



Первый опыт визуализации позвоночника при нарушении статики с использованием магнитно-резонансной томографии всего тела

Н.В. Анисимов, Л.Ф. Пестерева, С.С. Корецкая, Ю.А. Пирогов

Учебно-научный межфакультетский и междисциплинарный центр магнитной томографии и спектроскопии МГУ им. М.В.Ломоносова

Visualization of Spine with Curvature by Use of Whole Body Magnetic Resonance Imaging

N.V. Anisimov, L.F. Pestereva, S.S. Koretskaya, Ju.A. Pirogov

Предложен метод обработки данных МРТ, позволяющий представить весь позвоночник или другой протяженный объект со сложной пространственной траекторией как целостную структуру. Метод сводится к проецированию объекта не на плоскую, а на искривленную специальным образом поверхность. Показано применение метода для исследования позвоночника с выраженным сколиозом на томографе, адаптированном для сканирования всего тела.

Ключевые слова: МРТ всего тела, сколиоз, позвоночник.

* * *

The method of MRI data processing which allows imaging a total spine or another lengthy object with a complex spatial trajectory as whole structure is offered. The method consists in reflecting of the object not on a flat surface but on the curved one. Application of the method for research of a spine with scoliosis on the tomograph adapted for whole body scanning is shown.

Kew words: whole body MRI, spine, scoliosis.

* * *

Введение

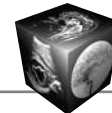
Магнитно-резонансная томография (МРТ) является эффективным методом диагностики заболе-

ваний позвоночника благодаря высокой информативности и безопасности исследования [1]. При МРТ пока проблематично получение объемных изображений позвоночного столба, подобно тому, как при рентгеновской компьютерной томографии. Это связано со сложностями в сегментации изображений, поскольку на обычно применяемых режимах сканирования не достигается достаточной разницы в контрасте между пространственно близкими объектами – позвонками и дисками, с одной стороны, и примыкающими тканями – с другой. Поэтому при МРТ в основном имеют дело с плоскими двухмерными изображениями.

В связи с этим при МРТ-исследовании позвоночника возникает проблема, когда его статика нарушена – при выраженном сколиозе и/или кифозе. В этом случае двухмерные изображения как позвоночного канала, так и позвоночного столба оказываются недостаточно информативными из-за того, что эти структуры на МР-изображении представлены разрозненными фрагментами. При стандартных методах обработки данных МРТ разрешить эту проблему сложно, поскольку при

Для корреспонденции: Анисимов Николай Викторович – 115191 Москва, ул. Татищева, д.13, кв.21. Тел: 8-916-203-4828 (моб.), +7(495)237-7734 (д.), +7(495)939-4820 (р.). Факс: +7(495)939-4820

Анисимов Николай Викторович – кандидат физ-мат наук, старший научный сотрудник, Центр магнитной томографии и спектроскопии МГУ имени М.В.Ломоносова. Пестерева Людмила Федоровна – к.м.н., врач-рентгенолог, ОАО "Национальный медицинский сервис". Корецкая Светлана Сергеевна – студентка, физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова. Пирогов Юрий Андреевич – доктор физ-мат наук, профессор, директор, Центр магнитной томографии и спектроскопии МГУ имени М.В.Ломоносова.



двумерном представлении объекта, имеющего выпуклую структуру, на плоской картине окажутся лишь те фрагменты объекта, которые пересекают плоскость отображения. Применение методов МРТ всего тела, устраняющих дефрагментацию в направлении верх–низ, представляется полезным [2], но они не решают проблемы переднезадней дефрагментации.

Цель настоящей работы – представить метод получения и обработки данных, с помощью которого можно получить МРТ-изображения как позвоночного канала, так и позвоночного столба в виде целостных структур не только в норме, но и при нарушении статики (сколиозе, кифозе).

Материал и методы

Обоснование метода

Впервые метод был описан Т. Vrtovec и соавт. в 2005 г. [3]. Его идея состоит в том, чтобы проецировать объект протяженной сложной формы, каким является позвоночник, не на плоскую, а на искривленную поверхность, кривизна которой соотнесена с геометрическими характеристиками исследуемого объекта. В частности, построить поверхности, проходящие параллельно (или перпендикулярно) структурным элементам, определяющим объект. Тогда по спроецированным на эти поверхности элементам объекта можно построить плоские образы. Но предварительно надо выделить в конструкции позвоночника структурные элементы, не только отображающие его анатомическую специфику, но и удобные для проецирования.

В позвоночном столбе, помимо стандартного разделения сверху вниз на шейный, грудной, поясничный отделы, можно ввести разделение на сегменты – передний, задний и центральный, которые отчетливо дифференцируются на МР-изображениях в сагиттальной проекции. В рамках указанной дифференциации позвоночный канал, в котором располагается спинной мозг с его оболочками и отходящими от него нервами, локализован в центральном сегменте. Передний сегмент позвоночника представлен телами позвонков и примыкающими к ним межпозвонковыми дисками, а задний – дужками и отростками позвонков.

Разделение позвоночника на переднезадние сегменты не является анатомическим стандартом, однако де-факто используется врачами-диагностами, поскольку патология каждого из сегментов имеет свою клиническую специфику. Особое значение для диагностики имеет состояние переднего и центрального сегментов. Поэтому предлагаемый метод визуализации позвоночника должен быть в первую очередь нацелен на то, чтобы отоб-

разить на плоском изображении в виде целостных структур именно данные сегменты позвоночника.

Общим для этих сегментов свойством, способствующим реализации поставленной задачи, является их топология – протянутые по некоей траектории цилиндроподобные структуры, обладающие осевой симметрией. В норме этой траекторией является кривая, извитость которой (физиологический изгиб) выявляется на сагиттальной, но не просматривается на коронарной проекции. При сколиозе извитость определяется как на сагиттальной, так и на коронарной проекции. Поэтому поверхности, на которых сегментные структуры должны быть отражены (спроецированы) в наиболее информативных ракурсах, должны проходить параллельно или перпендикулярно линиям, соединяющих осевые центры переднего и центрального сегментов. Наибольший интерес для диагностики представляют три поверхности (проекции): сагиттальная, охватывающая одновременно оба осевых центра – передний и центральный сегменты по всей длине позвоночника, и перпендикулярные ей коронарные. Одна из коронарных проекций должна пройти через осевой центр позвоночного канала, а другая – через осевые центры всех позвонков. Осевые центры можно определить на аксиальной проекции, причем их положение мало зависит от угла, под которым ее пересекают цилиндроподобные элементы – тела позвонков и участки позвоночного канала.

На сагиттальной проекции можно оценить состояние позвоночного канала, позвонков, дисков, взаимодействие переднего и центрального сегментов. На коронарной проекции можно отобразить только один из сегментов, зато можно оценить степень сколиотической деформации и состояние отходящих нервов.

Хотя геометрические пропорции визуализируемых структур могут быть несколько искажены, однако для диагностики это не столь существенно, поскольку топологические особенности указанных структур останутся неизменными. В частности, если у патологического образования в позвонке или позвоночном канале размытый контур, то при его визуализации в искривленном пространстве он не приобретет четкую границу.

Таким образом, задача сводится к построению искривленных поверхностей, параметры которых соотнесены с траекторией сегмента позвоночника, представляющего интерес для проецирования.

Описание метода

Реализация метода сводится к тому, чтобы перемещениями и поворотами аксиальных изображений создать из них упорядоченный набор, который

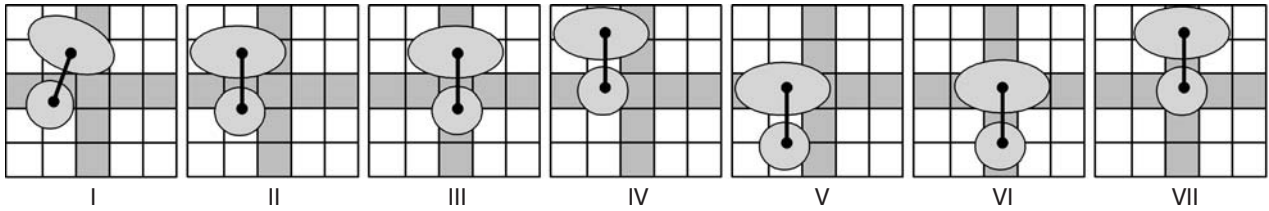


Рис. 1. Схема преобразований МР-изображения в аксиальной проекции. Пояснения в тексте.

можно использовать для построения изображений в ортогональных проекциях. Фактически же манипуляции с аксиальным изображением эквивалентны эмуляции локального искривления пространства на соответствующем уровне. Важно, чтобы управляемое искривление пространства от уровня к уровню приводило в конечном итоге к выпрямлению отображаемой структуры (позвоночника) в ортогональной проекции.

Итак, необходимым этапом предлагаемого метода является получение изображений в аксиальной проекции по всей длине позвоночника. Предполагается, что применяется обычное положение пациента – на спине или на животе. Отметим, что в реальном диагностическом исследовании не всегда ставится задача получить именно аксиальные срезы. Однако их можно получить путем цифровых операций с данными от сагиттальных или коронарных срезов.

Далее реализация метода будет показана применительно к визуализации (причем как совместной, так и раздельной) переднего и центрального сегментов. Что касается заднего сегмента, то каких-либо особенностей в его визуализации по сравнению с передним нет. Схема реализации метода отображена на рис. 1. На фрагменте I показано исходное МРТ-изображение позвоночника в аксиальной проекции – окружность отображает срез позвоночного канала, а эллипс – срез позвонка или межпозвоночного диска; отмечены осевые центры и соединяющая их линия. Сетка отображает цифровое разделение изображения по строкам и столбцам. Центральные координатные линии – горизонтальная (строка) и вертикальная (столбец) составлены из серых клеток.

В качестве первого шага каждое исходное изображение в аксиальной проекции поворачивают относительно точки, лежащей посередине между осевыми центрами, так, чтобы соединяющая линия была ориентирована вертикально (см. рис. 1, II).

Затем строятся три основных набора новых изображений. Для построения первого набора изображение дополнительно перемещают параллельно вертикали так, чтобы соединяющая линия

была расположена на центральной вертикали (см. рис. 1, III).

Для получения второго и третьего наборов изображений дополнительные перемещения производятся перпендикулярно вертикали, при этом в результате на центральной горизонтали изображения находится соответственно осевой центр позвоночного канала (центрального сегмента) – рис. 1, IV или осевой центр позвонка (переднего сегмента) – рис. 1, V. Комбинация перемещений, проводимых для первого и второго либо первого и третьего наборов, приводит к центрованным изображениям (см. рис. 1, VI, VII).

После этого все полученные изображения переводят в цифровой формат, основанный на разделении изображений по строкам и столбцам. Столбцы от изображений первого набора используют для построчного построения сагиттальных срезов, а строки от изображений второго и третьего наборов – коронарных срезов.

Пациенты с нарушенной статикой были выявлены в рамках МРТ-исследований всего тела, проводимых с целью измерения объема жировой ткани в теле человека [4]. Специальный отбор пациентов (всего более 20 человек) не проводился. Выявленный сколиоз был обнаружен у 2 обследованных (мужчина 21 года и женщина 22 лет). Сами пациенты рассматривали свое состояние как стабильное. Данные этих пациентов обрабатывались по вышеописанной методике. Исходным материалом были МРТ-изображения в коронарной проекции, которые конвертировались в аксиальную проекцию.

Результаты и их обсуждение

Результаты описанных выше построений представлены на рис. 2. На фрагментах а, б даны изображения, получаемые при обычной обработке МРТ-данных, а на остальных фрагментах – по предлагаемой методике. Можно отметить, что на модифицированной сагиттальной проекции изображение выглядит так, как если бы кифоз был сохранен, а сколиоз вовсе исчез (см. рис. 2, в). На коронарной проекции соответственно изобраа-

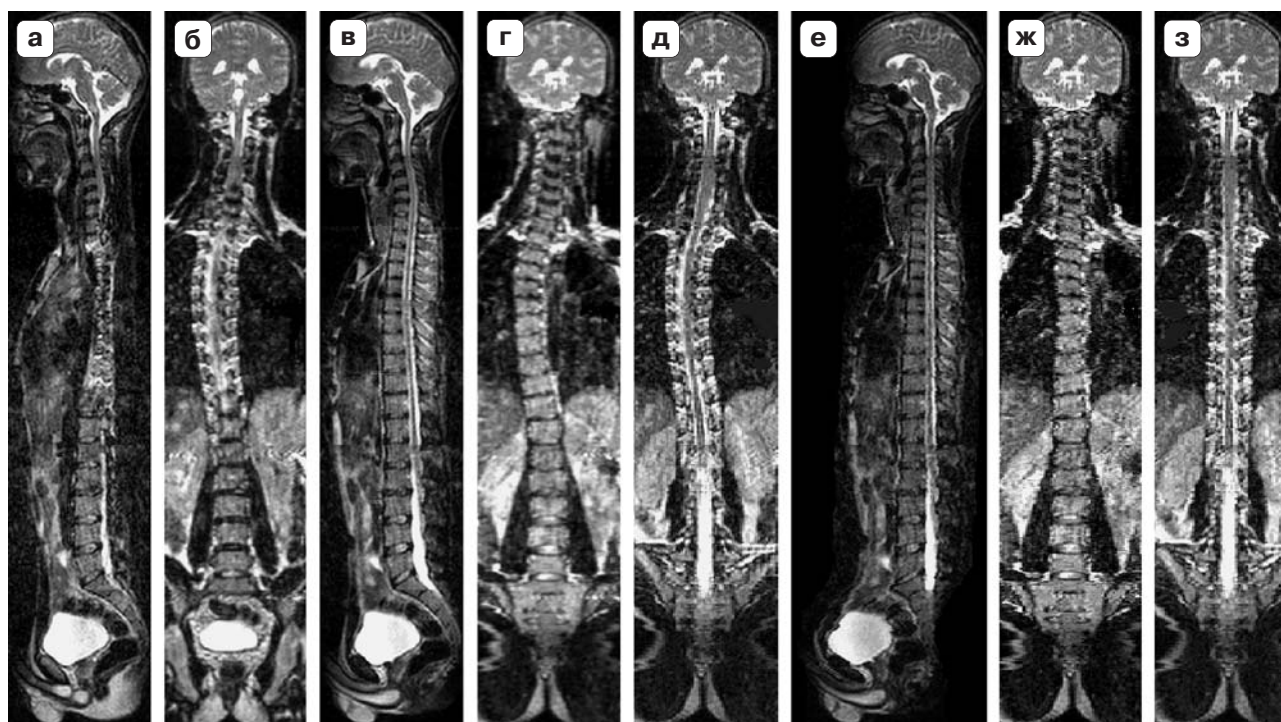
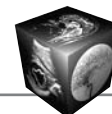


Рис.2. T2-взвешенные изображения пациента 21 года со сколиозом, получаемые при разных методах обработки данных. а, б – традиционный, в–д – предлагаемый, е–з – предлагаемый метод с комбинированным перемещением аксиальных изображений (“выпрямление” позвоночника).

жение выглядит так, как если бы кифоза не было, а сколиоз сохранен (см. рис. 2, г, д).

Комбинация перемещений аксиального изображения в обоих ортогональных направлениях позволяет перевести один из осевых центров в центр аксиального изображения. После преобразования комбинированных изображений в сагитальную и коронарную проекции получаем изображения, на которых позвоночник выглядит как при выраженном лордозе (см. рис. 2, е–з).

Эксперименты проводились на томографе 0,5 Тл Tomikon S50 (Bruker). МР-сканирование выполнялось с разрешением $2 \times 2 \times 2$ мм по зоне размером $54 \times 20 \times 20$ см. Затем платформа с пациентом перемещалась на 20 см и сканировался следующий участок. Процедура повторялась до тех пор, пока через зону сканирования не проходило все тело пациента. T1- и T2- взвешенные изображения, получаемые в коронарной проекции, “склеивались” для визуализации всего тела, а затем данные с помощью специализированной программы конвертировались для представления в аксиальной проекции [4].

Поскольку с помощью сканирования всего тела предполагалось решать медицинские задачи, то проводилось тестирование наиболее значимых для диагностики режимов. На рис. 3 представлены

МР-изображения от нескольких таких режимов. Хорошее качество получаемых изображений – обычно с разрешением 2×2 мм и толщиной срезов 6–10 мм за приемлемое время – 20–30 мин дает основания считать, что сканирование всего тела может быть востребовано не только для анализа позвоночника, но и использовано при других диагностических исследованиях.

Как и предполагалось, на сагиттальной проекции просматривается весь позвоночный канал, позвонки, диски, хорошо определяется взаимодействие переднего и центрального сегментов. На коронарной проекции сегменты отображены по отдельности и можно оценить степень сколиотической деформации, а при более высоком пространственном разрешении – состояние отходящих нервов. Существенных искажений геометрических пропорций не отмечается.

Диагностическое значение реконструкций, в которых представлен “выпрямленный” позвоночник, пока неясно, но их можно использовать для тестирования предлагаемого метода.

Операции, проводимые над изображениями в аксиальной проекции по предлагаемому методу – нахождение центров, повороты и перемещения, легко воспроизводимы, мало зависят от субъективного фактора и в принципе могут быть автома-

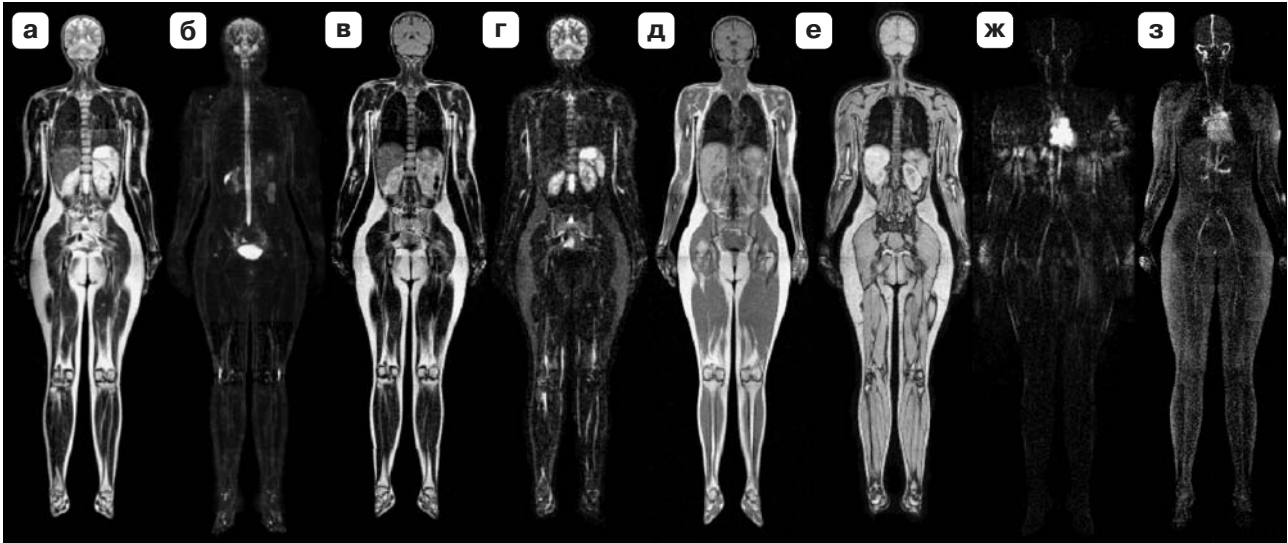


Рис. 3. МР-изображения всего тела для нормального пациента 22 лет, полученные при разных режимах сканирования. Параметры импульсных последовательностей: а – T2 (TR/TE=5,0/0,1 с), б – MYUR (TR/TE=6,0/1,0 с), в – FLAIR (TI/TR/TE=1,3/5,0/0,1 с), г – STIR (TI/TR/TE=0,08/5,0/0,1 с), д – T1-SE (TR/TE=500/7 мс), е – T1-GE (TR/TE=500/7 мс), ж – ангиография фазово-контрастная, з – ангиография времяпролетная (2D-TOF).

тизированы. Хотя операции можно проделать и с помощью обычного графического редактора, однако из-за необходимости обработки очень большого количества изображений целесообразнее использовать специализированную программу.

Отметим, что предлагаемый алгоритм обработки МРТ-данных может быть адаптирован для визуализации не только позвоночника, но и других протяженных структур со сложной пространственной траекторией, например зрительного нерва.

Заключение

Предлагаемый метод обработки данных МРТ, с помощью которого возможна визуализация сегментов позвоночника в виде целостных объектов, может быть полезным дополнением к традиционному исследованию, особенно в случае нарушения статики – сколиозе, кифозе. Исследование нормального позвоночника также может стать предметом анализа, поскольку представить сегменты позвоночника в коронарной проекции как целостные объекты нельзя при традиционных методах обработки данных МРТ.

Благодаря возможности представить структуры позвоночника на всем его протяжении в виде

целостных структур создаются благоприятные условия для точной оценки параметров сколиотической или кифозной деформации, а также определения наиболее проблемных участков как в позвоночном канале, так и в позвоночном столбе.

Авторы признательны А.А. Баеву, Д.В. Буренчеву, Л.В. Губскому, Е.Э. Дубровину за полезные обсуждения, а М.В. Гуляеву, Д.И. Беляеву, Е.В. Верховглазовой, И.А. Аполонской – за помощь в проведении экспериментов.

Список литературы

1. Grossman C.B. Magnetic resonance imaging and computed tomography of the head and spine. 2nd ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 1996.
2. Schmitz A., Jaeger U.E., Koenig R. et al. A new MRI technique for imaging scoliosis in the sagittal plane // Eur. Spine J. 2001. V. 10. P. 114–117.
3. Vrtovec T. et al. Automated curved planar reformation of 3D spine images // Phys. Med. Biol. 2005. V. 50. P. 4527–4540.
4. Анисимов Н.В., Гуляев М.В., Корецкая С.С. и др. Магнитно-резонансная томография всего тела – техническая реализация и диагностические применения // Альманах клинич. мед. 2008. Т. 17 (1). С. 143–146.