

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАСПЕДИКУЛЯРНОГО СПОНДИЛОСИНТЕЗА ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ТИПА А3 ПЕРЕХОДНОГО ГРУДОПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА: КЛИНИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

С. В. Лихачев — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии, кандидат медицинских наук; **В. В. Зарецков** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, ведущий научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии, профессор кафедры травматологии и ортопедии, доктор медицинских наук; **В. Б. Арсениевич** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, заведующий травматолого-ортопедическим отделением № 3, кандидат медицинских наук; **И. Н. Щаницын** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии, кандидат медицинских наук; **А. Е. Шульга** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии, кандидат медицинских наук; **А. В. Зарецков** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, доцент кафедры травматологии и ортопедии, кандидат медицинских наук; **Д. В. Иванов** — ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского», ведущий научный сотрудник лаборатории «Системы поддержки принятия врачебных решений», кандидат медицинских наук.

OPTIMIZATION OF TRANSPEDICULAR SPONDYLOSYNTHESIS APPLICATION FOR TYPE A3 LESIONS OF THE THORACOLUMBAR TRANSITION: CLINICAL EXPERIMENTAL STUDY

S. V. Likhachev — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Senior Research Assistant of Department of Innovative Projects in Neurosurgery and Vertebrology, PhD; **V. V. Zaretskov** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Leading Research Assistant of Department of Innovative Projects in Neurosurgery and Vertebrology, Professor of Department of Traumatology and Orthopedics, DSc; **V. B. Arsenievich** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Head of Department of Traumatology and Orthopedics № 3, PhD; **I. N. Shchanitsyn** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Senior Research Assistant of Department of Innovative Projects in Neurosurgery and Vertebrology, PhD; **A. E. Shulga** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Senior Research Assistant of Department of Innovative Projects in Neurosurgery and Vertebrology, PhD; **A. V. Zaretskov** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Associate Professor of Department of Traumatology and Orthopedics, PhD; **D. V. Ivanov** — Saratov State University n. a. N. G. Chernyshevsky, Leading Research Assistant of Laboratory of Support Systems of Medical Decisions, PhD.

Дата поступления — 27.05.2019 г.

Дата принятия в печать — 13.06.2019 г.

Лихачев С. В., Зарецков В. В., Арсениевич В. Б., Щаницын И. Н., Шульга А. Е., Зарецков А. В., Иванов Д. В. Оптимизация использования транспедикулярного спондилосинтеза при повреждениях типа А3 переходного груднопоясничного отдела позвоночника: клинико-экспериментальное исследование. Саратовский научно-медицинский журнал 2019; 15 (2): 275–283.

Цель: оптимизация применения фиксирующих транспедикулярных систем при повреждениях переходного груднопоясничного отдела позвоночника типа А3 на основании тестирования их с использованием компьютерного моделирования, базирующегося на методе конечных элементов. **Материал и методы.** Данные обследования (посттравматическая кифотическая деформация, интенсивность болевого синдрома, продолжительность операции и объем кровопотери) проспективно набранных пациентов мужского пола (81 человек), оперированных в 2017–2018 гг. по поводу неосложненных переломов Th11-L2 позвонков типа А3N0M1 (по классификации AOSpine). Больные разделены на три группы согласно типу вмешательства: короткосегментарную (n=42), полисегментарную 8-винтовую (n=25) и полисегментарную 6-винтовую (n=14). Для каждого варианта компоновки металлоконструкции выполняли биомеханическое моделирование на основании данных компьютерной томографии. **Результаты.** В процессе биомеханического моделирования при всех рассмотренных вариантах нагружения трехмерных моделей инструментированного позвоночника конструкция с восемью винтами показала себя более стабильной, при этом стабильность полисегментарных конструкций больше бисегментарной на порядок. Результаты хирургического лечения оценены в сроки до 1 года с момента вмешательства. Лучшей коррекции и меньшей ее потери удалось достичь применением полисегментарной фиксации, несмотря на исходно более сложные для коррекции условия по сравнению с первой группой. **Заключение.** Биомеханическое моделирование провоцирует предпосылки развития нестабильности бисегментарных систем: повышенные по сравнению с полисегментарной фиксацией эквивалентные напряжения и максимальные перемещения. Анализ эффективности применения различных вариантов транспедикулярной фиксации при повреждениях переходного груднопоясничного отдела позвоночника типа А3 подтвердил преимущество полисегментарных компоновок транспедикулярных систем, причем наиболее предпочтительной по ряду показателей является имплантация 6-винтовой полисегментарной системы.

Ключевые слова: переходный груднопоясничный отдел позвоночника, транспедикулярная фиксация, биомеханическое моделирование.

Likhachev SV, Zaretskov VV, Arsenievich VB, Shchanitsyn IN, Shulga AE, Zaretskov AV, Ivanov DV. Optimization of transpedicular spondylosynthesis application for type A3 lesions of the thoracolumbar transition: clinical experimental study. Saratov Journal of Medical Scientific Research 2019; 15 (2): 275–283.

