

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ

УДК 616.833.24:616-073.75

**РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТИНА СОСТОЯНИЯ  
СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ПОЗВОНОЧНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО СЕГМЕНТА ПРИ  
РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЗАДНЕЙ ФИКСАЦИИ  
ПОЗВОНОЧНИКА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ**<sup>1</sup>А. Е. Кривошеин, <sup>1</sup>Ю. Т. Игнатъев, <sup>2</sup>С. В. Колесов, <sup>3</sup>Е. С. Дочилова<sup>1</sup>Омский государственный медицинский университет, г. Омск<sup>2</sup>Центральный Научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова, Москва, Россия<sup>3</sup>Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, г. Омск, Россия**EXPERIMENTAL RADIOLOGICAL EVALUATION OF THE SPINAL  
MOTION SEGMENT STRUCTURAL ELEMENTS AFTER VARIOUS  
METHODS OF POSTERIOR SPINAL FIXATION**<sup>1</sup>A. E. Krivoshein, <sup>1</sup>Yu. T. Ignatyev, <sup>2</sup>S. V. Kolesov, <sup>3</sup>E. S. Dochilowa<sup>1</sup>Omsk State Medical University, Omsk, Russia<sup>2</sup>Central Scientific research Institute of traumatology and orthopedics. N. N. Priorov, Moscow, Russia<sup>3</sup>Omsk State Agrarian University P. A. Stolypin, Omsk, Russia

© Коллектив авторов, 2016 г.

Цель работы: изучить рентгенологическую картину состояния структурных элементов позвоночно-двигательного сегмента при различных способах задней фиксации в эксперименте. Объектом исследования являлись беспородные собаки массой тела  $12 \pm 1,5$  кг в возрасте около  $21 \pm 3$  мес. Экспериментальные животные были разделены на две группы. Животным I группы ( $n=5$ ) проводилась транспедикулярная фиксация позвоночника с использованием ригидных стержней. Животным II группы ( $n=5$ ) выполнялась транспедикулярная фиксация позвоночника с использованием динамических стержней из нитинола. Всем животным выполнялась рентгенография в функциональных положениях и мультиспиральная компьютерная томография. Объем движений в исследуемом сегменте до операции при функциональном исследовании в обеих группах составлял  $18 \pm 1,2^\circ$ . В группе I на 24-м месяце ригидной фиксации позвоночно-двигательного сегмента после оперативного вмешательства движения отсутствовали. В группе I с 18-го месяца исследования отмечены отчетливые признаки дегенерации суставов как на уровне фиксации, так и вне зоны ригидной фиксации, а также перегрузке смежных дисков. В группе II с динамической (нитинольной) фиксацией у всех животных присутствовали движения в позвоночно-двигательном сегменте и составляли в среднем  $15 \pm 1,3^\circ$ , что составило 78,9% от исходного. При мультиспиральной компьютерной томографии в группе II с динамической фиксацией дегенерации суставных поверхностей, а также перегрузки смежных дисков не отмечено на всем протяжении исследования. Установлено, что при динамической фиксации в смежных позвоночно-двигательных сегментах отсутствовали дегенеративные изменения на всем протяжении эксперимента (24 мес) и сохранялся объем движений оперированного сегмента на 78,9% от исходного.

**Ключевые слова:** позвоночно-двигательный сегмент, нитинол, динамическая фиксация, ригидная фиксация.

The study goal was to experimentally evaluate the condition of the structural elements of the spinal motion segments after different rear fixing methods. The study object were mongrel dogs with weigh of  $12 \pm 1,5$  kg at the age of  $21 \pm 3$  months. Experimental animals were divided into 2 groups. Animals in group 1 ( $n=5$ ) underwent transpedicular fixation of the spine using rigid rods. Animals of group 2 ( $n=5$ ) underwent transpedicular fixation of the spine with dynamic rod made of nitinol. All animals were studied by x-ray in functional positions and multispiral computed tomography (MSCT). Range of motion in the tested segment prior to surgery for functional study in both groups was  $18 \pm 1,2$  degree. In group 1 after 24 months range of motion after surgery was  $0 \pm 0,03$  degrees. In group 2 all animals had range of movement  $15 \pm 1,3^\circ$ ,

which was 78,9% of the original. MSCT study showed no degenerative changes of the articular surfaces in group 2 in 24 months after surgery and the movement range still was 78,9% of the original.

