



Αρχές λειτουργικής Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού

Οπτικά ερεθίσματα : τεχνικές και εφαρμογές

Θωμάς Γ. Μαρής

Φυσικός Νοσοκομείου – Ακτινοφυσικός (M.Sc, Ph.D)

Αναπληρωτής Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής

Πανεπιστήμιο Κρήτης

Εισαγωγή στην λειτουργική ΑΜΣ

Δομή της παρουσίασης

- ✓ Γενική εισαγωγή
- ✓ Φυσική βάση του φαινομένου BOLD για την λΑΜΣ
- ✓ Φυσιολογική βάση του φαινομένου BOLD για την λΑΜΣ
- ✓ Σχεδιασμός ενός πειράματος λΑΜΣ
- ✓ Περιστατικά του εργαστηρίου
- ✓ Υλικομηχανική και λογισμική υποδομή για μια λΑΜΣ
- ✓ Τελικά σχόλια

Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού

Είναι η μέθοδος απεικόνισης της νευρωνικής δραστηριότητας του εγκεφάλου με χρήση τεχνικών μαγνητικού συντονισμού

Ιστορική Αναδρομή

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1946 NMR, Bloch & Purcell | 1986 Gradient Echo Imaging |
| 1952 Nobel Prize, Bloch & Purcell | NMR Microscope |
| 1960 NMR as analytical tool | 1988 Angiography, Dumoulin |
| 1972 Computerized Tomography | 1988 Echo-Planar Imaging |
| 1973 Backprojection MRI, Lauterbur | 1988 MRI Diffusion |
| 1975 Fourier Imaging, Ernst | 1991 Nobel Prize, Ernst |
| 1977 Whole Body MRI, Damadian | 1993 Functional MRI (fMRI) |
| EPI, Mansfield | 1994 Hyperpolarized ^{129}Xe Imaging |
| 1988 MRI demonstrated, Edelstein | 1995 Resting State fMRI |

Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού

Τεχνική BOLD

- ✓ Blood Oxygen Level Dependent (BOLD) : Διαφορές στις μαγνητικές επιδεκτικότητες της οξυ και της δεοξυ-αιμοσφαιρίνης. Συσχέτιση των φαινομένων ροής του οξυγονομένου αίματος με την νευρωνική ενεργοποίηση
- ✓ Είναι η μέθοδος απεικόνισης της εγκεφαλικής νευρωνικής δραστηριότητας με χρήση της τεχνικής τοπικής ενίσχυσης σήματος μέσω αύξησης κατανάλωσης O_2

ΛΑΜΣ : φαινόμενο BOLD

Φυσική Βάση

- ✓ Επιδράσεις μαγνητικού πεδίου με την ύλη
- ✓ Μαγνητική Επιδεκτικότητα
- ✓ Απεικόνιση Μαγνητικού συντονισμού : ακολουθίες T1w, T2w
- ✓ Απεικόνιση Μαγνητικού συντονισμού : χρήση υπερταχέων ακολουθιών που η σκιαγραφική τους αντίθεση στηρίζεται σε φαινόμενα μεταβολής της μαγνητικής επιδεκτικότητας των ιστών (T2*)

Η ύλη (έμβια η άβια) στο μαγνητικό πεδίο



Άμεση επίδραση H_0 : Μαγνητική επιδεκτικότητα (χ)

Σε ένα υλικό, ο λόγος της επαγόμενης μακροσκοπικής μαγνήτισης (M_m) προς την ένταση του εξωτερικά εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου (H_0) ονομάζεται μαγνητική επιδεκτικότητα (χ_m) (μοριακό, ατομικό επίπεδο)

$$\chi_m = M_m / H_0$$

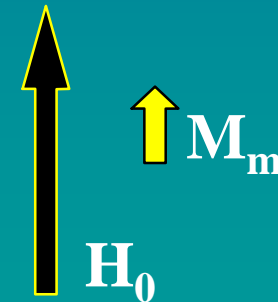
$\chi_m = 0$, $\chi_m < 0$ (διαμαγνητισμός), $\chi_m > 0$ (παραμαγνητισμός)

$\chi_m \gg 0$ (υπερ-παραμαγνητισμός), $\chi_m \gg \gg 0$ (σιδηρομαγνητισμός)

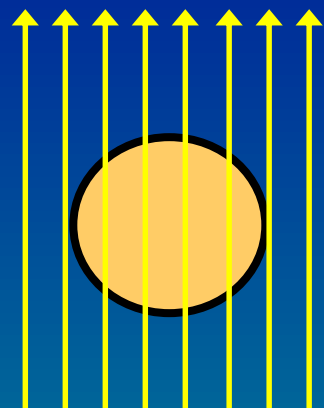
Στο πυρηνικό επίπεδο γίνεται αναφορά στην επαγόμενη πυρηνική μακροσκοπική μαγνήτιση και στην πυρηνική μαγνητική επιδεκτικότητα

$$\chi_n = M_n / H_0$$

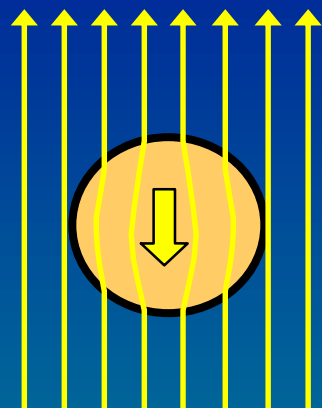
$\chi_n = 0$, $\chi_n > 0$ (πυρηνικός παραμαγνητισμός)



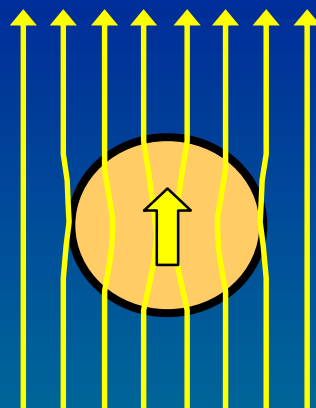
Άμεση επίδραση H_0 : Μαγνητική επιδεκτικότητα (χ)



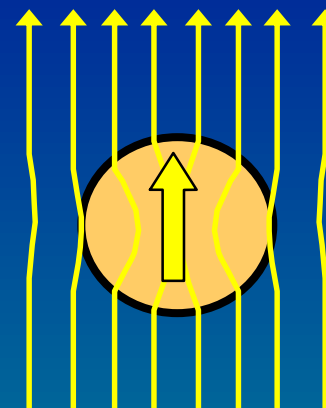
$$X_m = 0$$



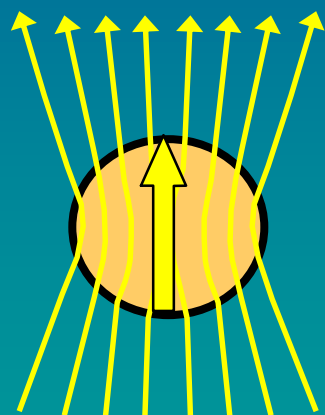
$$X_m < 0$$



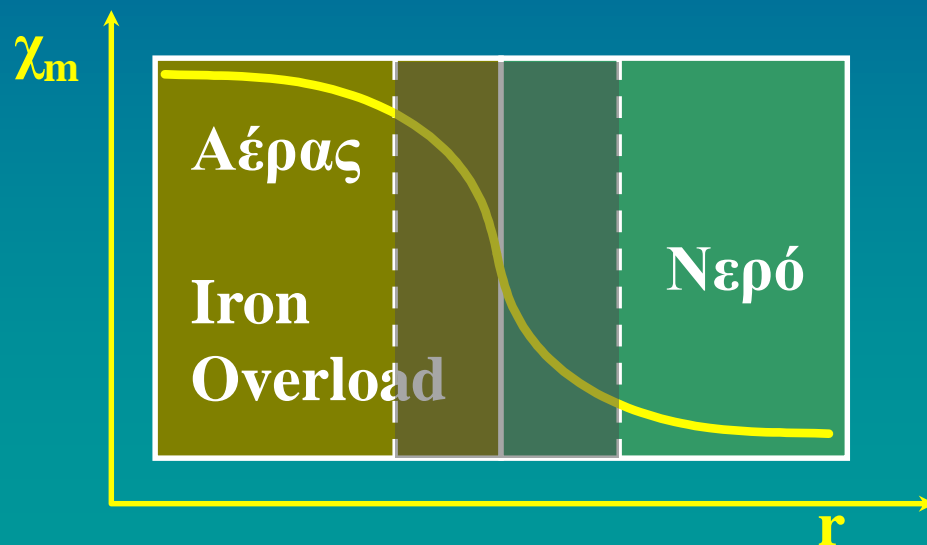
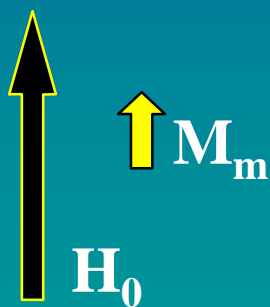
$$X_m > 0$$



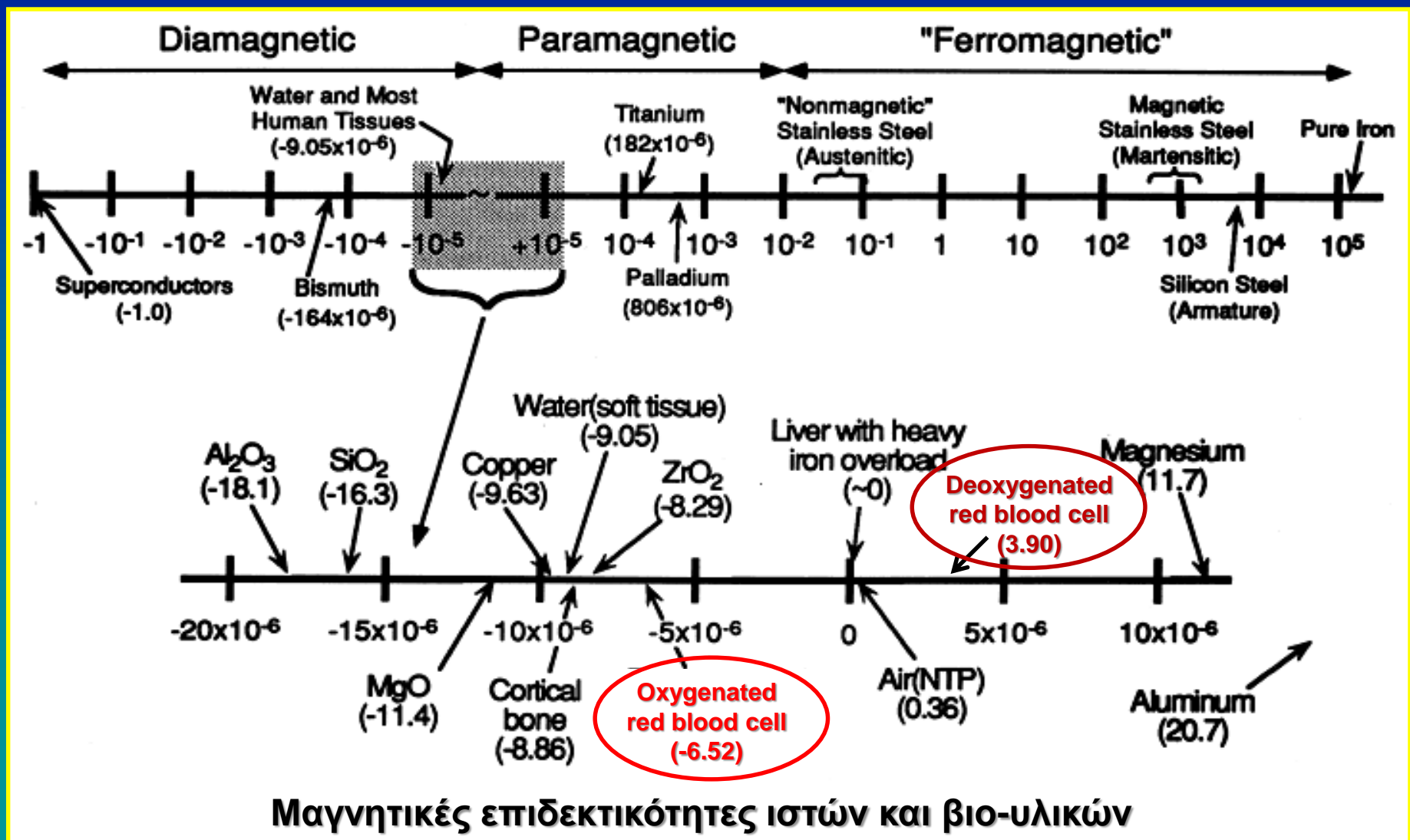
$$X_m \gg 0$$



$$X_m \gg \gg 0$$

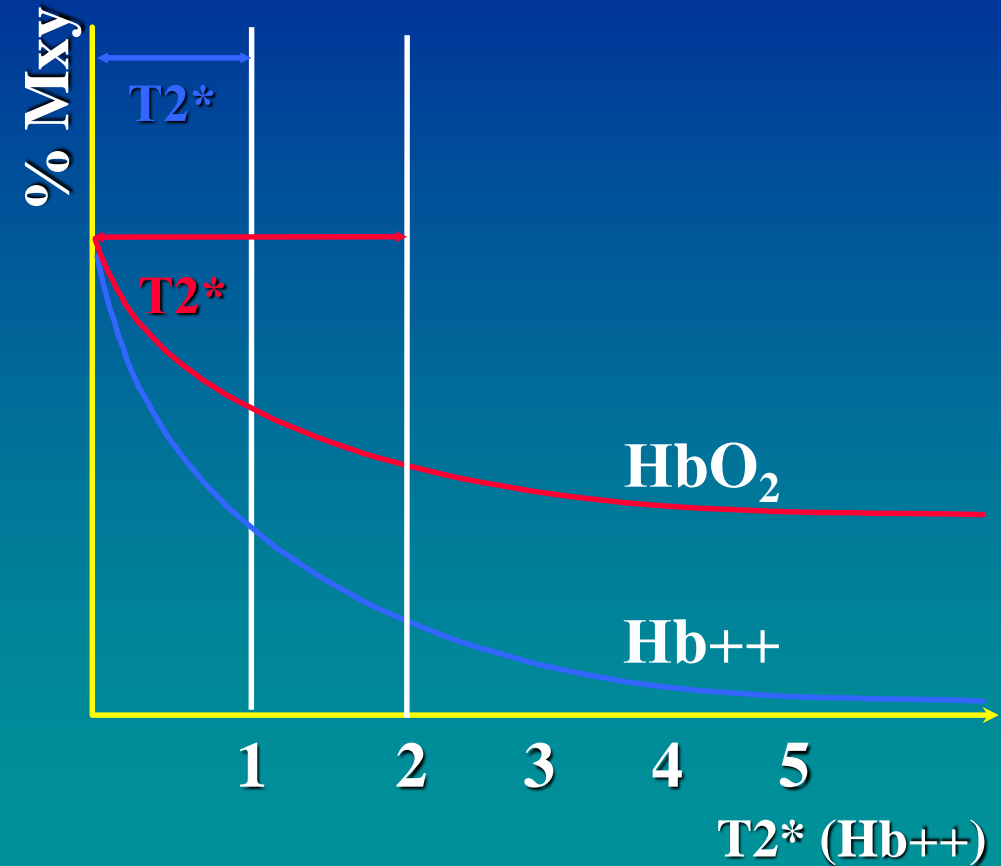
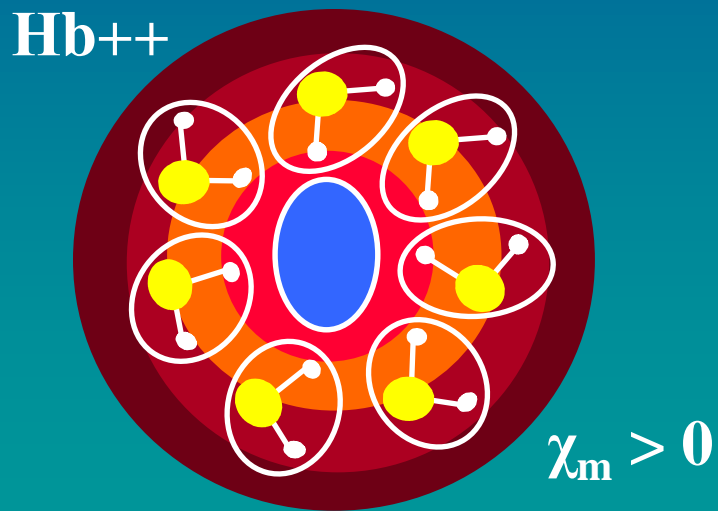
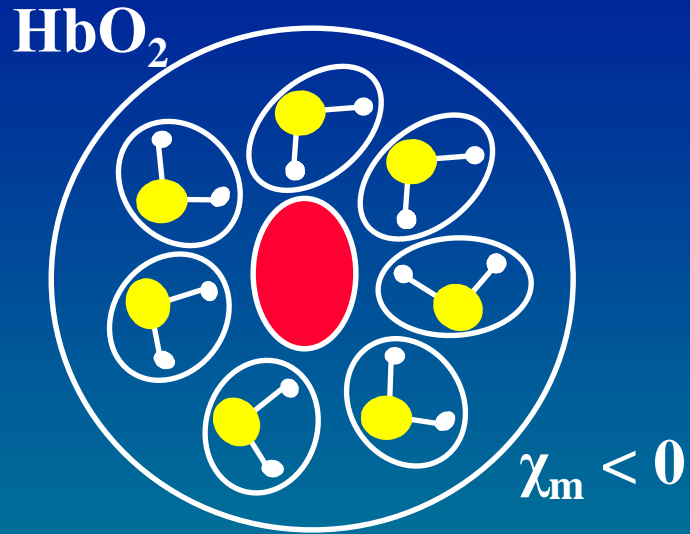


