

УДК 616.711:004.8

Проблематика диагностики дегенеративных заболеваний позвоночника методом магнитно-резонансной томографии в задачах компьютерного анализа и поддержки принятия хирургических решений

Х. Аббуд¹✉, А.Ю. Гончарова², Л.А. Титова², В.Л. Бурковский¹

¹Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

²Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия

В статье анализируются основные проблемы диагностики дегенеративных заболеваний позвоночника методом магнитно-резонансной томографии на примере поясничного стеноза. Показано, что, несмотря на высокую информативность метода, интерпретация изображений остаётся субъективной, зависит от опыта врача и не всегда соответствует клинической картине. Рассмотрены количественные методы оценки, в частности определение площади поперечного сечения дурального мешка, повышающие объективность диагностики, но не обеспечивающие полного соответствия клиническим проявлениям заболевания. Обоснована необходимость применения методов компьютерного анализа изображений и систем искусственного интеллекта для повышения точности диагностики и поддержки принятия хирургических решений.

Ключевые слова: дегенеративные заболевания позвоночника, магнитно-резонансная томография, поясничный стеноз, искусственный интеллект, компьютерный анализ изображений, количественная оценка, поддержка принятия хирургических решений.

Challenges in Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Degenerative Spinal Diseases for Computer-Aided Analysis and Surgical Decision Support

Kh. Abboud¹✉, A.Yu. Goncharova², L.A. Titova², V.L. Burkovskiy¹

¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

²Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russia

This article analyzes the main challenges in diagnosing degenerative spinal diseases using magnetic resonance imaging, with lumbar spinal stenosis as an example. Despite the high diagnostic value of the method, image interpretation remains subjective, depends on the physician's experience, and does not always correspond to the clinical presentation. Quantitative assessment methods are considered, particularly measurement of the cross-sectional area of the dural sac, which improves diagnostic objectivity but does not fully reflect the clinical manifestations of the disease. The need for computer image analysis and artificial intelligence systems to improve diagnostic accuracy and support surgical decision-making is substantiated.

Keywords: degenerative spinal diseases, magnetic resonance imaging, lumbar spinal stenosis, artificial intelligence, computer image analysis, quantitative assessment, surgical decision support.

Дегенеративные заболевания позвоночника относятся к числу наиболее значимых причин хронической боли в спине, ограничения физической активности и снижения качества жизни. Особое место среди них занимает поясничный стеноз

позвоночного канала, распространённость которого возрастает с возрастом, а клиническая и социально-экономическая нагрузка остаётся высокой. В популяционных исследованиях показано, что лучевые признаки поясничного стеноза встречаются часто, однако их клиническое значение неоднозначно, поскольку выраженность изменений на МРТ не всегда соответствует наличию жалоб и функциональных нарушений [1, 2].

Магнитно-резонансная томография в настоящее время является основным методом визуализации при оценке дегенеративных изменений поясничного отдела позвоночника. Она обеспечивает высокую контрастность мягких тканей и позволяет оценивать межпозвонковые диски, дуральный мешок, элементы фасеточных суставов, жёлтые связки и степень сужения позвоночного канала. Вместе с тем интерпретация МРТ-изображений остаётся в значительной степени субъективной, зависит от опыта врача и связана с межнаблюдательной вариабельностью, а ручная оценка по существующим шкалам требует времени и не всегда устраняет расхождения между специалистами [3, 4].

Цель настоящей статьи – проанализировать основные проблемы МРТ-диагностики дегенеративных заболеваний позвоночника, рассмотреть возможности количественной оценки стеноза по данным МРТ и обосновать перспективность разработки интеллектуальных методов компьютерного анализа изображений для повышения объективности диагностики и поддержки принятия хирургических решений.

Дегенеративные заболевания позвоночника

Дегенеративные заболевания позвоночника включают дегенерацию межпозвонковых дисков, протрузии и грыжи дисков, гипертрофию фасеточных суставов, утолщение жёлтых связок и вторичное сужение позвоночного канала. Эти изменения могут формировать как локальный болевой синдром, так и клиническую картину поясничного стеноза с болью, онемением, нейрогенной перемежающейся хромотой и ограничением повседневной активности [1, 2].

Для клинической практики принципиально важно, что дегенеративные изменения позвоночника развиваются постепенно и часто выявляются у пациентов пожилого возраста. При этом наличие морфологических изменений ещё не означает обязательного наличия клинически выраженного заболевания. По данным исследования Wakayama Spine Study, даже при сходной степени по данным визуализации клинические проявления могут существенно различаться, а у части пациентов симптомы определяются не только анатомическим сужением, но и сопутствующими факторами, включая метаболические и сосудистые [2].

Влияние дегенеративных заболеваний позвоночника на качество жизни также неоднозначно. В одном из популяционных исследований тяжёлый лучевой стеноз был ассоциирован с болью в пояснице, но не сопровождался статистически значимым ухудшением показателей индекса нетрудоспособности Освестри (Oswestry Disability Index, ODI), что ещё раз указывает на сложный и многофакторный характер клинической картины [1].

МРТ-диагностика дегенеративных заболеваний позвоночника

МРТ является ведущим инструментом диагностики дегенеративных заболеваний позвоночника благодаря высокой информативности в отношении мягкотканых структур. Особенно важны T2-взвешенные изображения, на которых хорошо

визуализируются позвоночный канал, дуральный мешок, межпозвонковые диски и признаки компрессии нервных структур [2, 5].

К основным диагностическим МРТ-признакам относятся снижение высоты и дегенерация диска, протрузии и грыжи, уменьшение площади дурального мешка, сужение центрального канала, латеральных рецессусов и межпозвонковых отверстий. В популяционных исследованиях тяжесть стеноза по данным визуализации часто оценивается по качественным шкалам, основанным на степени уменьшения площади нормального просвета позвоночного канала [2]. Одновременно с этим в ряде работ применяется количественный подход, где одним из ключевых параметров выступает минимальная площадь поперечного сечения дурального мешка [5, 6].

Несмотря на очевидные преимущества, МРТ остаётся методом, результаты которого нуждаются в клинической интерпретации. Само наличие анатомических изменений не всегда позволяет однозначно судить о тяжести симптомов, прогнозе течения заболевания и необходимости хирургического вмешательства. Именно поэтому МРТ следует рассматривать не как самостоятельный, а как ключевой компонент комплексной оценки пациента.

Проблемы МРТ-диагностики

Одной из главных проблем МРТ-диагностики является сложность интерпретации изображений. При поясничном стенозе тяжесть изменений может оцениваться по различным шкалам и критериям, однако даже стандартизированные системы не устраняют полностью межнаблюдательную вариабельность. В обзоре по искусственному интеллекту (ИИ) для сегментации и классификации при поясничном стенозе отмечается, что существующие системы оценки демонстрируют лишь диапазон от «удовлетворительной» до «отличной» воспроизводимости, а ручная оценка остаётся трудоёмкой и не всегда удобной для повседневной клинической практики [3].

Вторая проблема связана с зависимостью результатов от опыта врача. В систематическом обзоре по ИИ-ассистированной МРТ-диагностике дегенеративной болезни диска подчёркивается, что интерпретация МРТ-признаков остаётся субъективной и чувствительной к квалификации специалиста, что способно приводить к различиям в диагностических выводах и, как следствие, в лечебной тактике [4].

Третья проблема заключается в несоответствии между МРТ-признаками и клинической картиной. Мета-анализ Brinjikji и соавт. показал, что ряд признаков дегенерации чаще встречается у пациентов с болью в пояснице, однако часть изменений выявляется и у бессимптомных лиц. Более того, по данным этого анализа центральный стеноз канала сам по себе не показал убедимой ассоциации с наличием боли, что ограничивает диагностическую ценность статической визуализации при изолированной оценке [7]. Популяционные исследования также подтверждают, что выраженность стеноза по МРТ не всегда сопровождается ухудшением качества жизни, а значительная часть лиц с тяжёлыми лучевыми изменениями остаётся малосимптомной [1, 2].

