



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

Ανάπτυξη τεχνικών γραμμικής και υψηλής-τάξης εξομάλυνσης των ανομοιογενειών του μαγνητικού πεδίου για τη βελτιστοποίηση της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού του νωτιαίου μυελού

Δήμητρα Τσιβάκα^{1,2}, David J. Lythgoe², Κυριακή Θεοδώρου¹, Steve C. R. Williams², Ιωάννης Τσούγκος^{1,2}

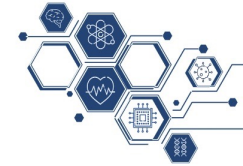
¹Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Λάρισα, Ελλάδα

²Department of Neuroimaging, Institute of Psychiatry, Psychology and Neuroscience, King's College London, London, UK

Διοργανωτές



1. Εισαγωγή-Σκοπός



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

Εισαγωγή

Η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού του νωτιαίου μυελού (spinal-fMRI) δύναται να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη νευρωνική δραστηριότητα του νωτιαίου μυελού (NM).

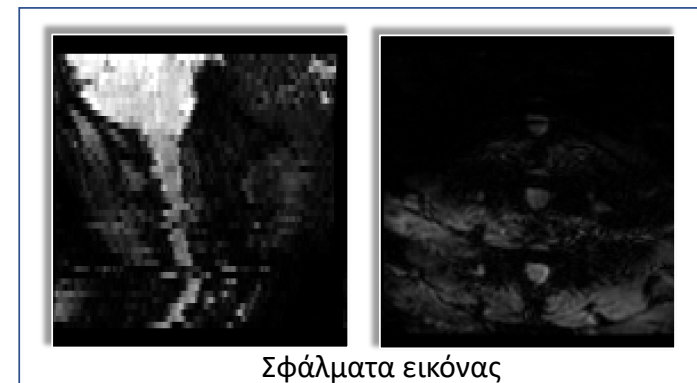
Προκλήσεις απεικόνισης NM

- Μικρό εμβαδό διατομής
- Εγκεφαλονωτιαίο υγρό περιμετρικά NM και οστών
→ διαφορετικά είδη ιστών → διαφορετικές μαγνητικές επιδεκτικότητες
- Νωτιαίος μυελός: πλησίον καρδιάς, πνευμόνων, τραχείας

Προκαλούν φυσιολογικό θόρυβο, σφάλματα εικόνας, γεωμετρικές παραμορφώσεις και απώλεια σήματος

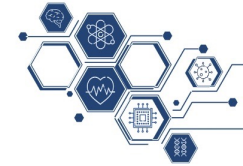
Σκοπός

Εφαρμόστηκαν εξελιγμένες τεχνικές εξομάλυνσης των ανομοιογενειών του μαγνητικού πεδίου (**shimming**), στοχεύοντας κυρίως στη βελτίωση της ομοιογένειας του στατικού μαγνητικού πεδίου (**B0**) και τη μείωση της τοπικής απώλειας σήματος στην αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης.



Σφάλματα εικόνας

2. Μέθοδοι και Υλικά



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

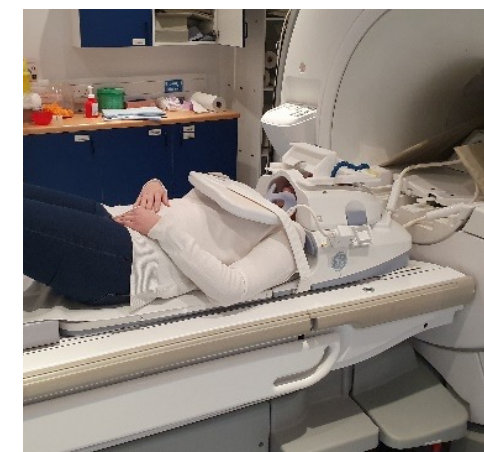
Για την επιβεβαίωση της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν **οκτώ (8) υγιείς εθελοντές** και ένα σύστημα μαγνητικού τομογράφου GE Discovery MR750 3T χρησιμοποιώντας πηνίο κεφαλής και αυχένα/σπονδυλικής στήλης.

Για τη βελτίωση της ομοιογένειας του Β0

Λήφθηκε ένας χάρτης πεδίου (field map) βάσει του οποίου βελτιστοποιήθηκαν τα υψηλής-τάξης βαθμιδωτά πεδία εντός χειροκίνητα τοποθετημένων περιοχών ενδιαφέροντος (ROIs) σε εγκάρσιες τομές.

Για τη μείωση της απώλειας σήματος

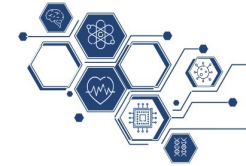
Βελτιστοποιήθηκαν τα γραμμικά βαθμιδωτά πεδία (κατά x,y,z) για κάθε τομή ξεχωριστά και εντός καθορισμένων ROIs.



Παράμετροι σάρωσης

EPI ακολουθία	Απόσταση τομών=0.5mm
ASSET=2	Μέγεθος πεδίου (FOV)=21cm
Πλήθος τομών=34	Γωνία εκτροπής=90°
TE=30ms, TR=3300ms	Μέγεθος μήτρας= 96×96
Πάχος τομής=4mm	

2. Μέθοδοι και Υλικά



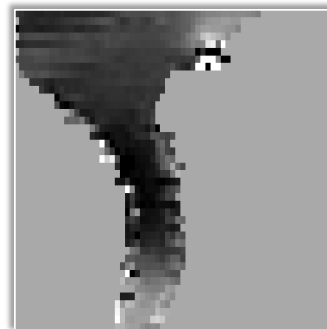
1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:
Καινοτομίες και Προοπτικές
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

Στάδιο 1

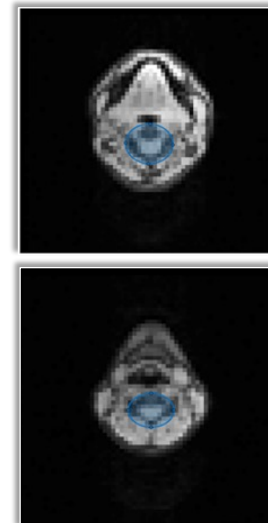
Βελτιστοποίηση
υψηλής-τάξης
βαθμιδωτών πεδίων

High-order Shimming
(HOS)

Λήψη χάρτη
πεδίου
(field map)



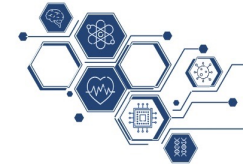
Σχεδιασμός
ROIs



Υπολογισμός και
εφαρμογή υψηλής-
τάξης βαθμιδωτών
πεδίων



2. Μέθοδοι και Υλικά



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

Στάδιο 2

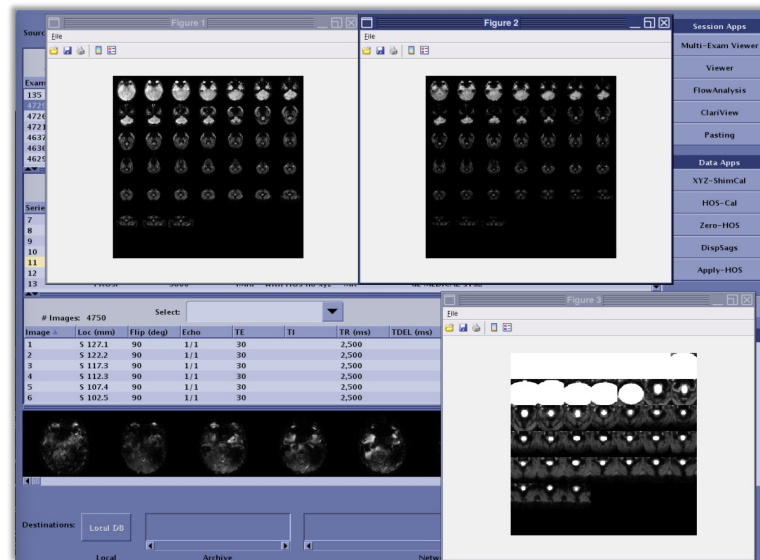
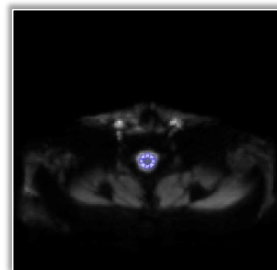
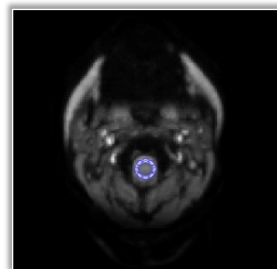
x-,y- & z-
shimming σάρωση
βαθμονόμησης

Σχεδιασμός
ROIs

Υπολογισμός της προβολής
με το μέγιστο σήμα και
ορισμός των βαθμ. πεδίων
με το μέγιστο δυνατό σήμα
εντός του NM

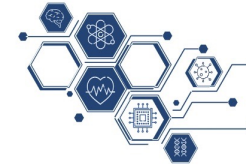
Βελτιστοποίηση
x-,y- & z-
βαθμιδωτών
πεδίων

