

<https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-14-20>

© А.Е. Кривошеин<sup>1,2\*</sup>, В.П. Конев<sup>1</sup>, С.В. Колесов<sup>3</sup>, С.Н. Московский<sup>1</sup>



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФАСЕТОЧНЫХ СУСТАВОВ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ДЕГЕНЕРАТИВНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

<sup>1</sup> Омский государственный медицинский университет, Омск, Россия

<sup>2</sup> Клинический медико-хирургический центр, Омск, Россия

<sup>3</sup> Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова, Москва, Россия

✉ \* А.Е. Кривошеин, Омский государственный медицинский университет, 644099, Омск, ул. Ленина, 12, [artem.vertebra@rambler.ru](mailto:artem.vertebra@rambler.ru)

Поступила в редакцию 6 ноября 2020 г. Исправлена 20 ноября 2020 г. Принята к печати 15 декабря 2020 г.

<b>Цель</b>	Изучить рентгенологические характеристики фасеточных суставов (ФС) на разных стадиях дегенеративного процесса в поясничном отделе позвоночника для определения показаний к различным способам фиксации пораженного сегмента и оценки результатов лечения.
<b>Материал и методы</b>	Для определения рентгенологических параметров фасеточных суставов в зоне поражения и в смежных сегментах поясничного отдела позвоночника были сформированы две группы, включающие 136 пациентов, которым проводилась мультиспиральная компьютерная томография в двухэнергетическом режиме до оперативного лечения и через 12 месяцев после хирургического лечения. В группу 1 включены пациенты, которым выполнялась ригидная фиксация позвоночника (360°), в группу 2 – больные, которым осуществлялась динамическая фиксация с использованием стержней из нитинола (180°).
<b>Результаты</b>	На основании комплексного инструментального исследования установлено, что при дегенерации межпозвонкового диска по Pfirrtmann II и III ст. выявлено увеличение плотности хрящевой пластинки в единицах Хаунсфилда (НУ) в ФС. Данные цифровые показатели свидетельствуют о сохранении функциональности сустава как в зоне поражения, так и в смежных сегментах. При тяжелых степенях дегенерации диска при Pfirrtmann IV и V и ФС происходили глубокие патологические изменения, направленные в сторону потери функциональности ФС.
<b>Заключение</b>	Полученные цифровые показатели двухэнергетической компьютерной томографии по состоянию ФС в комбинации с результатами магнитно-резонансной томографии могут быть применены как критерии в комплексе исследований пациентов для оценки степени дегенерации позвоночно-двигательного сегмента в зоне поражения и смежных сегментах. Данные критерии рекомендуем использовать как диагностическую составляющую для поиска оптимальных методов хирургического лечения.
<b>Ключевые слова:</b>	дегенерация диска, фасеточный сустав, смежный диск, мультиспиральная компьютерная томография
<b>Цитировать:</b>	Кривошеин А.Е., Конев В.П., Колесов С.В., Московский С.Н. Сравнительный анализ рентгенологических параметров фасеточных суставов при хирургическом лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника. <i>Инновационная медицина Кубани</i> . 2021;(1):14–20. <a href="https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-14-20">https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-14-20</a>

© Artem Ye. Krivoshein<sup>1,2\*</sup>, Vladimir P. Konev<sup>1</sup>, Sergey V. Kolesov<sup>3</sup>, Sergey N. Moskovsky<sup>1</sup>

## COMPARATIVE ANALYSIS OF RADIOLOGIC ASPECTS OF FACET JOINTS IN SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH DEGENERATIVE DISEASES OF THE LUMBAR SPINE

<sup>1</sup> Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Clinical Medical and Surgical Center, Omsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Central Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

✉ \* Artem Ye. Krivoshein, Omsk State Medical University, ul. Lenina, 12, Omsk, 644099, [artem.vertebra@rambler.ru](mailto:artem.vertebra@rambler.ru)

Received: 6 November 2020. Received in revised form: 20 November 2020. Accepted: 15 December 2020.

<b>Objective</b>	To study the radiologic characteristics of facet joints at different stages of the degenerative process in the lumbar spine to determine the indications for various methods of fixing the affected segment and to evaluate the results of treatment.
<b>Material and Methods</b>	To determine the radiologic aspects of facet joints in the affected area and in adjacent segments of the lumbar spine, two groups were formed, including 136 patients who underwent multispinal computed tomography in two-energy mode before surgery and 12 months after surgery. Group I included patients



Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License.