Μαγνητικές επιδεκτικότητες ιστών και βιο-υλικών :



Μαγνητικές επιδεκτικότητες ιστών και βιο-υλικών

Οξυ και Δεοξυ-αιμοσφαιρίνη (T2*)



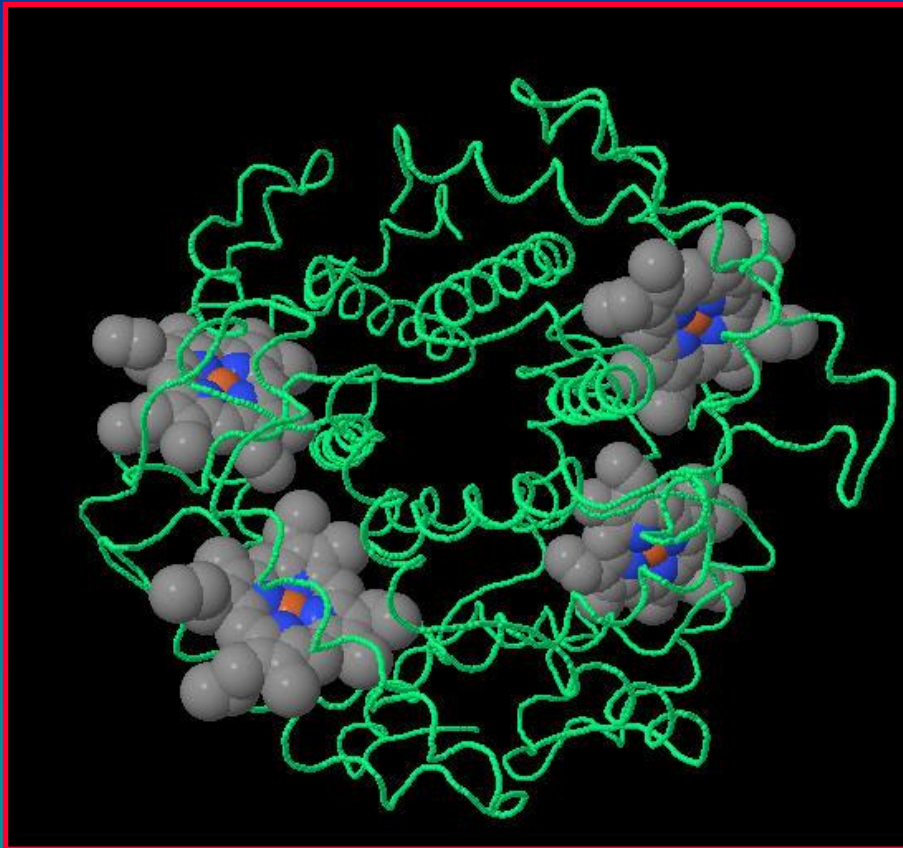
λΑΜΣ : φαινόμενο BOLD

Φυσιολογική Βάση

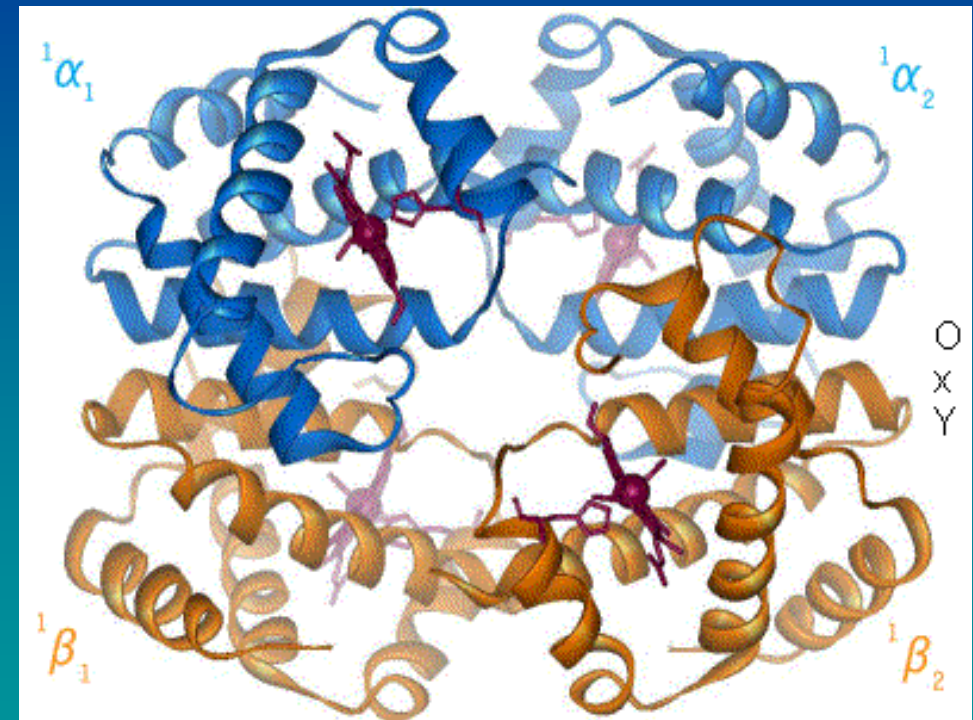
- ✓ Η νευρωνική δραστηριότητα απαιτεί ενέργεια (αύξηση κατανάλωσης γλυκόζης (CMRglu) και οξυγόνου (CMRO₂))
- ✓ Αύξηση της αιματικής διήθησης (blood perfusion), της τοπικής εγκεφαλικής αιματικής ροής (rCBF) και του τοπικού συνολικού όγκου αίματος (rCBV)
- ✓ 4-6 s μετά την νευρωνική ενεργοποίηση σε σχέση με την ηρεμία παρατηρούνται : (α) αύξηση rCBF (30%), (β) αύξηση του rCBV (7%), και (γ) αύξηση στον ρυθμό κατανάλωσης του O₂ (5%)
- ✓ Η αύξηση αιματικής ροής rCBF είναι πολύ μεγαλύτερη από την αύξηση στην κατανάλωση O₂

Το μόριο της Αιμοσφαιρίνης (100 Ang, 10 nm)

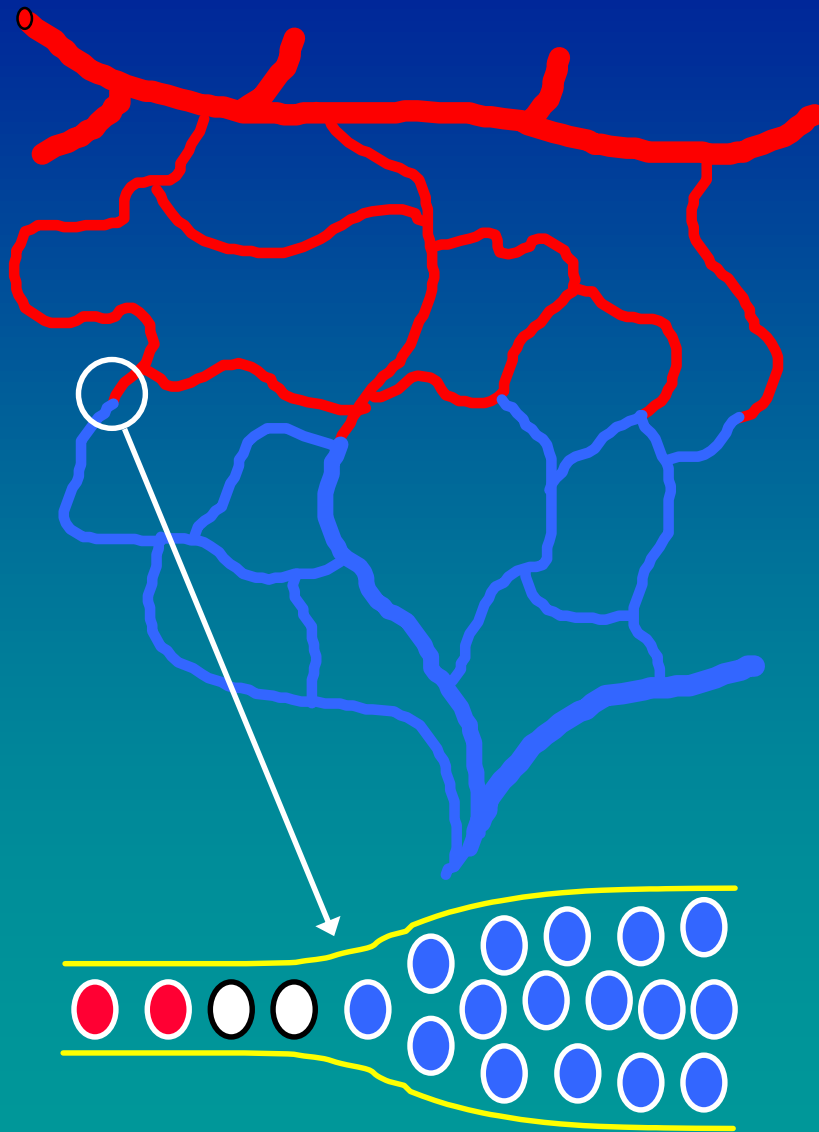
Δομή δεοξυ-αιμοσφαιρίνης (100 Ang, 10 nm), Μόρια αίμης (10 Ang, 1 nm)



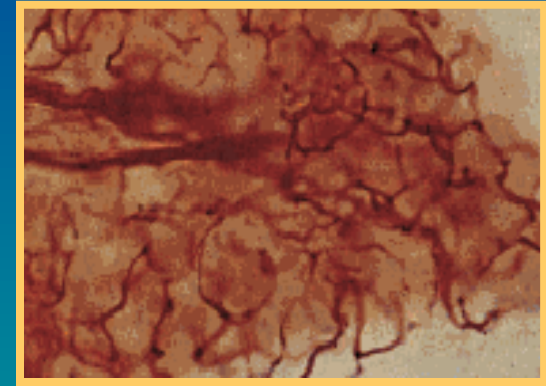
Δομή πολυπεπτιδικών αλυσίδων ($\alpha_2\beta_2$)
Μόρια αίμης, Δέσμευση οξυγόνου



Μικροκυκλοφορία (αρτηρίδια -φλεβίδια)



Αρτηριακό αίμα
Οξυ-αιμοσφαιρίνη
Διαμαγνητική ουσία ($\chi_m < 0$)
 $T2^* = 100 \text{ ms (1.5 T)}$

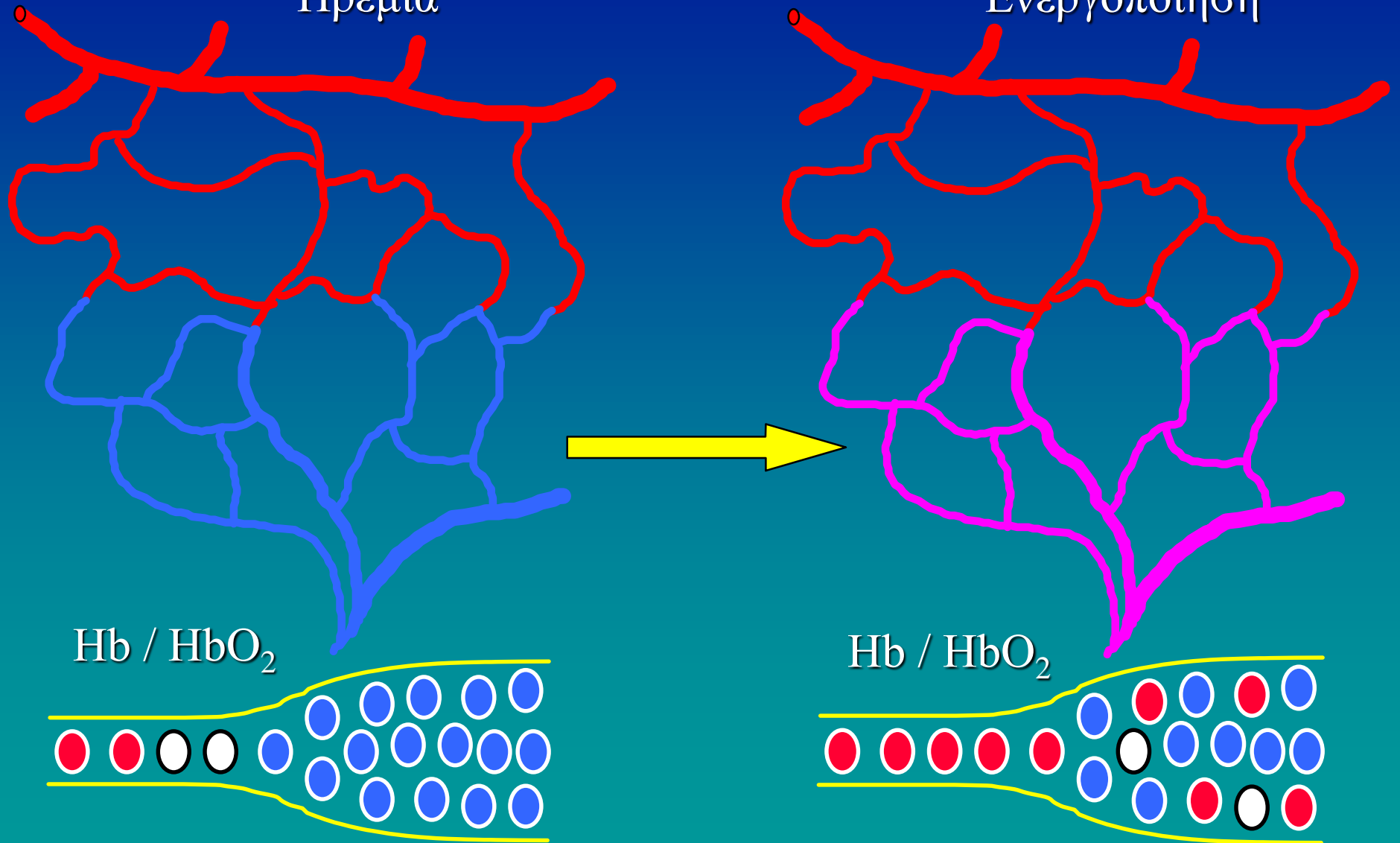


Φλεβικό αίμα
Δεοξυ-αιμοσφαιρίνη
Παραμαγνητική ουσία ($\chi_m > 0$)
 $T2^* = 50 \text{ ms (1.5 T)}$

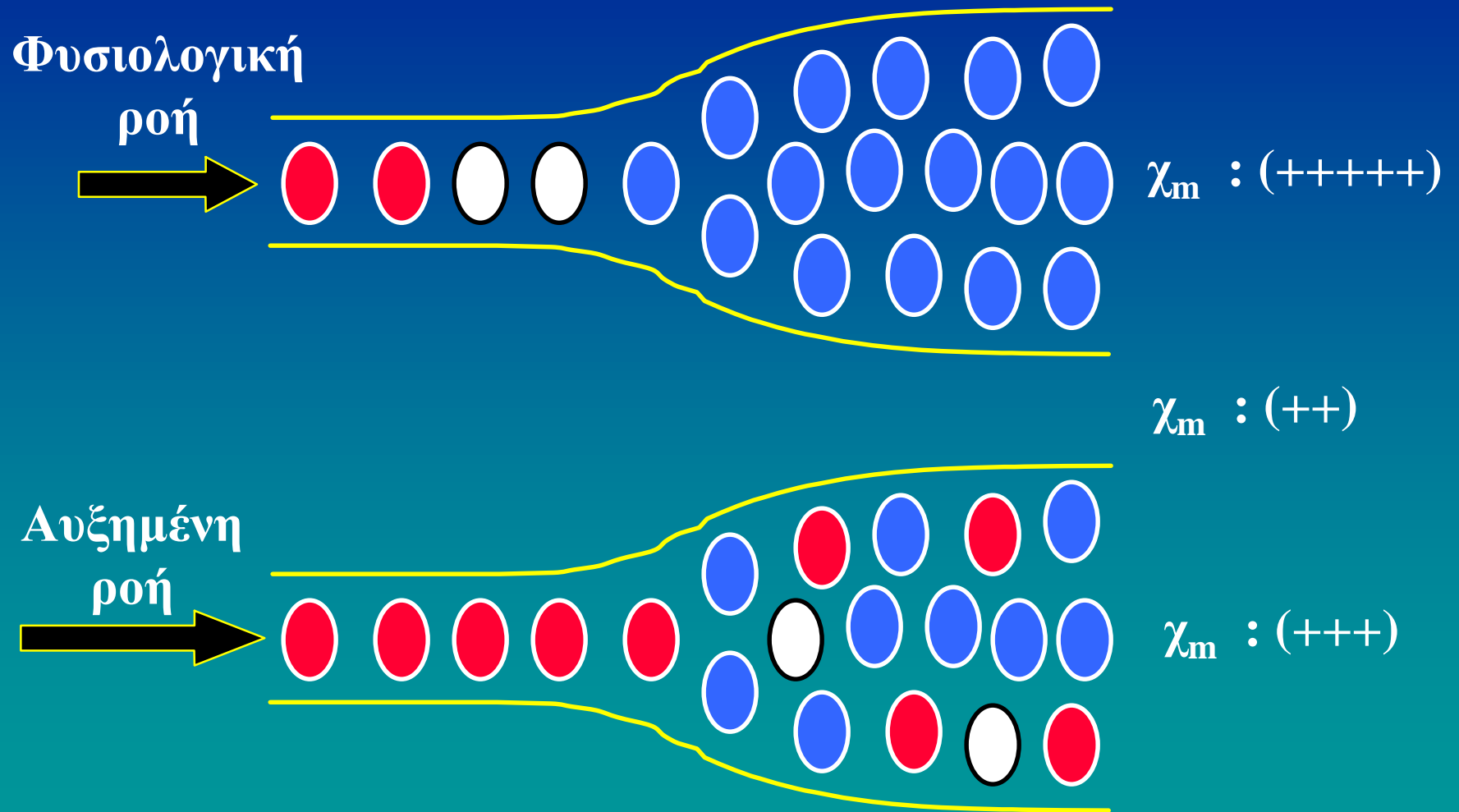
Νευρωνική ενεργοποίηση

Ηρεμία

Ενεργοποίηση



Φαινόμενο BOLD : φυσιολογική βάση



Φαινόμενο BOLD : φυσιολογική βάση

Η νευρωνική ενεργοποίηση μέσω μιας διαδικασίας (π.χ. κτύπημα-δακτύλων, αναβόσμημα-φωτός) αυξάνει τοπικά την κατανάλωση του οξυγόνου. Παρατηρείται αύξηση οξυγόνου στο φλεβικό αίμα. Αιτία : Το νευρικό κύτταρο αντιδρά στους ερεθισμούς με χρήση αναερόβιων μεταβολικών διεργασιών

Δύο φαινόμενα :

- ✓ Από-οξυγόνωση της οξυ-αιμοσφαιρίνης και δημιουργία δεοξυ-αιμοσφαιρίνης. ($\text{HbO}_2 \rightarrow \text{Hb}^{++}$). Η συγκέντρωση της δεοξυ-αιμοσφαιρίνης αυξάνεται
- ✓ Αυξάνεται η τοπική εγκεφαλική αιματική ροή (rCBF). Η συγκέντρωση της δεοξυ-αιμοσφαιρίνης μειώνεται

Η από-οξυγόνωση ($\text{HbO}_2 \rightarrow \text{Hb}^{++}$) υπερκαλύπτεται από την αύξηση του rCBF (νέα HbO_2). Άρα παρατηρείται μείωση της δεοξυ-αιμοσφαιρίνης

Φαινόμενο BOLD : φυσική βάση

Η νευρωνική ενεργοποίηση μέσω μιας διαδικασίας (π.χ. κτύπημα-δακτύλων, αναβόσμημα-φωτός) αυξάνει τοπικά την κατανάλωση του οξυγόνου ($\text{HbO}_2 \rightarrow \text{Hb}^{++}$). Η επιπλέον όμως αύξηση του rCBF αυξάνει τελικά το ποσοστό της (HbO_2) που εναποτίθεται στο φλεβικό αίμα.

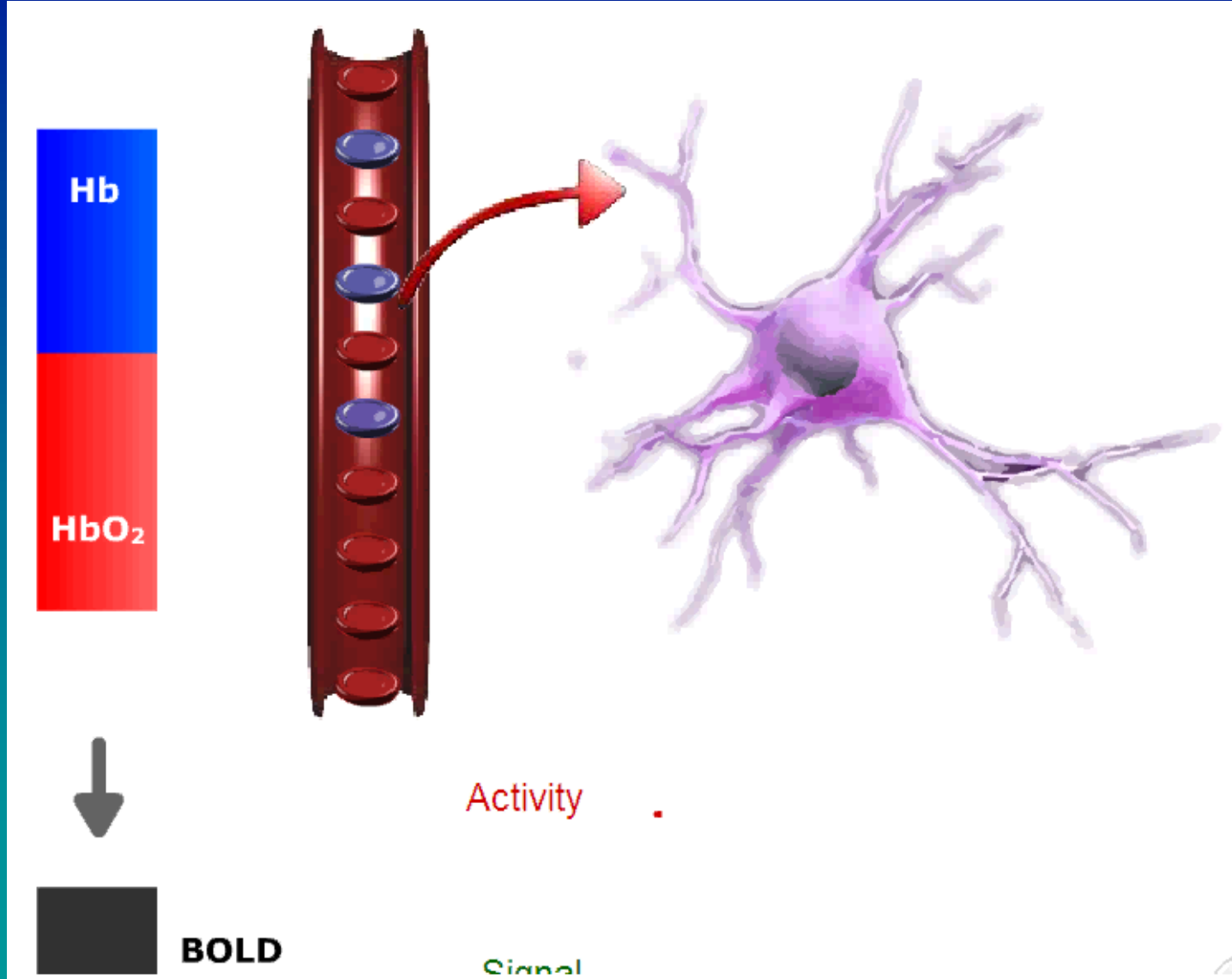
Η οξυ-αιμοσφαιρίνη (HbO_2) είναι *διαμαγνητική* ουσία

Η δέοξυ-αιμοσφαιρίνη (Hb^{++}) είναι *παραμαγνητική* ουσία

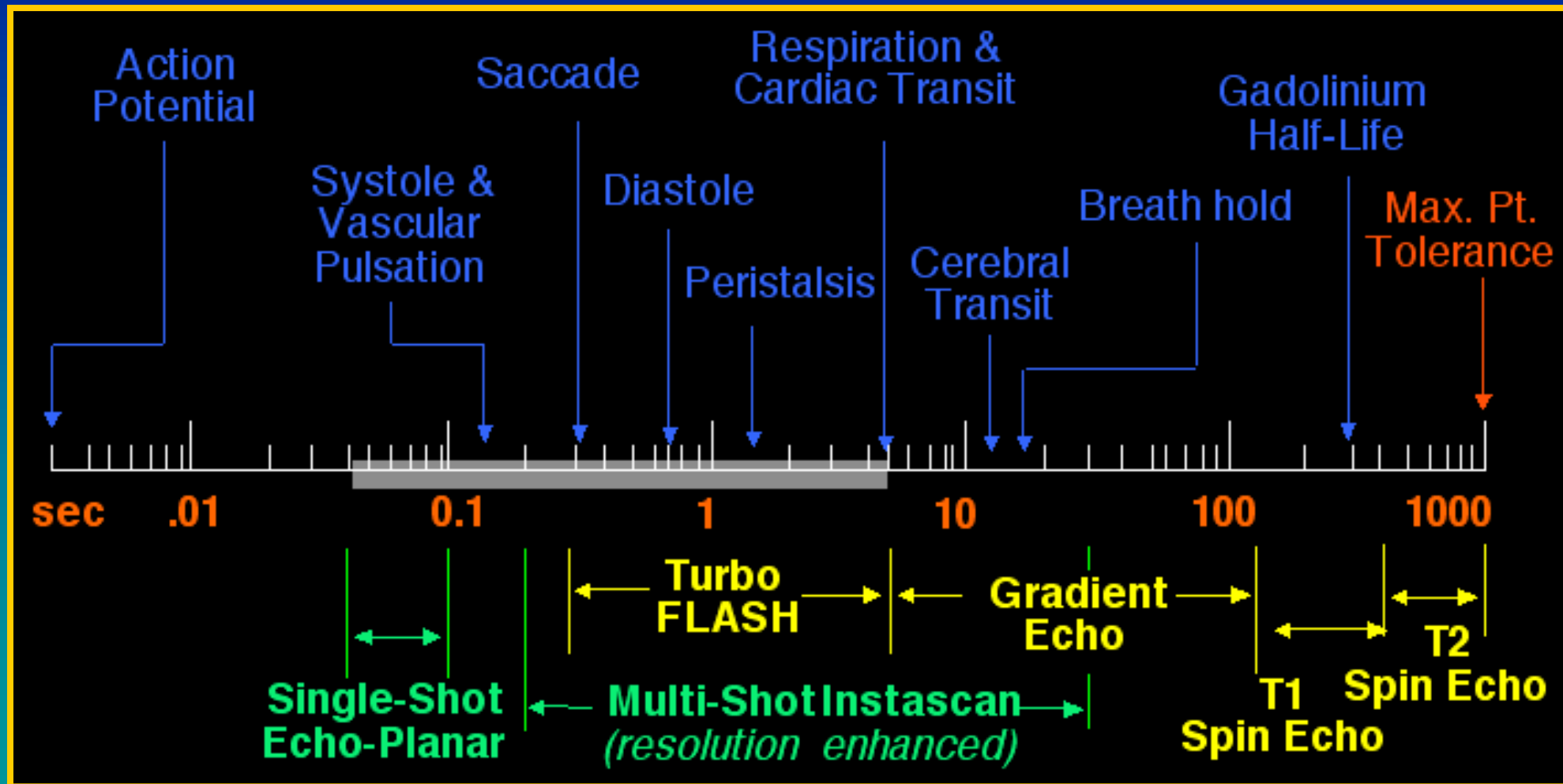
Λιγότερη δέοξυ-αιμοσφαιρίνη, = μικρότερη διαφορά μαγνητικής επιδεκτικότητας μεταξύ των αγγείων και του εγκεφαλικού ιστού = μεγαλύτερη τιμή $T2^*$

Μεγαλύτερη τιμή $T2^*$ = Αύξηση σήματος σε ακολουθίες έμφασης $T2^*$

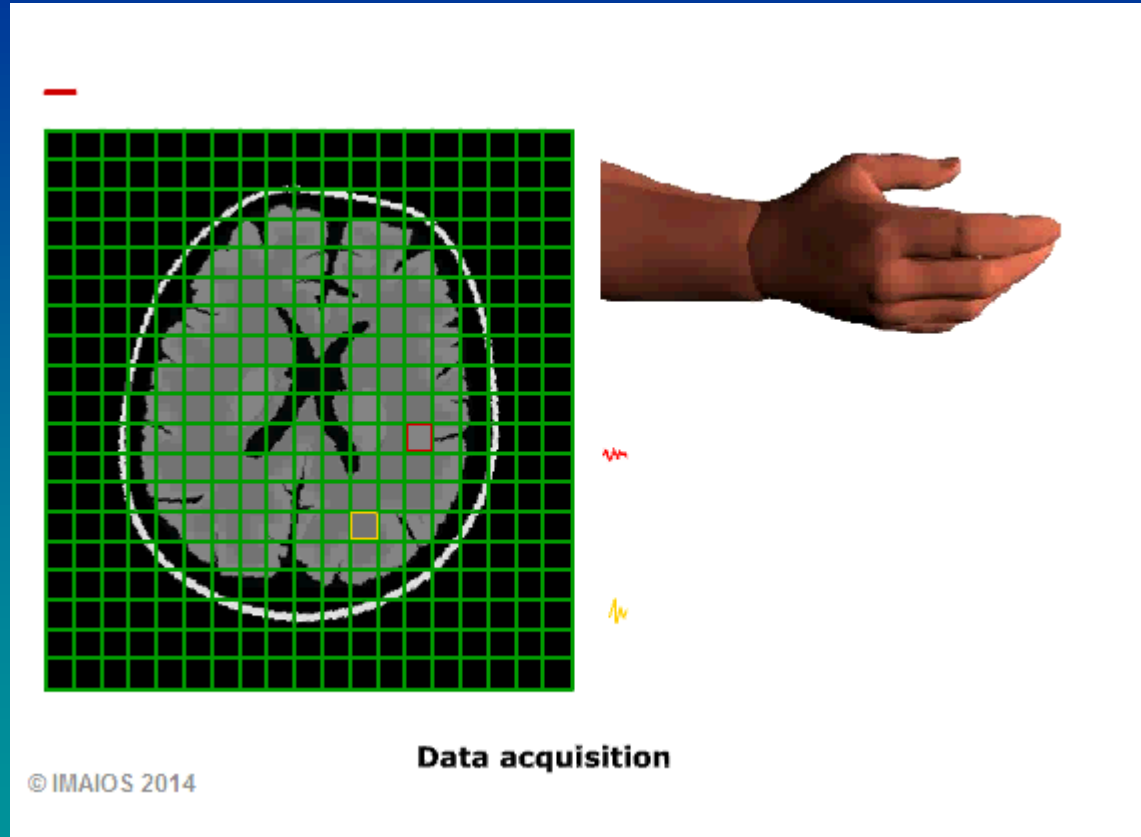
Νευρωνική ενεργοποίηση (Φυσική + Φυσιολογική βάση)