Linear shimming



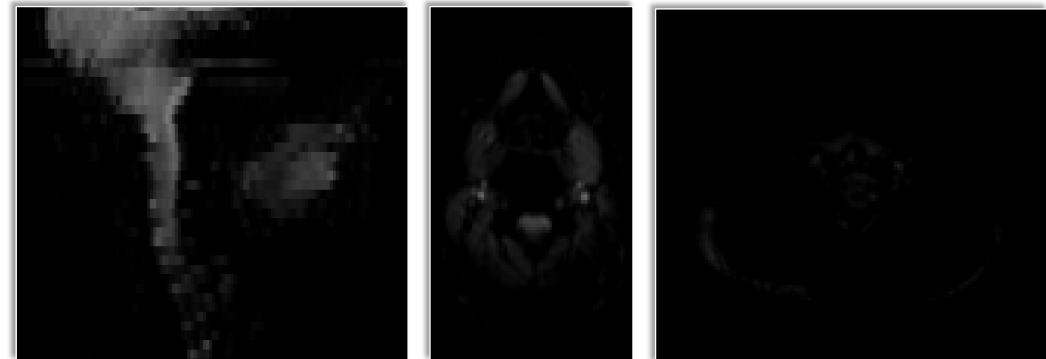
Βελτιστοποιημένη
λήψη εικόνων
fMRI του NM

3. Αποτελέσματα



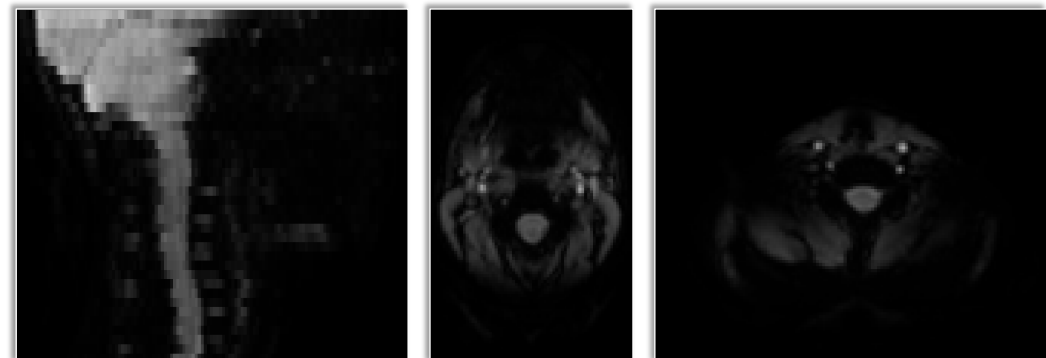
1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:
Καινοτομίες και Προοπτικές
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

Πριν την εφαρμογή της τεχνικής



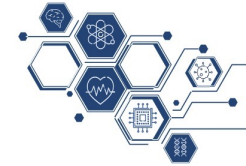
Η βελτιστοποίηση των υψηλής-τάξης βαθμιδωτών πεδίων (HOS) βελτίωσε σημαντικά την ποιότητα εικόνας συνολικά και μείωσε τις παραμορφώσεις ιδιαίτερα στο χαμηλότερο τμήμα της αυχενικής μοίρας (C5-C7).

Μετά την εφαρμογή της τεχνικής



Η βελτιστοποίηση των γραμμικών βαθμιδωτών πεδίων (x , y & z) μείωσε την απώλεια σήματος και αύξησε το χρονικό λόγο σήματος προς θόρυβο (temporal-SNR) κατά μήκος του νωτιαίου μυελού (C3-C7).

3. Αποτελέσματα



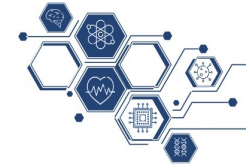
Επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$

Για τα πολλαπλά t-tests που πραγματοποιήθηκαν κατόπιν ελέγχου κανονικότητας, πραγματοποιήθηκε διόρθωση του α με τη μέθοδο Bonferroni, οπότε για κάθε επιμέρους τεστ $\alpha=0.01$

Μετρήσεις tSNR πριν and μετά την εφαρμογή της τεχνικής εξομάλυνσης του μαγνητικού πεδίου

C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7	Χωρίς Shimming		HOS και x-,y- & z- shimming		p-value	α_{Bonf}
	Mean	SD	Mean	SD		
Level C3	16.11	5.60	34.24	13.26	0.004511	
Level C4	18.99	6.17	38.47	11.36	0.001467	
Level C5	11.99	4.07	31.67	10.74	7.99E-05	0.01
Level C6	8.23	3.13	35.37	10.88	9.89E-06	
Level C7	3.24	1.00	29.35	8.89	5.96E-06	

4. Συμπεράσματα



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

Περιορισμοί

- Η εφαρμογή της τεχνικής εξομάλυνσης των ανομοιογενειών διαρκεί περίπου 10 λεπτά
- Ο σχεδιασμός των ROIs είναι χειροκίνητος
- Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι $1.64 \times 1.64 \text{ mm}^2$

Συμπέρασμα

Η εφαρμογή τεχνικών γραμμικής και υψηλής-τάξης εξομάλυνσης των ανομοιογενειών του μαγνητικού πεδίου δύναται να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα εικόνας στο spinal-fMRI, καθώς συμβάλλει στον περιορισμό των σφαλμάτων εικόνας και της απώλειας σήματος.

Μελλοντικός στόχος

Η περαιτέρω μείωση του μεγέθους του πεδίου (FOV)/ αύξηση χωρικής διακριτικής ικανότητας