<b>Results</b>	who underwent rigid fixation of the spine (360°), and group II included patients who underwent dynamic fixation using nitinol rods (180°). Based on a comprehensive instrumental study, it was found that the degeneration of the intervertebral disc according to Pfirrmann II and III revealed an increase in the density of the cartilaginous plate in facet joints (HU). These digital indicators confirm the preservation of joint functionality, both in the affected area and in adjacent segments. With severe degrees of disk degeneration in Pfirrmann IV and V and facet joints, deep pathological changes occurred, directed towards the loss of facet joints functionality.
<b>Conclusion</b>	The obtained digital indicators of dual-energy computed tomography for the state of facet joints in combination with the results of magnetic resonance imaging can be used as criteria in a complex of patient studies to assess the degree of degeneration of the vertebral motion segment in the affected area and adjacent segments. We recommend using these criteria as a diagnostic component for finding optimal methods of surgical treatment.
<b>Keywords:</b>	disc degeneration, facet joint, adjacent disc, multispinal computed tomography
<b>Cite this article as:</b>	Krivoshein A.Ye., Konev V.P., Kolesov S.V., Moskovsky S.N. Comparative analysis of radiologic aspects of facet joints in surgical treatment of patients with degenerative diseases of the lumbar spine. <i>Innovative Medicine of Kuban</i> . 2021;(1):14–20. <a href="https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-14-20">https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-14-20</a>

## ВВЕДЕНИЕ

Основные причины развития болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника связаны чаще всего с дегенерацией межпозвонковых дисков и (или) дугоотростчатых суставов [1, 2]. При этом не всегда патологические процессы в них идут параллельно, в связи с чем необходимы детальное предоперационное выявление патоморфологического субстрата и оценка выраженности дегенеративных изменений в структурах позвоночно-двигательного сегмента (ПДС) для определения правильного способа и вида хирургического лечения [3].

Активное внедрение фиксирующих систем при хирургическом лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника привело к значительному росту числа хирургических вмешательств с фиксацией оперируемого сегмента. В настоящее время в профессиональном медицинском сообществе чрезмерное использование этой технологии вызывает некоторую озабоченность [4], так как транспедикулярная фиксация может быть сопряжена с осложнениями, такими как: болезнь смежного сегмента, псевдоартроз, нестабильность металлоконструкции, гнойно-воспалительные осложнения [5–8]. Также стоит отметить, что формирование костного блока негативно влияет на мускулатуру спины, вызывая атрофию и снижение мышечной силы [9]. Этот процесс, так называемая дисфункция параспинальных мышц, может вызвать острую и хроническую боль в пояснице и дегенеративный спондилолистез на смежном от фиксации уровне [10, 11]. В связи с этим в настоящее время остается дискуссионным вопрос об эффективности и безопасности применения ригидных и динамических систем фиксации пораженного ПДС при дегенеративных заболеваниях позвоночника [12, 13]. Известные рандомизированные клинические исследования оперированных пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника опираются на краткосрочные периоды послеоперационного наблюдения [14].

Поиск патогенетических механизмов возникновения синдрома смежного сегмента в отдаленном послеоперационном периоде основан на инструментальных стандартных методах нейровизуализации [15, 16], что не позволяет получить объективную картину течения патологического процесса.

Детальное изучение патоморфологического субстрата в сочетании с данными инструментальных методов нейровизуализации пораженного дегенеративным процессом ПДС и смежных дисков является основой как для выбора эффективной хирургической методики, так и для оценки результатов лечения таких пациентов в отдаленном периоде.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить рентгенологические характеристики фасеточных суставов (ФС) на разных стадиях дегенеративного процесса в поясничном отделе позвоночника для определения показаний к различным способам фиксации пораженного сегмента и оценки результатов лечения.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное клиническое исследование пациентов, страдающих дегенеративным стенозом поясничного отдела позвоночника, которые прошли лечение в отделении травматологии № 2 Клинического медико-хирургического центра (Омск) в период с января 2017 г. по сентябрь 2019 г. В исследование включено 136 пациентов с различными стадиями дегенеративного стеноза на нижнепоясничном уровне.

Исследование выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. Исследование одобрено этическим комитетом Омского государственного медицинского университета. Все

лица, участвующие в исследовании, или их законные представители подписали информированное согласие на участие и публикацию данных без идентификации личности.

Для включения пациентов в группы исследования разработаны критерии включения и исключения.

Критерии включения:

- 1) одноуровневая и двухуровневая дегенерация дисков со II по V степень по Pfirrmann;
- 2) длительный рецидивирующий болевой синдром;
- 3) наличие неврологического дефицита;
- 4) признаки сегментарной нестабильности;
- 5) неэффективность консервативной терапии.

Критерии исключения:

- 1) наличие спондилолизного спондилолистеза;
- 2) фронтальной и сагиттальной деформации в поясничном отделе позвоночника;
- 3) остеопороза (Т-критерий ниже  $-2,5$  SD).

Оценка состояния ФС проводилась при помощи мультиспиральной компьютерной томографии, которая выполнялась всем пациентам, участвующим в исследовании, на этапе предоперационного планирования и через 12 мес. после оперативного лечения. Исследование проводилось на базе Клинического диагностического центра и кафедры лучевой диагностики Омского государственного медицинского университета. Мультиспиральная компьютерная томография поясничного отдела позвоночника выполнялась в двухэнергетическом режиме на аппарате GE Discovery CT750 HD до оперативного вмешательства в режиме субмиллисекундного переключения напряжения 80 и 120 кВ при постоянной силе тока 450 мА. Сканирование выполнялось срезами 0,625 мм с последующей мультипланарной реконструкцией. Оценка по-

казателей дегенеративно-дистрофических изменений проводилась исходя из классических рентгенологических проявлений данного процесса в позвоночно-двигательном сегменте на фоне двухэнергетического сканирования. Количественная рентгено-морфометрическая оценка состояния ФС выполнялась в зоне поражения, выше уровня фиксации измерялась плотность субхондральной области (плотность наружной и внутренней фасетки) и область хрящевой пластинки ФС по Хаунсфилду (HU) (рис. 1).

Всем пациентам произведено хирургическое вмешательство в объеме декомпрессии и стабилизации. Частичная или полная резекция сустава всегда носила односторонний характер. В зависимости от вида стабилизации все пациенты, вошедшие в исследование, были разделены на 2 группы. В группу 1 ( $n = 74$ ) включены пациенты с грубыми дегенеративными изменениями, соответствующими стадиям IV и V по Pfirrmann, которым выполнялся трансфораминальный межтеловой спондилодез (TLIF). В группе 2 ( $n = 62$ ) МР-изменения в межпозвоночном диске соответствовали стадиям II и III по Pfirrmann. В этом случае стабилизация проводилась при помощи стержней из титанола без имплантации межтелового кейджа.

Статистическая обработка полученных данных проводилась методами вариационной статистики с использованием стандартных пакетов Microsoft Excel 2008, Statistica 12,0, Biostat. При создании базы данных использовался редактор электронных таблиц MS Excel, 1С. В случае отличного от нормального типа распределения использовались непараметрические критерии. Статистическое измерение связи (силы и направления) между признаками проводилось с помощью вычисления коэффициента корреляции рангов Спирмена ( $r_s$ ) с последующей оценкой диагностической значимости [критерии информативности: чувствительность (Se) и специфичность (Sp)].

Расчет объема выборки проводился по формуле Лера для мощности 80% и двухстороннего уровня значимости  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При рентгенологическом исследовании (двухэнергетическая компьютерная томография, ДЭКТ) ФС у пациентов с дегенерацией межпозвоночного диска, соответствующей стадии II по Pfirrmann, плотность хрящевой пластинки до оперативного лечения составляла  $164,8 \pm 14,2$  HU, наружной фасетки –  $713,65 \pm 13,65$  HU и внутренней фасетки –  $582,1 \pm 15,1$  HU (табл. 1).

При соответствии стадии III по Pfirrmann на этапе планирования выявлено достоверное увеличение показателя плотности всех элементов ФС: плотность хрящевой пластинки увеличивалась до  $237 \pm 43,5$  HU, наружной фасетки –  $828,55 \pm 110,9$  HU, внутренней

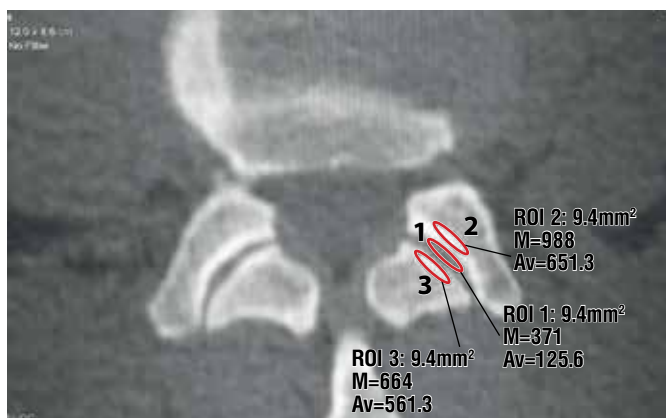


Рисунок 1. Методика количественного определения плотности ткани фасеточного сустава в единицах HU зоны контроля, аксиальная проекция пораженного позвоночно-двигательного сегмента

Figure 1. Technique for quantitative assessment of facet joint tissue in HU in the involved zone, axial projection of the affected vertebral motor segment

**Таблица 1**

**Оценка рентгенологических критериев при различных степенях дегенерации межпозвоночных дисков по Pfirrmann**

*Table 1*

**Evaluation of radiological criteria in various grades of intervertebral disc degeneration according to Pfirrmann**

Плотность, HU (ДЭКТ)	Стадия по Pfirrmann				Информативность, J	Se	Sp
	II	III	IV	V		%	%
Хрящевой пластинки	164,8 ± 14,2	237 ± 43,5	208,1 ± 22,1	*	0,54	92,2	91,0
Наружной фасетки	713,65 ± 13,65	828,55 ± 110,9	903,1 ± 96,9	962,2 ± 126,8	0,6	94,1	92,6
Внутренней фасетки	582,1 ± 15,1	716,4 ± 140,8	808,7 ± 91,3	867,6 ± 49,4	0,46	32,5	98,72

\* За счет вакуум-эффекта невозможно получить достоверные данные

\* No reliable data due to the vacuum effect

фасетки – 716,4 ± 140,8 HU, что свидетельствовало о компенсаторном повышенном питании сустава и его уплотнении.

При наличии изменений, соответствующих стадии IV по Pfirrmann, до оперативного лечения плотность хрящевой пластинки составляла 208,1 ± 22,1 HU, а наружной и внутренней фасетки увеличивалась до 903,1 ± 96,9 HU и 808,7 ± 91,3 HU соответственно (табл. 1), что свидетельствовало о стойких структурных (дегенеративных) нарушениях в структуре ФС в виде увеличения склероза суставных поверхностей с одной стороны и истончения хрящевой пластинки.

При ДЭКТ-исследовании пациентов с наличием изменений, соответствующих стадии V по Pfirrmann, на этапе предоперационного планирования получены следующие результаты: плотность хрящевой пластинки – 0 HU, что соответствовало наличию вакуум-эффекта, наружной фасетки – 962,2 ± 12,6 HU, внутренней фасетки – 867,6 ± 49,4 HU (табл. 1). Полученные данные свидетельствовали о присутствии грубых процессов, сопровождающихся патологической перестройкой всех элементов, составляющих фасеточный сустав.

В результате полученные цифровые показатели плотности элементов ФС указывают на то, что с увеличением степени дегенерации диска по Pfirrmann одновременно происходит компенсаторная перегрузка ФС и прогрессируют процессы дегенерации этих структур с последующим нарушением их функции.

При изучении состояния ФС на верхних смежных уровнях методом ДЭКТ их параметры соответствовали показателям исследованных пораженных сегментов.

Таким образом, проведенные рентгенологические исследования (ДЭКТ) на этапе предоперационного планирования показали изменения толщины суставного хряща, склерозирование и нарушение взаимоотношений между хрящевыми и костными структурами фасеточного сустава в зависимости от степени дегенерации диска.

Выявленные изменения направлены в сторону анкилозирования.

В группе 1 при тяжелых степенях дегенерации диска (IV и V по Pfirrmann) и с соответствующими изменениями ФС применялись оперативные пособия в объеме ригидной транспедикулярной фиксации, декомпрессии невральных структур (TLIF). В отдаленном периоде (через 12 мес.) в данной группе наблюдений после повторно проведенного ДЭКТ зоны поражения показатели плотности ФС существенно менялись. Так, плотность хрящевой пластинки составляла 106,1 ± 22,1 HU, наружной фасетки – 953,1 ± 75,4 HU и внутренней фасетки – 858,7 ± 79,4 HU, что указывало на дальнейшее прогрессирование процессов дегенерации в структурах ФС (табл. 2).

В группе 2 в 62 наблюдениях при степенях II и III по Pfirrmann в качестве хирургического пособия применялись декомпрессивно-стабилизирующие вмешательства с использованием транспедикулярных винтов и стержней из титанола. В отдаленном периоде (после 12 мес.) в данной группе показатели плотности в зоне поражения существенно не менялись. Так, плотность хрящевой пластинки составляла 178,4 ±

**Таблица 2**

**Результаты исследования плотности фасеточных суставов группы пациентов с ригидной фиксацией позвоночно-двигательных сегментов**

*Table 2*

**Results of the study of the density of facet joints in a group of patients with rigid fixation of the vertebral motion segments**

Плотность, HU	До оперативного лечения	После оперативного лечения (12 мес.)
Хрящевой пластинки	208,1 ± 22,2	106,1 ± 22,1
Наружной фасетки	913,1 ± 16,9	953,1 ± 75,4
Внутренней фасетки	828,7 ± 1,3	878,7 ± 9,4

Примечание.  $P < 0,05$

Note.  $P < 0.05$



**Таблица 3**  
**Результаты исследования плотности фасеточных суставов группы пациентов с динамической фиксацией позвоночно-двигательных сегментов**

**Table 3**  
**Results of the study of the density of facet joints in a group of patients with dynamic fixation of the vertebral motion segments**

Плотность, НУ	До оперативного лечения	После оперативного лечения (12 мес.)
Хрящевой пластинки	164,8 ± 14,2	178,4 ± 13,4
Наружной фасетки	713,65 ± 13,65	733,65 ± 32,5
Внутренней фасетки	582,1 ± 15,1	570,1 ± 65,1

Примечание.  $P < 0,05$

Note.  $P < 0.05$

13,4 НУ, наружной фасетки – 733,65 ± 32,5 НУ и внутренней фасетки – 570,1 ± 65,1 НУ, что указывало на сохранение функциональности сустава (табл. 3).

В группе 1 при исследовании состояния ФС на смежном уровне в послеоперационном периоде получены следующие показатели: плотность хрящевой пластинки – 210,1 ± 16,8 НУ, наружной фасетки – 1018,1 ± 45,8 НУ и внутренней фасетки – 868 ± 18,2 НУ (табл. 4), что свидетельствовало о значительном перераспределении и увеличении нагрузки на верхние смежные сегменты с прогрессированием процессов дегенерации в структурах ФС.

В группе 2 при исследовании плотности элементов ФС в верхних смежных сегментах в послеоперационном периоде не было существенных изменений. Так, плотность хрящевой пластинки составляла 181,5 ± 13,4 НУ, наружной фасетки – 739,54 ± 1,5 НУ и внутренней фасетки – 585,1 ± 1,9 НУ, что указывало на

**Таблица 4**  
**Результаты исследования плотности фасеточных суставов верхнего смежного уровня группы пациентов с ригидной фиксацией позвоночно-двигательных сегментов**

**Table 4**  
**Results of the study of the density of facet joints of the upper adjacent level of a group of patients with rigid fixation of the vertebral motion segments**

Плотность, НУ	До оперативного лечения	После оперативного лечения (12 мес.)
Хрящевой пластинки	198,1 ± 12,1	210,1 ± 16,8
Наружной фасетки	902,1 ± 14,0	1018,1 ± 45,8
Внутренней фасетки	808,7 ± 2,9	868 ± 18,2

Примечание.  $P < 0,05$

Note.  $P < 0.05$

минимальные изменения только в хрящевой пластине в виде ее уплотнения с сохранением функции самого сустава (табл. 5).

## ОБСУЖДЕНИЕ

На протяжении многих десятилетий операции с применением ригидных систем фиксации (TLIF/PLIF) по-прежнему остаются золотым стандартом хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника [17], несмотря на многочисленные разработанные варианты динамической фиксации ПДС.

По литературным данным, существующие методы нейровизуализации дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника с целью определения тактики хирургического лечения основаны на методе диффузно-взвешенной МРТ-диагностики [3]. Этот метод позволяет отчетливо определить степень дегенерации межпозвонкового диска. Параллельно на основе МРТ-диагностики существует классификация степени дегенерации фасеточных суставов А. Fujiwara et al., которая коррелирует со стадиями дегенерации суставов по классификации OARSI (Osteoarthritis Research Society International) [15, 16]. На наш взгляд, данный подход к интерпретации патологии не полностью отображает весь характер патоморфологических изменений и архитектоники в структуре ФС.

Оптимальной методикой оценки структур позвоночно-двигательного сегмента является двухэнергетическая компьютерная томография, которая получила распространение в последние годы [18, 19].

На основании проведенного нами комплексного морфологического и инструментального исследования ДЭКТ фасеточных суставов выявлена тесная взаимосвязь между морфологическими и рентгенологическими изменениями в ФС. Полученные критерии

**Таблица 5**  
**Результаты исследования плотности фасеточных суставов верхнего смежного уровня группы пациентов с динамической фиксацией позвоночно-двигательных сегментов**

**Table 5**  
**Results of the study of the density of facet joints of the upper adjacent level of a group of patients with dynamic fixation of the vertebral motion segments**

Плотность, НУ	До оперативного лечения	После оперативного лечения (12 мес.)
Хрящевой пластинки	154,8 ± 14,1	181,5 ± 13,4
Наружной фасетки	713,65 ± 13,0	739,54 ± 1,5
Внутренней фасетки	582,0 ± 2,1	585,1 ± 1,9

Примечание.  $P < 0,05$

Note.  $P < 0.05$

ДЭКТ по состоянию ФС могут быть использованы в комплексе исследований пациентов для оценки степени дегенерации ПДС в зоне поражения и смежных сегментах, что дает возможность проводить предоперационное планирование и прогнозирование декомпрессивно-стабилизирующих пособий у пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника и обоснованно подходить к выбору ригидных, динамических или комбинированных систем фиксации ПДС [20, 21]. Также установлено, что использование динамической фиксации ПДС позволяет сохранить функциональность не только пораженного, но и смежного сегментов.

Применение ригидных систем фиксации ПДС при дегенеративных заболеваниях позвоночника, несомненно, имеет положительные результаты лечения, но, к сожалению, не защищает смежные суставы от прогрессирования дегенеративного процесса и требует дальнейшего исследования для поиска оптимальных методов хирургического лечения. Возникающие послеоперационные осложнения в виде синдрома смежного уровня, с которыми сталкиваются практические спинальные хирурги, диктуют необходимость проводить дополнительную фиксацию смежных уровней или использовать комбинированные системы фиксации ПДС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные цифровые показатели ДЭКТ по состоянию ФС в комбинации с результатами МРТ могут быть применены как критерии в комплексе исследований пациентов для оценки степени дегенерации ПДС в зоне поражения и смежных сегментах. Данные критерии могут быть использованы как диагностическая составляющая для поиска оптимальных методов хирургического лечения.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Бывальцев В.А., Степанов И.А., Калинин А.А., Белых Е.Г. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография в диагностике дегенерации межпозвоноковых дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016;97(6):357–364. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2016-97-6-357-364>
2. Бывальцев В.А., Степанов И.А., Калинин А.А., Белых Е.Г. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография в диагностике дегенерации межпозвоноковых дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника. *Vestnik rentgenologii i radiologii = Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2016;97(6):357–364. (In Russ.). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2016-97-6-357-364>
3. Басанкин И.В., Порханов В.А., Тахмазян К.К. и др. Транспедикулярное эндоскопическое удаление грыж поясничного отдела позвоночника с высокой степенью миграции. *Нейрохирургия*. 2020;22(3):42–50. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2020-22-3-42-50>
4. Basankin IV, Porhanov VA, Takhmazyan KK, et al. Transpedicular endoscopic removal of highly migrated disc herniations of lumbar spine. *Neurohirurgia = Russian Journal of Neurosurgery*. 2020;22(3):42–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2020-22-3-42-50>

5. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Оконешикова А.К., Иринец А.А. Дифференцированная хирургическая тактика при дегенеративных заболеваниях поясничного отдела позвоночника с использованием пункционных методик. *Сибирское медицинское обозрение*. 2018;5(113):54–65. <https://doi.org/10.20333/2500136-2018-5-54-65>
6. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Okoneshnikova AK, Irintseev AA. Differentiated surgical tactics in degenerative diseases of lumbar spine department with the use of punctional methods. *Sibirskoye meditsinskoye obozreniye = Siberian Medical Review*. 2018;5(113):54–65. <https://doi.org/10.20333/2500136-2018-5-54-65>
7. Försth P, Ölafsson G, Carlsson T, et al. A randomized, controlled trial of fusion surgery for lumbar spinal stenosis. *N Engl J Med*. 2016;374(15):1413–1423. PMID: 27074066. <https://doi.org/10.1056/NejMoa1513721>
8. Rienmüller AC, Krieg SM, Schmidt FA, Meyer EL, Meyer B. Reoperation rates and risk factors for revision 4 years after dynamic stabilization of the lumbar spine. *Spine J*. 2019;19(1):113–120. PMID: 29886162. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.05.025>
9. Matsuoka Yu, Endo K, Suzuki H, et al. Postoperative radiographic early-onset adjacent segment degeneration after single level L4–L5 posterior lumbar interbody fusion in patients without preoperative severe sagittal spinal imbalance. *Asian Spine J*. 2018;12(4):743–748. PMID: 30060385. PMID: PMC6068422. <https://doi.org/10.31616/asj.2018.12.4.743>
10. Мушкин А.Ю., Вишневецкий А.А., Перецманас Е.О., Базаров А.Ю., Басанкин И.В. Инфекционные поражения позвоночника: проект национальных клинических рекомендаций. *Хирургия позвоночника*. 2019;16(4):63–76. <https://doi.org/10.14531/ss2019.4.63-76>
11. Mushkin AYU, Vishnevsky AA, Peretsmanas EO, Bazarov AYU, Basankin IV. Infectious lesions of the spine: draft national clinical guidelines. *Hirurgiia pozvonocnika = Spine Surgery*. 2019;16(4):63–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2019.4.63-76>
12. Афаунов А.А., Басанкин И.В., Кузьменко А.В., Шаповалов В.К. Осложнения хирургического лечения поясничных стенозов дегенеративной этиологии. *Хирургия позвоночника*. 2016;13(4):66–72. <https://doi.org/10.14531/ss2016.4.66-72>
13. Afaunov AA, Basankin IV, Kuzmenko AV, Shapovalov VK. Complications of surgical treatment of degenerative lumbar stenosis. *Hirurgiia pozvonocnika = Spine Surgery*. 2016;13(4):66–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2016.4.66-72>
14. Колесов С.В., Казьмин А.И., Швец В.В. и др. Сравнение эффективности применения стержней из титанола и титановых стержней при хирургическом лечении дегенеративных заболеваний позвоночника с фиксацией пояснично-крестцового отдела. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(2):59–70. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-2-59-70>
15. Kolesov SV, Kazmin AI, Shvets VV, et al. Comparison of nitinol and titanium nails effectiveness for lumbosacral spine fixation in surgical treatment of degenerative spine disease. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(2):59–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-2-59-70>
16. Tu J, Hua W, Li W, et al. Short-term effects of minimally invasive dynamic neutralization system for the treatment of lumbar spinal stenosis: an observational study. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(22):e10854. PMID: 29851799. PMID: PMC6393126. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000010854>
17. Cawley DT, Alexander M, Morris S. Multifidus innervation and muscle assessment post-spinal surgery. *Eur Spine J*. 2014;23(2):320–327. PMID: 23975437. PMID: PMC3906448. <https://doi.org/10.1007/s00586-013-2962-7>
18. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Оконешикова А.К., Керимбаев Т.Т., Белых Е.Г. Фасеточная фиксация в комбинации с межтеловым спондилодезом: сравнительный анализ и клинический опыт нового способа хирургического лечения

пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника. *Вестник РАМН*. 2016;71(5):375–384. <https://doi.org/10.15690/vramn738>

Byvaltsev VA, Kalinin AA, Okoneshnikova AK, Kerimbayev TT, Belykh EG. Facet fixation combined with lumbar interbody fusion: comparative analysis of clinical experience and a new method of surgical treatment of patients with lumbar degenerative disease. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2016;71(5):375–384. (In Russ.). <https://doi.org/10.15690/vramn738>

13. Афаунов А.А., Басанкин И.В., Мишагин А.В., Кузьменко А.В., Тахмазян К.К. Ревизионные операции в хирургическом лечении повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2015;12(4):8–16. <https://doi.org/10.14531/ss2015.4.8-16>

Afaunov AA, Basankin IV, Mishagin AV, Kuzmenko AV, Takhmazyan KK. Revision procedures in the surgical treatment of thoracic and lumbar spine injuries. *Hirurgiâ pozvonočnika = Spine Surgery*. 2015;12(4):8–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2015.4.8-16>

14. Бывальцев В.А., Степанов И.А., Алиев М.А., Аглаков Б.М., Юсупов Б.Р., Коновалов Н.А. Сравнение отдаленных результатов применения тотальной артропластики и переднего спондилодеза в лечении дегенеративного заболевания шейных межпозвонковых дисков: метаанализ. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2019;83(6):100–110. <https://doi.org/10.17116/neiro201983061100>

Byval'tsev VA, Stepanov IA, Aliev MA, Aglakov BM, Yusupov BR, Kononov NA. Comparison of the long-term outcomes of total arthroplasty and anterior spinal fusion in the treatment of cervical degenerative disc disease: a metaanalysis. *Zh Vopr Neurokhir im N N Burdenko*. 2019;83(6):100–110. (In Russ.). PMID: 32031173. <https://doi.org/10.17116/neiro201983061100>

15. Мовшович И.А., Шотемор Ш.Ш. К вопросу о нестабильности позвоночника (классификация, диагностика). *Ортопедия и травматология*. 1979;5:24–29.

Movshovich IA, Shotemor ShSh. On the issue of spinal instability (classification, diagnostics). *Orthopedics and Traumatology*. 1979;5:24–29. (In Russ.).

16. Продан О.А., Перепечай В.А., Колесниченко В.А. и др. Осложнения хирургического лечения поясничного спинального стеноза. *Хирургия позвоночника*. 2009;1:31–37.

Prodan OA, Perepetchay VA, Kolesnichenko VA, et al. Complications of surgical treatment for lumbar spine stenosis. *Hirurgiâ pozvonočnika = Spine Surgery*. 2009;1:31–37. (In Russ.).

17. Бывальцев В.А., Шепелев В.В., Никифоров С.Б., Калинин А.А. Изолированные и сочетанные дегенеративные тандем-стенозы позвоночного канала шейного и поясничного отделов позвоночника: обзор литературы. *Хирургия позвоночника*. 2016;13(2):52–61. <https://doi.org/10.14531/ss2016.2.52-61>

Byvaltsev VA, Shepelev VV, Nikiforov SB, Kalinin AA. Isolated and combined degenerative tandem cervical and lumbar spinal stenoses: literature review. *Hirurgiâ pozvonočnika = Spine Surgery*. 2016;13(2):52–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2016.2.52-61>

18. Coursey CA, Nelson RC, Boll DT, et al. Dual-energy multidetector CT: how does it work, what can it tell us, and when can we use it in abdominopelvic imaging? *Radiographics*. 2010;30(4):1037–1055. PMID: 20631367. <https://doi.org/10.1148/rg.304095175>

19. Boll DT, Patil NA, Paulson EK, et al. Renal stone assessment with dual-energy multidetector CT and advanced postprocessing techniques: improved characterization of renal stone composition – pilot study. *Radiology*. 2009;250(3):813–820. PMID: 19244048. <https://doi.org/10.1148/radiol.2503080545>

20. Конев В.П., Кривошеин А.Е., Колесов С.В., Московский С.Н., Гайзер С.В. Морфологические изменения в фасеточных суставах при различных степенях дегенерации межпозвоночных дисков. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;2. <https://doi.org/10.17513/spno.29658>

Konev VP, Krivoshein AE, Kolesov SV, Moskovsky SN, Gayzer SV. Morphological changes in facet joints at various degrees of degeneration of intervertebral discs. *Modern Problems of Science and Education*. 2020;2. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/spno.29658>

21. Конев В.П., Московский С.Н., Кривошеин А.Е. и др. Вопросы деструкции и регенерации костной ткани в аспекте судебно-медицинских оценок. *Судебная медицина*. 2020;6(1):14–20. <https://doi.org/10.19048/2411-8729-2020-6-1-14-20>

Konev VP, Moskovsky SN, Krivoshein AE, et al. Bone tissue destruction and regeneration: forensic medical assessment. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2020;6(1):14–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.19048/2411-8729-2020-6-1-14-20>

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кривошеин Артем Евгеньевич**, к. м. н., доцент кафедры травматологии и ортопедии, Омский государственный медицинский университет; научный руководитель отделения травматологии № 2 (вертебрологии), Клинический медико-хирургический центр (Омск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-1883-6784>

**Конев Владимир Павлович**, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой судебной медицины, Омский государственный медицинский университет (Омск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-5549-6897>

**Колесов Сергей Васильевич**, д. м. н., профессор, заведующий отделением патологии позвоночника № 7, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова (Москва, Россия). <https://orcid.org/0000-0001-9657-8584>

**Московский Сергей Николаевич**, к. м. н., доцент кафедры судебной медицины, Омский государственный медицинский университет (Омск, Россия).

## Финансирование

Исследование проведено в рамках государственного задания НИР № АААА-А18 118011190073-0 от 11.01.2018 г.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## AUTHOR CREDENTIALS

**Artem Ye. Krivoshein**, Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Omsk State Medical University; Head of Research at Traumatology Department no. 2, Clinical Medical and Surgical Center (Omsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-1883-6784>

**Vladimir P. Konev**, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Omsk State Medical University (Omsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-5549-6897>

**Sergey V. Kolesov**, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Department of Spine Pathology no. 7, Central Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics (Moscow, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-9657-8584>

**Sergey N. Moskovsky**, Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Forensic Medicine, Omsk State Medical University (Omsk, Russian Federation).

**Funding:** The study was carried out within the framework of the state assignment for research work no. 118011190073-0 of January 11, 2018

**Conflict of interest:** none declared.