



**ФИЗИКА –
НАУКАМ О ЖИЗНИ**

ITMO

Эффект межсрезовой вариации времени релаксации T2 при многосрезовом картировании и его коррекция

Зиля Бадриева
Университет ИТМО
Санкт-Петербург

Ekaterina Brui
Университет ИТМО
Санкт-Петербург

Charles-Alexis de Manenne
École Supérieure de Physique et de
Chimie Industrielle de la ville de Paris
Paris, France

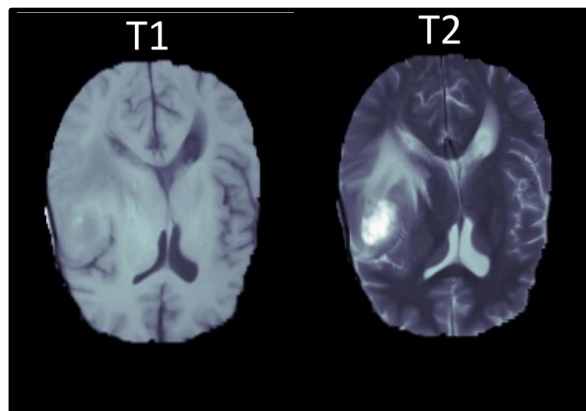
Stanislas Rapacchi
Aix-Marseille Université
Marseille, France

Thomas Troalen
Siemens Healthcare SAS
Saint-Denis, France

David Bendahan
Aix-Marseille Université
Marseille, France

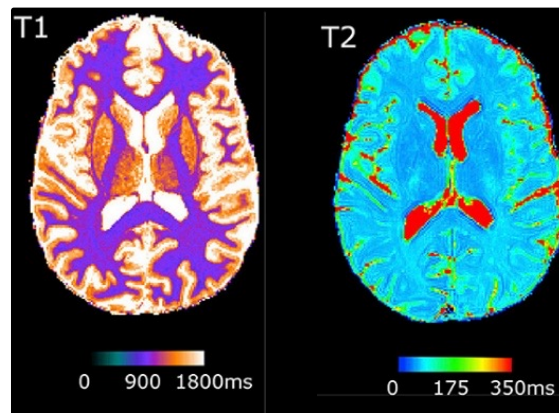
Санкт-Петербург, 2023

Качественная МРТ



Относительный контраст тканей

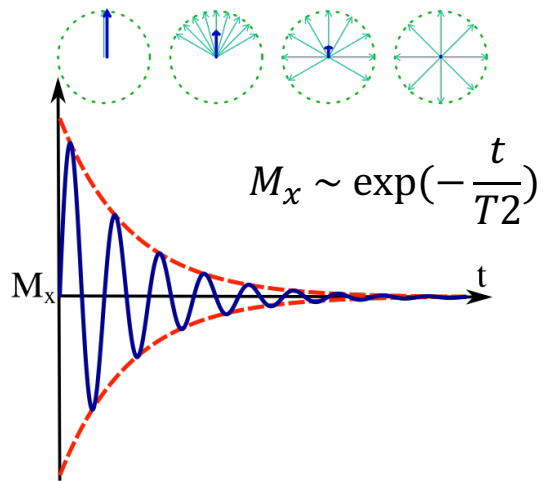
Количественная МРТ



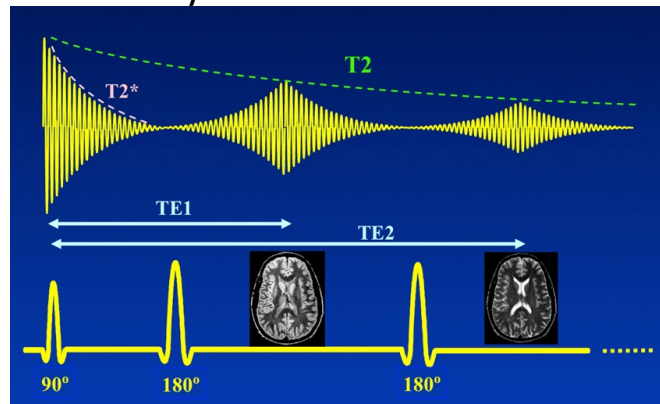
Карты реальных физических параметров (времена ЯМР релаксации, коэффициенты диффузии и перфузии и т.п.)

Важна воспроизводимость!

Время релаксации T2

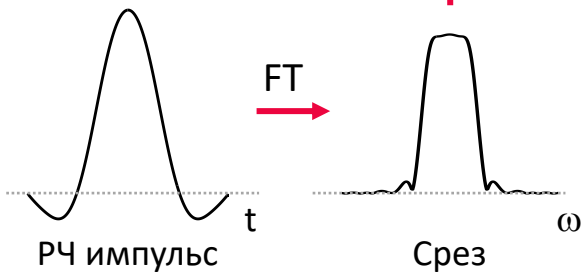
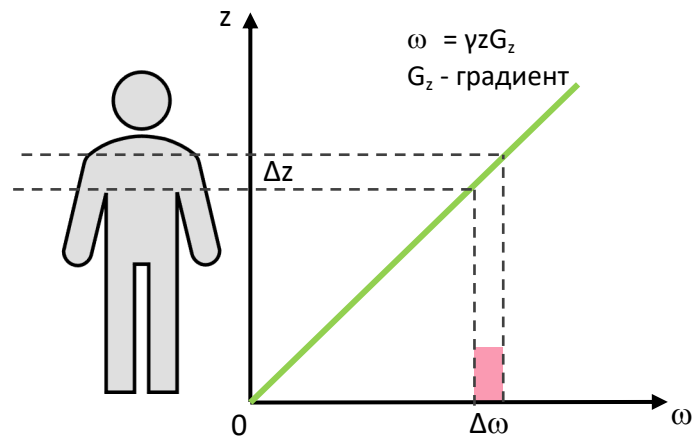


MESE – мульти-эхо спин-эхо



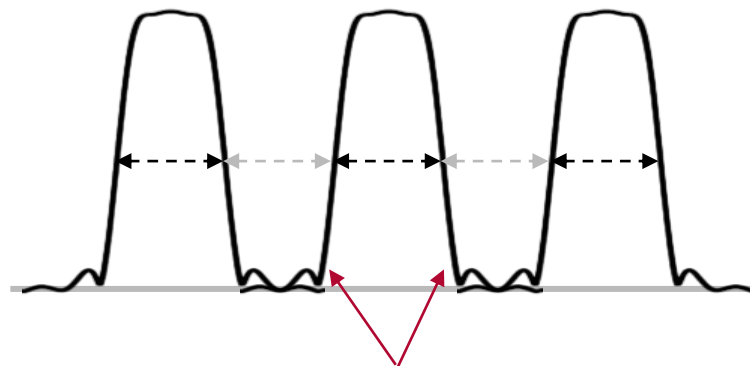
- T2 это параметр, описывающий процесс спин-спиновой релаксации
- Спин-спиновая релаксация – «потеря спиновой когерентности»
- Характеризует количество межклеточной воды, например при отеках.

Эффект прямого насыщения



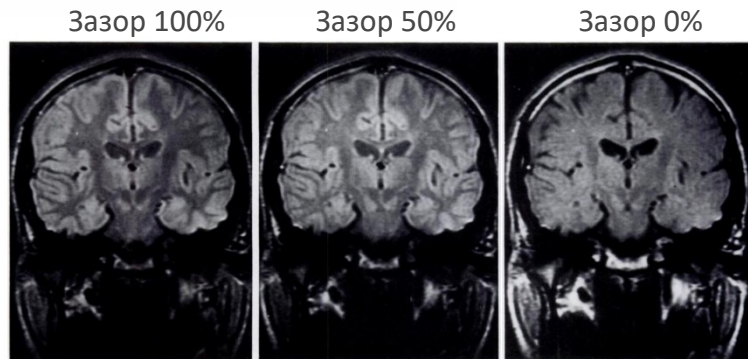
Профиль среза

Зазор = 0%



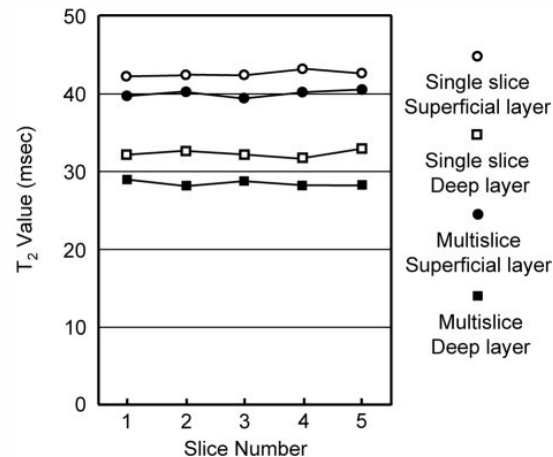
Прямое насыщение

Межсрезовая вариация



Эффект прямого насыщения при уменьшении зазора приводит к потере контраста между тканями

Kneeland JB, Radiology 1986



Watanabe A., Journal of Magnetic Resonance Imaging 2007

Для MESE разница для T2 между срезами не была выявлена, но изучался только 100% зазор

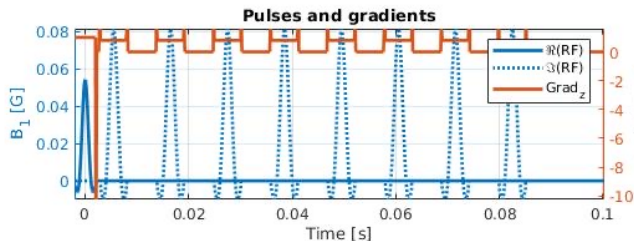
Цель:

- **демонстрация** межсрезовой вариации значений T2, полученных при картировании на основе импульсной последовательности MESE, а также **предложение способа коррекции** данной вариации

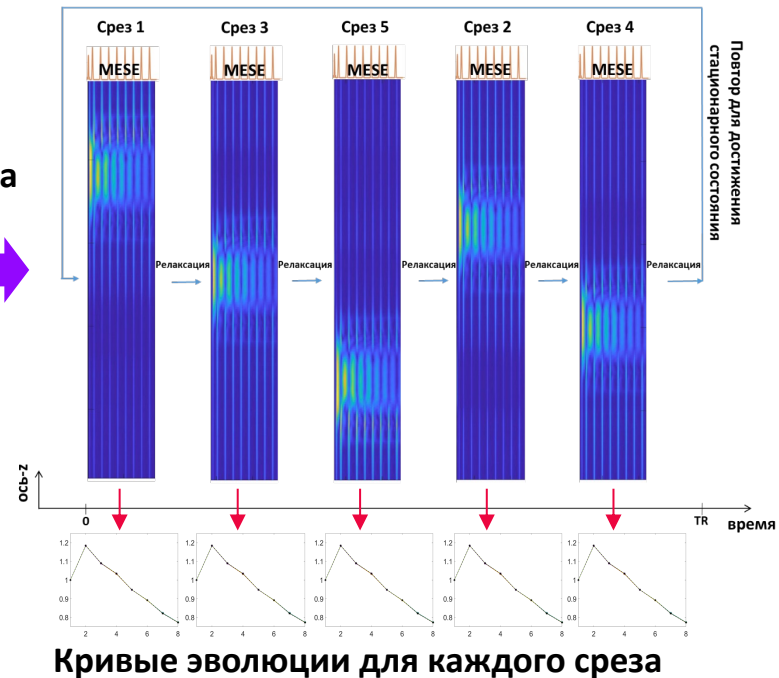
Задачи:

- Создать скрипт для симуляции эволюции сигнала в мультисрезовой MESE
- Продемонстрировать эффект вариации T2 между срезами
- Предложить метод коррекции измеряемых времен T2
- Продемонстрировать метод на калиброванных образцах (фантомах) и *in vivo*

Диаграмма импульсной последовательности
MESE – мульти эхо спин эхо



Решение
уравнений Блоха



Уравнение Блоха

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = \mathbf{M} \times \gamma \mathbf{B} - \frac{M_x \mathbf{i} + M_y \mathbf{j}}{T_2} - \frac{(M_z - M_0) \mathbf{k}}{T_1}$$

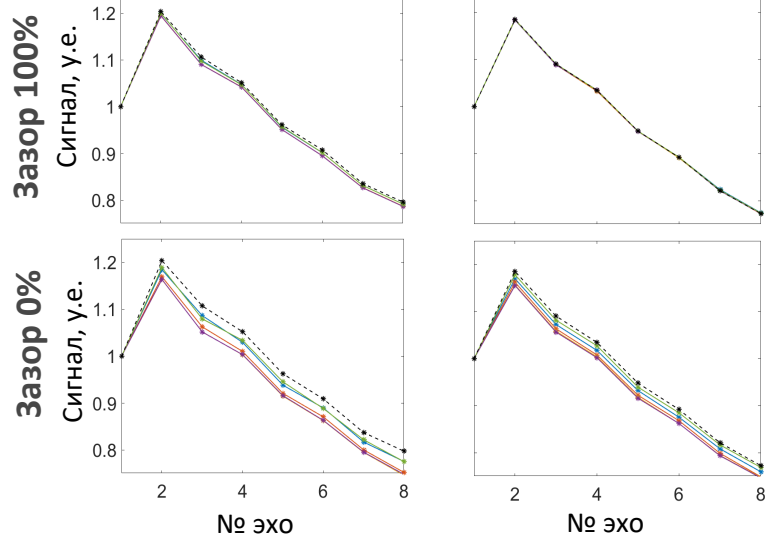
Демонстрация межсрезовой вариация T2 для MESE

TR = 2 s

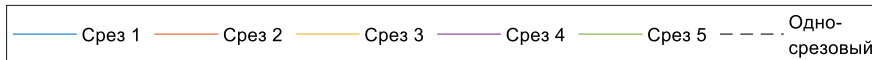
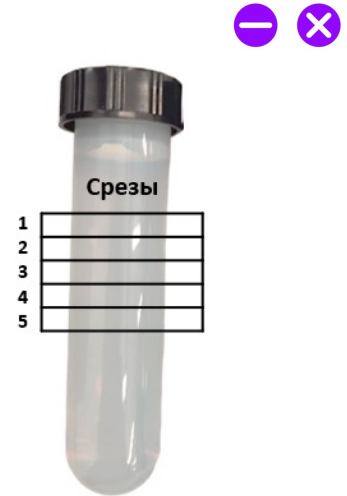
T2 = 140 мс, T1 = 1206 мс

Моделирование

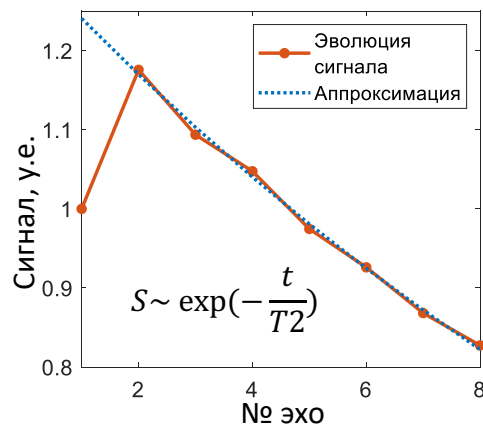
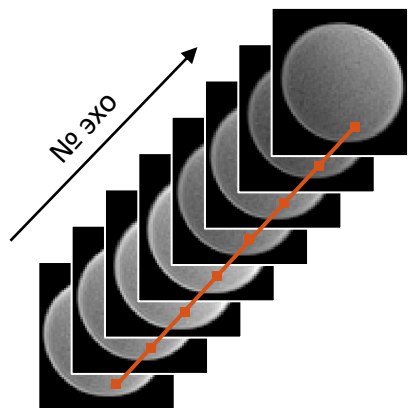
Эксперимент



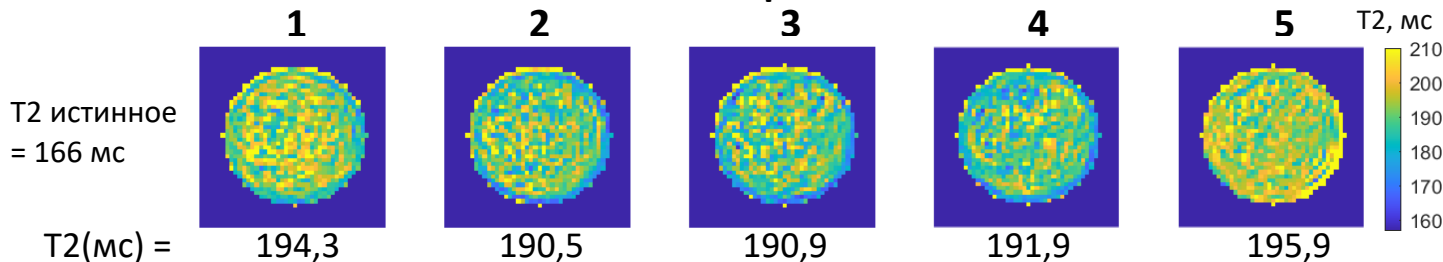
- 11 образцов
T2 = 96 – 177 мс
T1 = 336 – 1405 мс



Реконструкция T2 карт экспоненциальной аппроксимацией

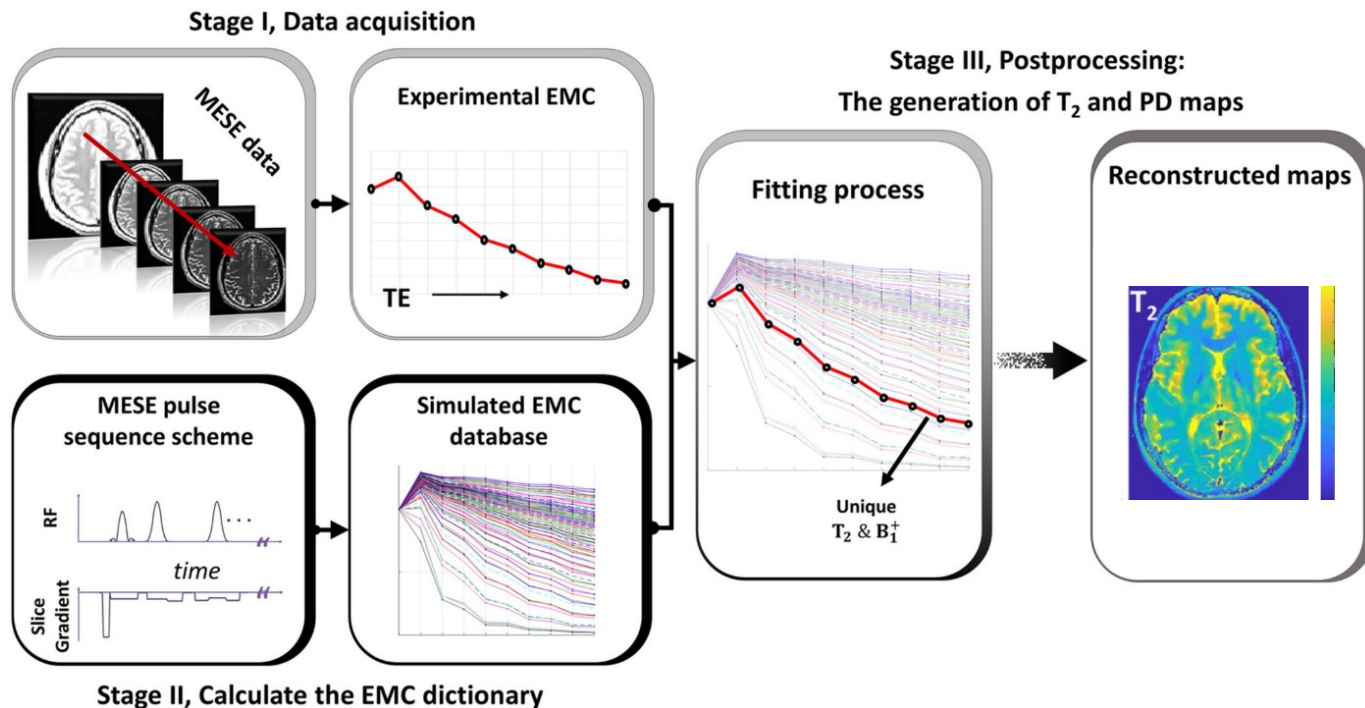


Срез:



TR = 2 s
Зазор 0%

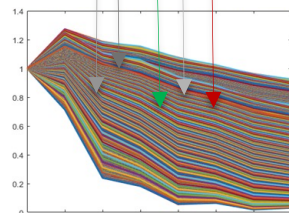
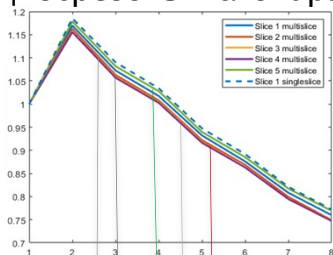
EMC метод реконструкции T2 карт



EMC – кривые эхо модуляции (кривые эволюции сигнала)

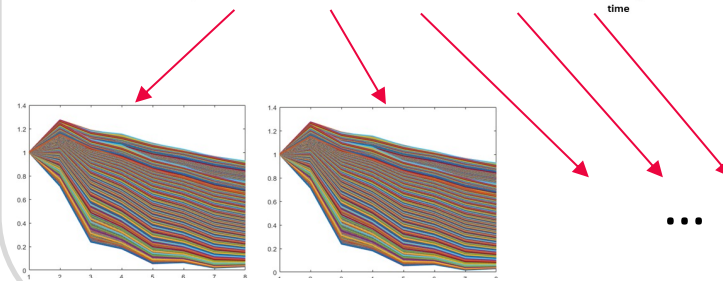
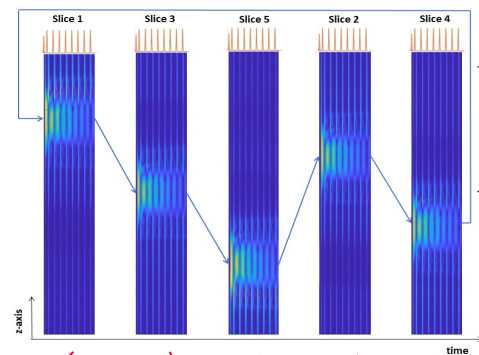
EMC метод

MS – многосрезовые данные +
односрезовый словарь



Односрезовый словарь

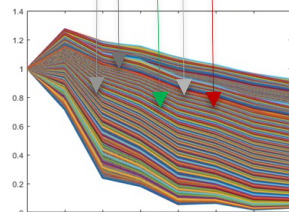
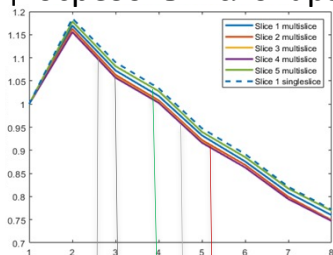
Улучшенный EMC метод



Словарь для среза №1 Словарь для среза №2

EMC метод

MS – многосрезовые данные +
односрезовый словарь

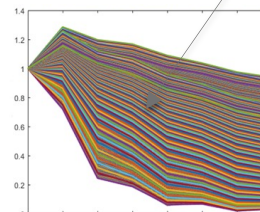
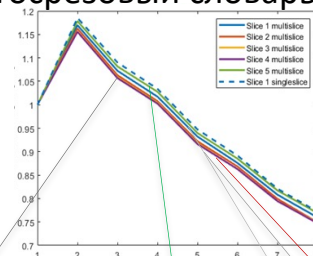


Односрезовый словарь

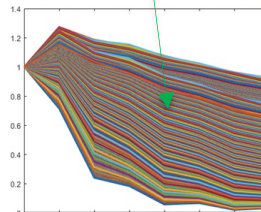
Улучшенный EMC метод



MM – многосрезовые данные +
многосрезовый словарь



Словарь для среза №1

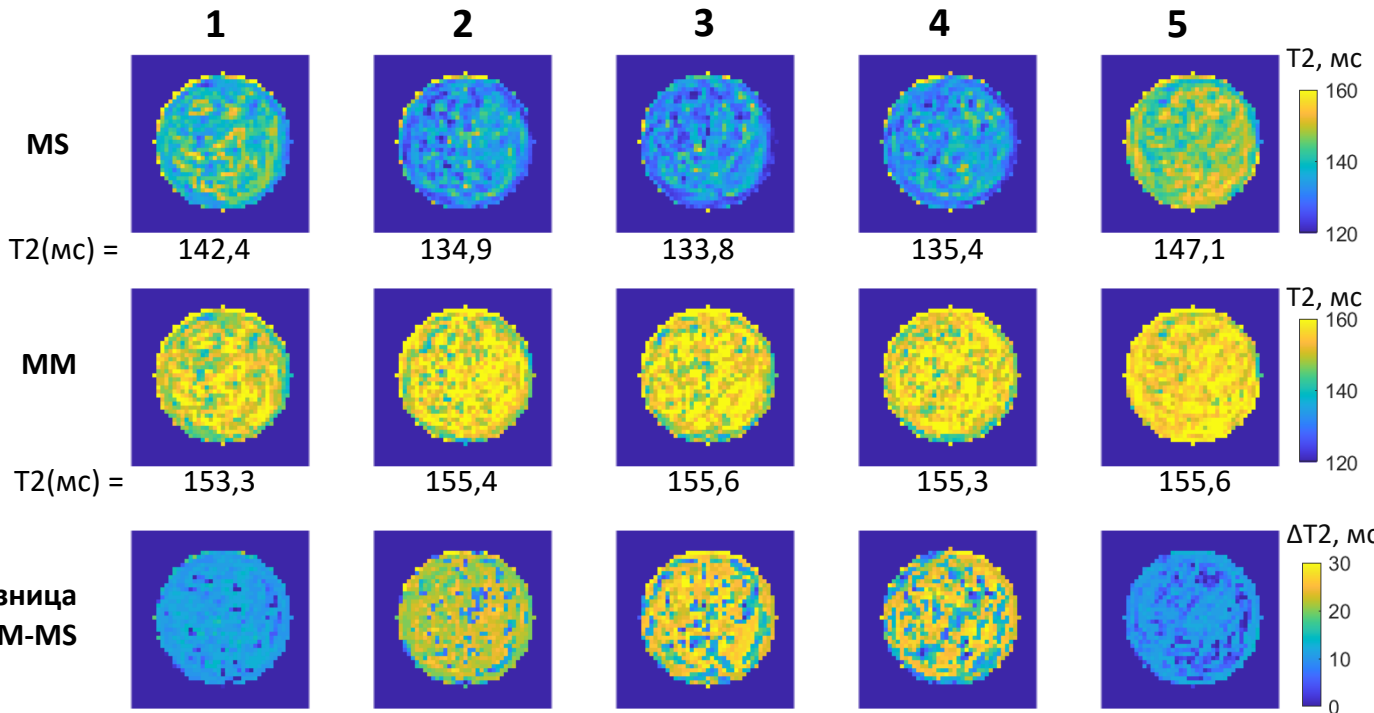


Словарь для среза №2

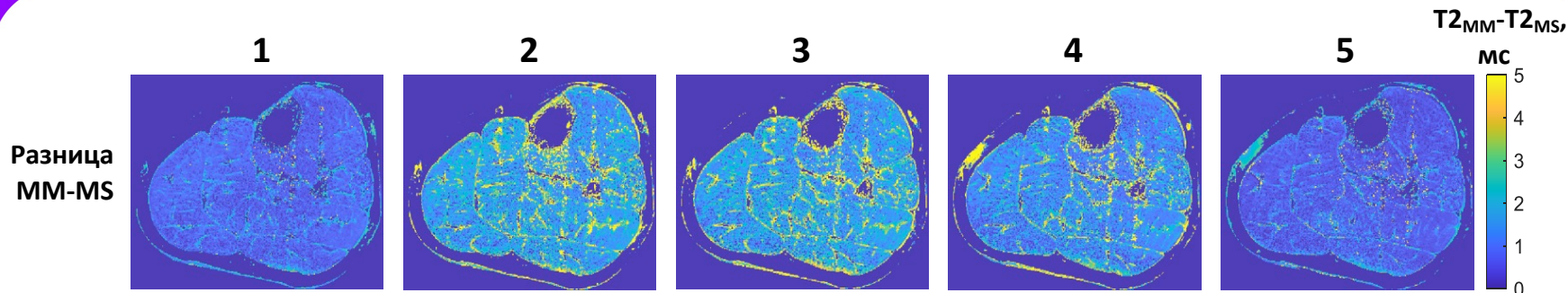
Результаты

T2 истинное = 166 мс

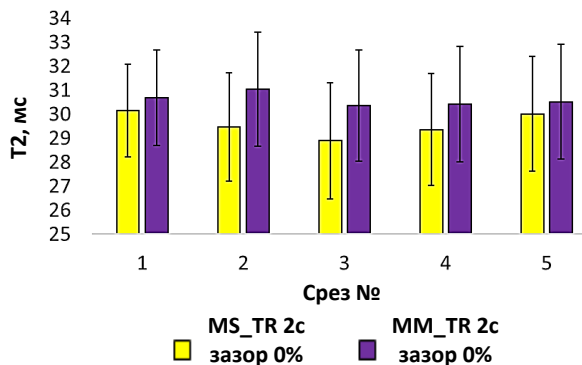
Срез:



Результаты *in-vivo*



9 областей интереса



MS – разброс 1.25 мс, 4 %

MM – разброс 0.32 мс, 1 %

В мышцах при краткосрочном наблюдении клинически важно изменение T2 порядка **1.8 – 5.7%**

Qian W. et al. Acta Radiologica, 2020.

- Продемонстрирована вариация измеряемых значений T2 между срезами при многосрезовом сканировании
- Создана программа для генерации словарей и реконструкции карт T2 релаксации, позволяющая корректировать эту вариацию
- Эффект вариации T2 так же продемонстрирован и скорректирован для экспериментов *in vivo*
- Этот подход может быть полезен для T2-картирования небольших структур с нулевым зазором между срезами



ITMO

Спасибо за внимание!

badrievaz@gmail.com

Работа была выполнена при поддержке гранта
Президента РФ для научных школ НШ-2359.2022.4 и
Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации (проект № 075-15-2021-592).

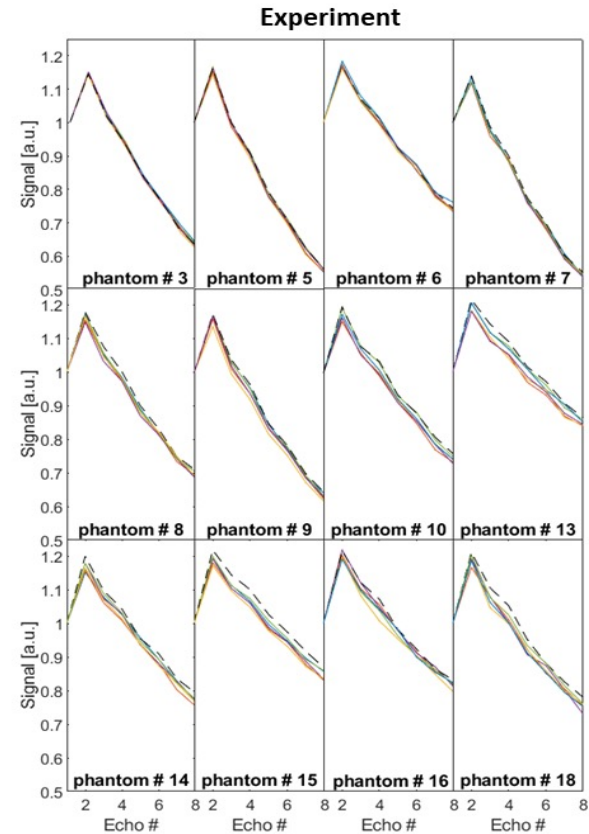
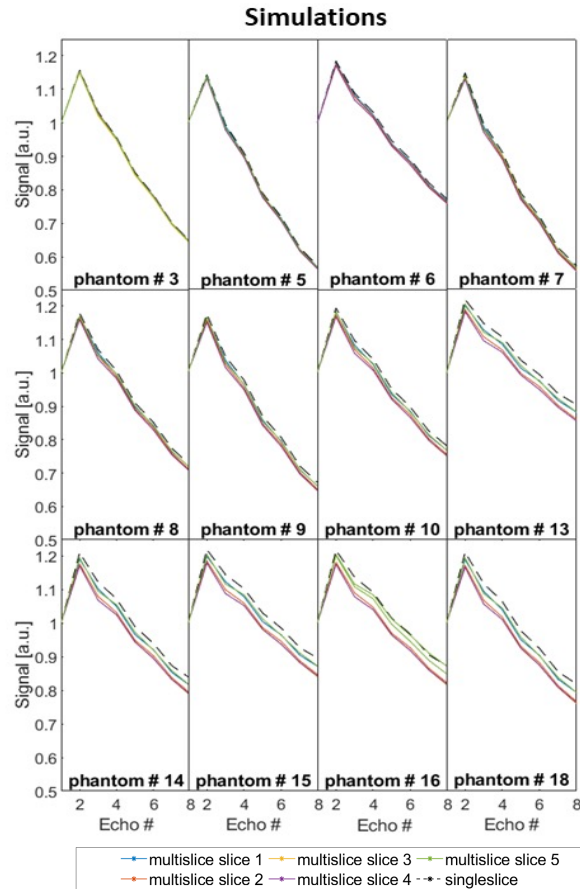
Кривые эволюции намагниченности для разных фантомов

Number of slices:

1 and 5

TR = 2 s

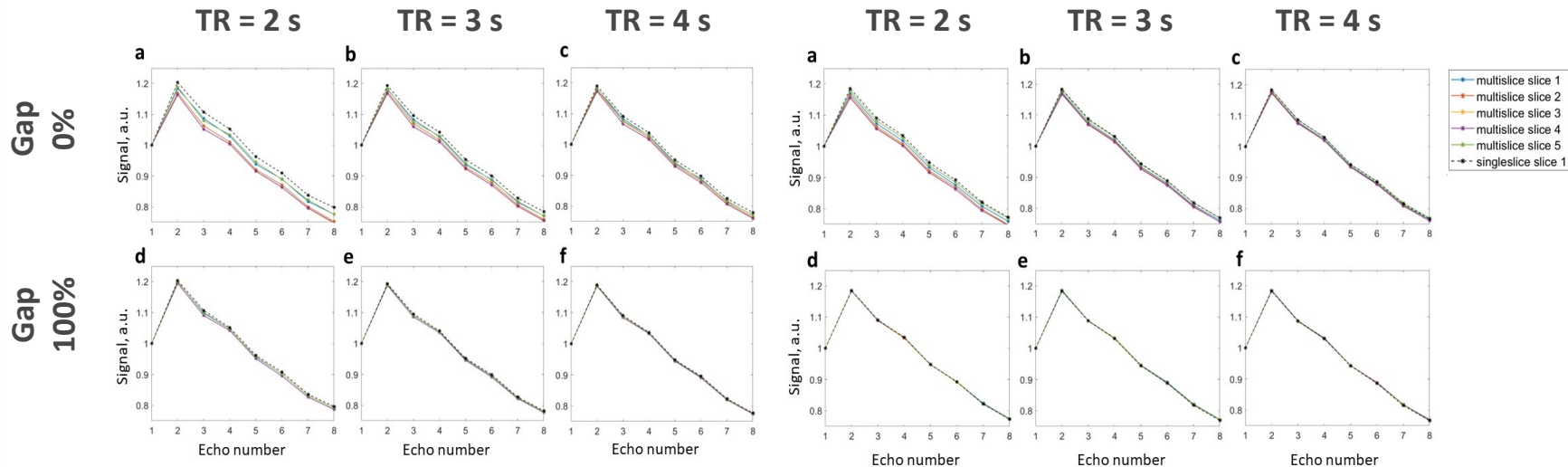
Slice gap = 0%



Кривые эволюции намагниченности для разных параметров последовательности

Simulated

Experimental



T2 = 140 ms, T1 = 1206 ms

Anova test

Phantom #	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	18
2s_MS _{gap100%}	*	***	0,387	0,218	0,0575	***	***	0,841	0,0729	***	***
2s_MM _{gap100%}	**	***	***	***	0,0906	***	***	***	*	***	***
2s_MS _{gap0%}	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
2s_MM _{gap0%}	***	**	***	0,0633	***	0,106	***	***	***	***	***
3s_MS _{gap0%}	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
3s_MM _{gap0%}	0,0618	***	0,159	0,211	0,577	**	***	***	*	**	***
4s_MS _{gap0%}	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
4s_MM _{gap0%}	**	***	0,233	***	***	**	***	***	**	***	***

*** $p < 0.001$

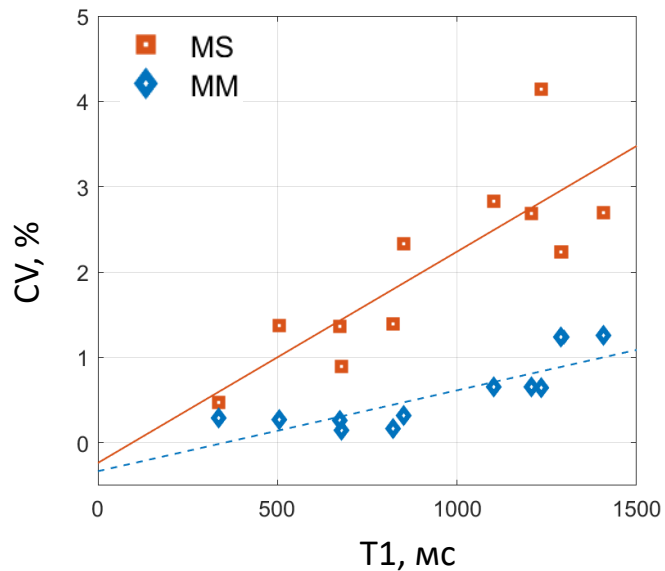
** $0.001 \leq p < 0.01$

* $0.01 \leq p < 0.05$

$0.05 \leq p$

(H0 - no differences among the mean T2 values measured in different slices).

Коэффициент вариации

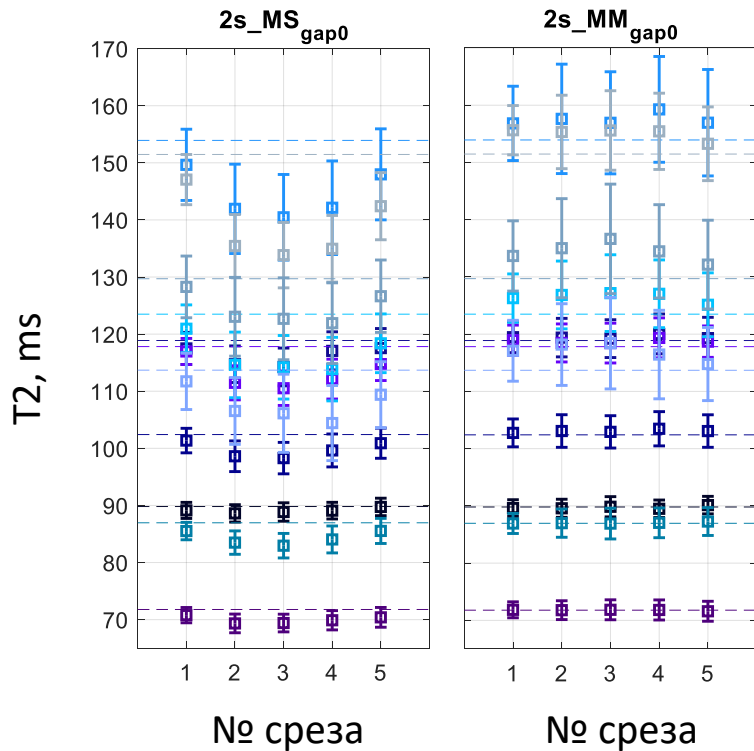


$$CV = \frac{SD_{T2}}{\frac{\sum_{i=1}^N T2_i}{N}} * 100\%$$

N = 5,
количество срезов



Значения T2



ph # 3	ph # 7	ph # 9	ph # 13	ph # 15	data # 18
ph # 6	ph # 8	ph # 10	ph # 14	ph # 16	

Ошибка по сравнению с эталонными T2

