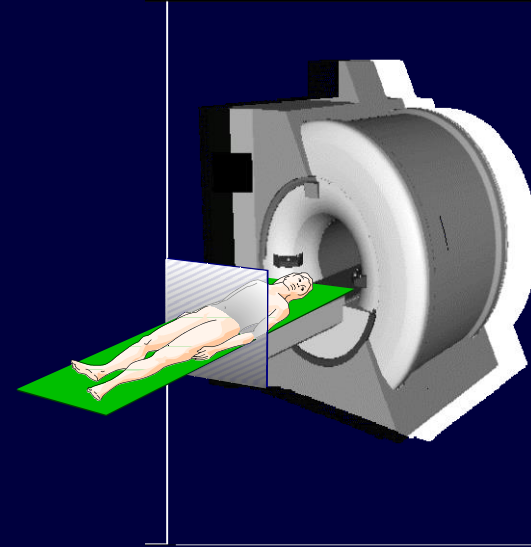


*AAPM/RSNA MR Imaging Safety Guidelines

Electromagnetic Spectrum

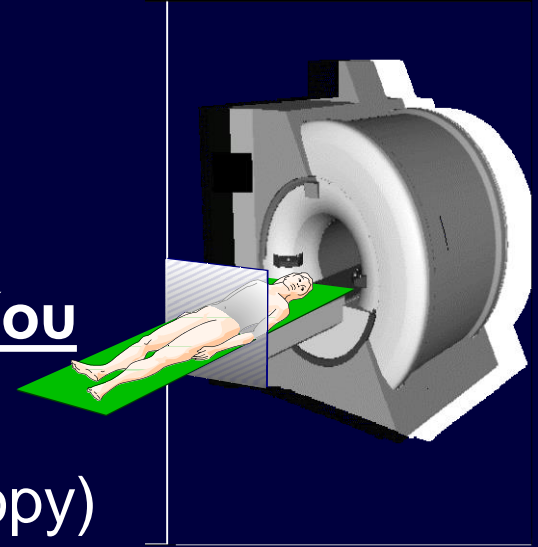


Βιολογικές Επιδράσεις



- Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απεικόνισης ο εξεταζόμενος εκτίθεται σε:
 1. Ισχυρό Μαγνητικό πεδίο
 2. Βαθμιδωτά πεδία
 3. Ραδιοσυχνότητες
 4. Ακουστικό θόρυβο

Βιολογικές Επιδράσεις

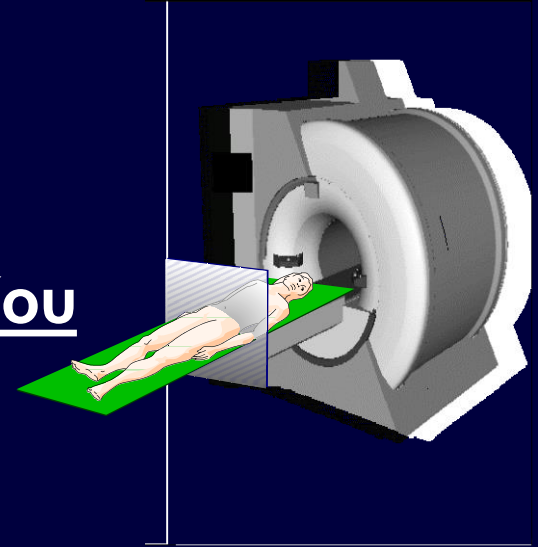


1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- DSA (Diamagnetic Susceptibility Anisotropy)
Μαγνητισμός των κυττάρων
- Δυναμική Ιοντικών δεσμών
Αλληλεπίδραση μαγνητικού πεδίου και βιολογικών υλικών
- Μαγνητο-υδρο-δυναμική
Προσανατολισμένη κίνηση φορτισμένων μακρομορίων (DNA -πρωτεϊνών)

Βιολογικές Επιδράσεις

1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου



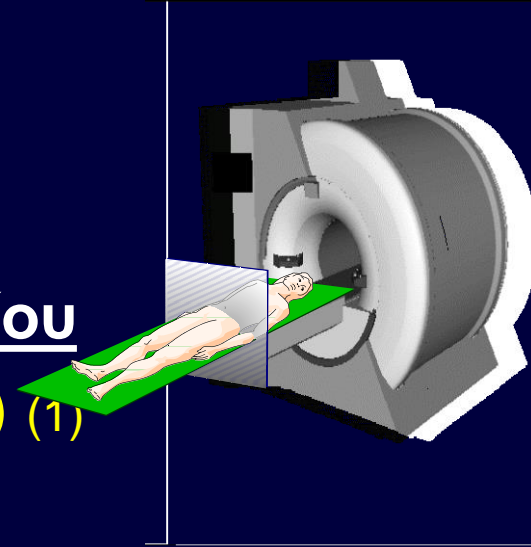
- Μεταφορά ενέργειας μέσω DSA
- Επίδραση του πεδίου:
 - στο μηχανισμό πήξης του αίματος
 - στις πρωτεΐνες και λιπίδια
 - στα ερυθρά αιμοσφαίρια
 - στο οξυγόνο (διαλυτότητα)
 - στη ροή του αίματος και στις ιοντικές μεταβολές
 - αμφιβληστροειδή
- Εμβρυική ανάπτυξη και γενετικές αλλαγές

Βιολογικές Επιδράσεις

1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- **DSA (Diamagnetic Susceptibility Anisotropy) (1)**

- *Μαγνητικός επανα-προσανατολισμός (magnetic reorientation)*
- *Ισχυρά πεδία (>15T) σε διαμαγνητικά υγρά π.χ. νερό, αιθανόλη κλπ*



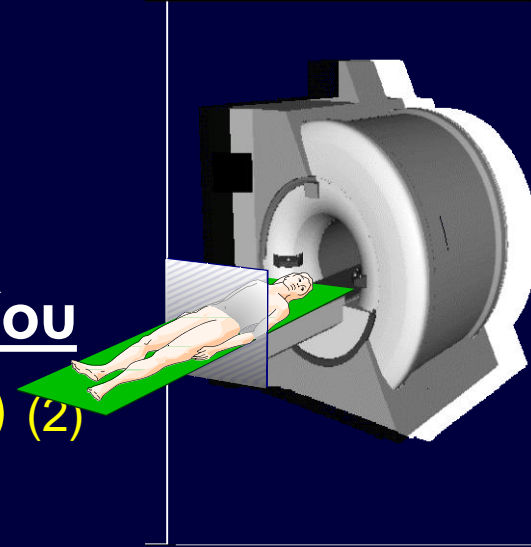
Φαινόμενο
'Μωυσή' σε τζέλ
αγαρόζης

Βιολογικές Επιδράσεις

1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

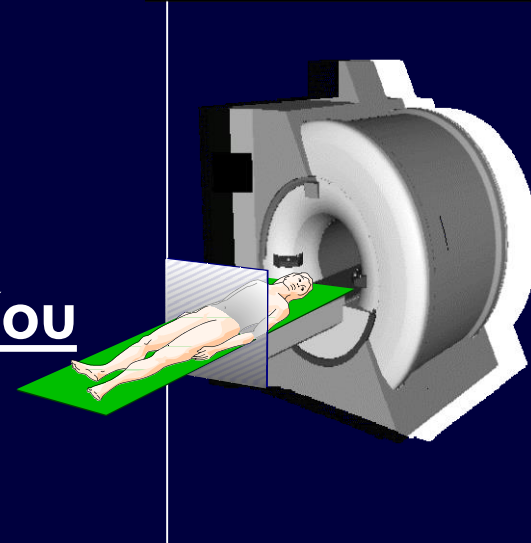
■ DSA (Diamagnetic Susceptibility Anisotropy) (2)

- Λόγω της σχετικά μικρής παραμαγνητικής ιδιότητας των μακρομορίων απαιτούνται πολύ ισχυρά πεδία για ελάχιστες αλλαγές.
- Π.χ. χρειάστηκε πεδίο **14 T** για τον προσανατολισμό 1% του DNA θύμου αδένα βwός.*



* Maret G, von Schickfus M, Mayer A, Dransfeld K. Orientation of nucleic acid in high magnetic fields. Phys Rev Lett 1995; 35:397 400.

Βιολογικές Επιδράσεις



1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- Μεταφορά Ενέργειας μέσω DSA

$$\mathbf{M} = \mu \mathbf{N} / V$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0 (\mathbf{H} + \chi \mathbf{H}) = \mu_0 (1 + \chi) \mathbf{H}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

$$U(\theta) = -\frac{1}{2} (\chi_a - \chi_r) \cos^2(\theta) H^2 V$$

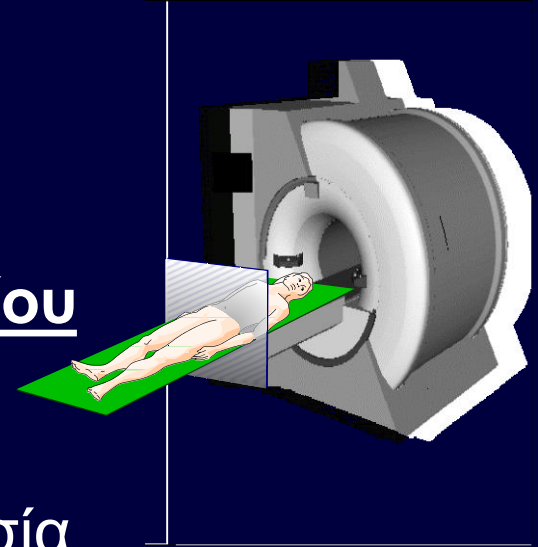
$$kT = 4.1 \times 10^{-21} \text{ J}$$

Ενέργεια δεσμού σε
θερμοκρασία δωματίου

Ενέργεια που αποκτάται από
ένα μόριο από έκθεση σε **10T**

$$10^{-25} \text{ J}$$

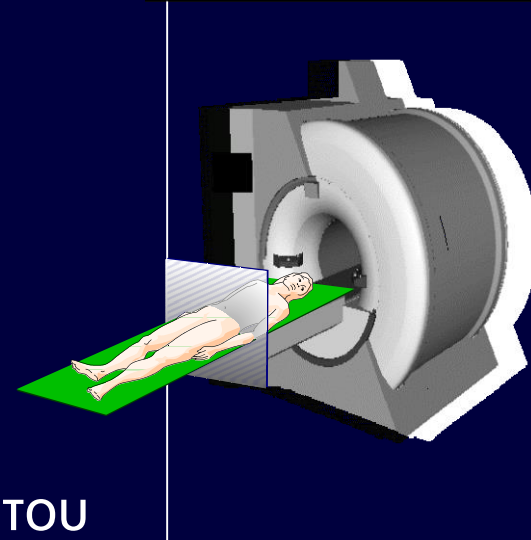
Βιολογικές Επιδράσεις



1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- Στο μηχανισμό πήξης του αίματος
- Στα 8T με $400 \text{ T}^2/\text{m}$ ακολουθία η διαδικασία ινωδόλυσης αυξάνει κατά μ.ο. 15% την αποσύνθεση ινωδογόνου σε σχέση με μη εκτεθειμένα δείγματα.
- Αντίθετα παρατεταμένη έκθεση σε ομογενή μαγνητικά πεδία είχε μηδενικά αποτελέσματα

Βιολογικές Επιδράσεις



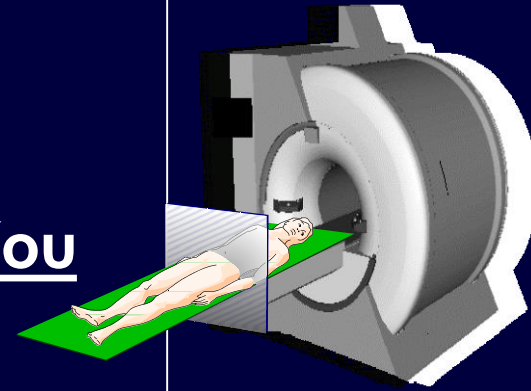
1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- Στα ερυθρά αιμοσφαίρια (1)
 - Η αιμοσφαιρίνη αποτελεί το κύριο συστατικό του ερυθροκυττάρου που κατέχει το 45% του συνολικού όγκου του, αποδίδοντάς του παραμαγνητικές ιδιότητες. *(διαχωρισμός κυττάρων προσβεβλημένων από Μαλάρια)*
 - Στο αίμα επίσης περιέχονται διάφοροι ηλεκτρολύτες αλλά και αρνητικά φορτισμένες πρωτεΐνες.
 - Η ελκτική δύναμη που ασκείται στα ερυθροκύτταρα είναι:
 - ✓ Ανάλογη του μαγνητικού πεδίου, των παλμών, της διαμαγνητικής ευαισθησίας της αιμοσφαιρίνης
 - ✓ Αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας της ροής του αίματος

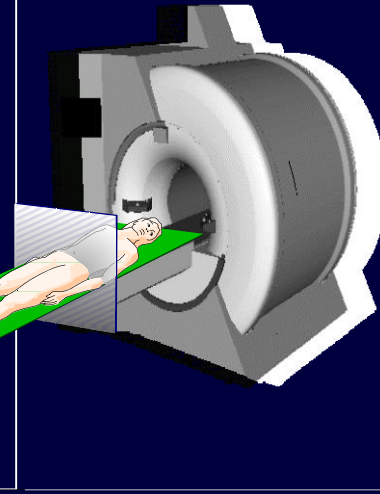
Βιολογικές Επιδράσεις

1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- Στα ερυθρά αιμοσφαίρια (2)
 - Στο φαινόμενο αυτό αποδίδονται τα συμπτώματα των πονοκεφάλων και της ναυτίας αν και χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.
 - Επίσης υπήρξε η υπόθεση της αιμόλυσης των ερυθροκυττάρων σε πεδία πάνω από 8T, αλλά πειράματα έδειξαν ότι σε 10λεπτη έκθεση σε πεδία μέχρι και 20T μόλις το 1% των ερυθροκυττάρων αιμολύονται.



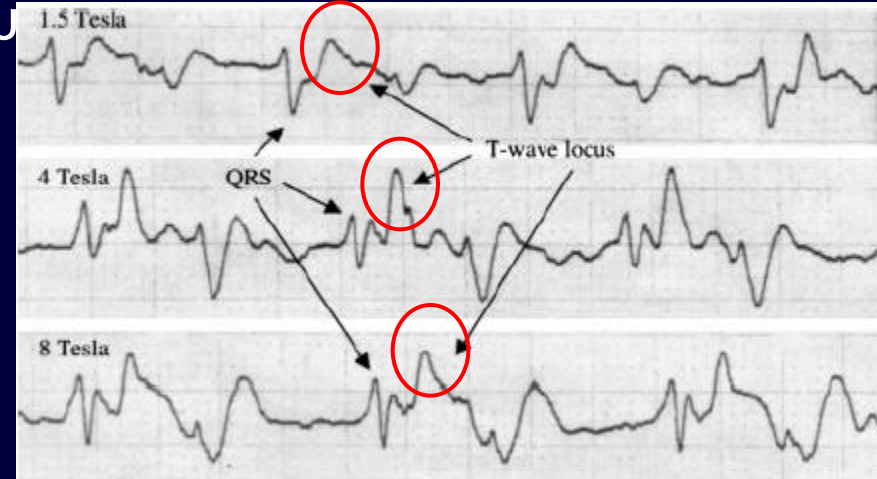
Βιολογικές Επιδράσεις



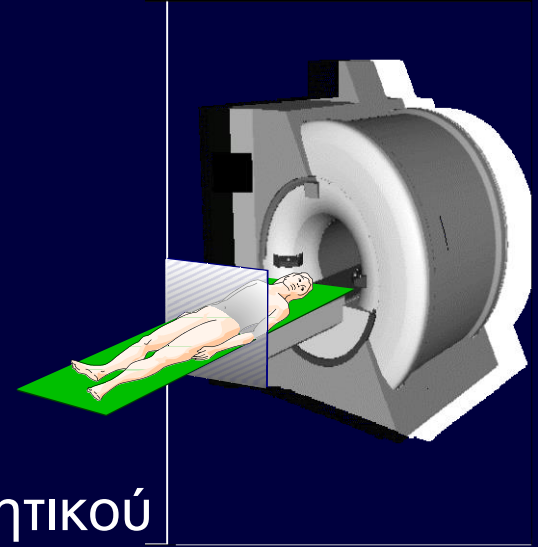
1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

