

Литература

1. Федоров Л.А. Спектроскопия ЯМР органических аналитических реагентов и их комплексов с ионами металлов. М.: Наука. 1987. 294 с.
2. Каслина Н.А., Фадеева В.И., Рябокобылко Ю.С. // Коорд. химия. – 1980, Т.6, № 11. – С.1683 – 1687
3. Леви Дж., Нельсон Дж. Руководство по ядерному магнитному резонансу углерода-13 для химиков-органиков (пер. с англ.). М.: Мир. 1975. 290 с.

3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ.

Н.В.Анисимов, Ю.А.Пирогов

Центр магнитной томографии и спектроскопии МГУ им.М.В.Ломоносова

Объемная (3D) реконструкция часто применяется в магнитно-резонансной томографии (МРТ) для визуализации объектов, имеющих сложную пространственную структуру – сосуды головного мозга, желудочки мозга, структуры внутреннего уха и т.д. (рис. 1). Для построения используется набор 2D-изображений – преобразованная в графический формат информация о распределении интенсивности МР сигнала в пределах скапированной области. Практикуется также построение 3D-образа зоны поражения при развитии опухоли, гематомы и т.д. [1]. Большой практический интерес представляют 3D-реконструкции, проводимые по оболочкам мозга, с помощью которых визуализируются внешние анатомические структуры.

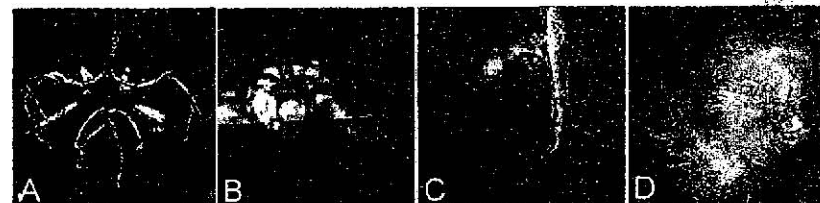


Рис. 1. Примеры объемной визуализации в диагностических МРТ-исследованиях: А – сосуды головного мозга, В - структуры внутреннего уха, С – невринома позвоночного канала, D – внешние анатомические структуры головы.

МРТ не ограничивается медико-диагностическими исследованиями. Метод легко адаптируется для исследования различных природных

объектов – растений, животных (рис. 2). Обычно считается, что необходимым условием получения 3D-реконструкции объекта с помощью протонной МРТ является наличие водорода в его химической структуре. Между тем, отсутствие протонов в объекте не является препятствием для 3D-реконструкции. В частности, можно заполнить воздушное пространство внутри (или вокруг) объекта веществом, содержащим резонирующие магнитные ядра, провести МРТ-регистрацию сигналов от этих ядер и использовать данные от такого сканирования для объемной реконструкции структур, заполненных указанным веществом. Такой прием применяется для исследования легких, где в качестве заполняющего вещества применяется сильно поляризованный инертный газ, вводимый в низкой (безопасной для пациента) концентрации [2].

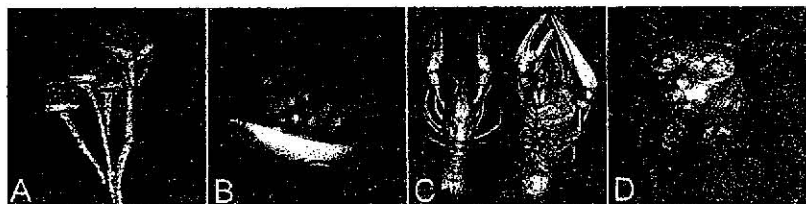


Рис. 2. 3D-реконструкции объектов живой природы: А – соевое растение, В – фрукты, С – речные раки, D – кот домашний.

На самом деле, круг объектов, для которых возможна 3D-реконструкция по данным МРТ, можно существенно расширить. МР-изображение от объектов, не содержащих протоны, можно получить, если на поверхности этого объекта адсорбировать вещество, содержащее протоны. Это можно сделать, если равномерно нанести на поверхность объекта маслянистую жидкость или разбрызгать тонким слоем эмульсию. На отдельных срезах МР-изображение объекта будет представлено тонкими яркими линиями, отображающими локализацию жировой среды, осевшей на границе невидимого для ЯМР объекта (рис. 3 А, В). Поскольку время

продольной релаксации жировой ткани короткое, то наиболее отчетливо эффект проявится на T1-взвешенных МР-изображениях. Полученной информации достаточно, чтобы провести сегментацию и, в конечном итоге, объемную реконструкцию объекта, после чего он может быть представлен под любым углом обзора, с разными вариантами оттенения поверхности, анимационными эффектами и т.д. Программы, с помощью которых эти преобразования можно сделать, например, ImageJ, имеются в свободном доступе - <http://rsb.info.nih.gov/ij/>. В чисто практическом плане проблемой является получение однородного слоя, равномерно заполняющего всю (как внешнюю, так и внутреннюю) поверхность объекта.

Другой способ выделения объекта связан с его погружением в воду. В этом случае информация о невидимом для ЯМР объекте будет представлена на МР-изображении в виде темных участков на белом фоне, обусловленном сигналом воды – рис. 3 С, D. Время продольной релаксации воды сравнительно большое – 1-2 с, поэтому для регистрации погруженного в воду объекта лучше использовать T2-взвешенные изображения. Для проведения 3D-реконструкции по стандартному алгоритму необходимо лишь провести инверсное преобразование шкалы яркости на МР-изображении.

На рис. 3 даны примеры 3D-реконструкций, полученных от объектов, сделанных из материалов, которые не содержат протоны. Это обычные бытовые предметы – стеклянная посуда и керамический чайник. Применено 3D-сканирование с цифровым разрешением – 1x1x1 мм. Время сканирования – от 7 до 20 мин. Небольшие артефакты вблизи зоны нанесенного рисунка связаны с наличием в краске металлических компонентов, вызывающих искажение РЧ поля. Эксперименты проводились на МР-томографе Tomikon S50 (Bruker). 3D-обработка проведена с помощью программ ParaVision™ v.1.0 (IRIX 5.3) и ImageJ 1.34s (MS Windows XP).

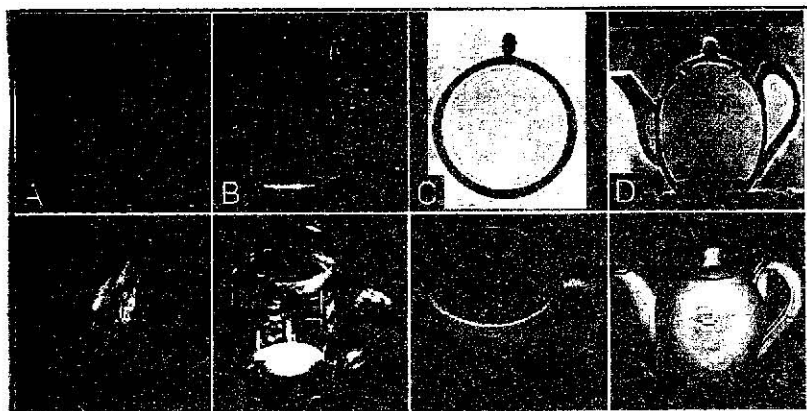


Рис. 3. Исходные МР-изображения (верхний ряд) и 3D-реконструкции (нижний ряд). На фрагментах А и В виден сигнал вазелина, нанесенного на поверхность регистрируемого объекта. Для 3D-реконструкции применено МР-преобразование, при котором лучше, чем для 3D-рендеринга, воспроизводится стеклянная поверхность. На фрагментах С и D присутствие регистрируемого объекта, погруженного в воду, выявляется по выпадению сигнала на МР-изображении. Объемная реконструкция сделана методом 3D-рендеринга.

Мы продемонстрировали возможность построения объемных МРТ-изображений для объектов как содержащих, так и не содержащих, протонов. Наличие металла в структуре объекта может создать проблемы для применения описанной методики. Качество изображений - сигнал/шум, пространственное разрешение, может быть повышено за счет увеличения времени накопления сигнала. Если для живых объектов это время приходится ограничивать, то для неживых объектов продолжительность исследования может быть задана сколь угодно большой.

Особо следует отметить, что за счет несложных графических манипуляций возможно построение произвольных сечений

реконструируемого объекта, что позволяет разглядывать объект как бы изнутри - рис. 4.

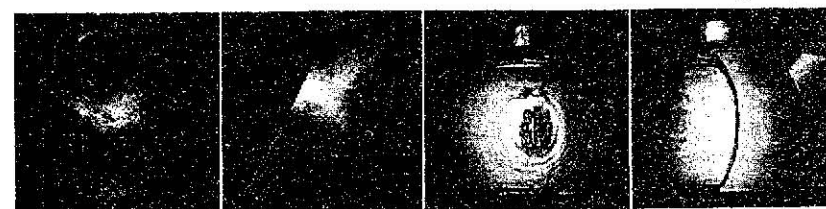


Рис. 4. Объемные изображения, воспроизводящие объекты (слева - стеклянная бусинка, справа - керамический чайник) с отсеченными частями.

В настоящее время нам неизвестен альтернативный способ получения аналогичных 3D-изображений, который сочетал бы простоту и доступность с большим арсеналом графических возможностей, если не считать абстракций, получаемых в результате компьютерного моделирования. Хорошая адаптация МРТ для 3D-визуализации является следствием того, что магнитное и РЧ поля свободно проникают в структуру исследуемого объекта, если, конечно, он не является металлическим. Этот метод является естественным дополнением к лучевым методам исследования, основанным на отражении зондирующего луча (оптические и микроволновые лазеры), а также на ослаблении проникающего луча (рентгеновский метод).

Таким образом, объектами 3D-визуализации методом МРТ могут быть не только объекты живой природы, но и предметы, вовсе не содержащие протоны. Необходимо лишь, чтобы они не содержали металл, не портились от нанесения на их поверхность эмульсии или от погружения в воду, а также имели приемлемые габариты, чтобы разместиться в зазоре магнита. Возможно, что наиболее востребованными объектами 3D-

визуализации окажутся предметы искусства (рис. 5), археологические и палеонтологические материалы, копии проектируемых изделий и др.



Рис. 5. 3D-визуализация статуэтки (Германия –XX век) с помощью МРТ-данных.

Авторы признательны В.В.Гладуну (физфак МГУ) за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Анисимов Н.В., Пирогов Ю.А., Губский Л.В., Гладун В.В. *Управление контрастом и информационные технологии в магнитно-резонансной томографии* // Изд-во МГУ (под ред. проф. Пирогова Ю.А.), М., 2005 г.

2. Timothy Chupp, Scott Swanson *Medical Imaging with Laser Polarized Noble Gases* // University of Michigan, Departments of Physics and Radiology, Jan. 28, 2000.

anisimovnv@mail.ru

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ЛИОТРОПНАЯ СРЕДА НА ОСНОВЕ *n*-АЛКИЛ-ПОЛИ(ЭТИЛЕН)ГЛИКОЛЯ ($C_{12}E_5$) И ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА ($(CD_3)_2SO$) ДЛЯ ЧАСТИЧНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ

В.В. Ключков^а, А.В. Ключков^а, К.М.Тейл^б, С.Бергер^б

^аКазанский государственный университет, Российская Федерация, 420008, Казань, ^бУниверситет Лейпцига, Федеративная Республика Германии, D-04103, Лейпциг

Аннотация. Предложена и описана лиотропная жидкокристаллическая среда на основе *n*-алкил-поли(этилен)гликоля ($C_{12}E_5$), диметилсульфоксида ($(CD_3)_2SO$) и воды, позволяющая частично ориентировать органические молекулы и измерять остаточные константы диполь-дипольного взаимодействия между магнитными ядрами. В работе представлены исследования лиотропных свойств методом ЯМР и определены границы (диаграммы) существования ламеллярных фаз (концентрация компонентов, температура раствора) предложенной среды; получены значения остаточных констант диполь-дипольного взаимодействия между магнитными ядрами ^{13}C и 1H для метионина (Met, 1) в этой среде.

Введение

Известно, что для соединений, растворенных в лиотропной жидкокристаллической среде, поступательное и вращательное движение молекул перестает быть изотропным, как результат соударения о магнитно-ориентированные молекулярные образования [1,2]. Эта анизотропия в движении молекул приводит к появлению “слабого” диполь-дипольного взаимодействия между магнитными ядрами, что проявляется в ЯМР