**Key words:** spinal motion segment, nitinol, dynamic fixation, rigid fixation.

**Введение.** Боль в спине беспокоит приблизительно 80% взрослого населения. При этом сохраняется высокая заболеваемость наиболее трудоспособной категории населения. В частности, среди лиц 30–40-летнего возраста до 20% страдают поясничным остеохондрозом. За последние годы хирургическое лечение дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника заключается в декомпрессии невральных структур позвоночного канала с последующим выполнением задней ригидной фиксации. Однако, как показывают многочисленные исследования, выполнение спондилодеза в большинстве случаев приводит к формированию синдрома смежного диска и как следствие рецидиву болевого синдрома и неврологических расстройств [1].

В последние годы отмечается повышенный интерес к технике хирургических вмешательств, сохраняющих подвижность оперированного сегмента, а также восстановлению или сохранению сагиттального баланса. Такие конструкции позволяют разгрузить фасеточные суставы и задние отделы межпозвонкового диска, тем самым сохраняя физиологический диапазон движений ПДС (позвоночно-двигательный сегмент), а также профилаксируя синдром смежного диска в позднем послеоперационном периоде.

За последние годы, возрос интерес к использованию новых отечественных сплавов, таких как нитинол. Нитинол — уникальный сплав никеля (55%) и титана (45%), обладающий такими свойствами, как память формы и сверхупругость, которые проявляются в условиях температуры окружающих тканей, и способный изменять свою ось при динамических нагрузках. Эффективный модуль упругости нитинола равен 15–20 ГПа, что практически равно модулю упругости кортикальной кости (18 ГПа). По своим характеристикам он в 8 раз пластичнее титана. По данным Коллерова и соавт. [2] кристаллическая решетка материала обладает большой устойчивостью к динамическим нагрузкам и стержни из нитинола выдерживают до 16 млн нагрузочных циклов без усталостных переломов. Использование таких свойств нитинола является перспективным для динамической транспедикулярной стабилизации пояснично-крестцового отдела позвоночника по технологии «*no fusion*» (без спондилодеза).

Однако в литературе отсутствуют научные публикации, посвященные рентгенологическому анализу структур ПДС при использовании нитинольных стержней в сочетании с транспедикулярными винтами при задней фиксации позвоночника в эксперименте.

**Цель исследования:** изучить рентгенологическую картину состояния структурных элементов ПДС при различных способах задней фиксации в эксперименте.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводились на базе института ветеринарной медицины и биотехнологии ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина в период с октября 2013 по октябрь 2015 г. Объектом исследования являлись беспородные собаки массой тела  $12 \pm 1,5$  кг в возрасте около  $21 \pm 3$  месяцев. Оперативные вмешательства выполнялись с соблюдением правил асептики и антисептики согласно правилам «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, которые используются для экспериментальных и научных целей». Экспериментальные животные были разделены на две группы. Животным I группы ( $n=5$ ) проводилась транспедикулярная фиксация позвоночника с использованием ригидных стержней. Животным II группы ( $n=5$ ) выполнялась транспедикулярная фиксация позвоночника с использованием динамических стержней из нитинола. По требованию эксперимента в заводских условиях изменены стандартные температурные условия нитинольных стержней с 36 до 39–40°С — температуры тела собаки.

Рентгенологический контроль оперированного позвоночника осуществлялся в боковой и прямой проекциях в нейтральных положениях позвоночника, а также при функциональных пробах до и после оперативного вмешательства в боковой проекции. Рентгенографию выполняли на аппарате «Арман» с использованием пленочных технологий и периодичностью 3, 6, 12, 18 и 24 мес. С целью функциональной оценки позвоночника при различных способах задней транспедикулярной фиксации позвоночника у экспериментальных животных определены следующие рентгенологические критерии:

- 1) ось позвоночника до и после фиксации в нейтральном положении;
- 2) объем движений в исследуемом сегменте при функциональном исследовании (по методу Cobb);
- 3) высота диска в фиксированном сегменте позвоночника;
- 4) высота диска выше уровня фиксации позвоночника;
- 5) высота диска ниже уровня фиксации позвоночника;
- 6) высота суставной щели дугоотростчатых суставов при функциональном исследовании на уровне фиксации, а также выше и ниже уровня фиксации.

Кроме рентгенограмм, для более информированной оценки состояния структурных элементов ПДС каждому животному в конце периода 3, 6, 12, 18 и 24 мес проводилась мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), которая выполнялась на аппарате Aquilion-64 фирмы TOSHIBA (Япония). По данным МСКТ оценивали следующие критерии:

1) высота суставной щели дугоотростчатых суставов, а также выше и ниже уровня фиксации;

2) высота диска в фиксированном сегменте позвоночника;

3) высота диска выше уровня фиксации позвоночника;

4) высота диска ниже уровня фиксации позвоночника;

5) наличие склероза суставных поверхностей дугоотростчатых суставов на уровне фиксации как одного из признаков дегенеративно-дистрофических изменений, а также выше и ниже уровня фиксации;

6) признаки обызвествления передней продольной связки.

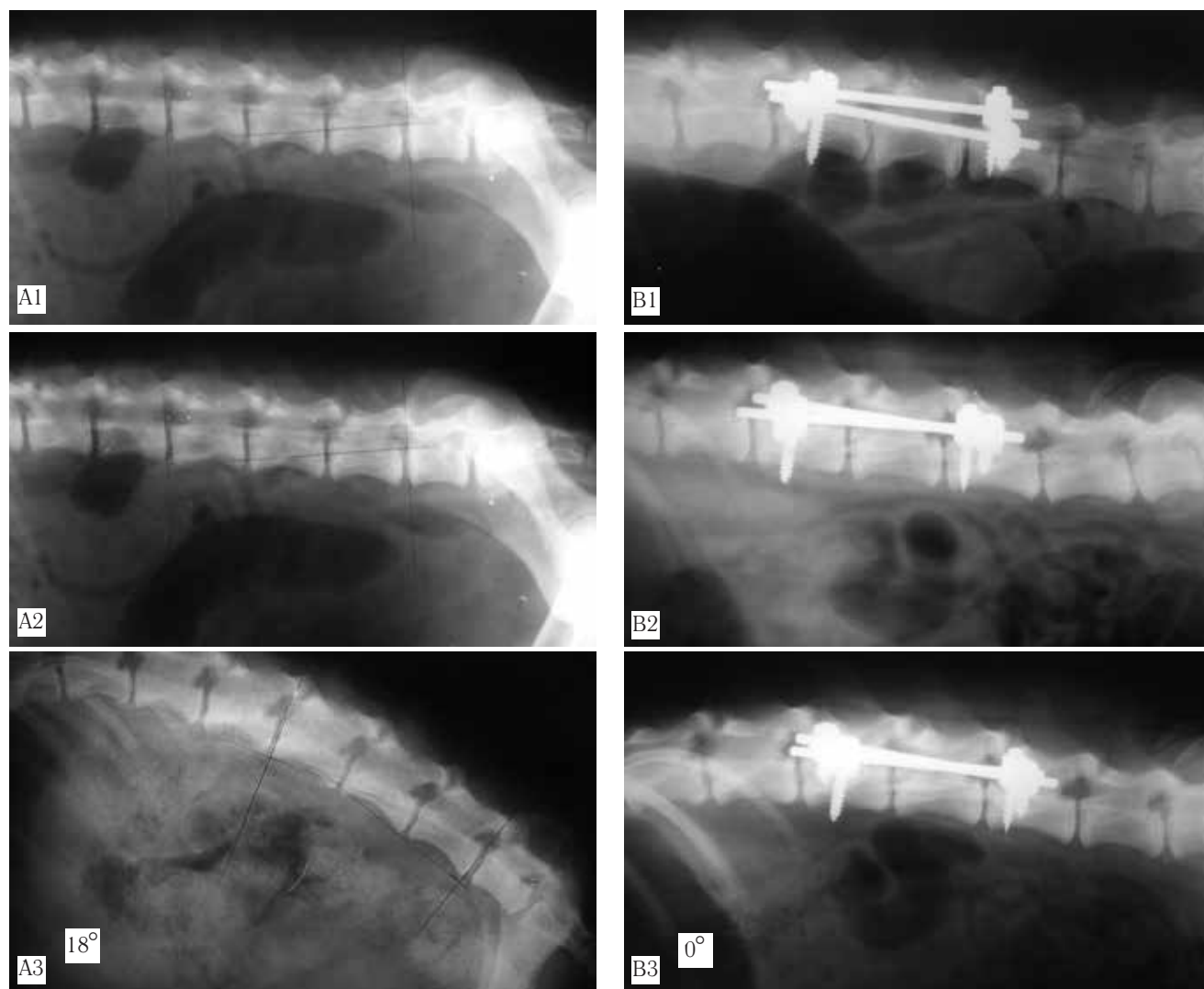
Весь период экспериментальные животные содержались в одинаковых условиях и вели активный образ жизни. Осложнений со стороны физиологического состояния у животных не отмечены.

Статистические методы включали в себя процедуры описательной статистики, аналитической статистики: параметрической и непараметрической статистики, корреляционный анализ, анализ таблиц сопряженности

(точный критерий Фишера, 2), оценка информативности (метод Кулбака, исследование специфичности и чувствительности методов исследования). Статистическая обработка материалов осуществлялась с использованием программных пакетов анализа Microsoft Excel, Statistica 10,0 (StatSoft Inc., США) [3–6].

**Результаты и их обсуждение.** Объем движений в оперированном сегменте позвоночника до операции при функциональном исследовании в обеих группах составлял  $18 \pm 1,2^\circ$ . В группе I с ригидной фиксацией ПДС после оперативного вмешательства у всех животных объем движений составил  $0 \pm 0,03^\circ$  (рис. 1). В группе II с динамической (нитинольной) фиксацией у всех животных объем движений в ПДС сохранялся на всем протяжении эксперимента и в среднем равнялся  $15 \pm 1,3^\circ$ , что составило 78,9% от исходного объема (рис. 2).

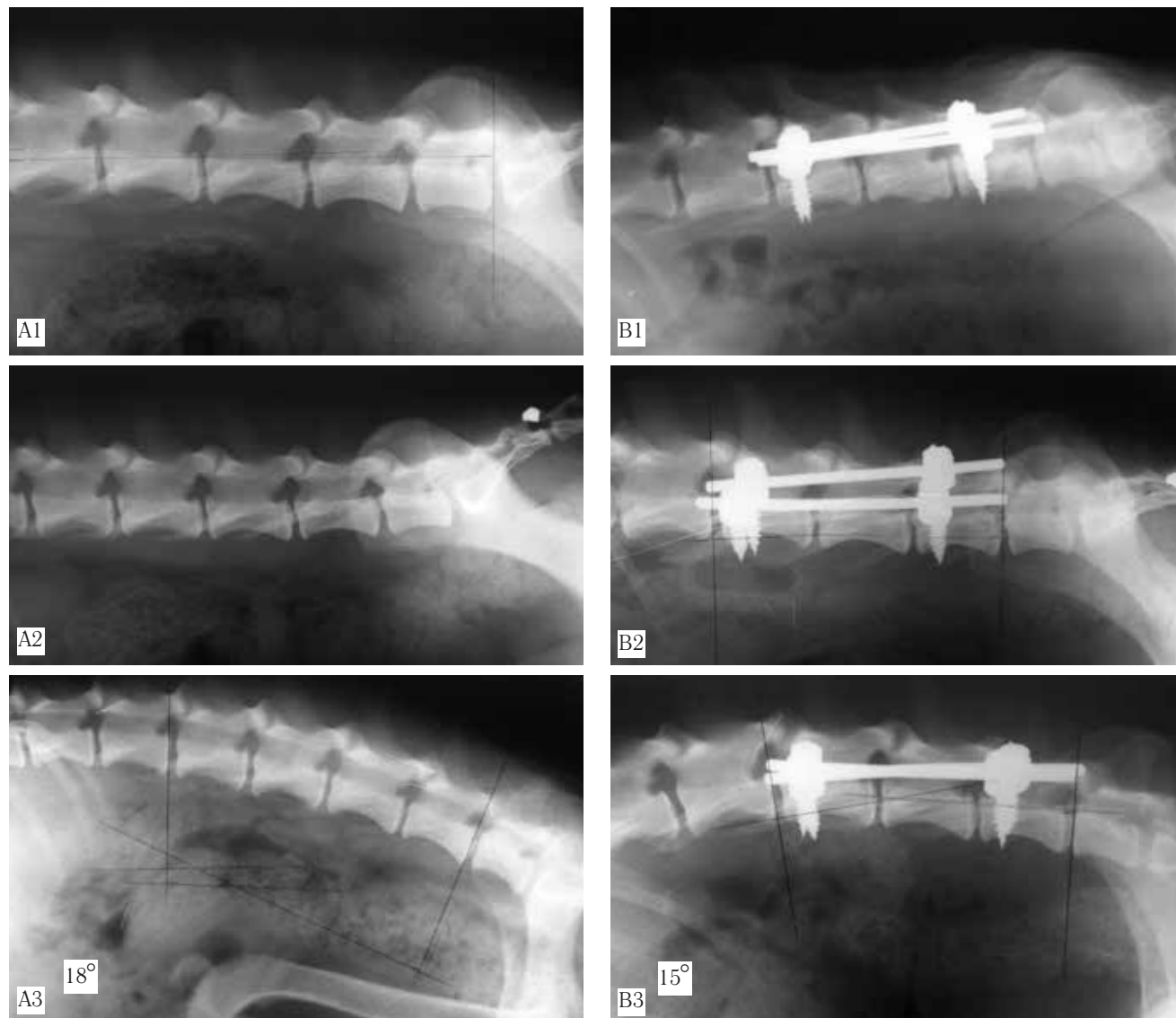
Показатели высоты диска на уровне фиксации, а также выше и ниже фиксированного ПДС в двух группах экспериментальных животных до оперативного вмешательства составили  $0,3 \pm 0,02$  мм, после фиксации ПДС  $0,3 \pm 0,003$  мм на всем протяжении



**Рис. 1.** Рентгенограммы поясничного отдела позвоночника собаки (группа I): А — до оперативного вмешательства; В — после оперативного лечения (24 мес); А1, В1 — среднефизиологическое положение; А2, В2 — функциональное положение разгибание; А3, В3 — функциональное положение сгибание

эксперимента, что свидетельствует об отсутствии влияния различных видов задней фиксации позвоночника на функцию межпозвонковых дисков в раннем послеоперационном периоде.

сации ПДС. Отмечено, что наличие изменений высоты суставной щели у животных в группе I ниже уровня фиксации в отдаленном сроке (24 мес) изменился на  $0,05 \pm 0,0004$  мм. Также отмечено усиление



**Рис. 2.** Рентгенограммы поясничного отдела позвоночника собаки (группа II): А — до оперативного вмешательства; В — после оперативного лечения (24 мес); А1, В1 — среднефизиологическое положение; А2, В2 — функциональное положение разгибание; А3, В3 — функциональное положение сгибание

Функцию в ПДС оценивали не только за счет определения объема движений по методу Cobb, но и за счет изменения высоты суставной щели дугоотростчатых суставов. Высота суставной щели до оперативного вмешательства в фиксированном сегменте у животных двух групп составлял в среднем  $0,3 \pm 0,002$  мм. В группе животных с динамической фиксацией показатель не менялся и оставался прежним на все протяжении эксперимента. В группе I с ригидной фиксацией высота суставной щели со временем уменьшалась, что особенно отчетливо было отмечено у животных в сроке 18 мес и составило  $0,2 \pm 0,003$  мм. Данный факт можно объяснить началом проявления дистрофических изменений в дугоотростчатых суставах на уровне ригидной фик-

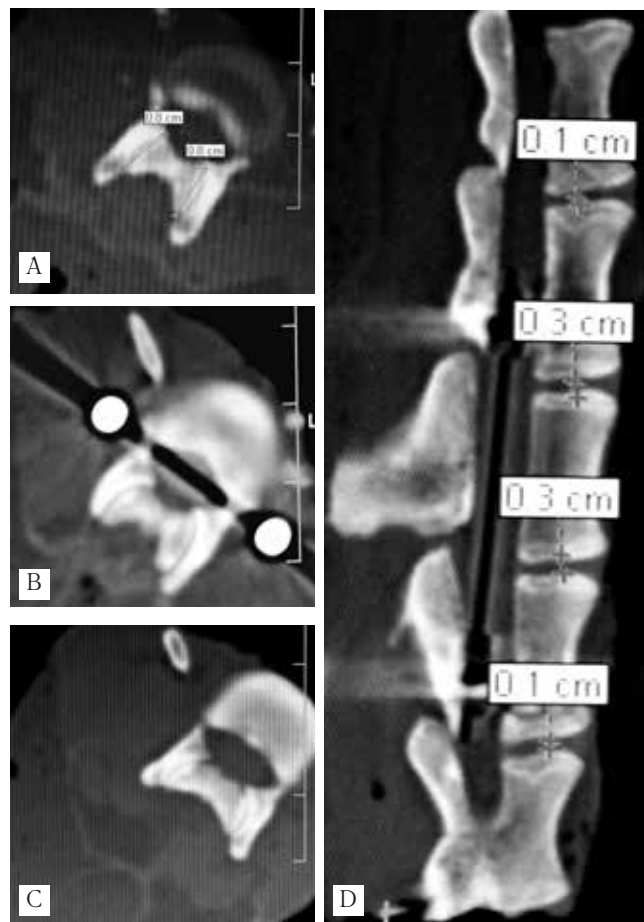
склероза суставных поверхностей дугоотростчатых суставов, что свидетельствовало о наличии дегенерации в суставах. В группе II изменений высоты суставной щели дугоотростчатых суставов выше и ниже уровня фиксации ПДС, а также усиления склероза суставных поверхностей отмечено не было на всем протяжении эксперимента.

При МСКТ исследовании высота диска на уровне фиксации ПДС в обеих группах была одинаковой и составляла в среднем  $0,3 \pm 0,002$  мм на всем протяжении исследования. Разница высоты диска была отмечена на 24-й месяц исследования выше и ниже уровня фиксации ПДС. В I группе животных она снизилась  $0,1 \pm 0,002$  мм (рис. 3). В группе II высота диска не менялась на всем протяжении и составляла



0,3±0,001 (рис. 4). В группе I животных с 18-го месяца исследования отмечены отчетливые признаки дегенерации суставов как на уровне фиксации, так и вне зоны ригидной фиксации ПДС (рис. 3). В группе II с динамической фиксацией склеротические изменения суставных поверхностей не отмечены на всем протяжении исследования (рис. 4). На протяжении всего эксперимента при рентгенологическом и МСКТ-исследовании не было отмечено патологической перестройки костной ткани в перипротезных участках у всех животных.

Полученные результаты экспериментального исследования показывают, что применение ригид-



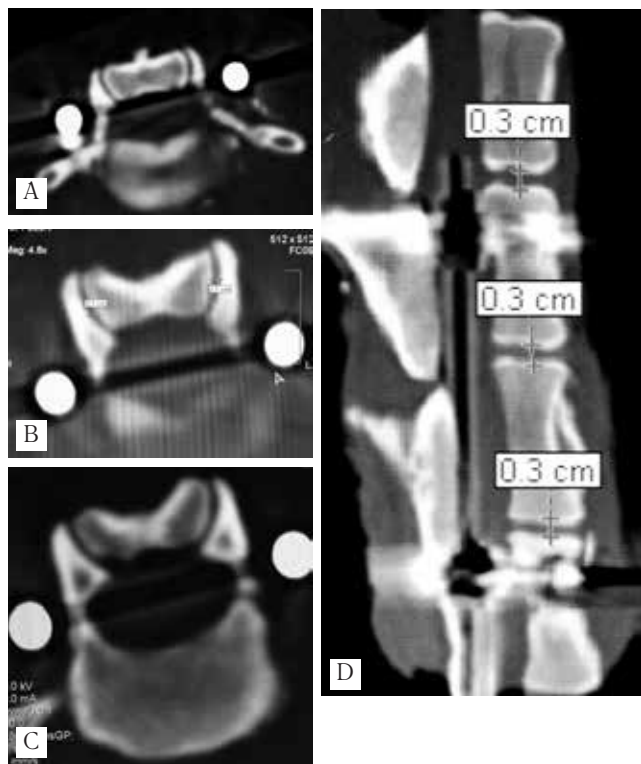
**Рис. 3.** МСКТ позвоночника собаки I группы на 24-й месяц эксперимента. Дегенеративные изменения в форме артроза выше и ниже уровня фиксации (А, С) и в зоне фиксации (В) на аксиальных снимках. Дегенеративные изменения дисков вне зоны фиксации позвоночника в виде снижения высоты дисков и субхондрального склероза на сагиттальной реформации (D)

ных систем фиксации в отдаленном периоде приводят к «выключению» фиксированного ПДС позвоночника из движения. Данный факт ведет к дегенеративным изменениям как в зоне фиксации ПДС, так и в смежных сегментах. В первую очередь начинают подвергаться перегрузке смежные диски и суставы, в результате компенсаторно-приспособительных механизмов. Аналогичные данные получены рядом авторами относительно ригидных систем

фиксации на анатомических препаратах позвоночника [7, 8].

В результате уменьшения высоты смежных дисков происходит смещение суставных поверхностей дугоотростчатых суставов с последующей их дегенерацией.

В группе II с динамической фиксацией ПДС (нитиномом) рентгенологическая картина свидетельствовала об отсутствии изменений и дегенерации суставных отростков в сегментах ПДС, а также о сохранении высоты дисков в смежных сегментах. Данный факт, вероятно, объясняется равномерным



**Рис. 4.** МСКТ позвоночника собаки II группы на 24-й месяц эксперимента. Отсутствие процессов дегенерации в дугоотростчатых суставах выше и ниже фиксации (А, С) и в зоне фиксации (В) на аксиальных снимках. Отсутствие процессов дегенерации вне зоны фиксации позвоночника в виде снижения высоты дисков и субхондрального склероза на сагиттальной реформации (D)

распределением нагрузки на ПДС позвоночника. Рентгенфункциональные исследования показывают сохранение объема движений ПДС в 78,9% от исходного объема движений.

**Выводы.** Таким образом, установлено, что в группе II с динамической фиксацией в смежных ПДС отсутствовали дегенеративные изменения на всем протяжении эксперимента (24 мес) и сохранялся объем движений оперированного сегмента на 78,9% от исходного.

Рентгенологические исследования свидетельствуют о том, что задняя динамическая фиксация позвоночника по своим характеристикам позволяет более равномерно распределить нагрузку на опорные элементы конструкции. Данные системы фиксации

позвоночника позволяют уменьшить или предупредить развитие дегенерации смежных сегментов, что свидетельствует о более физиологических свойствах имплантатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макиров С. К., Юз А. А., Джахаров М. Т., Гусев С. С. Современные возможности задней динамической стабилизации позвоночника в профилактике синдрома смежного уровня: обзор литературы // Хирургия позвоночника.— 2015.— Т. 12, № 1.— С. 46–62.
2. Коллеров М. Ю., Гусев Д. Е., Шаронов А. А., Файнброн А. С., Евдокимов А. В. Выбор режимов термической обработки при производстве медицинского инструмента и имплантатов с памятью формы из сплава ТН1 // Технология легких сплавов.— 2007.— № 3.— С. 52–56.
3. Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов.— СПб., 2001.— 656 с.
4. Гланц С. Медико-биологическая статистика: пер. с англ.— М.: Практика, 1999.— 459 с.
5. Крамер Г. Математические методы статистики.— М.: Мир, 1975.— 632.
6. Математическая статистика в медицине и биологии / ред. В. А. Медик.— Новгород: НовГУ, 1998.— 243 с.
7. Sudo H., Oda I., Adumi K. et al. Biomechanical study on the effect of five different lumbar reconstruction techniques on adjacent-level intradiscal pressure and lamina strain // J. Neurosurg. Spine.— 2006.— No. 5.— P. 150–155.
8. Rao R. D., David K. S., Wang M. Biomechanical changes at adjacent segments following anterior lumbar interbody fusion using tapered cases // Spine.— 2005.— Vol. 30.— P. 2772–2776.

## REFERENCES

1. Makirov S. K., Yuz A. A., Dzhaxarov M. T., Gusev S. S., *Hirurgiya pozvonochnika*, 2015, vol. 12, No. 1, pp. 46–62.
2. Kollerov M. Yu., Gusev D. E., Sharonov A. A., Fajnbron A. S., Evdokimov A. V., *Tehnologiya legkix splavov*, 2007, No. 3, pp. 52–56.
3. Borovikov V. *STATISTICA: iskusstvo analiza dannyx na komputere. Dlya professionalov*, St. Petersburg, 2001, 656 p.
4. Glanc S. *Mediko-biologicheskaya statistika: per. s angl.*, Moscow: Praktika, 1999, 459 p.
5. Kramer G. *Matematicheskie metody statistiki*, Moscow: Mir, 1975, 632 p.
6. *Matematicheskaya statistika v medicine i biologii*, red. V. A. Medik, Novgorod: NovGU, 1998, 243 p.
7. Sudo H., Oda I., Adumi K. et al., *J. Neurosurg. Spine*, 2006, No. 5, pp. 150–155.
8. Rao R. D., David K. S., Wang M., *Spine*, 2005, vol. 30, pp. 2772–2776.

Поступила в редакцию: 27.04.2016 г.

Контакт: Кривошеин Артем Евгеньевич [artem.vertebra@rambler.ru](mailto:artem.vertebra@rambler.ru)

### Сведения об авторах:

*Кривошеин Артем Евгеньевич* — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры травматологии и ортопедии ГБОУ ВПО «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 644043, Омск, ул. Ленина, д. 12, e-mail: [artem.vertebra@rambler.ru](mailto:artem.vertebra@rambler.ru);

*Игнатъев Юрий Тимофеевич* — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ГБОУ ВПО «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 644043, Омск, ул. Ленина, д. 12, e-mail: [ogma.ray@rambler.ru](mailto:ogma.ray@rambler.ru);

*Колесов Сергей Васильевич* — доктор медицинских наук, профессор заведующий отделением патологии позвоночника ЦИТО ФГБУ «Центральный Научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова», 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10, e-mail: [dr-kolesov@yandex.ru](mailto:dr-kolesov@yandex.ru);

*Дочилова Екатерина ергеевна* — аспирантка кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы продуктов животноводства и гигиены животных ФГБОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина», 644122, Октябрьская, д. 92, Омск, e-mail: [dochilova84@mail.ru](mailto:dochilova84@mail.ru).

**Открыта подписка на 1-е полугодие 2017 года.**

**Подписные индексы:**

**Агентство «Роспечать» 57991**

**ООО «Агентство „Книга-Сервис”» 42177**