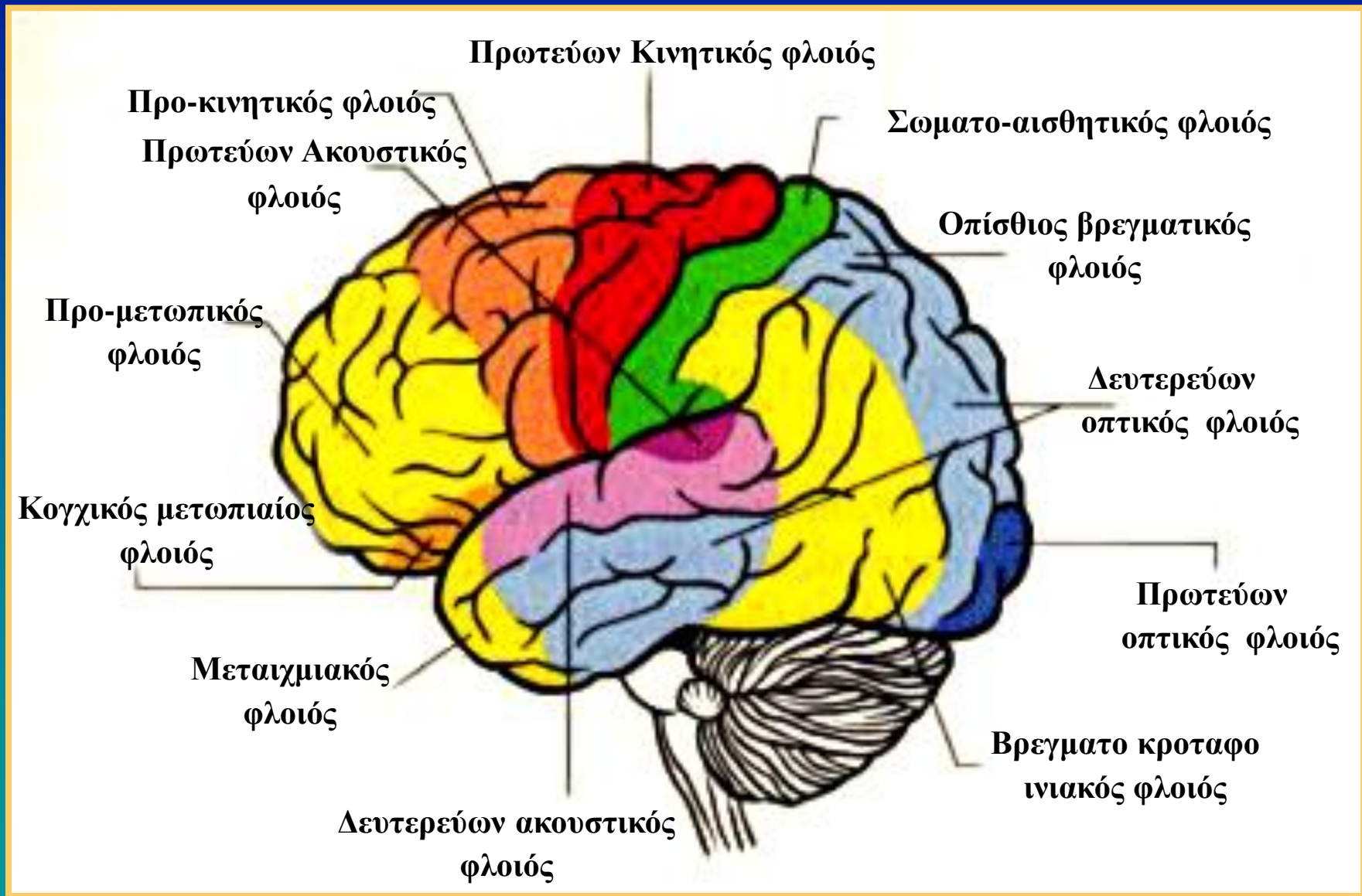
Φυσιολογία και χρόνοι εξέτασης στην ΑΜΣ



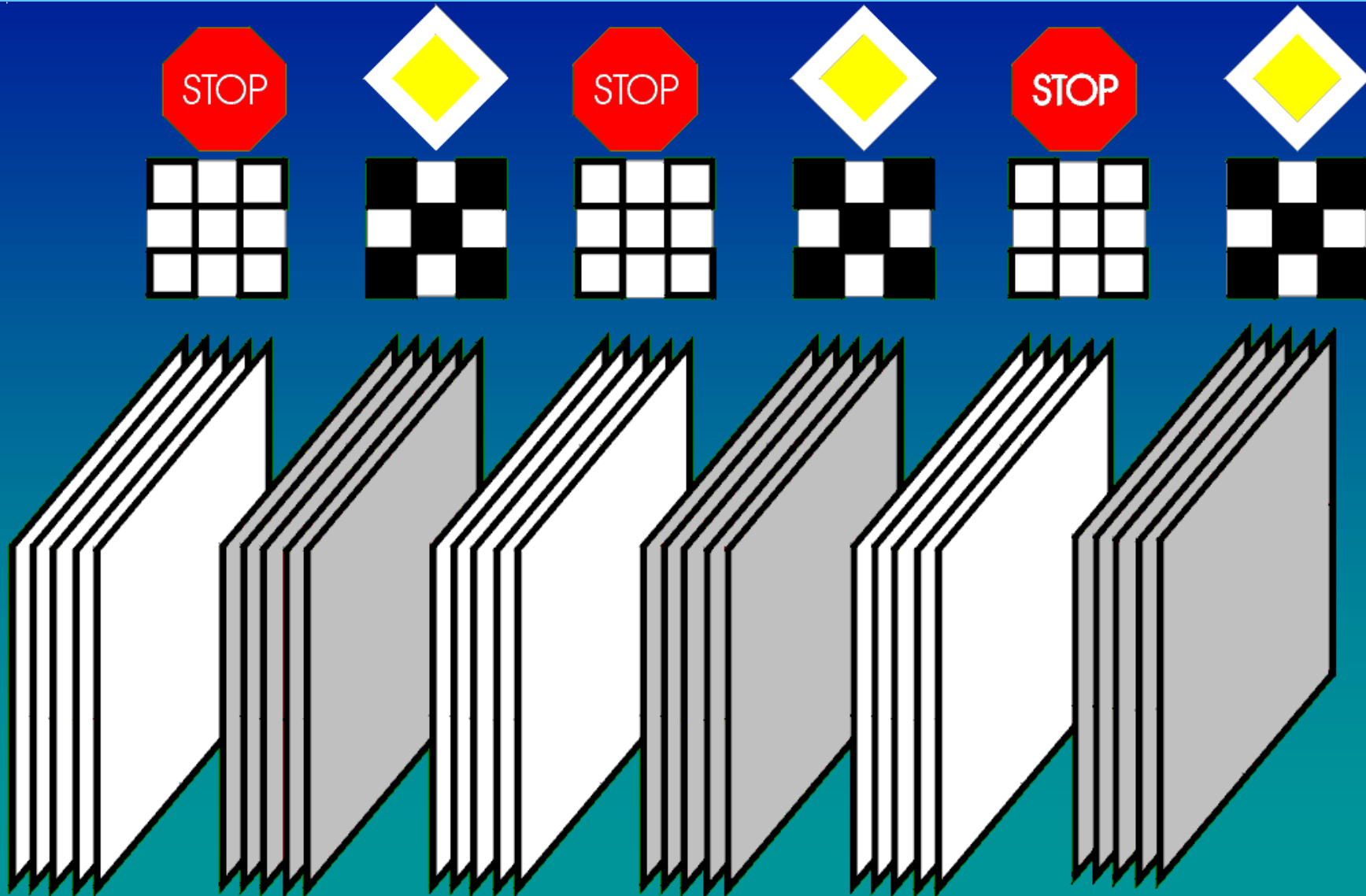
ΛΑΜΣ (τελικός σχεδιασμός πειράματος)



Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού

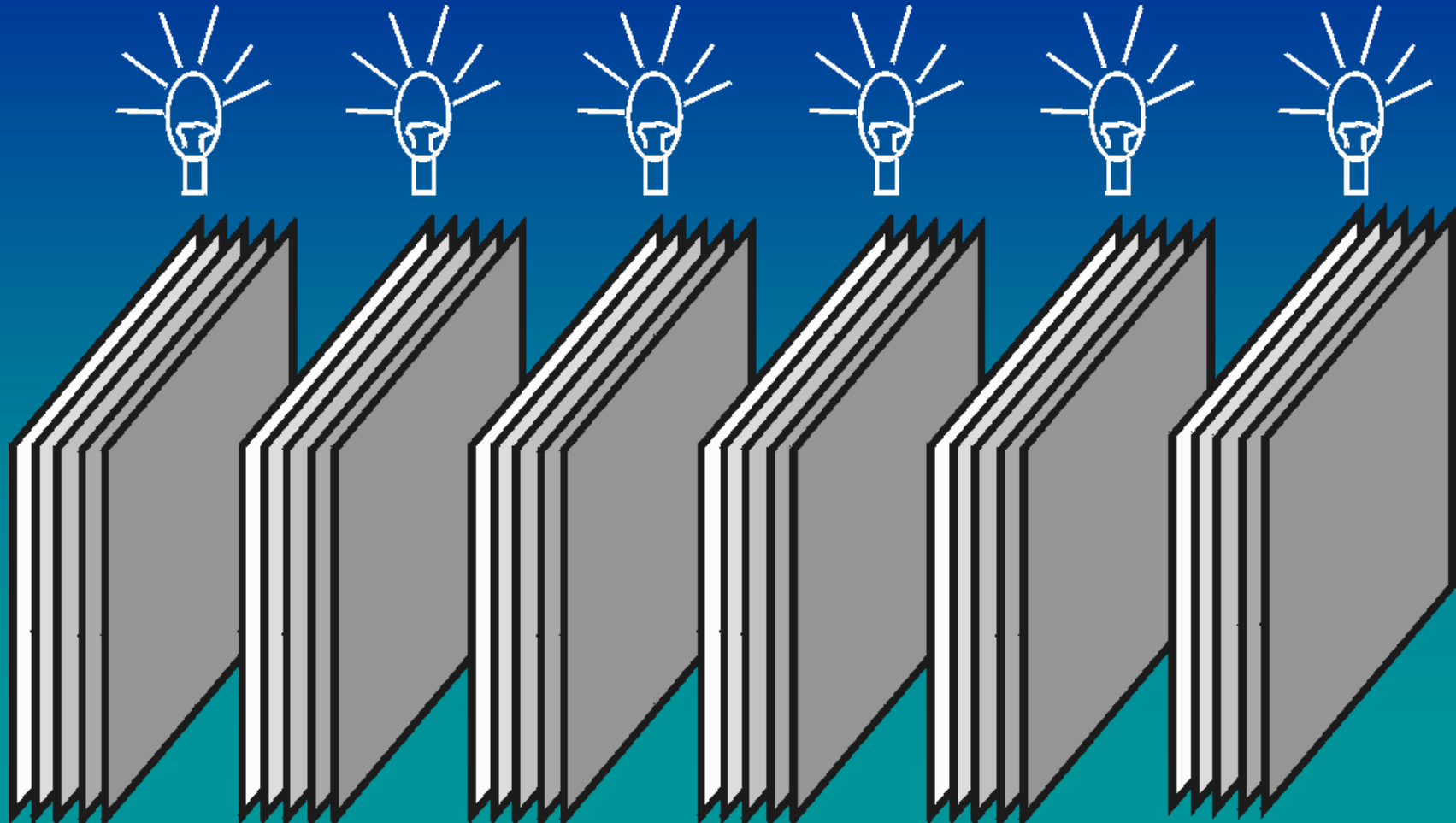


Φαινόμενο BOLD : Τεχνικές (Blocked task)



Φαινόμενο BOLD : Τεχνικές (Event related)

Η λήψη των δεδομένων και το ερέθισμα είναι συγχρονισμένα
Το ερέθισμα οδηγεί την λήψη (μη συνεχής λήψη δεδομένων)

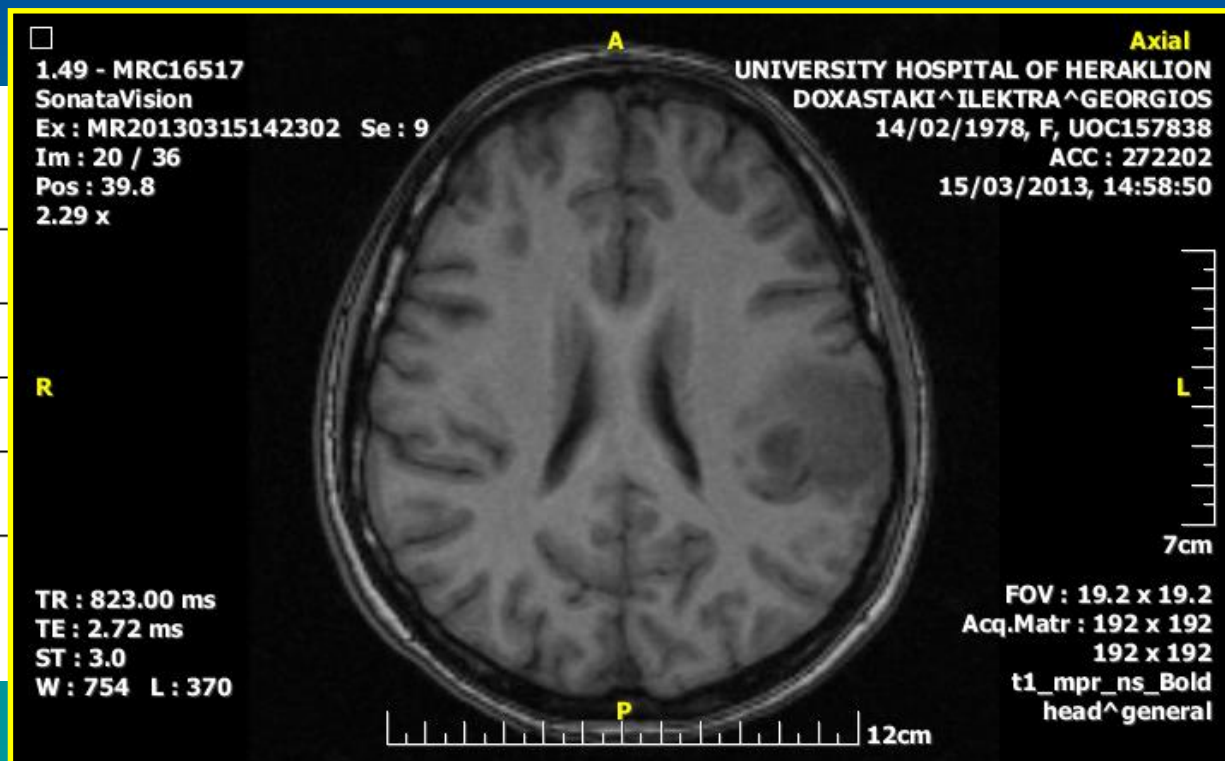
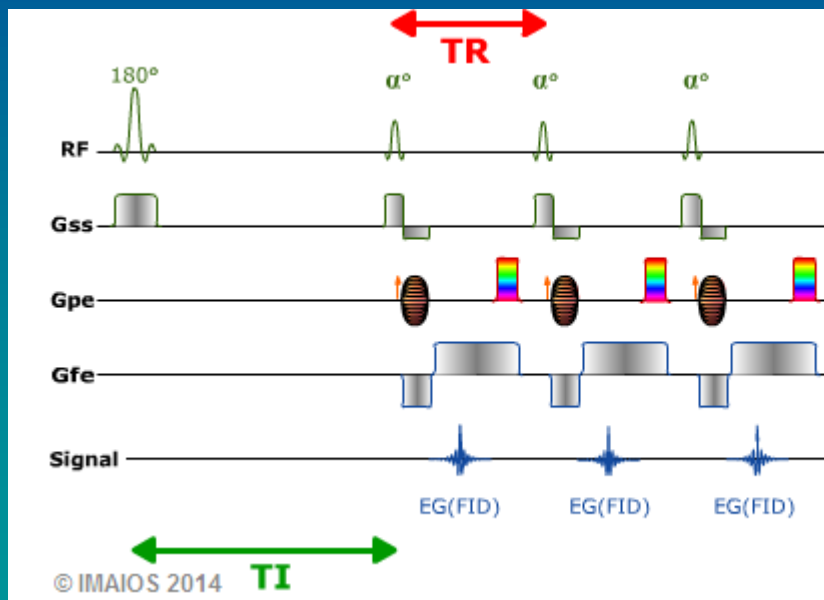


λΑΜΣ, (BOLD) : Ανατομική απεικόνιση T1w (3DGRE)

Λήψη 36 εγκάρσιων τομών έμφασης T1 // στο επίπεδο : (CA-CP)

Τεχνική:3DGRE, TR=800ms, TE=3ms, TI=600ms, FL=15°,
MTX=192², FOV=192², PXL=1 mm, SL=3mm, GAP=0 mm, NEX=2.

Χρόνος λήψης : 5 mins



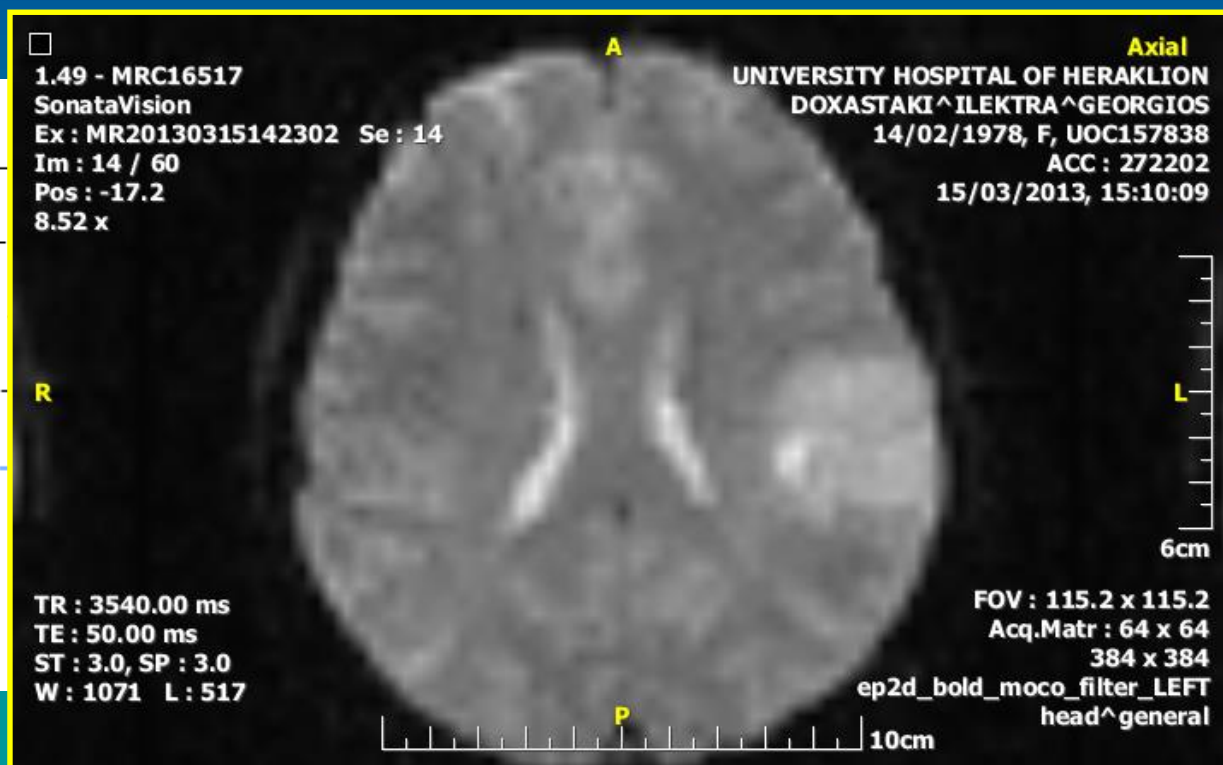
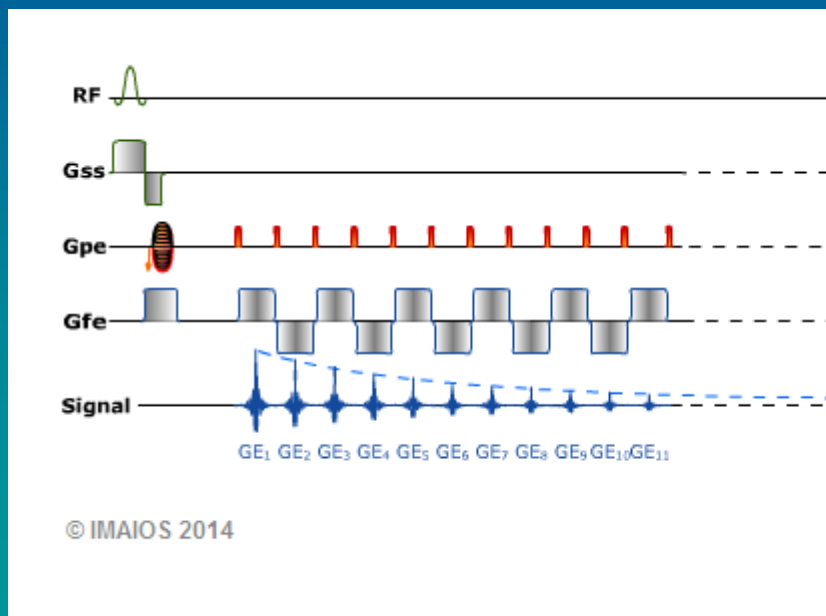
λΑΜΣ, (BOLD) : Λειτουργική απεικόνιση T2* (2D FID EPI)

Λήψη 36 εγκάρσιων τομών έμφασης T2* // στο επίπεδο : (CA-CP)

Τεχνική: 2D EPI-FID, TR=∞, TE=50ms, FL=90°, MTX=128²,

FOV=192², PXL=1.5mm, SL=3mm, GAP= 0 mm, NEX=1,

Χρόνος λήψης : 97 msec !!!



ΛΑΜΣ, (BOLD) : Μεταεπεξεργασία και ανάλυση εικόνων

Ομαδοποίηση δεδομένων

Χρήση 6 σειρές μετρήσεων χρησιμοποιώντας ανά σειρά :

10 μετρήσεις από 36 εικόνες σε κάθε μέτρηση (360 εικόνες / σειρά)

τις σειρές (2,4,6) των 1080 εικόνων με παρουσία ερεθισμού (A)ctivate

τις σειρές (1,3,5) των 1080 εικόνων με απουσία ερεθισμού (N)on Activate

Συνολικός αριθμός εικόνων [(360A, 360N)]₃ : 720X 3 = 2160 εικόνες

Δημιουργία εικόνας λειτουργικής απεικόνισης

Χρήση των διαφορών των μέσων όρων των (<A>, <N>) στα πλαίσια μιας επιλεγμένης στατιστικής διαδικασίας (t test, Z-score) ανά εικονοστοιχείο.

Δημιουργία παραμετρικής εικόνας λειτουργικής απεικόνισης (t-map, z-map)

Συγχώνευση ανατομικής πληροφορίας και λειτουργικής απεικόνισης

Επιπρόσθεση T1w, T2wFLAIR και T2*w (2D FID EPI) ανά εικονοστοιχείο

ΛΑΜΣ, (BOLD) : Στατιστική ανάλυση εικόνων

Μεταβολές του σήματος BOLD : 1.5 - 5 % (1.5 T) -15 % (3 T)

Χρήσιμες στατιστικές διαδικασίες (ανα εικονοστοιχείο)

Αλγόριθμοι διόρθωσης κινήσεων

Διαφορά των μέσων όρων των τιμών X_{rest} and X_{stim}

Τιμή του Student's (t), Τιμή Z-score, Συντελεστής μεταβλητότητας

Συντελεστής συσχέτισης,

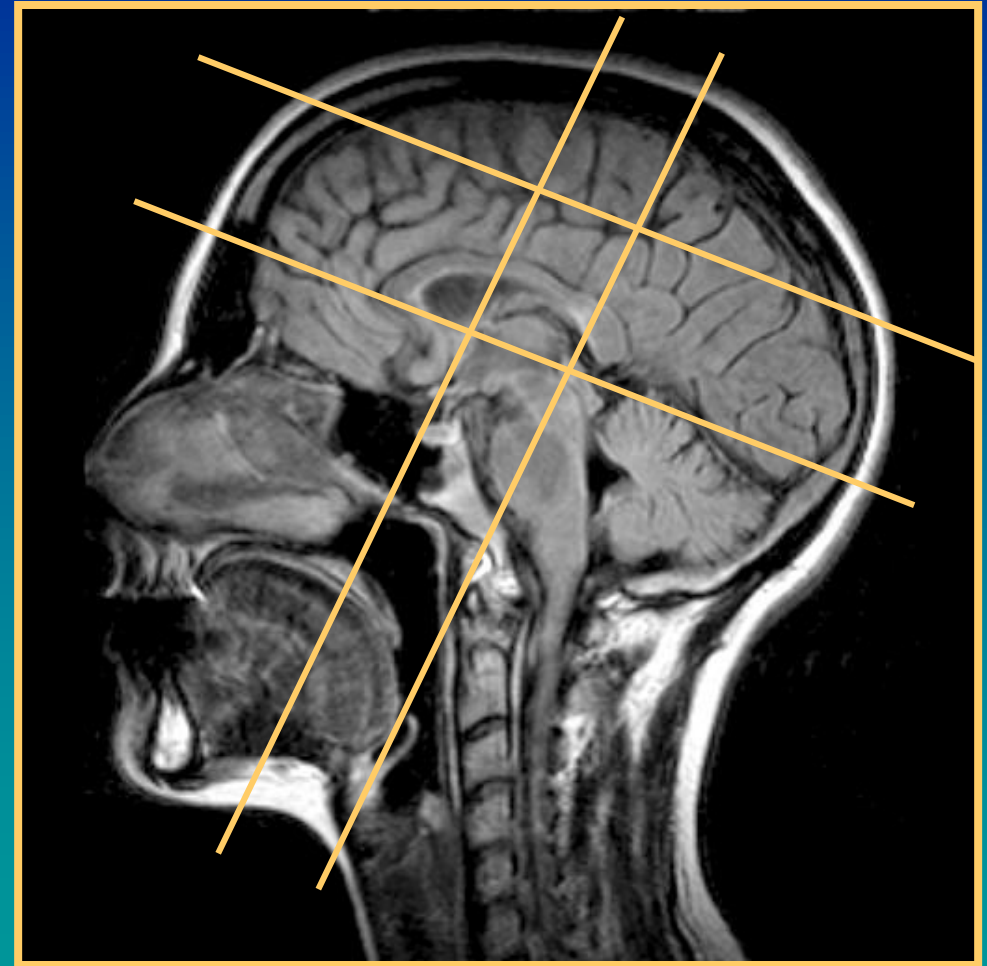
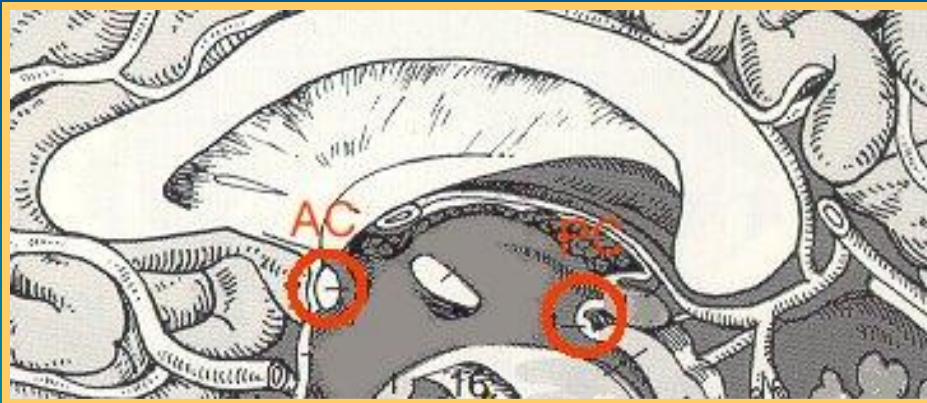
Ανάλυση Fourier

Δημιουργία παραμετρικών εικόνων (πινάκων)

(α) Υπολογίζονται οι διάφορες παράμετροι από τις στατιστικές διαδικασίες η από τις προσαρμογές σε δεδομένα αναφοράς. (β) Δημιουργείται ένας δυσδιάστατος πίνακας τιμών αυτών των παραμέτρων ανά εικονοστοιχείο. (γ) Επιπρόσθεση ανατομικών δεδομένων και παραμετρικών εικόνων

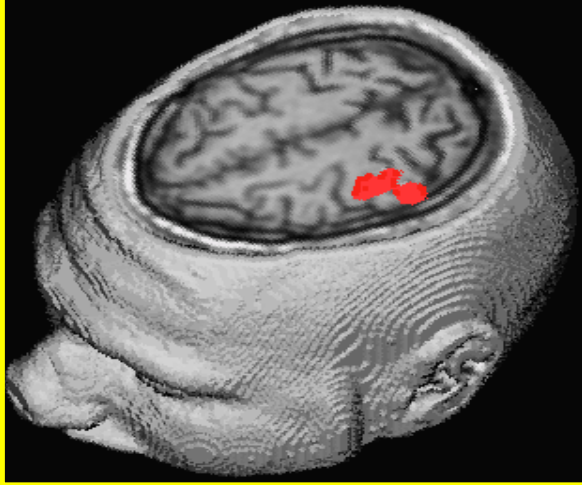
Φαινόμενο BOLD : Συντεταγμένες Talairach

Τοποθέτηση των τομών στην διεύθυνση AC-PC

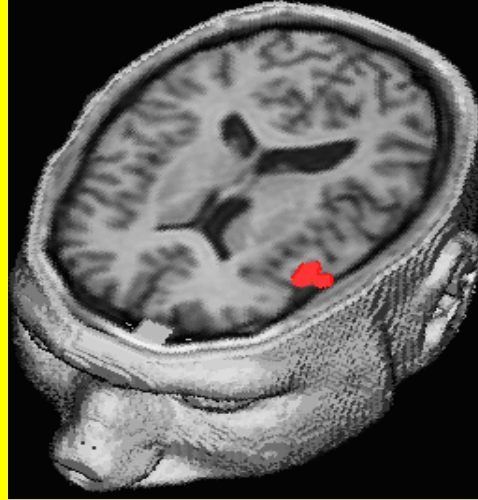


3D Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού

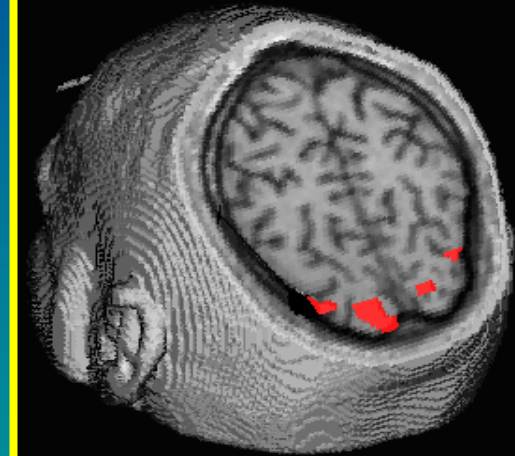
Finger Tapping



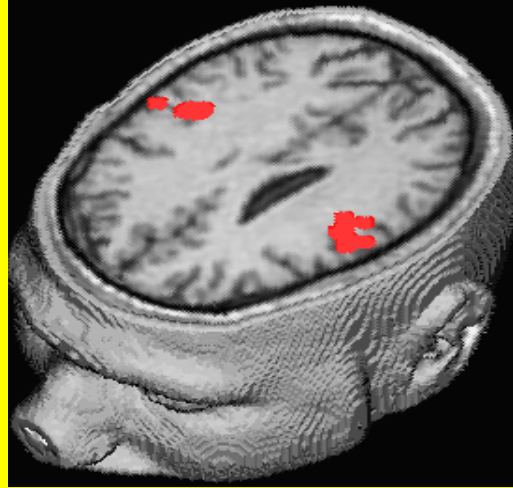
Verbal Fluency



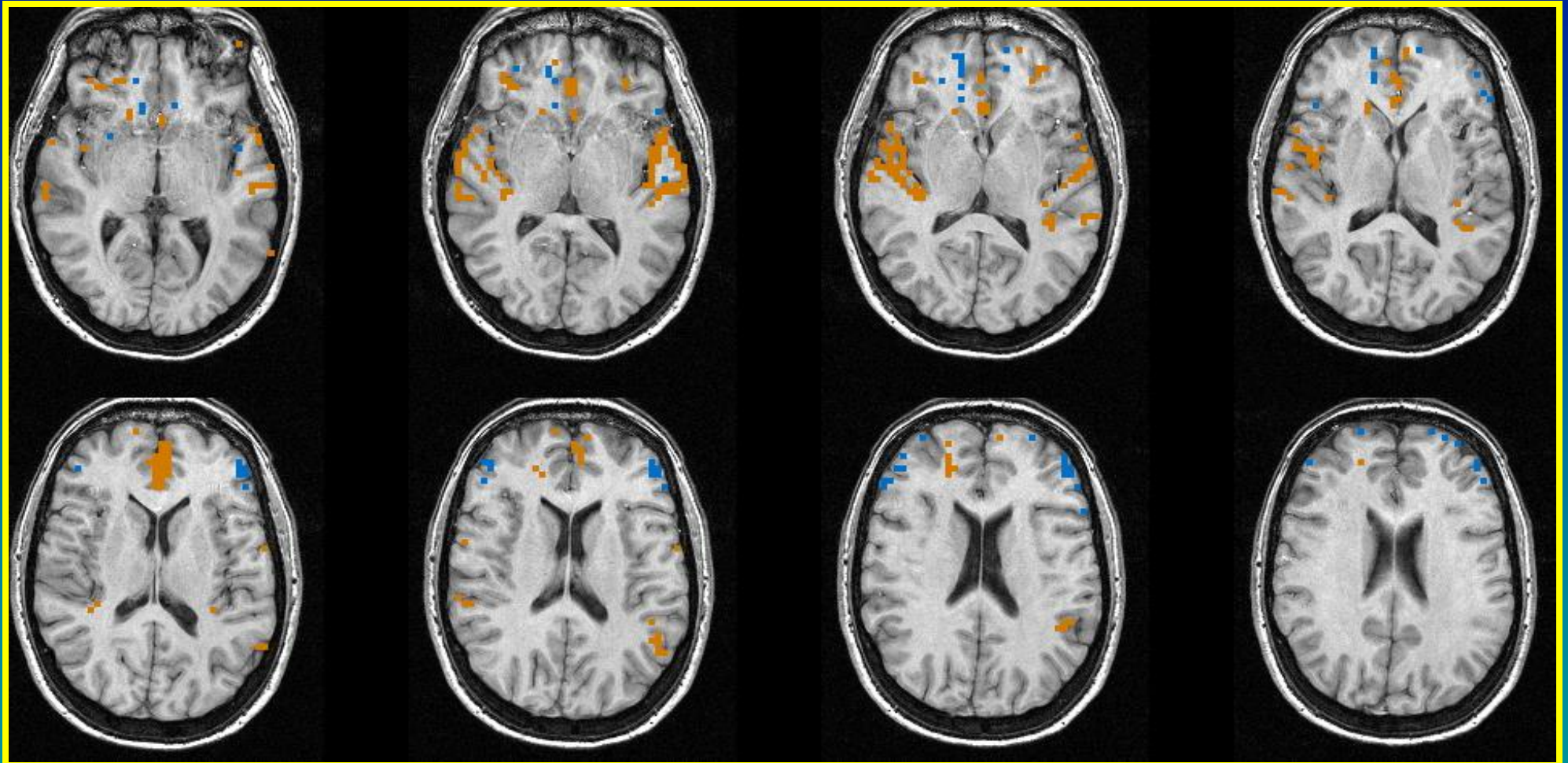
Checker board



Lateral Tongue



3D λΑΜΣ ακουστικού φλοιού



Ακούγοντας μουσική !!

Λειτουργική ΑΜΣ

Περιστατικά του εργαστηρίου

- ✓ Έτος 2000 : (Σύστημα ΑΜΣ : VISION, Gradients : 23mT/m, Slew rate : 100 mT/m/ms)
- ✓ Λογισμικό ανάλυσης δεδομένων : SIEMENS

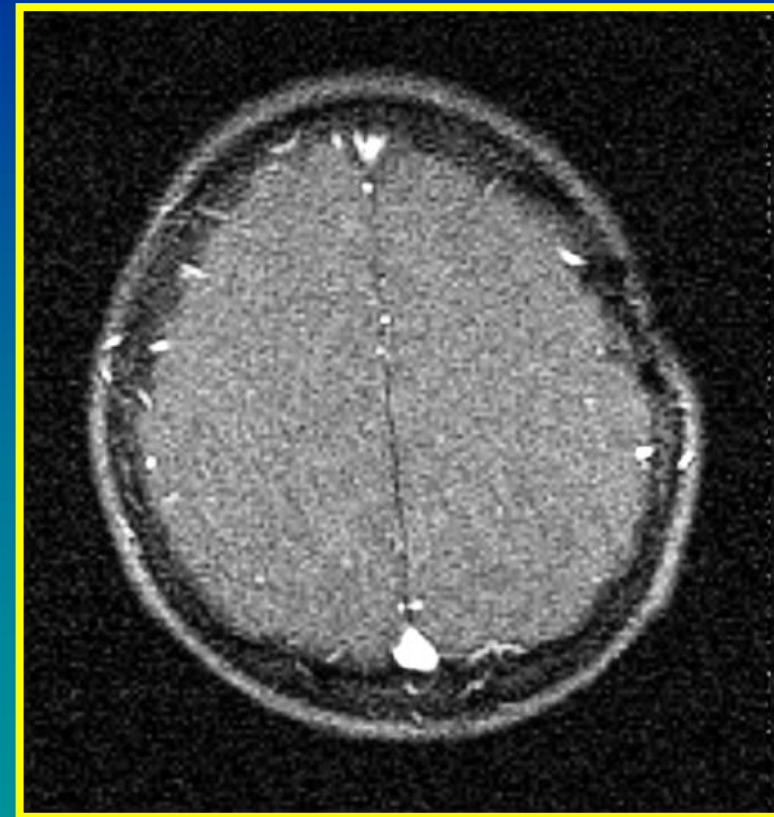
2D Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού

Ερέθισμα : Κίνηση δεξιού χεριού (κτύπημα δακτύλων)