■ Στη ροή του αίματος και τις ιοντικές μεταβολές (Μαγνητο-υδρο-δυναμική)

- Το αίμα ως αγώγιμο μέσο κινούμενο μέσα σε μαγνητικό πεδίο, προκαλεί διαφορά δυναμικού στα άκρα του αγγείου.
- Αυτός ο μηχανισμός εξαρτάται από:
 - την ταχύτητα ροής του αίματος
 - την ισχύ του μαγνητικού πεδίου
 - τη διάμετρο του αγγείου
 - και την γωνία της ροής σε σχέση με το Μ.Π.
- Η μέγιστη ροή λαμβάνει χώρα κατά το T έπαρμα στο ΗΚΓ η πρόσθετη διαφορά δυναμικού προκαλεί αύξηση του T επάρματος.



Βιολογικές Επιδράσεις

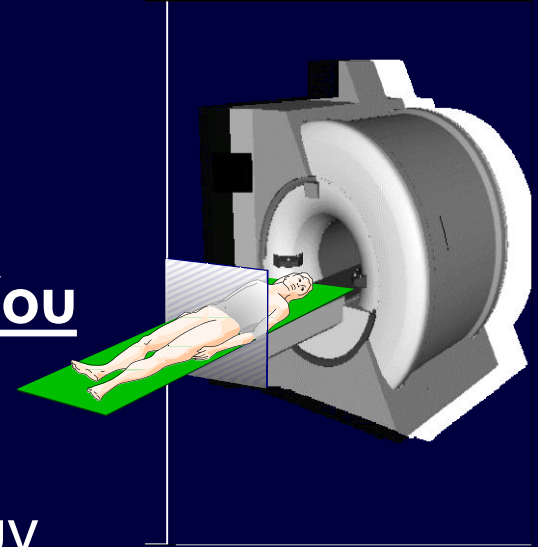


1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- Στη διαλυτότητα του οξυγόνου
- Διερευνήθηκε η επίδραση του στατικού μαγνητικού πεδίου στο μηχανισμό διαλυτότητας του οξυγόνου.
- Διαπιστώθηκε ότι ισχυρό Μ.Π. σε πίεση 1 Atm μπορεί να προκαλέσει ανακατανομή του οξυγόνου στην επιφάνεια του νερού επηρεάζοντας το ρυθμό απόδοσης-απορρόφησης
- Προκειμένου να υπάρξει σημαντικό αποτέλεσμα υπολογίζεται ότι θα χρειάζονταν να αλληλεπιδράσουν 2000 μόρια νερού σε σειρά, που είναι απίθανο σε *in vivo* κατάσταση.*

*Ueno S, Harda K. Redistribution of the dissolved oxygen concentration under strong DC magnetic field, IEEE Trans Magn 1982; MAG-18: 1704]1706.

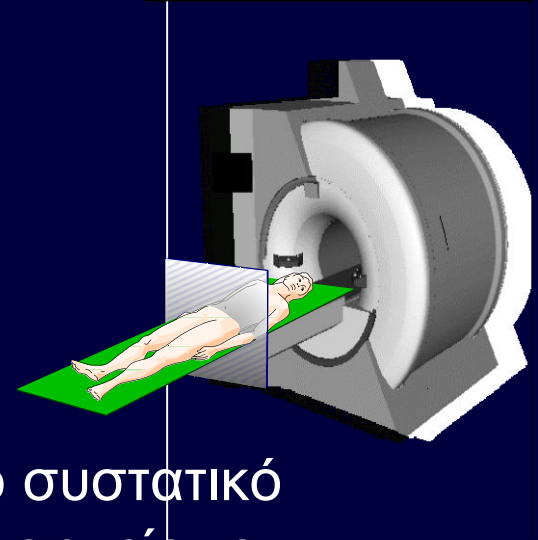
Βιολογικές Επιδράσεις



1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- Σε DNA πρωτεΐνες και λιπίδια
- Ένα μικρό ποσοστό πρωτεϊνών περιέχουν παραμαγνητικά άτομα, ενώ όλες οι υπόλοιπες αλληλεπιδρούν μέσω των διαμαγνητικών ιδιοτήτων τους.
- Ισχυρά μαγνητικά πεδία δύνανται in vitro να προσανατολίσουν βιολογικά πολυμερή όπως την αιμοσφαιρίνη, ακτίνη και κολλαγόνο.
- Σε ένα δυναμικό (in vivo) όμως περιβάλλον αυτή η ιδιότητα δεν έχει επαληθευθεί.

Βιολογικές Επιδράσεις



1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

▪ Εμβρυική ανάπτυξη και γενετικές αλλαγές

- Το DNA του κυττάρου είναι το σημαντικότερο συστατικό το οποίο μπορεί να πληγεί, με πιο ευαίσθητο σημείο του τις βάσεις πυριμιδίνης. Επίσης σημαντικά μόρια που μπορούν να υποστούν σημαντική βλάβη θεωρούνται οι πρωτεΐνες και συγκεκριμένα ο πεπτιδικός δεσμός τους.
- Τέτοιου είδους βλάβες προυποθέτουν ενέργειες της τάξης των μερικών eV, όταν το Μ.Π. 1T αλληλεπιδρών με τα spin των ηλεκτρονίων επιφέρει ενεργειακές μεταβολές της τάξης των μεV.
- Τι γίνεται όμως με την απελευθέρωση ελευθέρων τοξικών ριζών;;

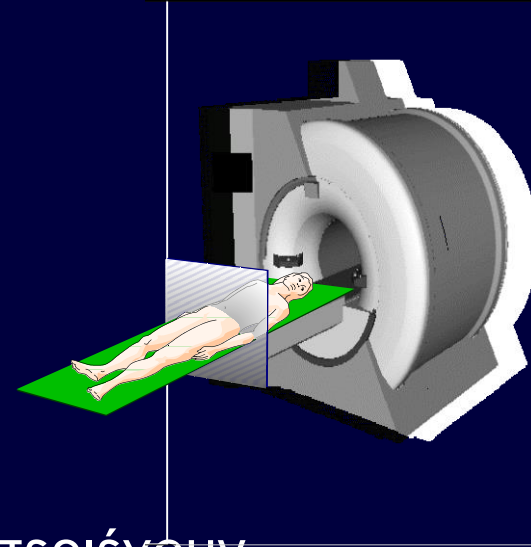
*Tanimoto Y, et al Laser flash photolysis studies of the magnetic effects on the hydrogen abstraction reaction of 2-aphthylphenylcarbenein micellar solution. J Photochem Photobiol A 1989; 47:269]276.

Ueno S, Iwasaka M, Shiokawa K. Early embryonic development of frogs under intense magnetic field up to 8 T. J Appl Phys 1994; 75:7165]7167.

Βιολογικές Επιδράσεις

1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

- *Στον αμφιβληστροειδή*
- Τα εξωτερικά τμήματα του ραβδίου του αμφιβληστροειδούς και άλλα οργανίδια που περιέχουν σειρές μεμβρανών τείνουν να προσανατολιστούν κατά την επίδραση ισχυρού μαγνητικού πεδίου.
- Η μηχανική έλξη που δημιουργείται στο ραβδίό κατά τη διάρκεια αυτού του φαινομένου μεταφράζεται από τον εγκέφαλο ως ήπιες λάμπσεις φωτός στα μάτια που αναφέρει το μεγαλύτερο ποσοστό των ανθρώπων που υποβάλλονται σε μαγνητική τομογραφία υψηλού μαγνητικού πεδίου.

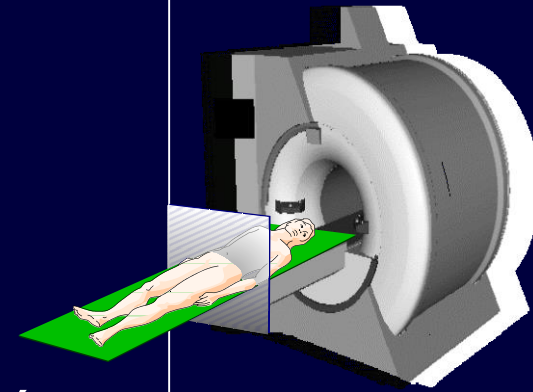


Βιολογικές Επιδράσεις

1. Επιδράσεις Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

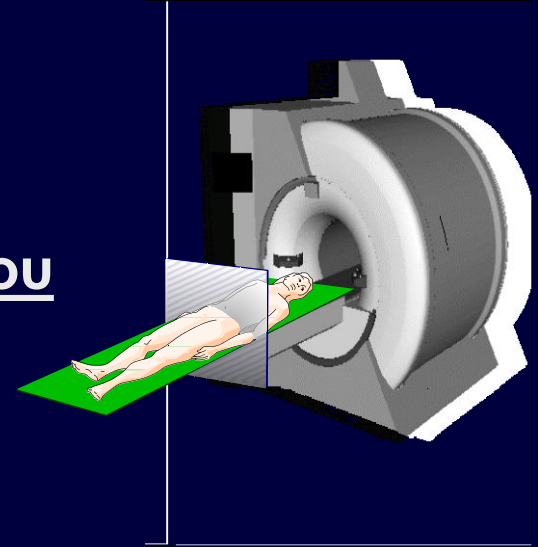
■ Συμπερασματικά:

- Η επίδραση του στατικού μαγνητικού πεδίου έχει διερευνηθεί διεξοδικά με κύρια επίδραση την αύξηση του επάρματος T κατά το ΗΚΓ.
- Δεδομένου ότι υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου δημιουργούνται διαφορές δυναμικού που θα μπορούσαν να βλάψουν την ορθή λειτουργία του μυοκαρδίου έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες σε εθελοντές μέχρι και σε έκθεση 8T Μ.Π.
- Οι μετρήσεις έδειξαν διαφορές δυναμικού της τάξης των 60 με 130 mV, που είναι πολύ χαμηλότερες αυτών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν κολπική μαρμαρυγή.
- Ασφάλεια στο περιβάλλον εργασίας του μαγνητικού πεδίου



Βιολογικές Επιδράσεις

2. Επιδράσεις βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου



- *Επιδράσεις στατικού πεδίου*
- *Επιδράσεις παλμών*

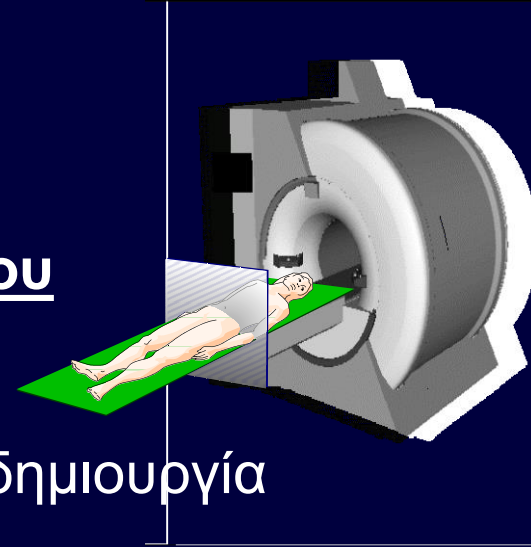
- *ELFEM Effect*
- *Θερμική επιβάρυνση*
- *Χρωμοσωμικές ανωμαλίες*
- *Καρδιακή διέγερση*
- *Νευρική διέγερση*
- *Εμβρυική ανάπτυξη*

Βιολογικές Επιδράσεις

2. Επιδράσεις βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου

▪ *ELFEM Effect*

- Εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί δημιουργία διαφοράς δυναμικού.
- Τα ηλεκτρικά δυναμικά δύνανται να προκαλέσουν βλάβη στα βιολογικά συστήματα, π.χ. φυσιολογική λειτουργία των κυττάρων και συγκεκριμένα των νευρικών και μυικών που διεγείρονται μέσω ηλεκτρικών ώσεων.
- Τυπικά μήκη κύματος της τάξης των 5kHz
- Θερμική ενέργεια φωτονίου = 25meV
- όταν η ενέργεια φωτονίου 1000Hz είναι περίπου $4 \cdot 10^{-12}$ eV
- Ωστόσο βάση της βιβλιογραφίας απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση...

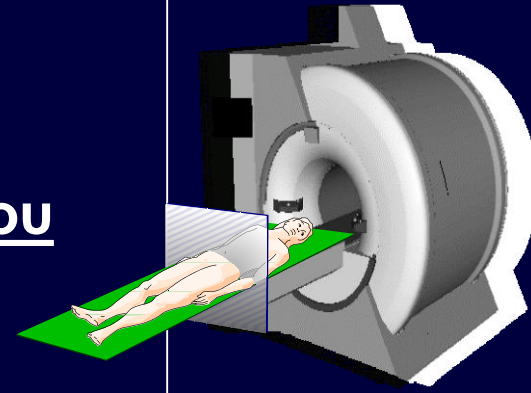


Βιολογικές Επιδράσεις

2. Επιδράσεις βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου

■ *Θερμική επιβάρυνση*

- Τα επαγωγικά ρεύματα που δημιουργούνται δύνανται να προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά.
- Διαφορές της θερμοκρασίας μπορούν να επηρεάσουν το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων.
- Ωστόσο η αύξηση της θερμοκρασίας από τον προαναφερθέντα μηχανισμό θεωρείται αμελητέα για τα κλινικώς χρησιμοποιούμενα μαγνητικά πεδία.



Βιολογικές Επιδράσεις

2. Επιδράσεις βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου

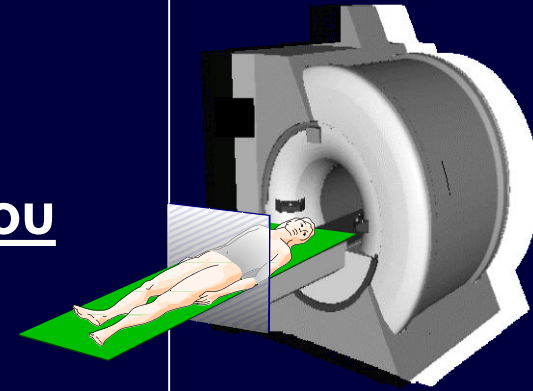
■ Χρωμοσωμικές ανωμαλίες

- Υπάρχουν αναφορές χρωμοσωμικών ανωμαλιών και μεταλλαξογόνων επιδράσεων μετά από έκθεση σε ELFEM της τάξης των 50Hz για 3 ημέρες. *
- Αλλά χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση αφού έχουν αναφερθεί και ακριβώς αντίθετα αποτελέσματα.**

*Berg M, Lindelof B, Langlet I, Victorin K.
Absence of mutagenic response to radiation from a video display terminal. Scand J Work Environ Health 1988; 14:49]51.

*Reese JA, Jostes RF, Frazier ME,
Exposure of mammalian cells to 60-Hz magnetic or electric fields: Analysis for DNA single-strand breaks. Bioelectromagnetics 1988; 9:237]247.

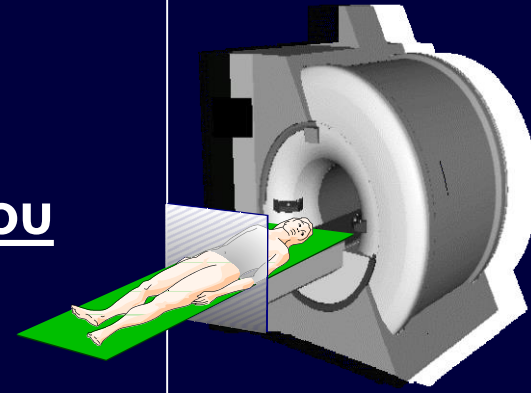
**Galt S, Wahlstrom J, Hamnerius Y, Halmqvist D, Johanneson T.
Study of effects of 50 Hz magnetic fields on chromosome aberrations and the growth-related enzyme ODC in human amniotic cells. Bioelectrochem Bioenerg 1995; 36:1]8.



Βιολογικές Επιδράσεις

2. Επιδράσεις βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου

- *Καρδιακή διέγερση*



$$\mathbf{E} = - (r/2) d\mathbf{B}/dt \quad \mu\epsilon \quad d\mathbf{B}/dt = 100 \text{ T/s}$$

Και ακτίνα

10 cm



5 V/m



0.11 $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$

0.55 A/m^2

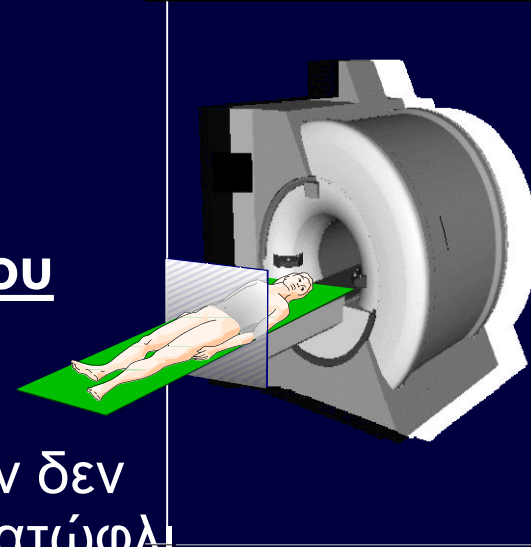
Το κατώφλι για την διέγερση της καρδιάς είναι:

19.2 A/m^2

Βιολογικές Επιδράσεις

2. Επιδράσεις βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου

- *Καρδιακή διέγερση*
- Συνεπάγεται ότι η χρήση βαθμιδωτών πεδίων δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπερνά το κατώφλι διέγερσης της καρδιάς (*κίνδυνος κολπικής μαρμαρυγής*)
- Χρήσιμος και ακίνδυνος δείκτης η διέγερση των περιφερικών νεύρων
- Ερευνητικές εργασίες σε πειραματόζωα έχουν επιβεβαιώσει τη δυνατότητα παύσης της λειτουργίας της καρδιάς με χρήση ισχυρών μαγνητικών παλμών.*



*Mouchawar GA, Bourland JD, Nyenhuis JA.
Closed-chest cardiac stimulation with a pulsed
magnetic field, Med Biol Eng Comput 1992;
30:152]168.

!

Exam dB/dt and SAR Limits

Select the desired Operating Mode

dB/dt

- Normal dB/dt
- First Level dB/dt

Entering First Level for dB/dt.
Operator/Physician confirms awareness of
potential risks and accepts the responsibility.

SAR

- Normal SAR
- First Level SAR

Entering First Level for SAR.
Operator/Physician confirms awareness of
potential risks and accepts the responsibility.

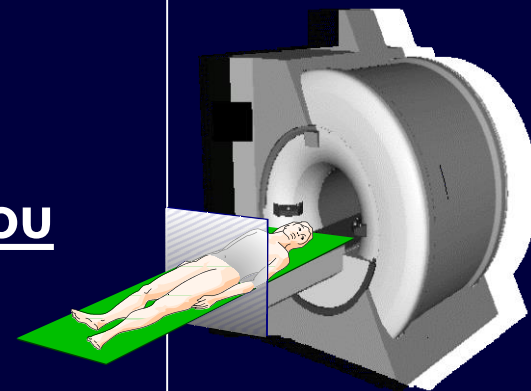
Accept

Normal Mode

Βιολογικές Επιδράσεις

2. Επιδράσεις βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου

- *Νευρική διέγερση*
- Με χρήση παλμών 60T/s και άνω, σε συχνότητες μεταξύ 600 και 2000 Hz επέρχεται νευρική διέγερση που μεταφράζεται ως ήπιοι πόνοι στη μέση και τα άκρα.
- Μετά από πειραματικές εκθέσεις σε εθελοντές έχει καθοριστεί το κατώφλι της διέγερσης των περιφερικών νεύρων στα 200T/s.
- Η διέγερση είναι ανάλογη της διάρκειας των παλμών συνεπώς για την αποφυγή επίπονων καταστάσεων έχουν καθοριστεί κατάλληλα επιτρεπτά όρια.

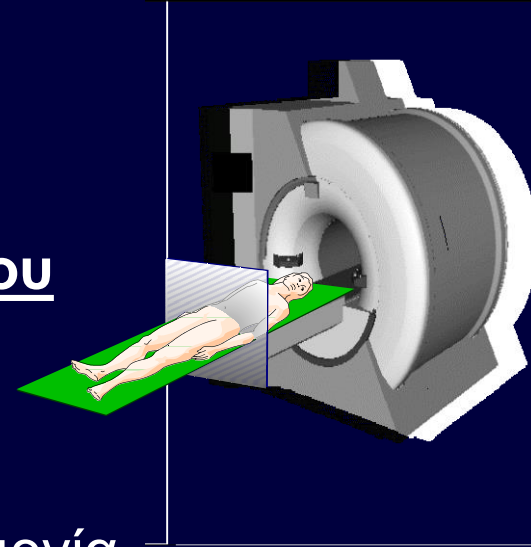


Βιολογικές Επιδράσεις

2. Επιδράσεις βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου

▪ *Εμβρυική ανάπτυξη*

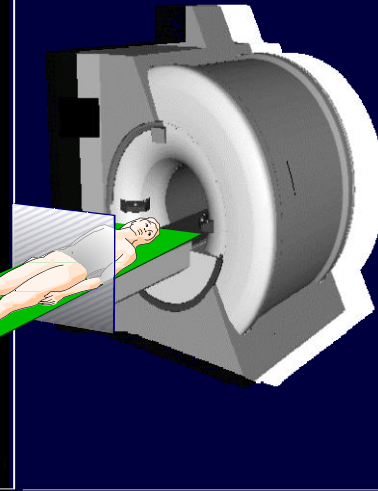
- Επικρατεί η γενικότερη αντίληψη ότι η δημιουργία επαγωγικών ρευμάτων κατά τη διάρκεια της εμβρυογένεσης δύναται να επιφέρει βλαπτικές επιπτώσεις στο έμβryo.
- Μετά από πειραματικές εκθέσεις σε βαθμιδωτά μαγνητικά πεδία σε συχνότητες 50-60 Hz σε πειραματόζωα στις πρώτες 2 ημέρες της ανάπτυξης των εμβρύων έχει επιβεβαιωθεί η μη φυσιολογική ανάπτυξη.
- Ωστόσο βάση της βιβλιογραφίας απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.



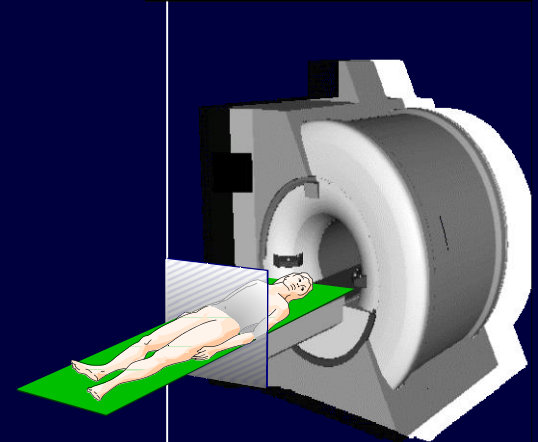
Βιολογικές Επιδράσεις

3. Επιδράσεις RF

- *SAR*
- *Γενικά*
- *Κυτταρικές επιδράσεις*
- *Θερμικές επιδράσεις*



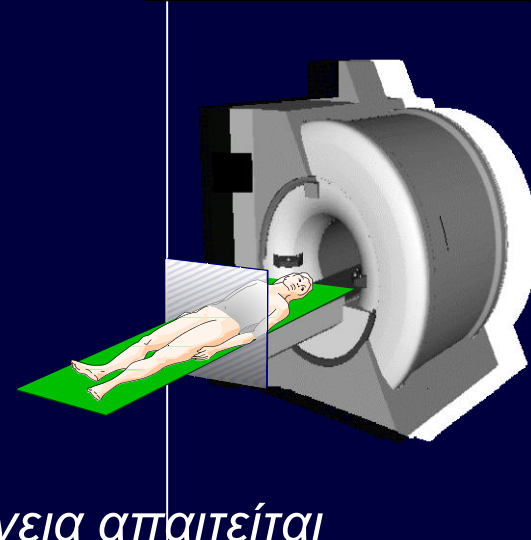
Βιολογικές Επιδράσεις



3. Επιδράσεις RF

- **SAR (Specific Absorption Ratio) (1)**
- Η επαναλαμβανόμενη χρήση παλμών εναποθέτει ενέργεια που προκαλεί στη συνέχεια αύξηση θερμοκρασίας στον ασθενή. Αυτό εκφράζεται με τον όρο «συγκεκριμένο ποσοστό απορρόφησης σε W/kg » (SAR) και ελέγχεται από το λογισμικό του υπολογιστή.
- Για πεδία μέχρι 3,0 Tesla, η τιμή αυτή είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του πεδίου.
- **Το πρόβλημα είναι** ότι όσο αυξάνεται το πεδίο το σώμα γίνεται όλο και πιο αγώγιμο και η χρήση υψηλών παλμών είναι απαραίτητη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ήπια εγκαύματα.

Βιολογικές Επιδράσεις



3. Επιδράσεις RF

■ *SAR (Specific Absorption Ratio) (2)*

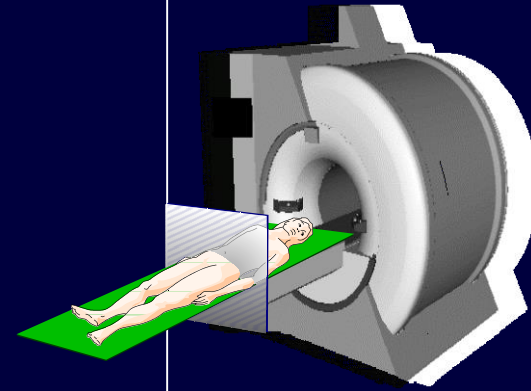
- **Εξαρτάται από το μέγεθος του πεδίου**
όσο μεγαλύτερο το πεδίο τόσο μεγαλύτερη ενέργεια απαιτείται για να επέλθει το αναμενόμενο αποτέλεσμα
π.χ. για 90° το *SAR* είναι μεγαλύτερο στο $1.5T$ απ'ότι στα $0.5T$
- **Εξαρτάται από τη γωνία του παλμού**
μεγαλύτερο *SAR* για 180° από ότι για 90°
- **Εξαρτάται από τον πλήθος των παλμών ανά κύκλο**
Κάποιες τεχνικές (*spin-echo*) χρησιμοποιούν δύο παλμούς 180° και 90° ενώ άλλες (*turbo spin-echo*) περισσότερους παλμούς 180°
- **Εξαρτάται από το χρόνο TR**
ο χρόνος TR αντιπροσωπεύει τη διάρκεια της απεικονιστικής διαδικασίας και συνεπώς επηρεάζει το ρυθμό στον οποίο γίνεται η εναπόθεση ενέργειας. Μείωση του TR συγκεντρώνει τους παλμούς σε μικρότερο χρονικό διάστημα προκαλώντας αύξηση του *SAR*

Βιολογικές Επιδράσεις

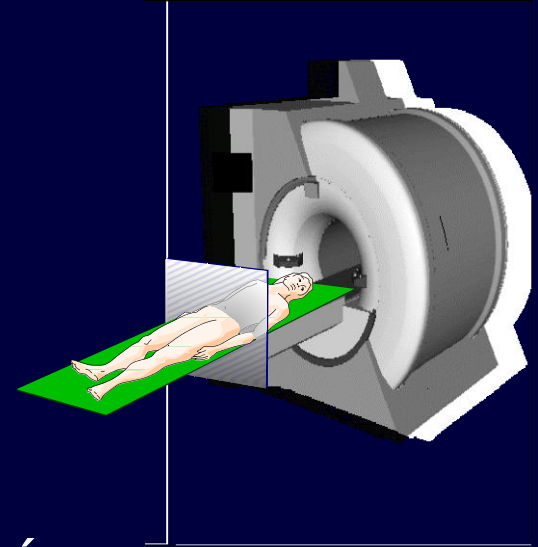
3. Επιδράσεις RF

■ Γενικά

- Από πειράματα σε πειραματόζωα η έκθεση σε 10-20 W/Kg επέφερε:
 - Δραστική μείωση της διάρκειας ύπνου
 - Αύξηση σφυγμών και πίεσης του αίματος
 - Μείωση της εγκεφαλικής λειτουργίας
 - Ιδιαίτερη ευαισθησία ορισμένων οργάνων όπως όρχεις και οφθαλμοί.
 - Αύξηση της θερμοκρασίας του αμνιακού υγρού έως και 43 °C και θανάτωση του εμβρύου



Βιολογικές Επιδράσεις



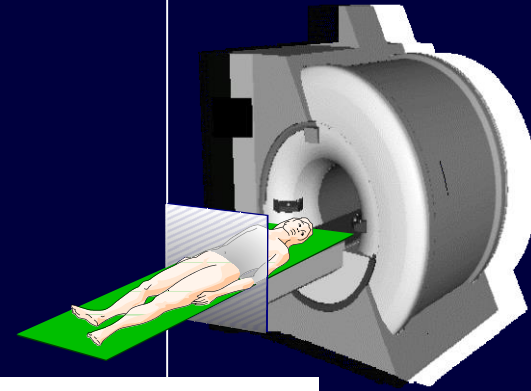
3. Επιδράσεις RF

- *Κυτταρικές επιδράσεις*
- *Τα κύτταρα είναι ευαίσθητα στην απορρόφηση ενέργειας από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και μάλιστα ο κίνδυνος είναι ανάλογος της συχνότητας εκπομπής. (φυσική αρχή του φούρνου μικροκυμάτων)*
- *In vitro* έκθεση κυττάρων σε RF συχνότητας 147MHz προκαλεί εκκρόση των ιόντων ασβεστίου από εγκεφαλικού ιστούς.

Βιολογικές Επιδράσεις

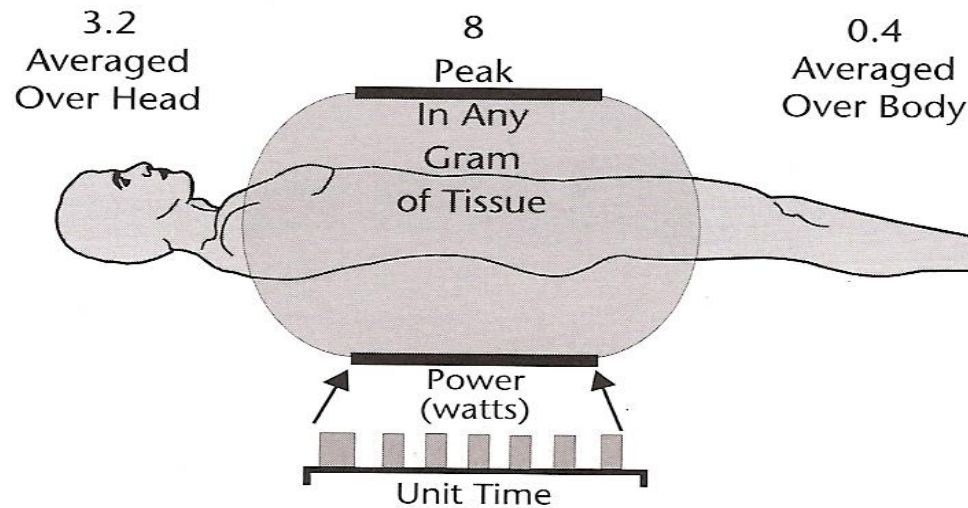
3. Επιδράσεις RF

■ *Θερμικές επιδράσεις*



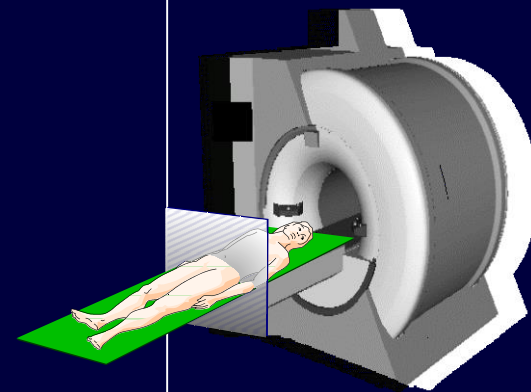
RADIO FREQUENCY HEATING

Specific Absorption Rate (watts/kilo)
Maximum Limits



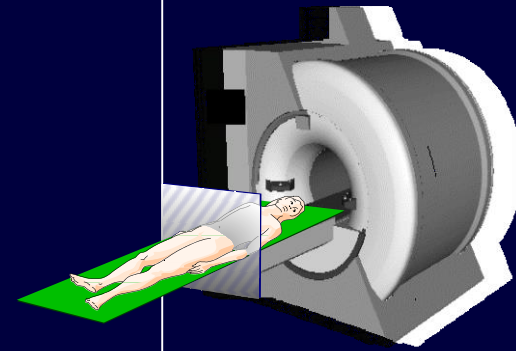
Magnetic Field Strength
Pulse Flip Angles
Pulses Per Cycle
TR

Βιολογικές Επιδράσεις



- Συμπερασματικά..
- Οι επιδράσεις των στατικών μαγνητικών πεδίων είναι οι λιγότερο επιβλαβείς βιολογικά – **προσοχή στην ασφάλεια.**
- Η απορρόφηση ενέργειας από τις ραδιοσυχνότητες αποτελεί την πιο ανησυχητική επίδραση στον ασθενή
- Έκθεση εθελοντών σε μαγνητικά πεδία μέχρι και 8T αποδεικνύεται απόλυτα ασφαλής
- Προτείνεται-συστήνεται στους κατασκευαστές η τοποθέτηση ασφαλιστικών μηχανισμών τερματισμού της λειτουργίας του μαγνήτη εφόσον προκύπτει αναγκαιότητα βάσει των περιοριστικών τιμών SAR

Ζητήματα ασφάλειας



➤ **Επιδράσεις Στατικών Πεδίων**

Η προφανέστερη επίπτωση ασφάλειας είναι η δύναμη του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από το σαρωτή. Η βασική ανησυχία έγκειται στην επαναξιολόγηση των ιατρικών εμφυτευμάτων και των συσκευών που κρίνονται ασφαλείς για πεδία μέχρι 1,5 Tesla και που δεν έχουν εξεταστεί σε υψηλότερα πεδία.

Αυτό αποτελεί ένα ζήτημα καθώς σαρωτές 3T χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο.

➤ **Κλειστοφοβικές τάσεις**

➤ **Θόρυβος**





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΛΑΡΙΣΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ – ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ
 Διευθυντής: Καθηγητής Ιωάννης Φεζουλίδης



ΦΟΡΜΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

ΟΝΟΜΑ:	ΕΞΕΤΑΣΗ:
ΕΠΩΝΥΜΟ:	ΒΑΡΟΣ:
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ:	ΥΨΟΣ:
ΠΟΛΗ:	
ΤΗΛΕΦΩΝΟ:	

ΝΑ ΠΡΟΣΚΟΜΙΣΘΟΥΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ!



ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ



Πριν την εισαγωγή στο περιβάλλον του μαγνήτη, απομακρύνετε οτιδήποτε μεταλλικά αντικείμενα φέρετε όπως ακουστικά βερηκοίας, κλειδιά, τεχνητή οδοντοστοιχία, beerer, κινητό τηλέφωνο, μπαταρίες, κοσμήματα, καρφίτσες μαλλιών, μπαταρίες, ρολόι, πιστωτικές κάρτες, κέρματα, μαγνητικές κάρτες, νυχοκόπτες. Παρακαλώ συμβουλευτείτε τον υπεύθυνο Τεχνολόγο ή Ακτινολόγο για περαιτέρω πληροφορίες ή απορίες σχετικά με την εξέταση πριν την εισαγωγή σας στο δωμάτιο συστήματος του Μαγνητικού Τομογράφου.

Δηλώνω υπεύθυνα ότι οι πληροφορίες που συμπληρώνω είναι αληθείς. Διαβάζω και καταλαβαίνω τα περιεχόμενα αυτής της φόρμας έχοντας το δικαίωμα να ρωτήσω οποιαδήποτε πληροφορία για την διαδικασία εξέτασης με Μαγνητικό Συντονισμό στην οποία πρόκειται να υποβληθώ

Υπογραφή: _____ Ημερομηνία ____/____/____

Ολοκλήρωση φόρμας από: Ασθενής Συγγενής Νοσηλεύτρια

Συγγένεια με ασθενή _____

Επιθεώρηση φόρμας από: Όνομα

Υπογραφή

Τεχνολόγος MRI

Νοσηλεύτρια

Ιατρός

Ακτινοφυσικός

!



ΠΡΟΣΟΧΗ: Συγκριμένα επιθεύματα, συσκευές ή μεταλλικά αντικείμενα, μπορά να προκαλέσουν ατυχήματα κατά τη διάρκεια εξέτασης με Μαγνητικό Συντονισμό. Μην εισέρχεστε στο χώρο του μαγνήτη στην περίπτωση που έχετε επιθεύματα, συσκευές ή μεταλλικά αντικείμενα. Συμβουλευτείτε τον Ακτινοφυσικό ή τον Τεχνολόγο πριν εισαχθείτε στον χώρο της εξέτασης. Ο μαγνήτης είναι μόνιμως σε λειτουργία.

Επιλέξτε ότι ισχύει από τα παρακάτω (τοποθετείστε ✓ στο αντίστοιχο κουτάκι):

<input checked="" type="checkbox"/>	1. Έχετε υποβληθεί σε προηγούμενη επέμβαση ή χειρουργείο (π.χ., αρθροσκόπηση, ενδοσκόπηση, κλπ.) Εάν ναι συμπληρώστε την ημερομηνία και τον τύπο του χειρουργείου στο οποίο υποβληθήκατε:	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	2. Έχετε υποβληθεί σε άλλη απεικονιστική ή διαγνωστική μέθοδο εξέτασης (Μαγνητική, Αξονική, Υπερηχογραφία, Ακτίνες-Χ, κλπ.); Εάν ναι, συμπληρώστε	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	3. Αντιμετωπίσατε κάποιο πρόβλημα σε προηγούμενη εξέταση με Μαγνητικό Συντονισμό; Εάν ναι, δώστε περιγραφή:	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	4. Έχετε τραυματιστεί στο μάτι με μεταλλικά αντικείμενα ή κομμάτια μεταλλικά; Εάν ναι, δώστε περιγραφή:	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	5. Παίρνετε ή παίρνατε πρόσφατα φάρμακα ή κάποια άλλη φαρμακευτική ουσία; Εάν ναι, δώστε περιγραφή:	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	6. Είστε αλλεργικός/ά σε κάποια είδη φαρμάκων; Εάν ναι, δώστε περιγραφή:	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	7. Έχετε ή είχατε ποτέ άσθμα, αλλεργίες, αναπνευστικά προβλήματα ή παρενέργειες από σκιαγραφικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σε εξέταση Μαγνητικού Συντονισμού, Αξονικής ή Ακτινογραφίας;	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	8. Μήπως πάσχετε από αναιμία ή οποιαδήποτε άλλη ασθένεια που να επηρεάζει το αίμα ή κάποια ασθένεια στα νεφρά; Εάν ναι, δώστε περιγραφή:	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	Για γυναίκες ασθενείς:	
	9. Πότε είχατε τελευταία φορά έμμηνο ρύση: ____/____/____	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	10. Είστε σε εγκυμονούσα κατάσταση ή μήπως έχετε κάποια καθυστερημένη έμμηνο ρύση;	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	11. Παίρνετε αντισυλληπτικά ή μήπως υπόκεισθε σε ορμονική θεραπεία;	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι
	12. Μήπως υπόκεισθε σε θεραπεία γονιμότητας. Εάν ναι, δώστε περιγραφή:	<input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι

Επιλέξτε ότι ισχύει από τα παρακάτω (τοποθετείστε ✓ στο αντίστοιχο κουτάκι):

<input type="checkbox"/>	Κλιπ(ς) Ανευρύσματος	<input type="checkbox"/>	Εμφυτευμένος επιμολωτής
<input type="checkbox"/>	ΒΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣ	<input type="checkbox"/>	Καθετήρες Swan-Ganz ή θερμοδιάλυσης
<input type="checkbox"/>	Ηλεκτρονικό εμφύτευμα ή συσκευή (κοχλιακό εμφύτευμα)	<input type="checkbox"/>	Μεταλλικά αντικείμενα ή ξένα σώματα (π.χ. Σκάγια)
<input type="checkbox"/>	Ηλεκτρόδια ή καλώδια στο σώμα	<input type="checkbox"/>	Προσθετικά (π.χ., σιλκόνη)
<input type="checkbox"/>	Χειρουργικά staples, clips.	<input type="checkbox"/>	Τεχνητή άρθρωση (γόνατο, ισχίο, κλπ.)
<input type="checkbox"/>	ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ βαρηκοΐας	<input type="checkbox"/>	Υλικά αστεροσκλήρωσης από ορθοπεδικά χειρουργεία
<input type="checkbox"/>	Αντλία Ινσουλίνης	<input type="checkbox"/>	Αναπνευστικά προβλήματα
<input type="checkbox"/>	Φακοί επαφής	<input type="checkbox"/>	Τατουάζ
<input type="checkbox"/>	Τεχνητή βαλβίδα στην καρδιά	<input type="checkbox"/>	Μακιγιάζ
<input type="checkbox"/>	Τεχνητό/προσθετικό μέλος	<input type="checkbox"/>	Κοσμήματα
<input type="checkbox"/>	Μεταλλικά STENTS	<input type="checkbox"/>	Κλειστοφοβία
<input type="checkbox"/>	Τεχνητές οδοντοστοιχίες (μασέλες)	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Βαλβίδα παραχέτευσης υδροκεφάλου	<input type="checkbox"/>	

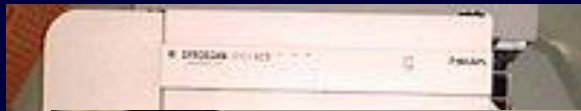


Table 1 FDA Criteria for Significant Risk Investigations

Patient studies utilizing magnetic resonance diagnostic devices which are conducted under any one of the following operating conditions are considered significant risk investigations and require approval of an investigational device exemption (IDE) by the Food and Drug Administration (FDA) Center for Devices and Radiological Health (CDRH).

1. Main static magnetic field greater than 4 tesla;
2. Specific absorption rate (SAR) greater than
 - a. 4 W/kg averaged over the whole body for any period of 15 min, or
 - b. 3 W/kg averaged over the head for any period of 10 min, or
 - c. 8 W/kg in any gram of tissue in the head or torso, or 12 W/kg in any gram of tissue in the extremities, for any period of 5 min;
3. time rate of change of gradient fields ($d\mathbf{B}/dt$) sufficient to produce severe discomfort or painful nerve stimulation; or
4. peak unweighted sound pressure level greater than 140 dB or A weighted rms sound pressure level greater than 99 dBa with hearing protection in place.

These criteria apply only to device operating conditions. Other aspects of the study may involve significant risk and the study may therefore require IDE approval. (Taken from CDRH web page of the FDA, <http://www.fda.gov/cdrh/ode/magdev>)

Static Magnetic Field Effects

Table 2 A Sampling of MRI Related Incidents from the MDR Database

Static Magnetic Field Effects

- MDR-351516* A patient with an implanted cardiac pacemaker died during an MR exam. (12/2/92)
 MDR-175218* A patient with an implanted cardiac pacemaker died during or shortly after an MR exam.

RF Effects

- MDR-711781 An electrically conductive lead was looped and placed against bare skin causing a burn on the patient's upper arm. (5/19/95)
 MDR-591457 A child received a burn to the right hand from a ECG cable while the patient was anesthetized. A skin graft was required to treat the affected area. (1/26/95)
 MDR-246106 A patient received a 1.5" × 4" blistered burn to the left side of the back near the pelvis from an ECG gating cable. (9/23/91)
 MDR-701219 A patient received blistered burns on the finger where a pulse oximeter was attached during MR scanning. A skin graft was required to treat the affected area. (2/27/95)
 MDR-391667 A patient received small blistered burns to the left thumb and left thigh. Reportedly, the operator input an inaccurate patient weight resulting in an incorrect SAR value. (2/10/93)
 MDR-149476** A patient with an implanted insulin infusion pump was placed in an MR scanner resulting in movement of the device. The pump was removed from the patient and subsequently found to be non-functional. (1/13/88)

*These events may also be attributed to the pulsed RF fields.

**This event may also be attributed to the static magnetic field.

These data were obtained from the FDA CDRH.

(6/5/86)

- MDR-149476** A patient with an implanted insulin infusion pump was placed in an MR scanner resulting in movement of the device. The pump was removed from the patient and subsequently found to be non-functional. (1/13/88)