



10ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

## Υπολογισμός χρόνων χαλάρωσης T1, T2 και διερεύνηση της θερμοκρασιακής εξάρτησης σκιαγραφικών μέσων spin-crossover νανοσωματιδίων

Δήμητρα Τσιβάκα<sup>1</sup>, Πατρούλα Γκόλφη<sup>2</sup>, Κατερίνα Βάσιου<sup>3</sup>, Χριστίνα Δ. Πολύζου<sup>2</sup>, Βασιλική Ζωιοπούλου<sup>1</sup>,  
Χρήστος Τ. Χασάπης<sup>4</sup>, Βασίλης Ταγκούλης<sup>2</sup>, Ιωάννης Τσούγκος<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Λάρισα, Ελλάδα

<sup>2</sup>Εργαστήριο Ανόργανης Χημείας, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Ελλάδα

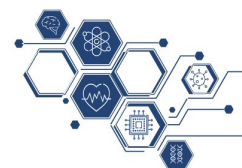
<sup>3</sup>Εργαστήριο Ακτινολογίας, Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Λάρισας, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Λάρισα, Ελλάδα

<sup>4</sup>Εργαστήριο Ενόργανης Ανάλυσης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Ελλάδα

Διοργανωτές



# 1. Εισαγωγή-Σκοπός



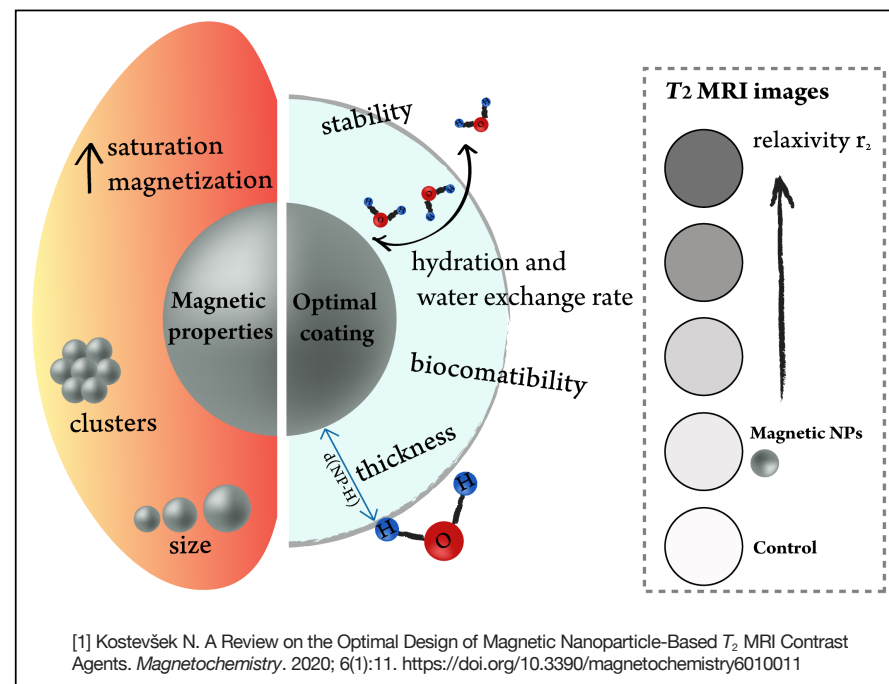
1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

## Εισαγωγή

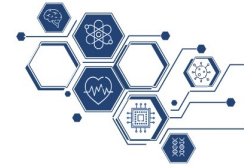
Πρόσφατες μελέτες επιβεβαίωσαν την αποτελεσματική χρήση spin-crossover (SCO) νανοσωματιδίων στην ενίσχυση της σκιαγραφικής αντίθεσης κατά την Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ).

## Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της ευαισθησίας (relaxivity) και της θερμοκρασιακής εξάρτησης νέων σκιαγραφικών μέσων βασισμένων σε SCO νανοσωματίδια, μέσω του υπολογισμού των χρόνων χαλάρωσης T1 και T2.



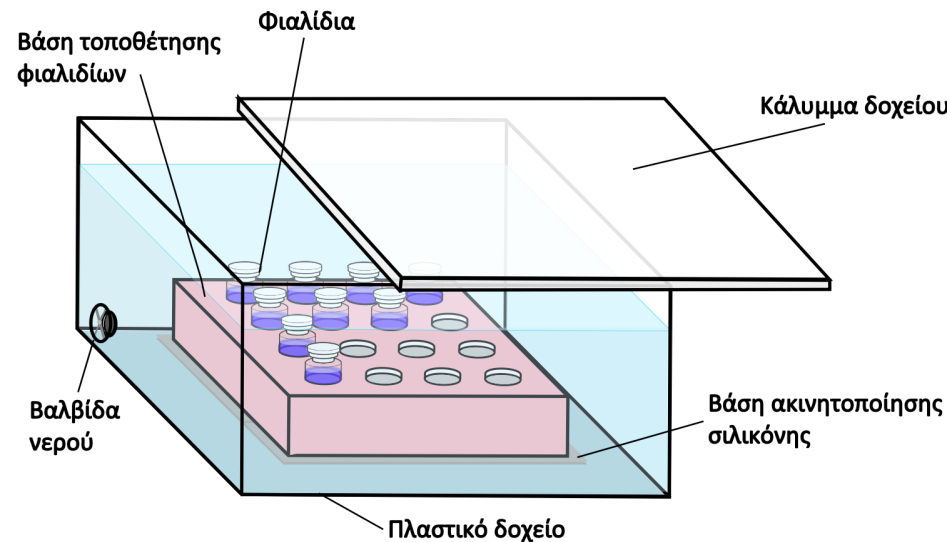
## 2. Μέθοδοι και Υλικά



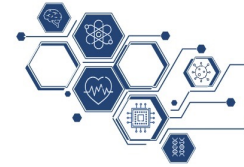
1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

### Κατασκευή ομοιώματος

- Όλα τα φιαλίδια που περιείχαν σκιαγραφικά διαλύματα τοποθετήθηκαν σε προσαρμοσμένο ομοίωμα κατασκευασμένο από πλαστικό δοχείο πληρωμένο με νερό, μία βάση ακινητοποίησης σιλικόνης πάχους 3 mm και μία βάση τοποθέτησης φιαλιδίων 16 θέσεων εμβαπτισμένη στο νερό του δοχείου.
- Ο έλεγχος θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε μέσω βαλβίδας νερού, για την απελευθέρωση νερού από το δοχείο και χειροκίνητη προσθήκη ζεστού νερού σύμφωνα με τις ανάγκες.
- Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό θερμόμετρο τύπου probe, διατηρώντας ένα εύρος θερμοκρασίας  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .



## 2. Μέθοδοι και Υλικά



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

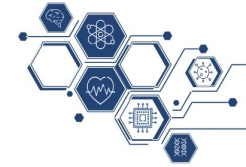
### Πρωτόκολλο σάρωσης

Όλες οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν σε σύστημα μαγνητικού τομογράφου 3T (GE Signa HDx).

**Η σύνθεση των σκιαγραφικών πραγματοποιήθηκε από το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών.**

- **Για την απεικόνιση T1 βαρύτητας (T1-w)** → ακολουθία παλμών Inversion Recovery (IR)  
Παράμετροι σάρωσης: TE = 1.6ms, TR = 3000ms, πάχος τομής = 5mm, flip angle = 90° και μέγεθος μήτρας = 256×256.  
Ο χρόνος αναστροφής (TI) κυμάνθηκε από 50ms έως 3000ms (50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500, 2750 και 3000ms).
- **Για την απεικόνιση T2 βαρύτητας (T2-w)** → ακολουθία παλμών single-echo Spin-Echo (SE)  
Παράμετροι σάρωσης: TR = 1500ms, πάχος τομής = 5mm, flip angle = 90° and μέγεθος μήτρας = 512×512.  
Ο χρόνος ηχούς (TE) κυμάνθηκε από 15ms έως 300ms (15, 35, 55, 75, 95, 115, 135, 155, 175, 190, 200, 225, 250, 275 and 300ms).
- **Για τη διερεύνηση της θερμοκρασιακής εξάρτησης** οι σαρώσεις επαναλήφθηκαν για θερμοκρασίες δειγμάτων 20°, 30°, 40° και 50°C.

## 2. Μέθοδοι και Υλικά



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

### Υπολογισμός χρόνων χαλάρωσης T1, T2

Ο υπολογισμός των χρόνων χαλάρωσης πραγματοποιήθηκε μέσω ημι-αυτοματοποιημένης διαδικασίας με το λογισμικό Matlab για την εξασφάλιση της επαναληψιμότητας των μετρήσεων.

Σχεδιασμός άπαξ ενός ROI για καθένα από τα σκιαγραφικά διαλύματα.

- **Για τον υπολογισμό του relaxation time T1**

Χρησιμοποιήθηκε εξίσωση τριών παραμέτρων για το fitting των σημείων:

$$SI(TI) = A + B \cdot e^{-\frac{TI}{T1}} \quad \text{όπου } R1=1/T1 \text{ [2].}$$

- **Για τον υπολογισμό του relaxation time T2**

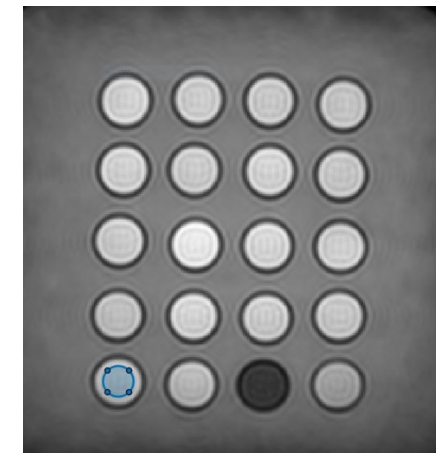
Χρησιμοποιήθηκε εξίσωση τριών παραμέτρων για το fitting των σημείων:

$$SI(TE) = C + D \cdot e^{-\frac{TE}{T2}} \quad \text{όπου } R2=1/T2 \text{ [3].}$$

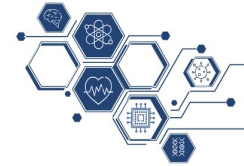
- **Για τον υπολογισμό της ευαισθησίας (relaxivity)  $r_1, r_2$**

$$R_{1,2} = R_{1,2}^0 + r_{1,2} \cdot C \text{ [4].}$$

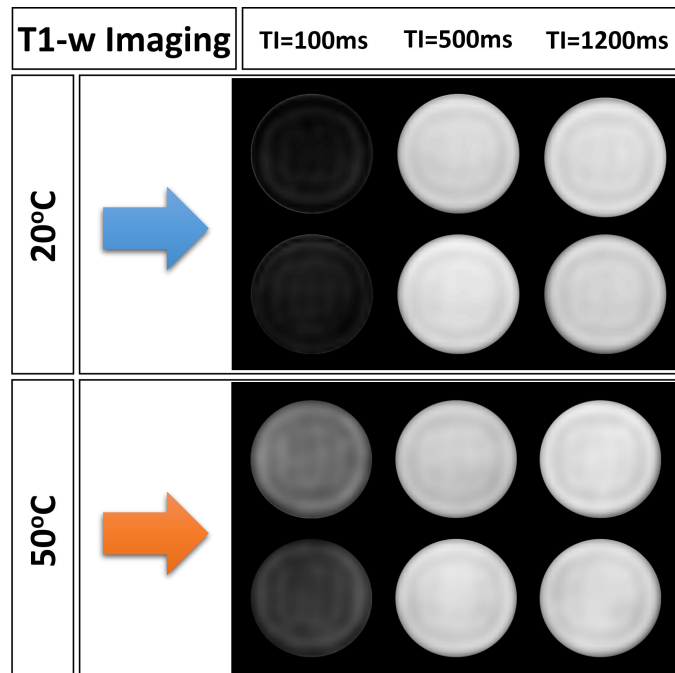
όπου το  $R_{1,2}$  αντιπροσωπεύει το relaxation rate του διαλύματος (διαλυμένης ουσίας + διαλύτη), ενώ το  $R_{1,2}^0$ , το relaxation rate του διαλύτη.



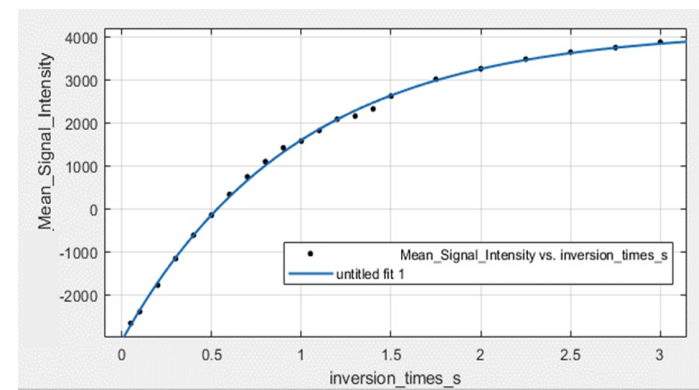
### 3. Αποτελέσματα



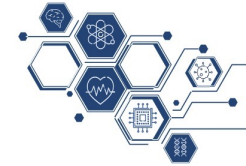
#### T1-relaxometry



Στην T1-w απεικόνιση η ευαισθησία ( $r_1$ ) των νέων σκιαγραφικών παραγόντων υπολογίστηκε  $<1 \text{ s}^{-1}\text{mM}^{-1}$  για το σύνολο των δειγμάτων.

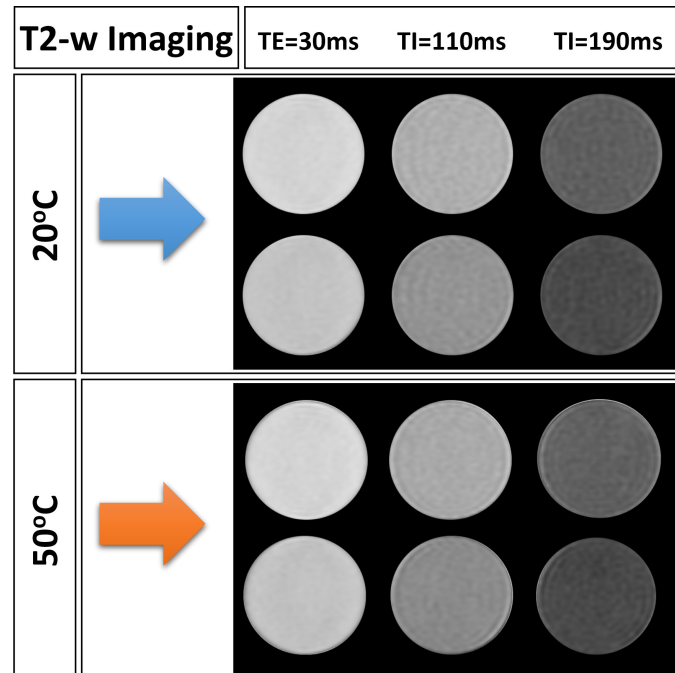


### 3. Αποτελέσματα

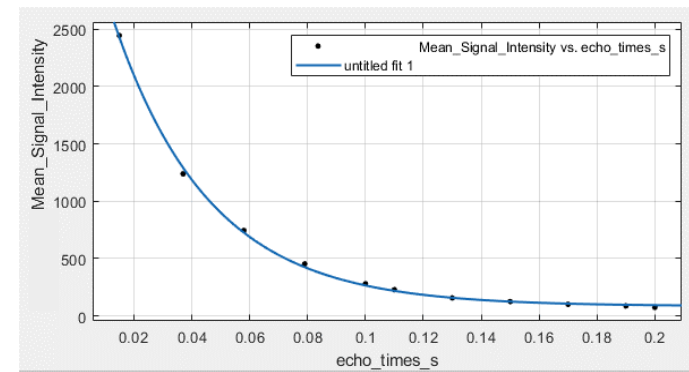


1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

#### T2-relaxometry

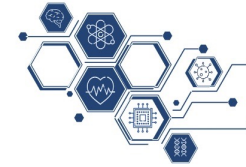


Στην T2-w απεικόνιση η ευαισθησία ( $r_1$ ) των νέων σκιαγραφικών παραγόντων υπολογίστηκε  $<1 \text{ s}^{-1}\text{mM}^{-1}$  για το σύνολο των δειγμάτων.



Θερμοκρασιακή εξάρτηση επιβεβαιώθηκε για την T1 και T2 συμπεριφορά των σκιαγραφικών μέσων, με το  $r_2$  να αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

## 4. Συμπεράσματα



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

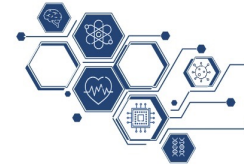
### Συμπέρασμα

Τα υπό εξέταση σκιαγραφικά μέσα παρουσιάζουν ικανή απόδοση ως μέσα ενίσχυσης της σκιαγραφικής αντίθεσης T2-w εικόνων με καλή ανταπόκριση στις θερμοκρασιακές μεταβολές, αλλά δεν ενδείκνυνται για χρήση ως σκιαγραφικά T1-w, λόγω χαμηλής ευαισθησίας  $r_1$ .

Εντούτοις, η πολύ καλή T2-w σκιαγραφική αντίθεση που παρουσιάζουν, ενθαρρύνει την περαιτέρω διερεύνηση χρήσης SCO νανοσωματιδίων στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ).



## 5. Βιβλιογραφία



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

- [1] Kostevšek N. A Review on the Optimal Design of Magnetic Nanoparticle-Based T2 MRI Contrast Agents. *Magnetochemistry*. 2020; 6(1):11.
- [2] Shen Y, Goerner FL, Snyder C, Morelli JN, Hao D, Hu D, et al. T1 relaxivities of gadolinium-based magnetic resonance contrast agents in human whole blood at 1.5, 3, and 7T. *Invest Radiol*. 2015 May 21;50(5):330–8.
- [3] Shen Y, Goerner FL, Heverhagen JT, Snyder C, Hu D, Li X, et al. In vitro T2 relaxivities of the Gd-based contrast agents (GBCAs) in human blood at 1.5 and 3 T. *Acta radiol*. 2019 Jun 1;60(6):694–701.
- [4] Bjørnerud A. *The Physics of Magnetic Resonance Imaging FYS-KJM 4740*. Oslo; 2008.