Τεχνική : Event related CONT, Z score (1.5 - 2), BOLD 2D-EPI-FID



EPI, TR= ∞ , TE=64ms, FL=90°, MTX=128²
FOV=210², PXL=1.6mm, SL=3mm,



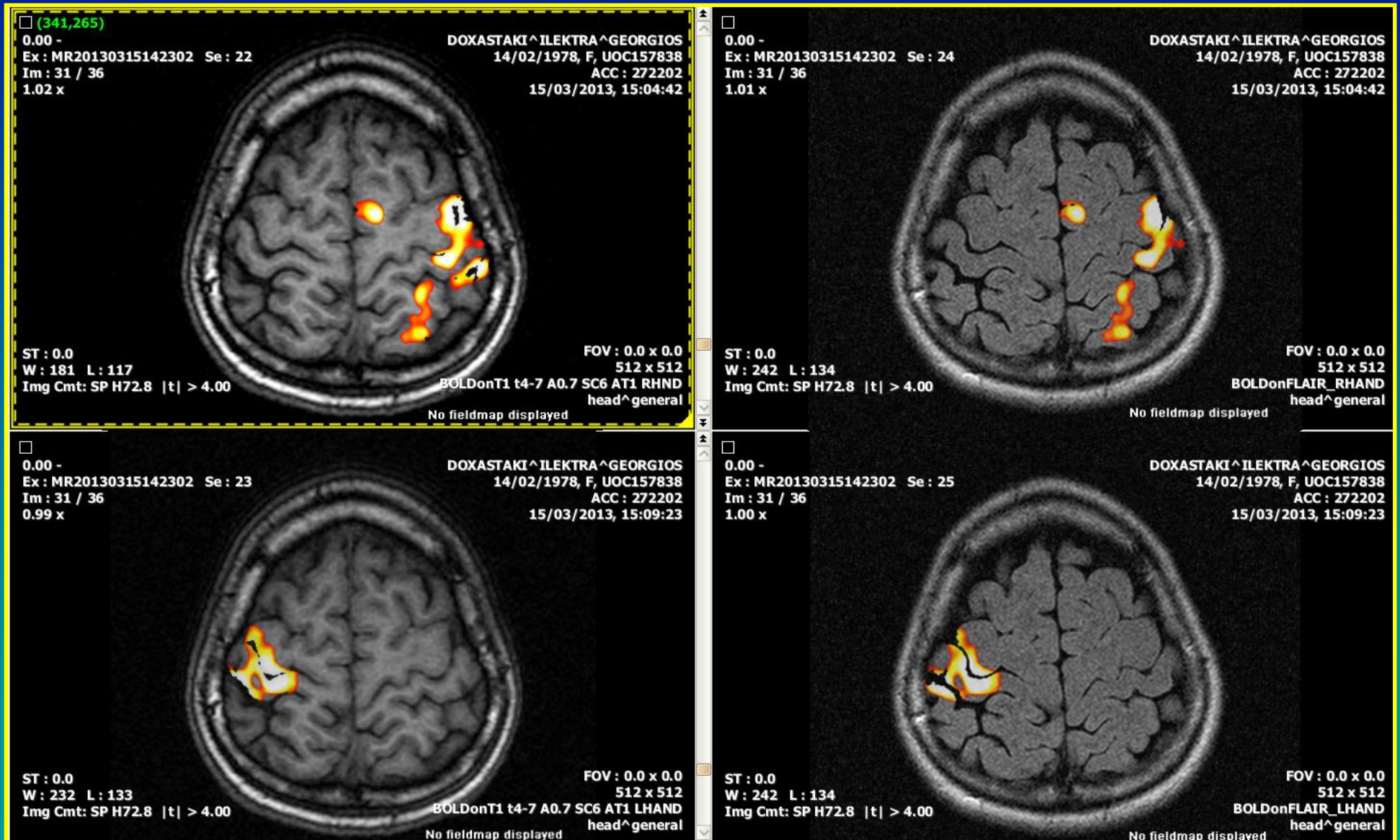
TOF, FLASH 2D, TR=40ms, TE=9ms,
FL=50°, MTX=256², FOV=256²,
PXL=1 mm, SL=3mm

Λειτουργική ΑΜΣ

Περιστατικά του εργαστηρίου

- ✓ Έτος 2003 : (Σύστημα ΑΜΣ : VISION/SONATA, Gradients : 45mT/m, Slew rate : 200 mT/m/ms)
- ✓ Λογισμικό ανάλυσης δεδομένων : SIEMENS

λΑΜΣ, (BOLD) : Λειτουργική απεικόνιση (2D FID EPI)

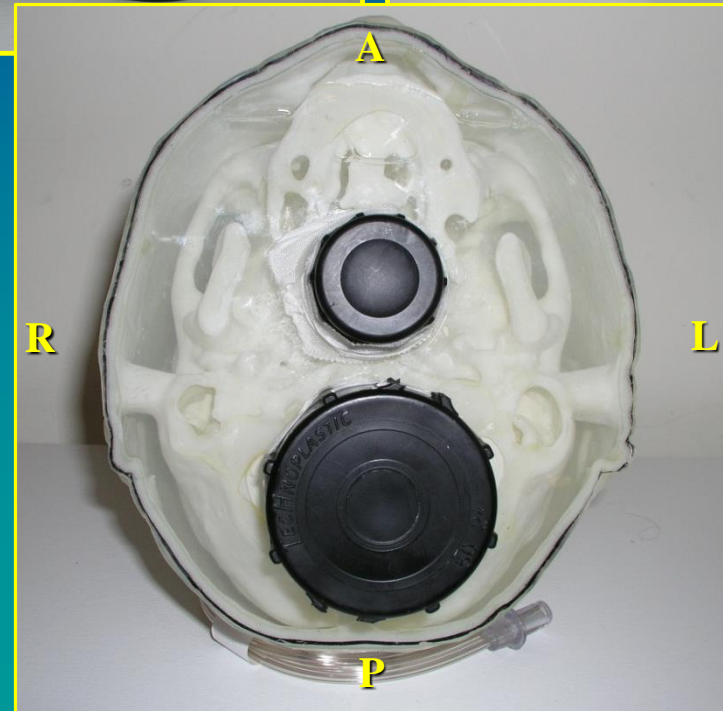
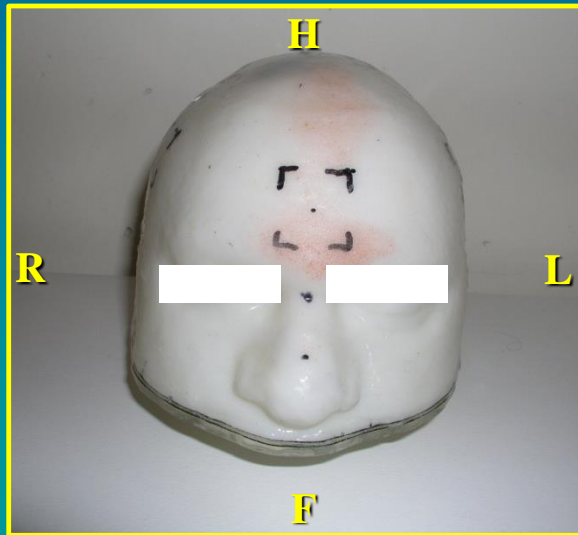
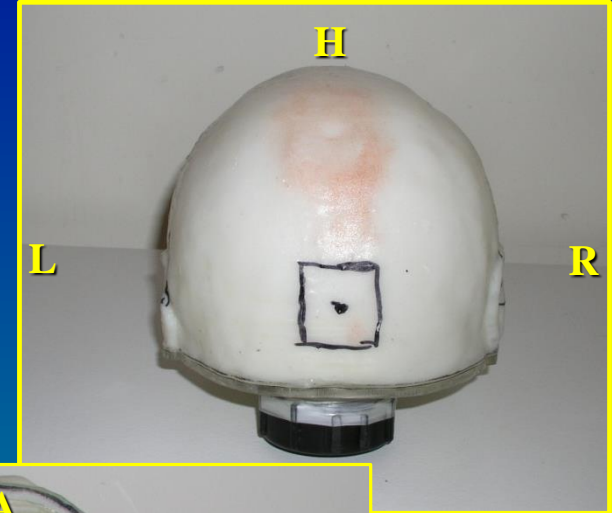
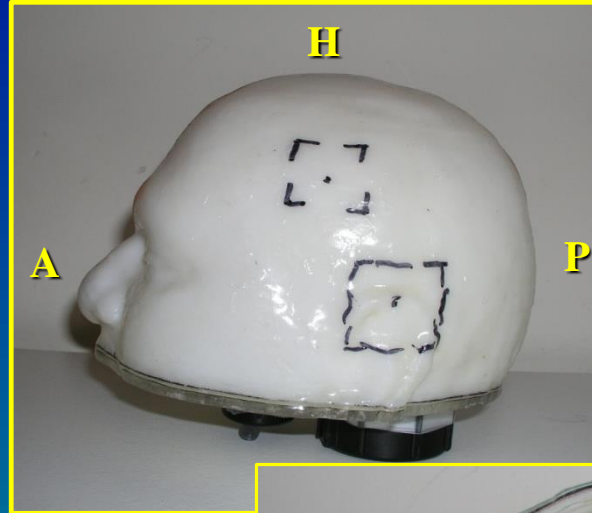
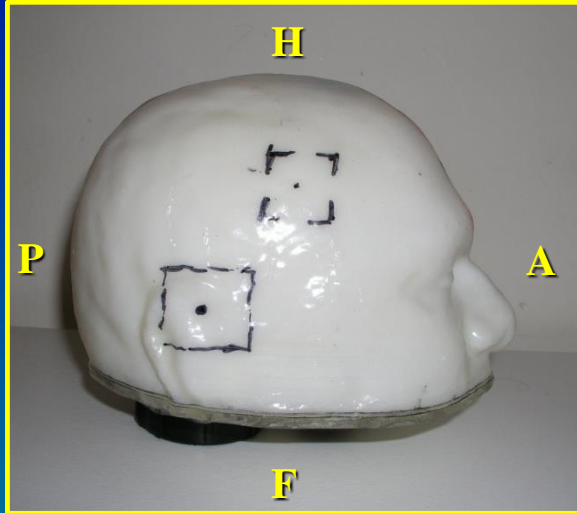


Λειτουργική ΑΜΣ

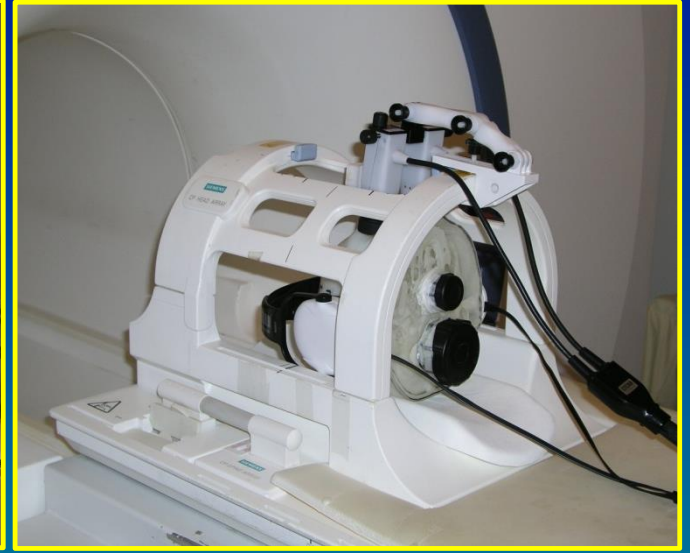
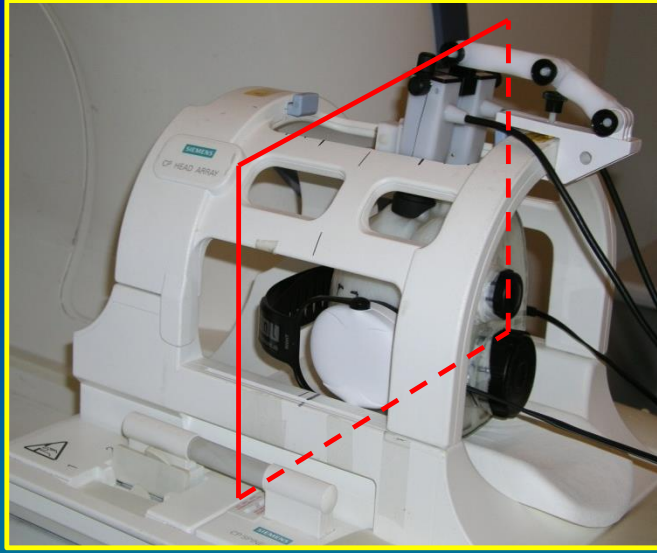
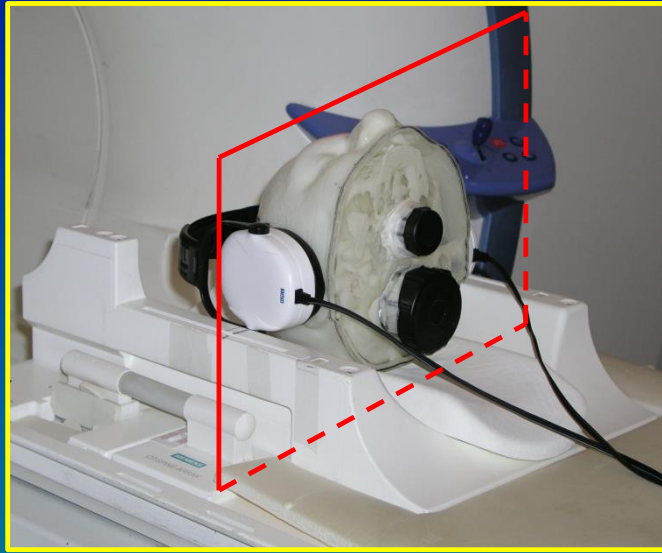
Περιστατικά του εργαστηρίου

- ✓ Έτος 2014 : (Αναβάθμιση υλικομηχανικής / λογισμικής υποδομής, Σύστημα fMRI, Nordic Neuromaging Labs)
- ✓ Λογισμικά ανάλυσης δεδομένων :
 - SIEMENS
 - Nordic ICE (NNL), BrainX (NNL)
 - SPM (Statistical Parameter Mapping)

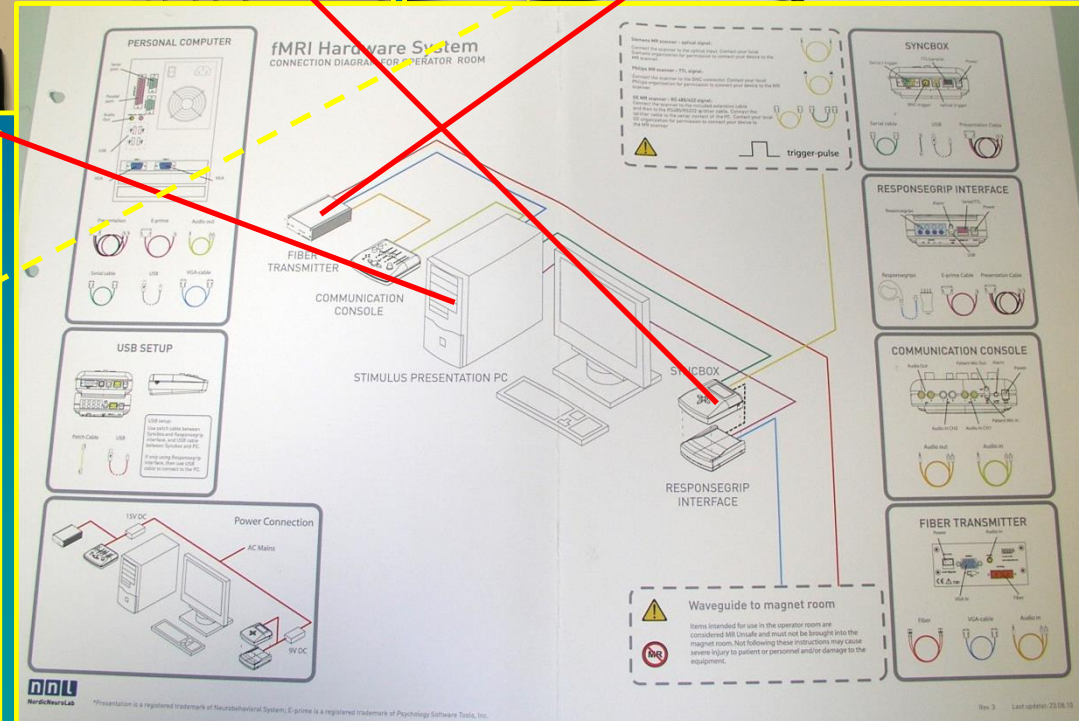
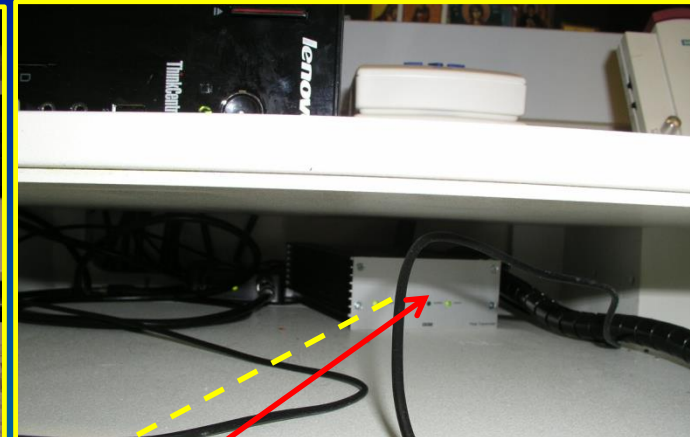
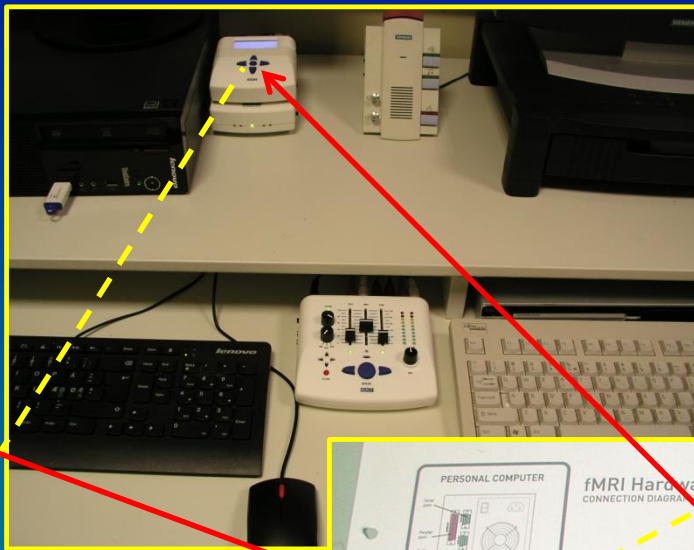
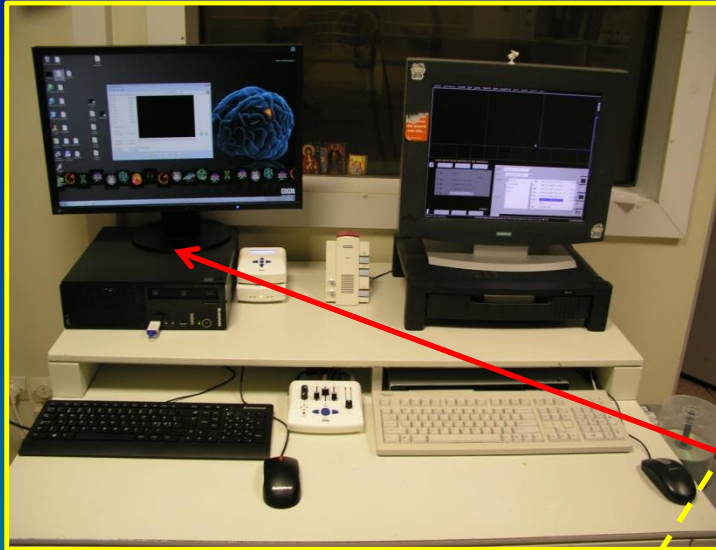
ΛΑΜΣ : Ομοίωμα προσομοίωσης κεφαλής



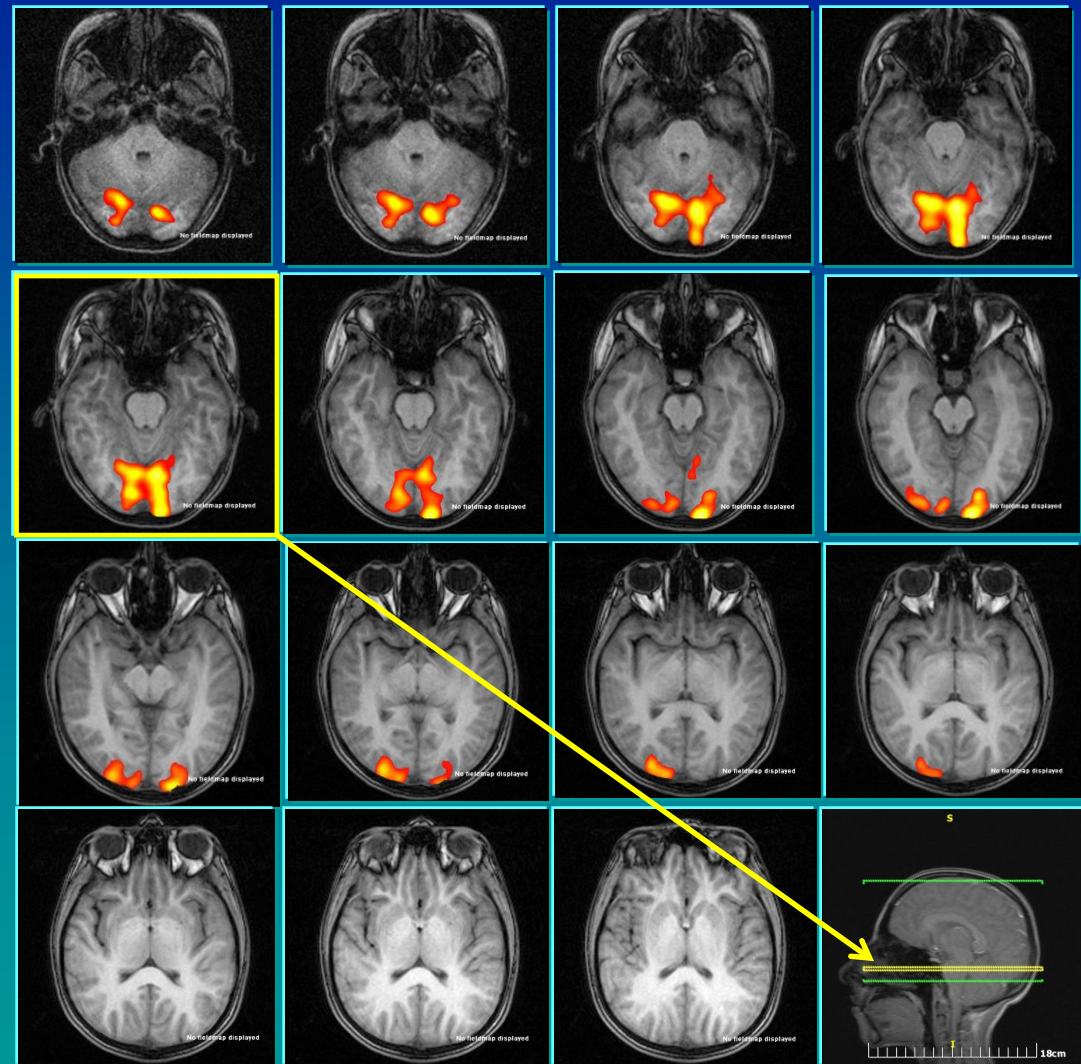
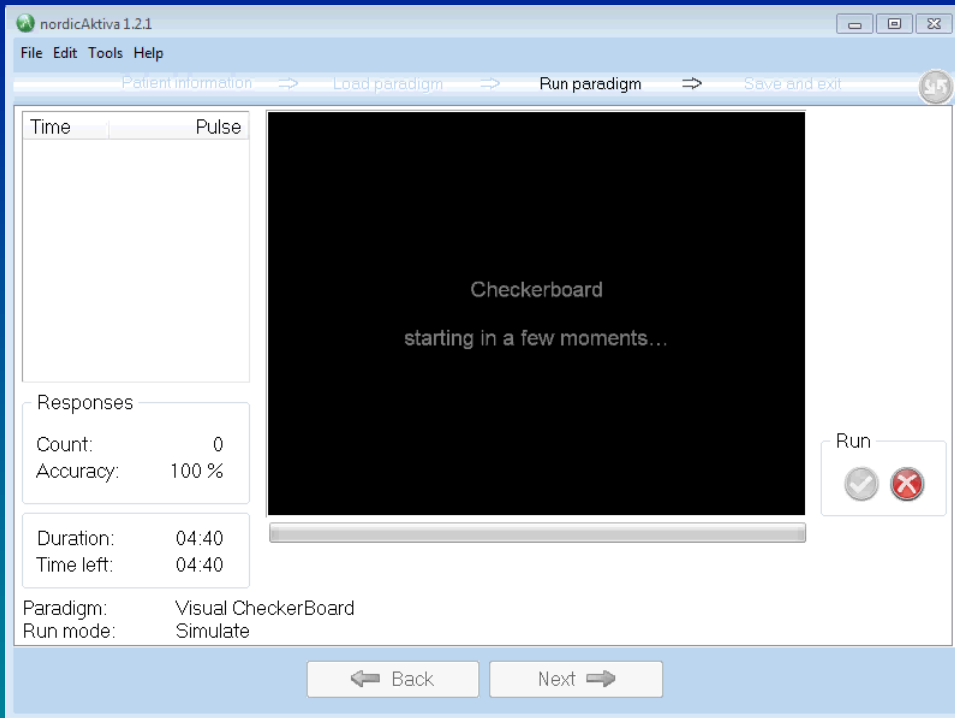
ΛΑΜΣ : Τοποθέτηση ομοιώματος σε θέση λήψης



NNL : σύνδεση με το σύστημα AMΣ (Siemens, Vision/Sonata)



ΛΑΜΣ : Απλό οπτικό ερέθισμα



Τεχνική λήψης /επεξεργασίας :

Σειρά : 36 τομές των 3 mm σε 3.5 s

Επαναλήψεις : [(10B) + (10A)] X 4

80 Σειρές, (40 B, 40 A), 2880 τομές σε 4.4 m

Στατιστική : $t=2.5 -7$, ($p<0.01$) / εξεταζόμενο

Ενεργοποίηση σε 1 εξεταζόμενο (n=1)

ΛΑΜΣ : Σακκαδικές κινήσεις οφθαλμών

nordicAktiva 1.2.1

File Edit Tools Help

Patient information → Load paradigm → Run paradigm → Save and exit

Time	Pulse

Διατήρησε το βλέμμα σου στην κηλίδα στο κέντρο της εικόνας και αμέσως μόλις αντιληφθείς την δεύτερη λευκή κηλίδα να ανάβει στρέψε τα μάτια σου προς αυτή όσο πιο γρήγορα μπορείς. Όταν σβήσει και ανάψει σε άλλο σημείο ακολούθησε τη με το βλέμμα σου. Όταν δεν υπάρχει δεύτερη κηλίδα, διατήρησε το βλέμμα σου στην κεντρική.

Responses

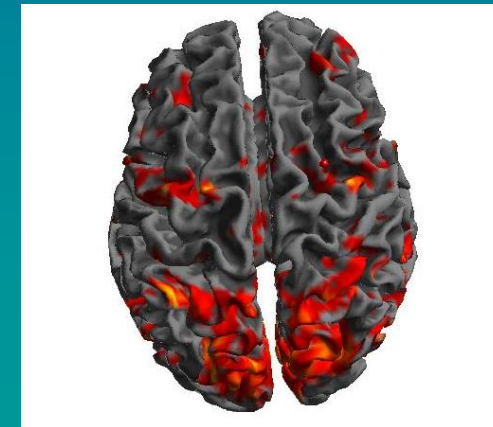
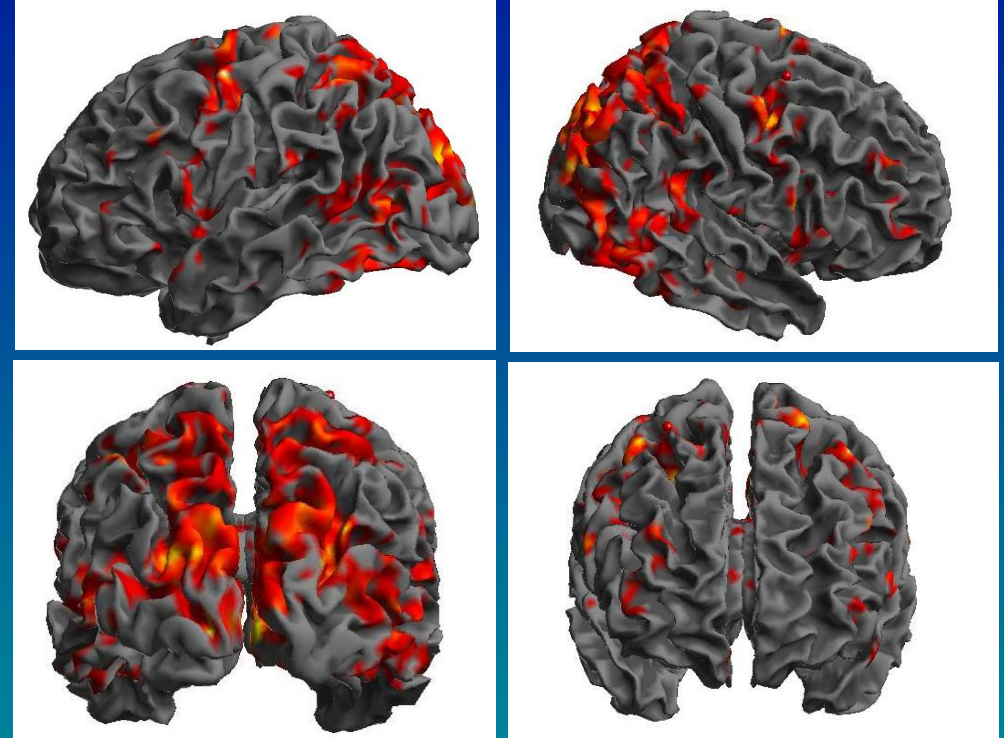
Count: 0
Accuracy: 100 %

Duration: 04:40
Time left: 04:40

Paradigm: Visual Triangle
Run mode: Simulate

Run

← Back Next →



Τεχνική λήψης /επεξεργασίας :

1 Σειρά : 36 τομές των 3 mm σε 3.5 s

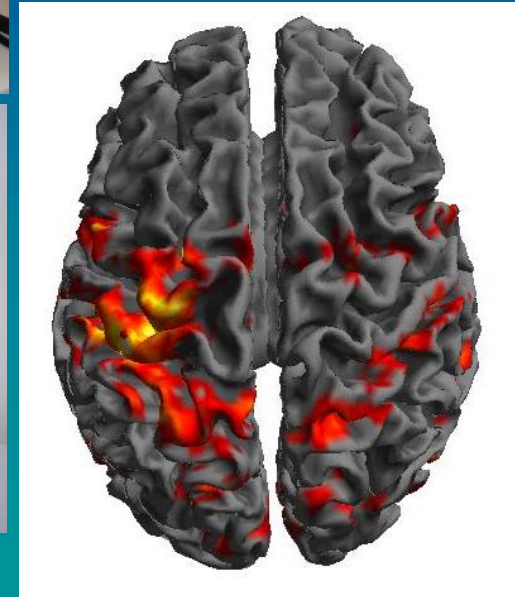
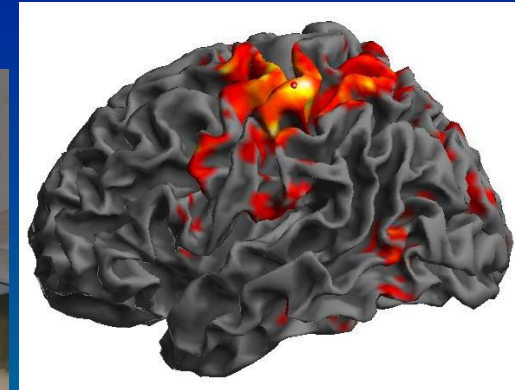
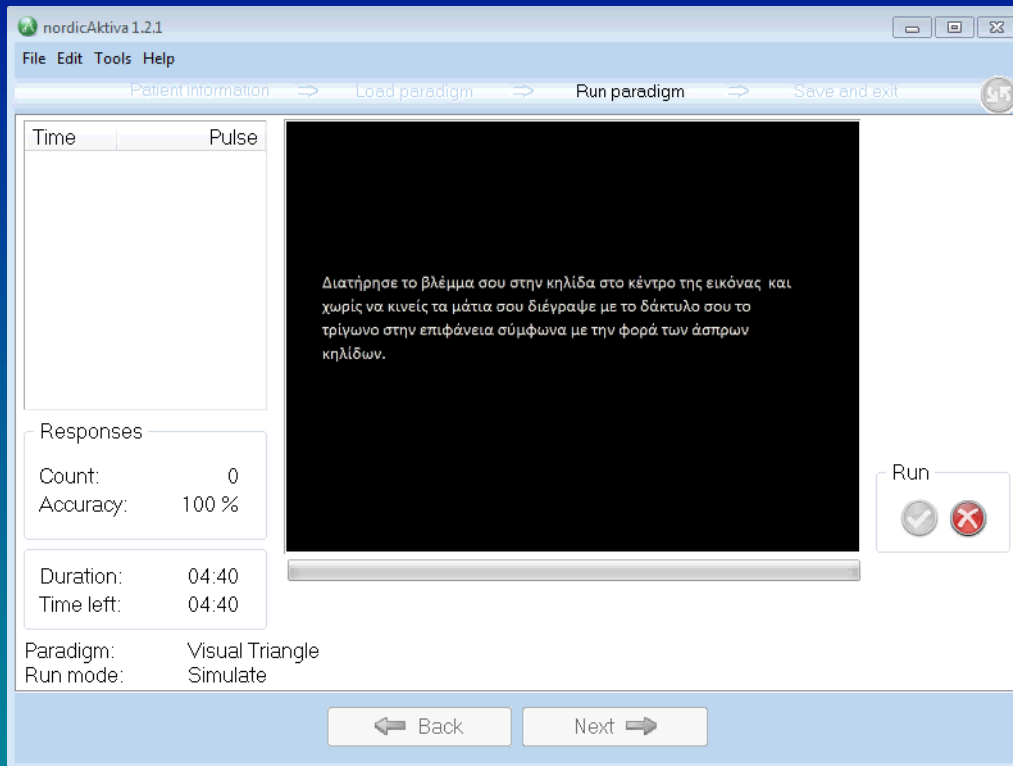
Επαναλήψεις : [(10B) + (10A)] X 4

80 Σειρές, (40 B, 40 A), 2880 τομές σε 4.4 m

Στατιστική : $t=2.5 -7$, ($p<0.01$) / εξεταζόμενο

Μέση ενεργοποίηση σε 13 εξεταζόμενους (n=13)

ΛΑΜΣ : Εκτέλεση κίνησης από οπτικό ερέθισμα



Τεχνική λήψης /επεξεργασίας :

1 Σειρά : 36 τομές των 3 mm σε 3.5 s

Επαναλήψεις : [(10B) + (10A)] X 4

80 Σειρές, (40 B, 40 A), 2880 τομές σε 4.4 m

Στατιστική : $t=2.5 -7$, ($p<0.01$) / εξεταζόμενο

Μέση ενεργοποίηση σε 13 εξεταζόμενους (n=13)

ΛΑΜΣ : Φαντασία εκτέλεσης κίνησης από οπτικό ερέθισμα

nordicAktiva 1.2.1

File Edit Tools Help

Patient information → Load paradigm → Run paradigm → Save and exit

Time Pulse

Διατήρησε το βλέμμα σου στην κηλίδα στο κέντρο της εικόνας και χωρίς να κινείς τα μάτια σου ή το χέρι σου φαντάσου να εκτελείς την κίνηση που έκανες πριν.

