**Метод мультиядерной магнитно-резонансной томографии**

**на примере исследования легких**

***Петрова А.С.*1*, Пирогов Ю.А*.2*, Павлова О.С.*3**

1*студент,* *2профессор, д.ф.-м.н.,* 3*научный сотрудник, к.ф.-м.н.,*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,физический факультет, Москва, Россия***E–mail:*** [***petrova.as23@physics.msu.ru***](mailto:petrova.as23@physics.msu.ru)

Магнитно-резонансная томография является важным диагностическим инструментом, работа которого основана на получении сигналов от возбужденных радиочастотным импульсом ядер, находящихся во внешнем однородном магнитном поле. Метод магнитно-резонансной томографии обладает рядом преимуществ среди существующих способов визуализации – он не имеет дела с ионизирующим излучением и считается в полной мере безопасным для биологических тканей, является важным диагностическим инструментом для изучения мягких тканей тела человека, а также дает возможность управления контрастом на изображениях за счет выбора параметров возбуждающих спины импульсных последовательностей.

В медицинской практике обычно применяется протонная МРТ, настроенная на ларморову частоту ядер водорода (уединенных протонов) - из-за высокого содержания воды в тканях, она позволяет получить достоверную анатомическую структуру внутренних органов. Однако использование классического способа имеет ограничения – для изучения легких оно затруднительно по двум обстоятельствам: из-за низкой плотности протонов (ядер водорода) в органах дыхания (только водородсодержащая жидкость, мономерным слоем покрывающая альвеолы), а также из-за искажений локального поля на границе легкое(ткань)-воздух посредством артефактов, связанных с разницей в магнитной восприимчивости тканей и воздуха. Метод протонной томографии легких неэффективен, поэтому актуален поиск путей преодоления указанных трудностей и повышения качества и информативности изображений.

Визуализация органов дыхания является важной задачей в связи с распространённостью респираторных заболеваний и необходимостью предотвращения развития таких болезней с помощью ранней диагностики. Существуют также неизлечимые болезни или поддающиеся лечению только на ранних стадиях, например, ХОБЛ и рак легких, поэтому развитие методов визуализации органов дыхания представляет особый практический интерес.

В настоящее время исследование легких проводится с помощью компьютерной (рентгеновской) томографии (КТ), которая позволяет получать достаточно информативные снимки, но использует для получения информационного отклика ионизирующее излучение. Это ограничивает проведение КТ для беременных и детей, не позволяя без вреда организму проводить мониторинг протекания болезни. Кроме того, рентгеновская КТ тоже не является эффективной из-за «рыхлой» структуры легких и слабого поглощения рентгеновского сигнала легочной тканью, позволяя выявить лишь глобальные патологические повреждения. Все это свидетельствует о необходимости развития других способов диагностики органов дыхания.

Повышение эффективности МРТ диагностики легких может быть достигнуто с применением специальных контрастных агентов. Одним из такого рода способов является использование гиперполяризованных газов (водорода H, гелия He-3, криптона Kr-83 и ксенона Xn-129), при котором удается на 4-5 порядков увеличить МРТ отклик сканера, настроенного на ларморову частоту указанных ядер, позволяя получить весьма информативные изображения. Однако непростая и очень высокая по стоимости процедура приготовления визуализирующих препаратов не позволяют широко применять гиперполяризованные газы в медицинской практике. К тому же в настоящее время метод гиперполяризации в России только начинает разрабатываться, а приобретение таких устройств за рубежом (в США, Канаде, Франции или Китае) по ряду обстоятельств оказывается невозможным.

С другой стороны, у нас в МГУ в Центре магнитной томографии и спектроскопии предлагается простая и не менее эффективная, чем гиперполяризационная, МРТ методика, основанная на получении ЯМР сигналов от ядер фтора и также относящаяся к направлению так называемой мультиядерной томографии. В этом случае используются специальные фторсодержащие контрастирующие агенты, работа которых основана на магнитных свойствах более тяжелых, чем водород, ядер - 19F. Эта методика важна и представляет практический интерес, так как позволяет получать качественные изображения с чистым, практически нулевым фоном из-за отсутствия фтора в организме, формируя МРТ отклик с высоким отношением сигнала к шуму. Дополнительным достоинством фтора-19 являются его магнитные свойства, близкие к магнетизму протонов, - ларморова частота фтора лишь на 5% отличается от протонной, позволяя при небольшой перестройке частоты приемно-передающего тракта обычных протонных сканеров осуществлять высокочувствительные измерения МРТ отклика на ядрах фтора-19, вовсе не прибегая к весьма сложным и дорогим процедурам гиперполяризации.

В данном сообщении обсуждается применение перфторциклобутана C4F8 (ПФЦБ) – липофильного в достаточной мере газа, имеющего большие в сравнении с другими время релаксации сигнал за счет 8 магнитно-эквивалентных ядер фтора. Он является потенциальным агентом для получения функциональных, а не только анатомических, изображений органов дыхания. С использованием ПФЦБ в виде подаваемого через систему ИВЛ газа можно получить качественные МРТ изображения легких – хорошо различимые отделы легких, четкие контуры анатомических структур при высоком отношении сигнал/шум. Этот способ дает возможность получения изображений дыхательной системы без необходимости задерживать дыхание, что особенно важно для пациентов с тяжелыми пульмонологическими заболеваниями, такими как ХОБЛ, астма, фиброз легких. Предложенный метод позволяет получить качественные посрезовые изображения, отчетливо визуализирующие структуру органа, и построить затем трехмерную реконструкцию дыхательной системы.

Таким образом, использование фторсодержащего газа в роли контрастирующего агента для МРТ легких решает проблему сложности их визуализации другими способами и позволяет получать функциональные снимки органов дыхания. Полученные перспективные результаты подтверждают несомненную актуальность развития методов мультиядерной томографии.

Работа выполнена в рамках государственного задания № ЦИТИС-122091200043-2 «Неинвазивные методы диагностики в медицинской физике»

**Литература**

1. Pavlova O.S., et al. 19F MRI of human lungs at 0.5 Tesla using octafluorocyclobutane // Magn. Reson. Med. 2020. Vol. 84. P. 2117–2123.
2. Павлова О.С., и др. Визуализация дыхательной системы лабораторных животных методом МРТ на ядрах фтора // Журнал радиоэлектроники, ИРЭ РАН. 2018. № 11. С. 1-11.
3. Ринк П.А. Магнитный резонанс в медицине. Основной учебник Европейского Форума по магнитному резонансу // *пер. с англ. под ред. В.Е.Синицына*. - М.: ГЭОТАР-МЕД. 2003. 247 с. URL: https://www.twirpx.com/file/525216/
4. Biederer J., et al. MRI of the lung (2/3). Why…when…how? // Insights Imaging. 2012. Vol.3. P.355-371.