Наконец, существенным ограничением является сама визуальная, преимущественно качественная оценка изображений. Она не всегда позволяет надёжно выделить те признаки, которые действительно определяют симптоматику конкретного пациента и могут влиять на решение о хирургическом лечении. Это особенно важно в условиях, когда необходимость в хирургическом вмешательстве определяется не только по данным МРТ, но и по сочетанию визуализационных, клинических и функциональных характеристик [2, 3].

Подходы к количественной оценке состояния позвоночного канала

Одним из путей повышения объективности диагностики является использование количественных показателей. Наиболее показательный из них – площадь поперечного сечения дурального мешка. В исследовании Iwahashi и соавт. минимальная площадь дурального мешка оценивалась по аксиальным T2-взвешенным изображениям, и было показано, что её выраженное уменьшение статистически значимо связано с наличием боли в пояснице после поправки на возраст, пол, индекс массы тела и другие факторы [5].

Вместе с тем количественные параметры не решают проблему полностью. Даже при наличии статистически значимой связи между уменьшением площади дурального мешка и болью в пояснице сама боль остаётся многофакторным симптомом, зависящим также от дегенерации дисков, фасеточных изменений, мышечно-тонического компонента и, вероятно, психосоциальных факторов [5]. Аналогичный вывод следует из исследования Arita и соавт., где более тяжёлый лучевой стеноз коррелировал с болью в пояснице, но не с общим снижением качества жизни по ODI [1].

Дополнительный интерес представляют работы, в которых площадь дурального мешка рассматривается не только в связи с болью, но и в связи с другими клиническими проявлениями. Так, в исследовании Oyama и соавт. показано, что при минимальной площади дурального мешка менее 69 мм² вероятность признаков нарушения функции тазовых органов возрастает, а сочетанная оценка этого параметра с возрастом и интенсивностью боли в пояснице оказывается информативнее, чем использование одного лишь морфометрического показателя [6]. Это подтверждает, что даже количественная МРТ-оценка должна интерпретироваться в составе многопараметрической модели, а не изолированно.

Следовательно, количественный анализ имеет важное значение как шаг к объективизации диагностики, однако его ограничения очевидны. Нужны подходы, способные одновременно учитывать множество признаков изображения, автоматически выделять значимые паттерны и связывать их с клинической симптоматикой. Именно здесь возникает запрос на методы компьютерного анализа.

Перспективы компьютерного анализа МРТ-изображений

Современные исследования показывают, что системы искусственного интеллекта способны решать задачи сегментации, классификации и количественного анализа МРТ-изображений поясничного отдела позвоночника с высокой точностью. В систематическом обзоре Verheijen и соавт. проанализированы 27 работ по алгоритмам для поясничного стеноза; авторы отмечают, что модели глубокого обучения в среднем превосходят классические методы машинного обучения, а наиболее успешными для сегментации оказались U-Net-подобные архитектуры, тогда как для классификации хорошие результаты показывают U-Net и сверточные нейронные сети [3].

Сходные выводы представлены и в обзоре Liawtungrueang и соавт., посвящённом ИИ-ассистированной МРТ-диагностике дегенеративной болезни диска. В нём отмечено, что по различным диагностическим задачам – от выявления дегенерации и грыж дисков до классификации патологических изменений – модели ИИ демонстрировали точность, чувствительность и специфичность на уровне примерно от 71,5% до 99%. Авторы подчёркивают, что такие системы способны уменьшать субъективность традиционной интерпретации МРТ, стандартизировать анализ изображений и повышать эффективность клинического рабочего процесса [4].

Наиболее перспективными направлениями компьютерного анализа являются автоматизация измерений, сегментация анатомических структур, автоматическая градация степени стеноза и выявление совокупности признаков, потенциально значимых для выбора тактики лечения. Особенно важна не просто автоматизация описания изображения, а построение систем поддержки принятия решений, способных интегрировать морфометрические данные, классификационные результаты и клинический контекст. Такой подход представляется наиболее оправданным в ситуациях, когда вопрос о хирургическом лечении не может быть решён на основании одного визуального признака [3, 4].

В то же время внедрение интеллектуальных систем в клиническую практику требует осторожности. Оба современных обзора подчёркивают проблему гетерогенности наборов данных, различий в метриках оценки и ограниченного числа внешне валидированных моделей. Следовательно, дальнейшее развитие таких систем должно опираться на стандартизированные протоколы, открытые или хорошо валидированные наборы данных, сопоставимые метрики качества и независимую внешнюю проверку обобщающей способности моделей [3, 4].

Заключение

Таким образом, МРТ остаётся основным методом визуализации при дегенеративных заболеваниях позвоночника, однако её диагностические возможности ограничены рядом факторов. К числу основных проблем относятся субъективность интерпретации, зависимость от опыта врача, неполное соответствие между морфологическими изменениями и клинической симптоматикой, а также ограниченность чисто визуального качественного анализа [3, 4, 7].

Количественные показатели, в частности площадь поперечного сечения дурального мешка, позволяют повысить объективность оценки и выявляют статистически значимые связи с болевым синдромом и рядом других клинических проявлений. Однако даже они не обеспечивают полноценного решения диагностической задачи при изолированном использовании, поскольку дегенеративные заболевания позвоночника имеют многофакторную природу [5, 6].

В связи с этим перспективным направлением представляется разработка интеллектуальных систем компьютерного анализа МРТ-изображений, способных автоматизировать сегментацию и измерения, уменьшить вариабельность интерпретации и обеспечить более объективную поддержку принятия хирургических решений. При дальнейшей валидации и стандартизации такие системы могут стать важным инструментом, связывающим результаты визуализации с клинической практикой и повышающим качество диагностики дегенеративных заболеваний позвоночника [3, 4].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Is radiographic lumbar spinal stenosis associated with the quality of life?: The Wakayama Spine Study / S. Arita, Y. Ishimoto, H. Hashizume [et al.] // PLoS ONE. – 2022. – Vol. 17, No. 2. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263930> (дата обращения: 01.06.2026).

2. Factors associated with lumbar spinal stenosis in a large-scale, population-based cohort: The Wakayama Spine Study / T. Maeda, H. Hashizume, N. Yoshimura [et al.] // PLoS ONE. – 2018. – Vol. 13, No. 7. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200208> (дата обращения: 01.06.2026).

3. Artificial intelligence for segmentation and classification in lumbar spinal stenosis: an overview of current methods / E.J.A. Verheijen, T. Kapogiannis, D. Munteh [et al.] // European Spine Journal. – 2025. – Vol. 34, No. 3. – P. 1146–1155.

4. Artificial Intelligence-Assisted MRI Diagnosis in Lumbar Degenerative Disc Disease: A Systematic Review / W. Liawrungrueang, J.-B. Park, W. Chalamjiak [et al.] // Global Spine Journal. – 2024. – Vol. 15, No. 2. – P. 1405–1418.

5. The Association between the Cross-Sectional Area of the Dural Sac and Low Back Pain in a Large Population: The Wakayama Spine Study / H. Iwahashi, N. Yoshimura, H. Hashizume [et al.] // PLoS ONE. – 2016. – Vol. 11, No. 8. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160002> (дата обращения: 01.06.2026).

6. Relationship between the cross-sectional area of the lumbar dural sac and lower urinary tract symptoms: A population-based cross-sectional study / T. Oyama, K. Wada, K. Koyama [et al.] // PLoS ONE. – 2022. – Vol. 17, No. 8. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271479> (дата обращения: 01.06.2026).

7. MRI Findings of Disc Degeneration are More Prevalent in Adults with Low Back Pain than in Asymptomatic Controls: A Systematic Review and Meta-Analysis / W. Brinjikji, F.E. Diehn, J.G. Jarvik [et al.] // American Journal of Neuroradiology. – 2015. – Vol. 36, No. 12. – P. 2394–2399.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аббуд Халиль, аспирант, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

e-mail: khalil.ad.1998.98@gmail.com

Гончарова Анна Юрьевна, ассистент кафедры инструментальной диагностики, Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия.

e-mail: radiology@vrngmu.ru

Титова Лилия Александровна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой инструментальной диагностики, Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия.

e-mail: radiology@vrngmu.ru

Бурковский Виктор Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электропривода, автоматики и управления в технических системах, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

e-mail: bvl@vorstu.ru