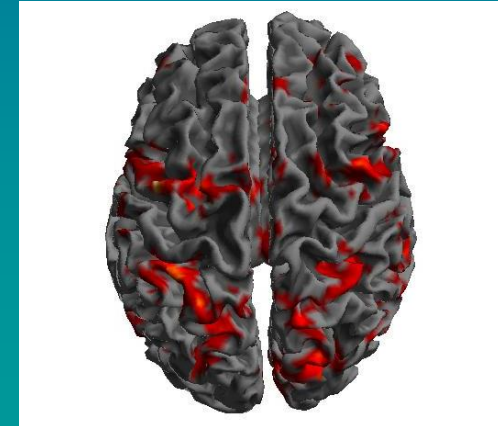
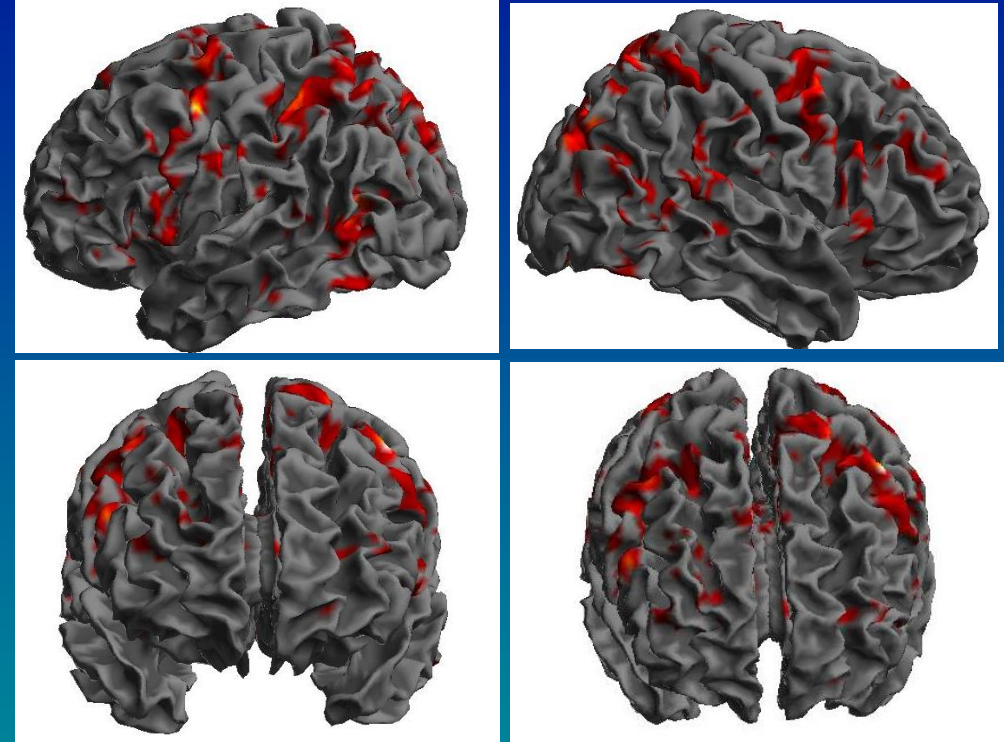
Run

Count: 0
Accuracy: 100 %

Duration: 04:40
Time left: 04:40

Paradigm: Visual Triangle
Run mode: Simulate

← Back Next →



Τεχνική λήψης /επεξεργασίας :

1 Σειρά : 36 τομές των 3 mm σε 3.5 s

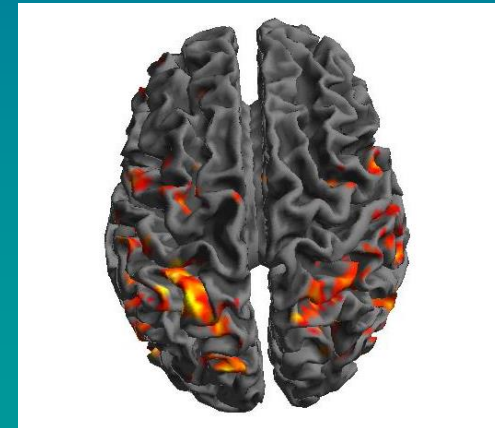
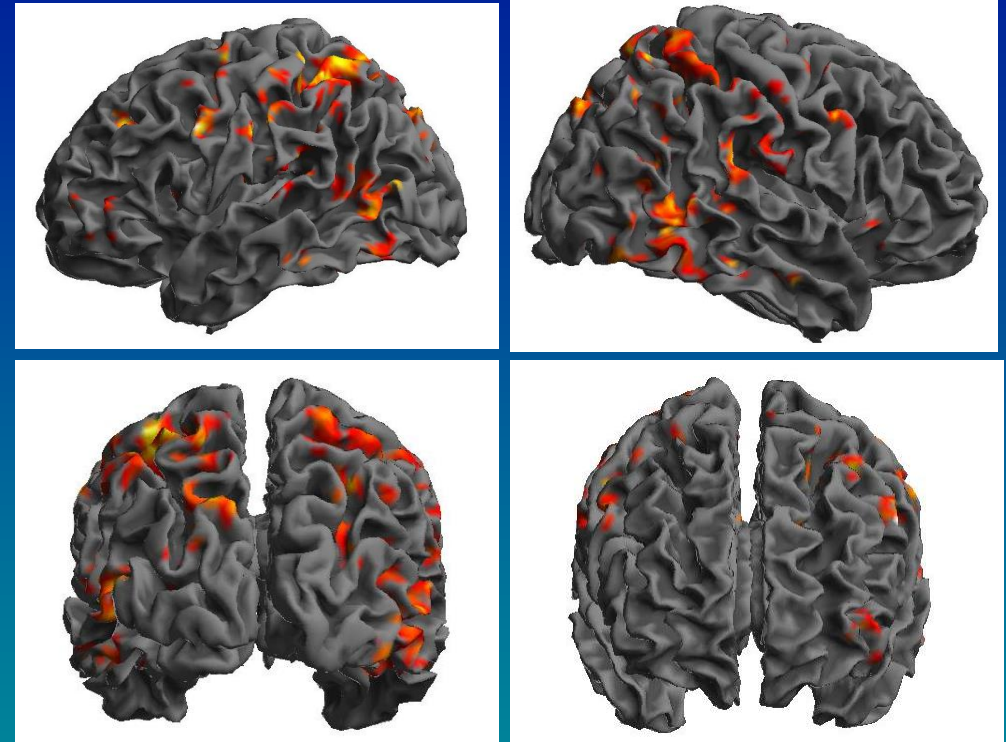
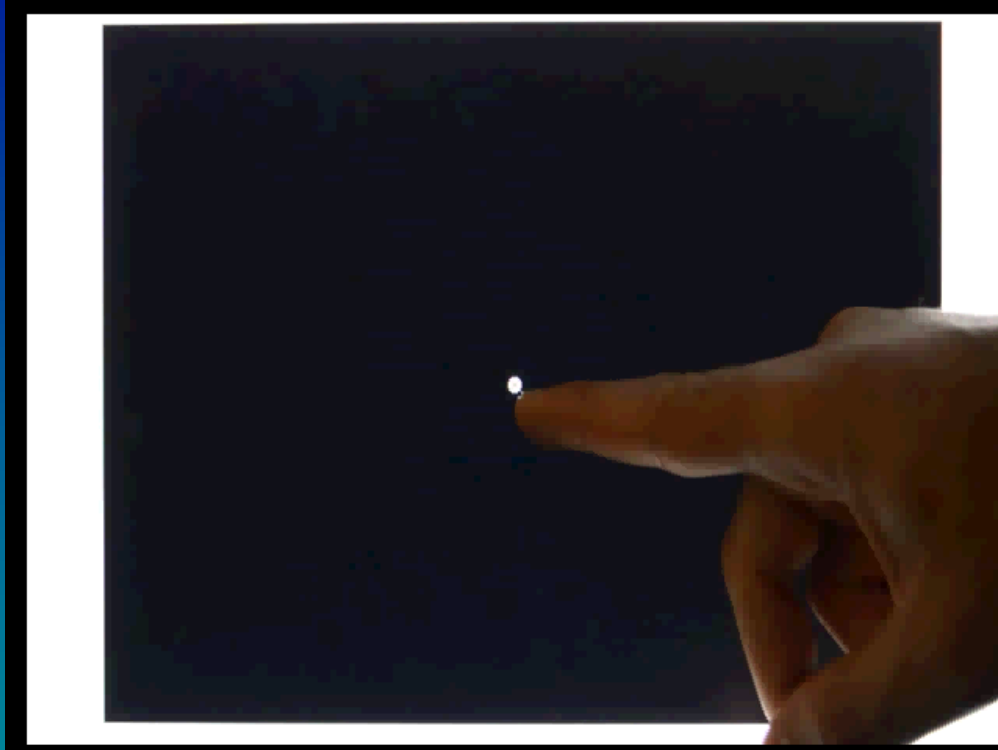
Επαναλήψεις : [(10B) + (10A)] X 4

80 Σειρές, (40 B, 40 A), 2880 τομές σε 4.4 m

Στατιστική : $t=2.5 -7$, ($p<0.01$) / εξεταζόμενο

Μέση ενεργοποίηση σε 13 εξεταζόμενους (n=13)

λΑΜΣ : Παρακολούθηση ταινίας



Τεχνική λήψης /επεξεργασίας :

1 Σειρά : 36 τομές των 3 mm σε 3.5 s

Επαναλήψεις : [(10B) + (10A)] X 4

80 Σειρές, (40 B, 40 A), 2880 τομές σε 4.4 m

Στατιστική : $t=2.5 -7$, ($p<0.01$) / εξεταζόμενο

Μέση ενεργοποίηση σε 13 εξεταζόμενους (n=13)

Πρότυπο σύστημα ΑΜΣ για την λΑΜΣ

- ✓ Στατικό μαγνητικό πεδίο $\geq 1.5\text{T}$ (κατά προτίμηση 3 T)
- ✓ Ομοιογένεια μαγνητικού πεδίου 50 Hz σε όγκο συμβατικού πηνίου κεφαλής
- ✓ Χρόνος ανόδου βαθμίδων 178 μsec για μέγιστη ισχύ : 18 mT/m (Slew rate 100 mT/m/msec)
- ✓ Λειτουργική σταθερότητα βαθμίδων ($\pm 0.5\%$) για 1/2 h

Λειτουργική ΑΜΣ

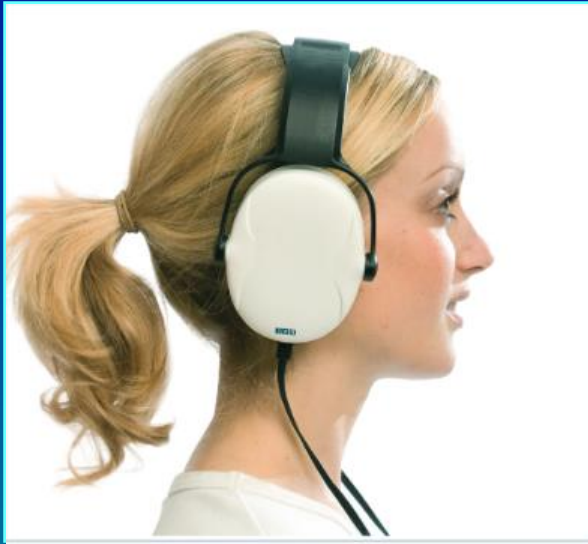
Υλικομηχανική και λογισμική Υποδομή του Εργαστηρίου

- ✓ Υλικό : (Συστήματα Οπτικών και Ακουστικών ερεθισμάτων συμβατά με το εγκατεστημένο σύστημα ΑΜΣ)
- ✓ Υλικό : (Συστήματα διασύνδεσης εξεταζομένων με το λογισμικό διαχείρισης δεδομένων λΑΜΣ)
- ✓ Λογισμικό : (NordicICE, NordicActiva, nil, Bergen, NW)

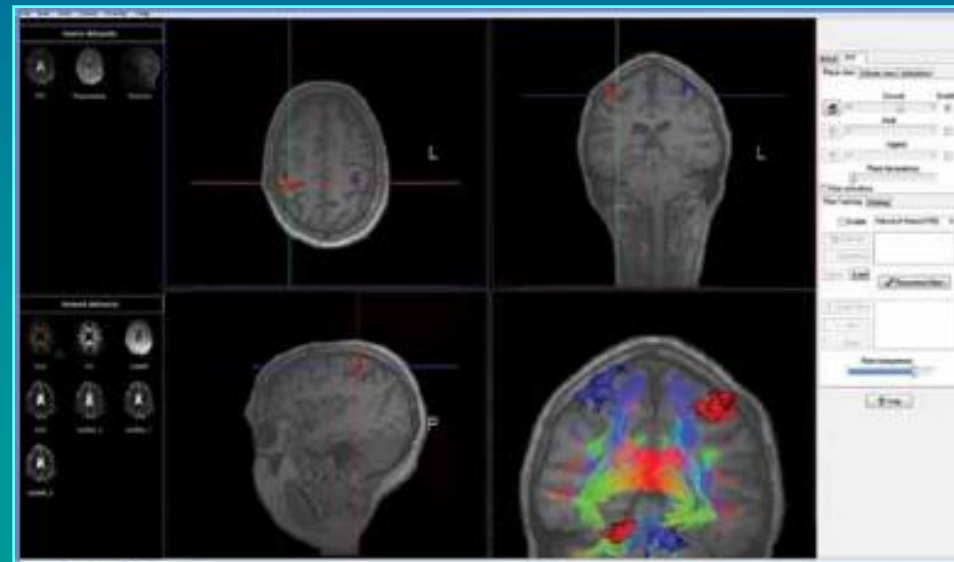
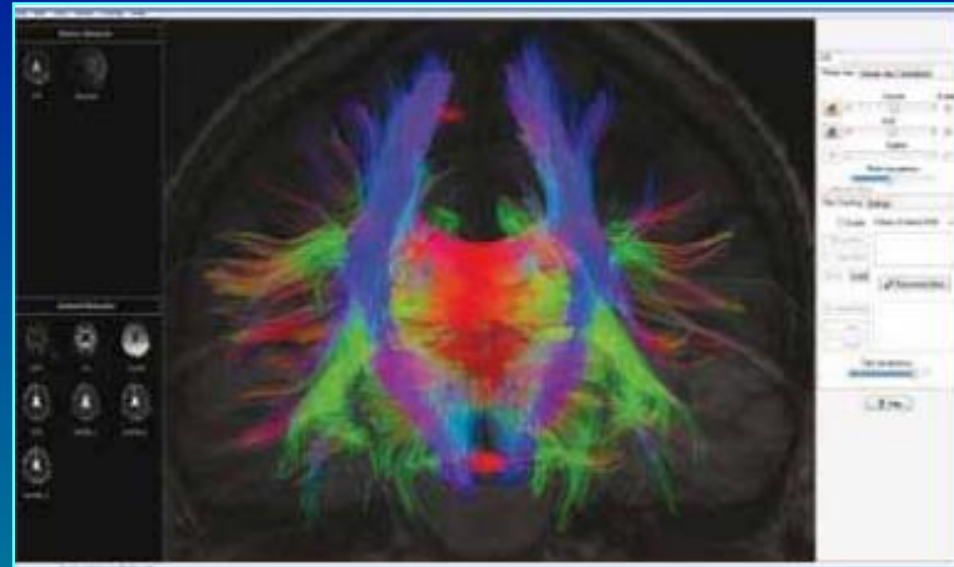
ΛΑΜΣ Οπτικά ερεθίσματα (υλικομηχανική υποδομή)



ΛΑΜΣ Ακουστικά ερεθίσματα (υλικομηχανική υποδομή)



λΑΜΣ : υπέρθεση εικόνων δεματογραφίας (DTI)



Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα (ΛΑΜΣ)

Πλεονεκτήματα

- ✓ Μη επεμβατική μέθοδος
- ✓ Δυνατότητα υψηλής χωρικής και χρονικής διακριτικής ικανότητας
- ✓ Έλλειψη ιοντίζουσας ακτινοβολίας
- ✓ Δυνατότητα πολλών επαναλήψεων
- ✓ Σύγχρονη ανάδειξη ανατομικής πληροφορίας
- ✓ Εύκολη εφαρμογή στα περισσότερα σύγχρονα συστήματα Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ)

Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα (ΛΑΜΣ)

Μειονεκτήματα

- ✓ Υπερβολική ευαισθησία στις κινήσεις
- ✓ Αντενδεικτική σε εξεταζόμενους με μόνιμα τοποθετημένα στο σώμα μαγνητικά αντικείμενα

Ευχαριστίες

Κύκλος των «χαμένων» επιστημόνων

- ✓ Θωμάς Γ. Μαρής (Ακτινοφυσικός, Αν. Καθηγητής, Παν. Κρήτης)
- ✓ Θεμιστοκλής Μπουρσιάνης (Ακτινοφυσικός, Υπ. Διδάκτορας)
- ✓ Γιώργος Καλαιτζάκης (Βιοιατρικός Μηχανικός, Υπ. Διδάκτορας)
- ✓ Λευτέρης Καβρουλάκης (Βιολόγος, Υπ. Διδάκτορας)
- ✓ Ειρήνη Τσιάπα (Βιοιατρικός Μηχανικός, Μεταδιδακτορική Ερευ/τρια)
- ✓ Κατερίνα Νικηφοράκη (Ακτινοφυσικός, Υπ. Διδάκτορας)
- ✓ Γιώργος Γουρζουλίδης (Ακτινοφυσικός, Υπ. Διδάκτορας)

Εισαγωγή στην λειτουργική ΑΜΣ



Ευχαριστώ για την προσοχή σας

Τελικά συμπεράσματα

Μένει ακόμη χρόνος για να :

✓ ...Σας τυλίξω ...ένα γύρο (3 mins)

η

✓ Να σας εξηγήσω ...το επόμενο Nobel που βασίζεται στην λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού