

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Помозовой Ксении Александровны на тему: «Диффузионно-взвешенные изображения магнитно-резонансной томографии в радиотерапии опухолей головного мозга» по специальности 1.5.1– «Радиобиология»

Магнитно-резонансная томография с контрастом по (само)диффузии молекул воды очень информативный метод исследования (далее ДМРТ). Среднеквадратичное смещение молекул воды за время регистрации ДМРТ изображений того же порядка величины, что и размеры клеток, и поэтому этот метод очень чувствителен к изменениям микроструктуры биологических тканей, в том числе к демиелинизирующим процессам в головном мозге, повреждениям клеток, различным новообразованиям и другим изменениям структуры живых тканей. Установлено, что измеряемый коэффициент диффузии (далее ИКД) существенно отличается для многих новообразований и что он меняется в процессе радиотерапии. С другой стороны, измерения ДМРТ очень чувствительны к артефактам связанными с любого типа движениями в исследуемой области. Чтобы их избежать, используют методы МРТ за одно возбуждение, обычно эхо-планарные методы, МРТ изображения которых имеют существенно меньшее отношение сигнал-шум и подвержены артефактам, связанным с неоднородностями магнитного поля в исследуемой зоне и возмущениям магнитного поля, создаваемыми быстро-переключающимися градиентами (токи Фуко). Результирующие геометрические искажения МРТ изображений затрудняют интерпретацию получаемых результатов и могут быть неприемлемы в тех случаях, где важна локализация с высокой точностью. В связи с вышеперечисленным, данная диссертационная работа весьма своевременна и актуальна. Цель и задачи работы связаны с разработкой «инструментов», позволяющих компенсировать

погрешности измерений ДМРТ эхо-планарными методами на клинических МРТ сканерах. Разработанные в данной работе алгоритмы шумоподавления, коррекции пространственных искажений, коррекции искажения интенсивности и сегментации изображений головного мозга позволят провести дополнительную постобработку полученных эхо-планарных ДВ МРТ изображений, что, с одной стороны, позволяет скорректировать артефакты изображений, с другой, хорошо интегрируется с программным обеспечением медицинских МРТ сканеров ведущих мировых производителей.

Достоверность представленных в диссертационной работе результатов не вызывает сомнений, все необходимые детали обсуждаемых методов подробно изложены в диссертационной работе, что позволяет их проанализировать и воспроизвести, использованные подходы применимы для решения поставленных задач и полученные результаты не противоречат базовым принципам. Кроме того, основные результаты данной работы опубликованы в профильных высокорейтинговых журналах и прошли апробацию на крупнейших по этому профилю всероссийских и международных научных конференциях по данной специальности.

Работа хорошо структурирована и написана понятным языком. Разработанные в данной работе алгоритмы обработки диффузионно-взвешенных изображений, включая предложенные алгоритмы шумоподавления и коррекции пространственных искажений и искажений интенсивности представляют собой целостный комплекс для анализа и обработки данных МРТ по диффузии. Благодаря тому, что автору удалось решить проблему, связанную с искажениями эхо-планарных изображений, открываются новые возможности применения методов МРТ по диффузии в медицине, поскольку неконтролируемые геометрические искажения были одним из основных факторов, существенно ограничивавших использование метода в клинической практике. Следует отметить, что данный комплекс методов обработки данных универсален и может быть внедрен для обработки

ДВ МРТ данных, полученных на МРТ сканерах любых производителей и моделей. Потенциал применимости данного подхода не ограничивается только радиотерапией, он будет весьма ценен для планирования нейрохирургических операций, исследований работы мозга методами функциональной МРТ и многих других приложений МРТ для диагностики и научных исследований.

Также хочу отметить ценность разработанного метода коррекции неоднородности интенсивности, связанной с неоднородностью распределения РЧ поля В1 в измеряемом объеме. Такая неоднородность поля В1 растёт с ростом постоянного поля магнита В0, и становится очень заметной для томографов с 7 Тесла и выше. Поскольку 7 Тл МРТ уже все шире и шире применяется в клинической практике, а количество сверхвысокопольных МРТ аппаратов постоянно увеличивается, метод коррекции неоднородности В1 будет еще более востребован в будущем.

Однако есть некоторые замечания и вопросы по работе:

Предложенный алгоритм шумоподавления на основе анизотропной фильтрации весьма интересен и оригинален. Однако почему он не сравнивается с другими алгоритмами фильтрации? Например, с широко используемым Гауссовым фильтром.

Каким образом проводилась верификация алгоритма коррекции пространственных искажений? Такую верификацию можно было провести на фантоме с известными геометрическими структурами, а пространственные искажения можно было бы смоделировать за счет пространственной вариации магнитной восприимчивости.

Представленные результаты коррекции искажений и корегистрации с Т2-взвешенными изображениями высокого разрешения впечатляют. Несомненно, метод можно использовать и для коррекции эхо-планарных изображений, измеряемых в исследованиях по функциональной МРТ. Возможно ли применить этот метод для корректировки искажений, вызванных

нелинейными компонентами остаточных токов Фуко от диффузионно-взвешивающих градиентных импульсов при измерениях типа HARDI, Q-Ball и подобным? По нашим оценкам такие искажения, зависящие от направления диффузионно-кодирующего градиента, могут приводить к заметным ошибкам последующей трактографии аксональных путей.

Стр. 67. Рис. 22. «Пример ... диффузионно взвешенных изображений...» - приведенные изображения имеют T2-контраст.

Стр. 72. Рис. 24. «...а, в – пространственное распределение измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) с $b = 1000 \text{ с/мм}^2$ » - если представлена карта ИКД, то зачем упоминается б-фактор? ИКД может зависеть от б-фактора, но на основании изображения только с одним б-фактором ИКД не рассчитать. Зачем показаны стрелки на рисунке, если ни в тексте, ни в подписи к рисунку они не упоминаются?

Стр. 74. Рис. 26. «Сравнение T1ВИ и ДВИ, подверженного пространственным искажениям...» Приведенное ДВИ таковым не является, изображение взвешено по T2. В контексте предложенного алгоритма коррекции пространственных искажений интересно было бы увидеть, как он работает с диффузионно взвешенными изображениями, полученными с б-фактором 1000 с/мм^2 и выше.

Стр. 140 диссертации «Также в ходе работы было выявлено, что реализация подобного инструмента возможна только при использовании исследований, выполненных на одном и том же МР-томографе с использованием одного и того же протокола сканирования (при этом система должна быть откалибрована)». Прошу пояснить о какой калибровке идет речь и как она должна проводиться. Возможно ли провести такую калибровку для корректного сопоставления результатов измерений на различных МРТ сканерах?

В целом, работа очень хорошая, сделана на высоком профессиональном уровне и решает актуальные научные и практические задачи планирования и

мониторинга радиотерапии опухолей головного мозга. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна не вызывают сомнений. Несмотря на ряд указанных выше замечаний, они не умаляют значимости диссертационного исследования.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.5.1– «Радиобиология» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Помозова Ксения Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.5.1– «Радиобиология».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры медицинской физики Института Физики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Ильясов Камиль Ахатович



02 мая 2023 г.

Контактные данные: