

1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

## Λειτουργική φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου (fNIRS): Μέθοδοι επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων

Τζέσικα Κόντρα, Ερρίκος Βεντούρας, Ιωάννης Καλατζής, Νεκτάριος Καλύβας, Κατερίνα Σκουρολιάκου

Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Διοργανωτές



# 1. Εισαγωγή-Σκοπός

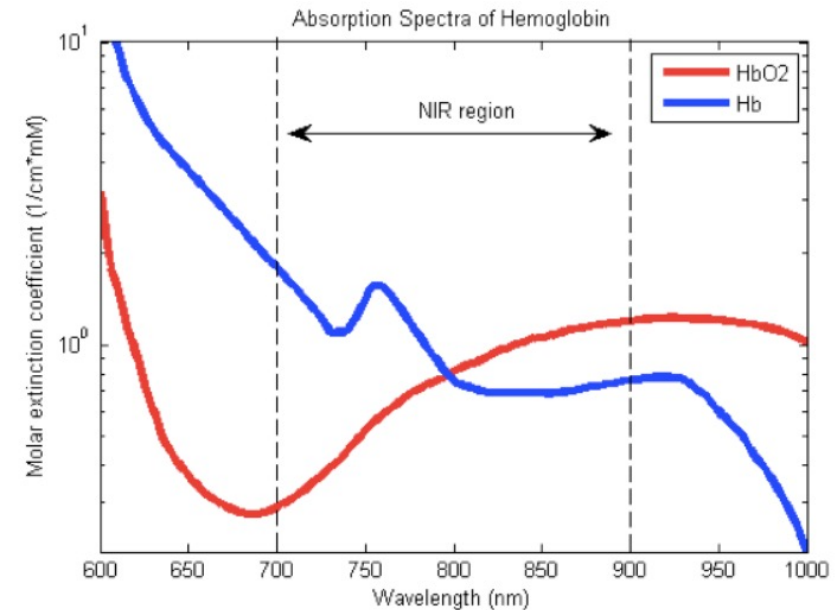
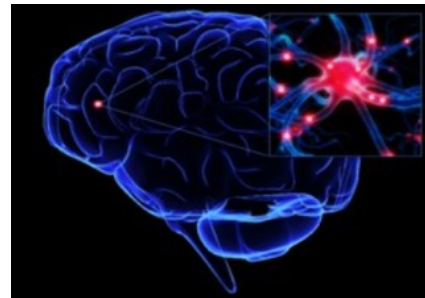


**Η λειτουργική φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρου (fNIRS) είναι μία μη επεμβατική τεχνική λειτουργικής νευροαπεικόνισης.**

Με τη χρήση εγγύς υπέρυθρου φωτός, εντοπίζεται δραστηριότητα στον εγκέφαλο βάσει του φαινομένου της αιμοδυναμικής απόκρισης.

## Αρχή λειτουργίας

- Γνωσιακή εργασία
- ↓
- Ενεργοποίηση εγκεφάλου
- ↓
- Μεταβολικές απαιτήσεις
- ↓
- Αύξηση αιματικής ροής
- ↓
- Μέτρηση συγκέντρωσης οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης με υπέρυθρο φως



Το φως στο υπέρυθρο (700nm-900nm) διαπερνάει τους μαλακούς ιστούς και τα οστά και απορροφάται από την οξυγονωμένη και αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνης

# 1. Εισαγωγή-Σκοπός



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

## Σύγκριση με άλλες μεθόδους λειτουργικής μελέτης του εγκεφάλου

		fNIRS	fMRI	PET	EEG	MEG
Theoretical background	Signal property	Scattered near-infrared light	Magnetic property	Uptake of ligand marked positron	Collection of neural activity	Magnetic fields produced by brain's electrical activity
	Measurement area	Surface of the cortex	<b>Whole brain region</b>	<b>Whole brain region</b>	Surface of the cortex unless using depth EEG	Surface of the cortex
	Time resolution (s)	1	2-3	≥10	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
	Spatial resolution (mm)	20	<b>5</b>	10	20	10
Measurement setting	Effect of extra-cortical tissue	Some	<b>Little</b>	<b>Little</b>	Some	None
	Invasiveness	<b>No</b>	<b>No</b>	Intravenous injection of radioactive ligand	<b>No</b>	<b>No</b>
	Body movement	<b>Tolerable</b>	No	No	No	No
Instrument	Head restraint	<b>No</b>	Yes	Yes	<b>No</b>	Yes
	Size	<b>Small, movable</b>	Large, fix	Large, fix	Large in research use	Large, fix
	Transportability	<b>Yes</b>	No	No	Limited	No
	Initial cost	<b>300,000-400,000 USD<sup>a</sup></b>	Several million USD	Several million USD	<b>100,000-300,000 USD</b>	Several million USD
	Measurement and maintenance cost	<b>Reasonable</b>	Moderate	Very expensive (positron ligand)	<b>Reasonable</b>	Moderate

Method	Measures/Stimulates	Portability/Mobility	Cost	Spatial Resolution	Temporal Resolution
<b>fNIRS</b>	Oxyhemoglobin & Deoxyhemoglobin	High	Low	Moderate	Low
<b>MRI</b>	Gray matter volume	None	High	High	NA
<b>fMRI</b>	Relative blood oxygen	None	High	High	Low
<b>EEG</b>	Summated post-synaptic electrical activity	Moderate	Low	Low	High
<b>ERP</b>	Stimulus or response related electrical activity	Moderate	Low	Low	High
<b>TMS</b>	Brain activation or inhibition	Low	Moderate	High	High

13-Mar-18 10:26 PM

## 2. Μέθοδοι και Υλικά



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε είναι το fNIR Model 2000C της BIOPAC, το οποίο αποτελείται από:

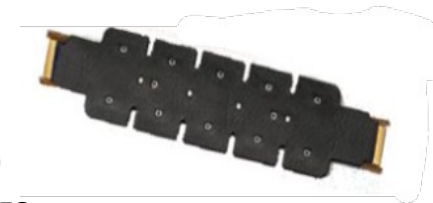
- Ανιχνευτή 18 οπτοδίων ( ζεύγη LED και ανιχνευτή)
- Μονάδα ελέγχου
- Συσκευή συλλογής δεδομένων, ανάλυσης και εμφάνισης.

### Τρόπος λειτουργίας

Η συσκευή συνδέεται στο κεφάλι όπου πηγές φωτός (LED) εκπέμπουν φως στα 730nm και 850nm. Το φως διεισδύει σε βάθος μικρότερο του 1cm, διαπερνάει τους μαλακούς ιστούς και τα οστά και απορροφάται από την οξυγονωμένη και αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη.

Οι ανιχνευτές, με απόσταση από τις πηγές 2-3cm, συλλέγουν το φως που γυρνάει και ποσοτικοποιούν τη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης.

Χρησιμοποιούνται δύο μήκη κύματος καθώς οι δύο μορφές αιμοσφαιρίνης έχουν διαφορετική οπτική απορρόφηση.



## 2. Μέθοδοι και Υλικά



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

Ο προμετωπιαίος φλοιός εμπλέκεται σε πολλές γνωστικές λειτουργίες ανώτερης τάξης όπως η επίλυση προβλημάτων, λήψη αποφάσεων, μνήμη, κριτική ικανότητα, προσοχή, συγκέντρωση.

Το πείραμα βασίστηκε στην διεξαγωγή ενός γνωστικού τεστ ώστε να προκληθεί ενεργοποίηση του προμετωπιαίου φλοιού και η επακόλουθη αιμοδυναμική δραστηριότητα.

Με τη χρήση του fNIRS έγινε ανίχνευση και ανάλυση των συγκεντρώσεων οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης σε καταστάσεις ηρεμίας και δραστηριότητας διαβαθμισμένης δυσκολίας.

### Πείραμα

- Το γνωστικό τεστ αφορά σύγκριση αριθμών και αριθμητικών παραστάσεων σε Η/Υ, χωρισμένο σε τρία στάδια διαβαθμισμένης δυσκολίας, το καθένα με διάρκεια 30s.
- Στην αρχή του πειράματος υπάρχει μία περίοδος ηρεμίας 40s για την διαμόρφωση του επιπέδου αναφοράς.
- Μετά από κάθε στάδιο ακολουθεί περίοδος ηρεμίας διάρκειας 30s.
- Το πρώτο στάδιο αφορά μία απλή σύγκριση αριθμών πχ  $6 > = < 9$ .  
το δεύτερο στάδιο σύγκριση εύκολων πράξεων πχ  $4+3 > = < 5-2$ .  
το τρίτο στάδιο σύγκριση πιο σύνθετων πράξεων πχ  $(6 \times 2) \div 4 > = < 13 - (8 \div 4)$ .

Αφού το πείραμα ολοκληρωθεί και γίνει η συλλογή των δεδομένων η ανάλυση τους περιλαμβάνει:

- σχεδιασμό των διαγραμμάτων φωτός στα δύο μήκη κύματος (lightgraph), υπολογισμός της σχετικής ποσότητας HbO και (HbR) (oxygraph) και τοπογραφική απεικόνιση για τις περιοχές του προμετωπιαίου φλοιού που ενεργοποιούνται περισσότερο, με την βοήθεια του λογισμικού fNIRSoft.
- Στατιστικός έλεγχος των τιμών HbO, HbR, HbT με ANOVA και post hoc δοκιμασίες Bonferroni και LSD.

όπου HbO: οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη

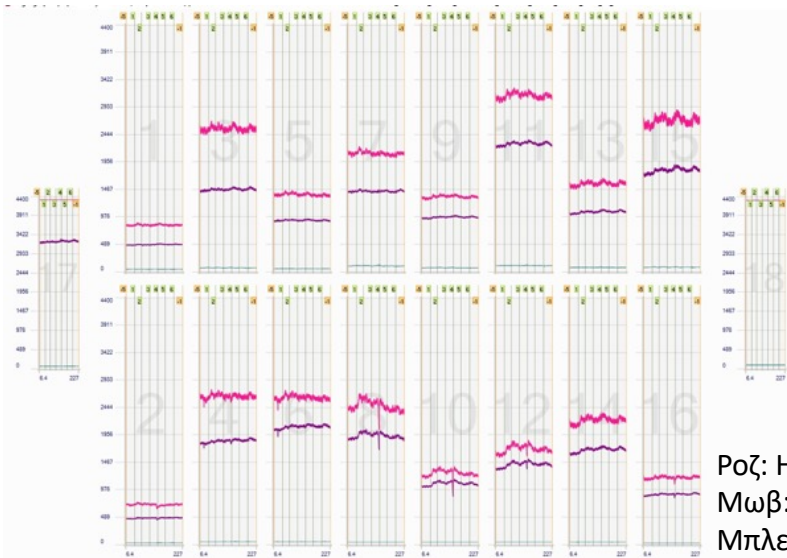
HbR: αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη

HbT: HbO+HbR

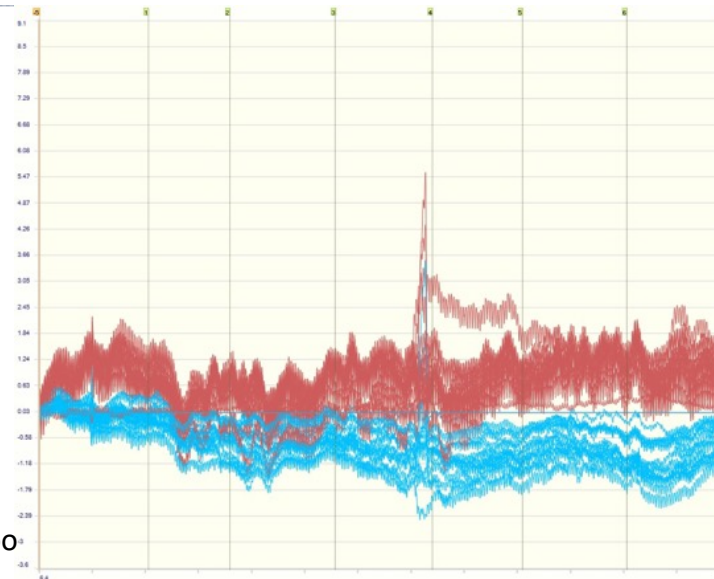
### 3. Αποτελέσματα



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023



Ροζ: HbO  
Μωβ: HbR  
Μπλε: Υπόβαθρο



Κόκκινο: HbO  
Μπλε: HbR

#### Lightgraph

Το lightgraph παρουσιάζει τα ακατέργαστα δεδομένα (το σκεδαζόμενο φως που ανιχνεύεται στα δύο μήκη κύματος).

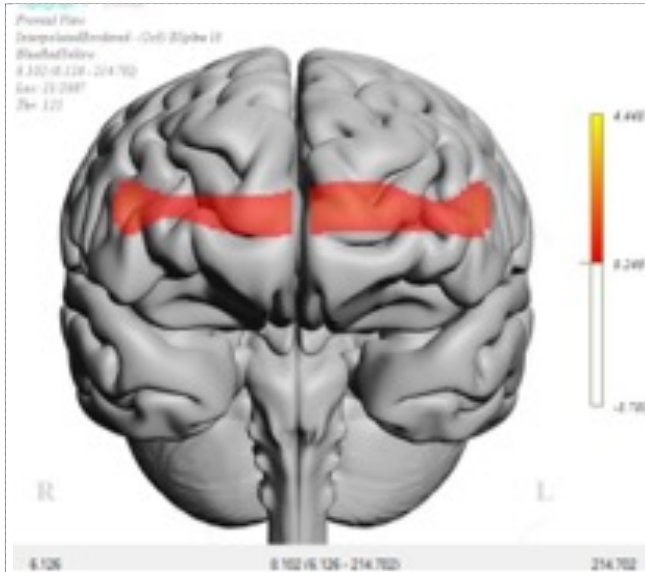
#### Oxygraph

Το oxygraph παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις HbO και HbR. Είναι εμφανές ότι κατά την δραστηριότητα του εγκεφάλου η συγκέντρωση της HbO αυξάνεται ενώ της HbR μειώνεται.

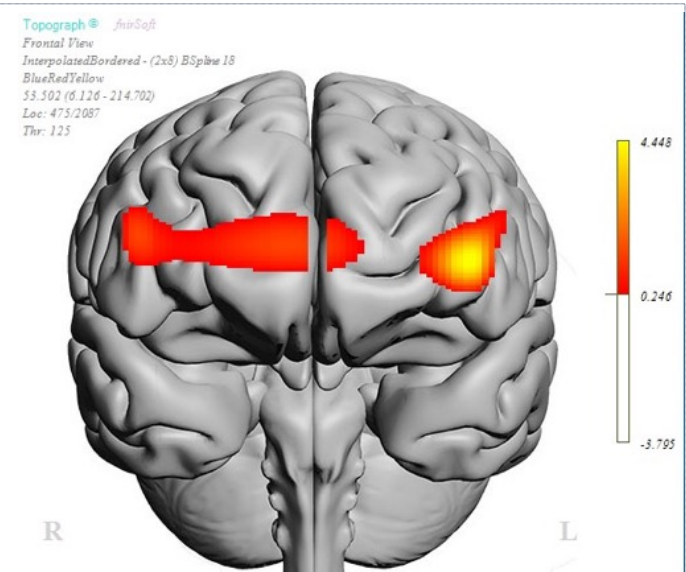
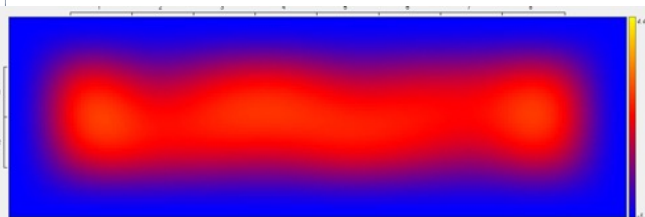
### 3. Αποτελέσματα



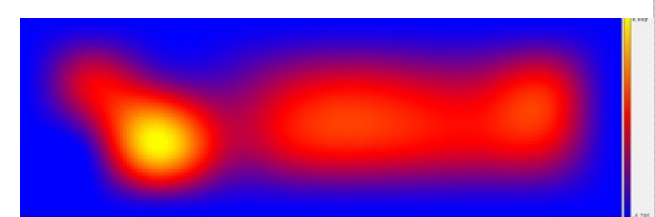
1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023



Χωρική χαρτογράφηση της περιοχής ενεργοποίησης του εγκεφάλου σε περίοδο ηρεμίας



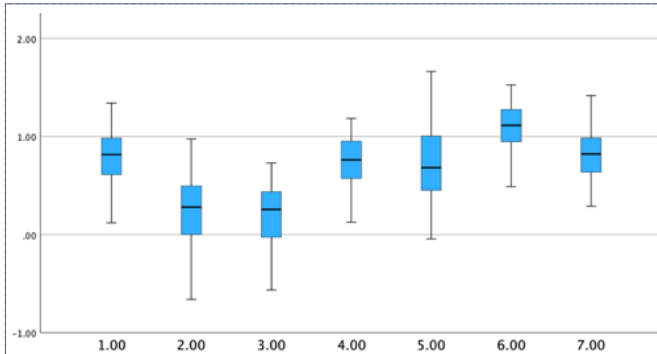
Χωρική χαρτογράφηση της περιοχής ενεργοποίησης του εγκεφάλου σε περίοδο δραστηριότητας



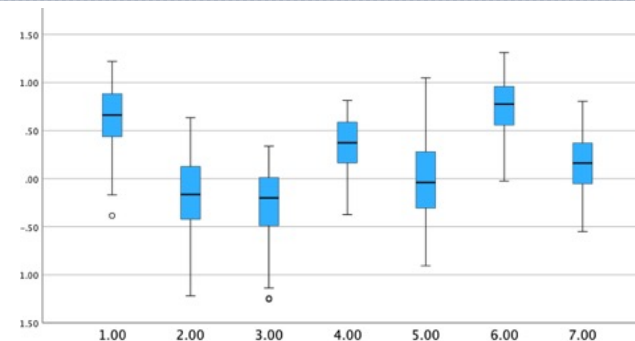
### 3. Αποτελέσματα



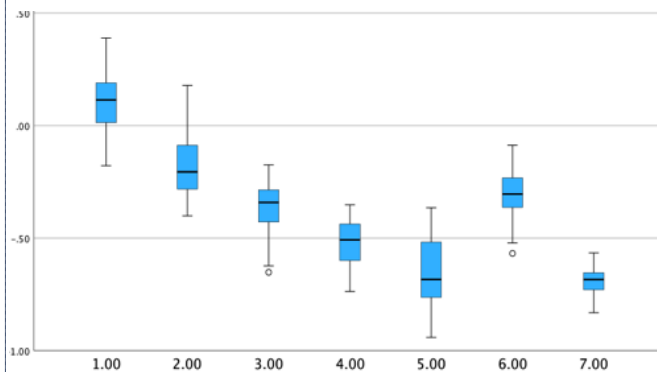
1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023



HbO values: resting states (1,3,5,7),  
activity with increasing difficulty (2,4,6)



HbT values: resting states (1,3,5,7),  
activity with increasing difficulty (2,4,6)



HbR values: resting states (1,3,5,7),  
activity with increasing difficulty (2,4,6)

Οι τιμές των HbO, HbR και HbT παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p < 0.05$ ), μεταξύ των περιόδων ηρεμίας και δραστηριότητας στο σύνολο των οπτοδίων.



## 4. Συμπεράσματα



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

- Από τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις περιόδους ηρεμίας και στις περιόδους δραστηριότητας του εγκεφάλου
- Διαφορές παρατηρούνται επίσης και ανάμεσα στα στάδια αυξανόμενης δυσκολίας, μεγαλύτερη ενεργοποίηση υπάρχει στο πιο δύσκολο στάδιο του γνωστικού τεστ σε σχέση με το πιο εύκολο.
- Το fNIRS είναι μία μη επεμβατική, εύκολη και ευέλικτη τεχνική λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου.
- Η λειτουργική φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου βρίσκεται ακόμα υπό μελέτη καθώς τα τελευταία χρόνια υπάρχει ένα έντονο ενδιαφέρον και εξέλιξη. Οι δυνατότητες είναι πολλές και είναι μία πολλά υποσχόμενη τεχνική σε πολλούς τομείς.