Objective: the optimization of transpedicular systems application for type A3 lesions of the thoracolumbar transition using computer simulation based on the finite elements method. **Material and Methods.** The examination data (post-traumatic kyphotic deformation, intensity of pain syndrome, length of operation and extent of blood loss) of 81 prospectively enrolled male patients who in 2017–2018 had been operated for Th11-L2 vertebrae simple fractures of A3N0M1 type (AOSpine classification). The patients were divided into 3 groups in accordance with the type of intervention performed on them: short-segment (n=42), 8-screws polysegment (n=25) and 6-screws polysegment (n=14). Biomechanical simulation based on the computer tomography data was performed for each variant of the metal construction arrangement. **Results.** In the process of biomechanical simulation with all the variants of the instrumented spine 3D-

models loading 8-screws construction proved to be the most consistent one, at that the stability of polysegmental constructions exceeds that of bisegmental one by an order. The results of surgical management were evaluated in terms of up to a year following the intervention. The loss was less and the correction worked better with polysegmental fixation despite more complicated initial conditions for the correction compared to those of group 1. *Conclusion.* Biomechanical simulation shows prerequisites for the development of bisegmental systems instability as the equivalent stresses and peak displacements are higher compared to those of polysegmental fixation. The efficiency analysis of application of various transpedicular fixations for type A3 thoracolumbar transition lesions attests to the advantage of polysegmental arrangements of transpedicular systems, at that the implantation of the 6-screws polysegmental system should be considered the first choice on the number of indices.

Key words: thoracolumbar transition, transpedicular fixation, biomechanical simulation.

Введение. В структуре повреждений опорно-двигательной системы травма позвоночника занимает особое место в связи с широкой распространенностью среди трудоспособного населения, а также ввиду сопутствующих ей длительных сроков нетрудоспособности и последующей инвалидизации пострадавших [1]. По данным литературы, до 70% поврежденных позвоночного столба присущи уровню Th11-L2 позвонков [2, 3]. Это обусловлено тем, что переход относительно ригидного грудного отдела в мобильный поясничный и изменения в краниокаудальном направлении ориентации суставных отростков из фронтальной плоскости в сагиттальную при критической нагрузке «ставят» позвонки данной локализации [4] в неблагоприятные биомеханические условия [5, 6]. Обозначенные особенности привели ко вполне целесообразному появлению термина «переходный груднопоясничный отдел позвоночника» [7].

Наиболее распространенными повреждениями данной локализации, подлежащими хирургическому лечению, по данным U. J. Spiegel с соавт. (2017), являются переломы типа A3 (по классификации AOSpine), которые вызваны в основном ударной нагрузкой, приложенной по оси позвоночного столба и приводящей к разрушению передней и средней опорных колонн позвоночного столба при интактном заднем остеолигаментарном комплексе [2]. При этом большие с повреждениями типа A3 в зависимости от сопутствующих факторов (соматическое состояние, наличие повреждений связочного комплекса) могут лечиться как оперативно, так и консервативно. Злоупотребление альтернативной возможностью лечить данную категорию пациентов консервативно [8] в ряде случаев приводит к таким неудовлетворительным результатам, как формирование грубых посттравматических кифотических деформаций, развитие вторичного неврологического дефицита, и, как следствие, к необходимости выполнения более сложных многоэтапных корригирующих вмешательств [9, 10].

Клинические и библиометрические исследования в качестве приоритетной концепции реконструктивного вмешательства при переломах типа A3 предлагают короткосегментарную (бисегментарную) транспедикулярную фиксацию [6]. Тем не менее на протяжении более чем 15 лет в доступной литературе не теряет актуальности вопрос недостаточной стабильности короткосегментарных транспедикулярных конструкций при оскольчатых переломах груднопоясничной локализации. Так, по данным R. F. McLain с соавт. (1993) и F. De Iure с соавт. (2018), стандартная методика, включающая билатеральное введение винтов в смежные с поврежденными позвонки, часто сопровождается в дальнейшем развитием нестабильности металлоконструкции [11]. Исходя

из анализа доступных источников, наиболее распространенным вариантом снижения риска развития подобных осложнений следует признать использование дополнительных винтов, введенных непосредственно в поврежденный позвонок. Клинические и экспериментальные исследования демонстрируют преимущества такого подхода [12].

По мнению U. Canbek с соавт. (2014), приоритетным вариантом дорзального инструментирования при повреждениях Th11-L2 позвонков является полисегментарная транспедикулярная фиксация [13]. Однако метаанализ литературных данных девяти исследований высокой степени достоверности, проведенный A. A. Tarek (2017), демонстрирует отсутствие значимых различий в исходах лечения при использовании бисегментарной и полисегментарной методик фиксации травмированного груднопоясничного перехода. Сравнивая результаты использования короткосегментарной транспедикулярной системы, включающей введение винтов в поврежденный позвонок, с полисегментарной системой, характеризующейся билатеральным введением транспедикулярных винтов в два позвонка краниальнее и два позвонка каудальнее поврежденного, M. Dobran с соавт. (2016) находят обе компоновки достаточно стабильными [14]. Описанное расположение транспедикулярных винтов при полисегментарной фиксации является классическим, однако предлагаются и другие варианты их расположения [15]. Следовательно, единой точки зрения в вопросах расположения опорных элементов подобных конструкций на сегодняшний день нет. Приведенные аргументы делают целесообразным дальнейшую разработку данной темы.

Известны различные способы оценки адекватности металлофиксации позвоночника. Оптимальным вариантом, разумеется, является клиническое исследование. Продолжительность, этическая и финансовая составляющие нередко делают подобный подход не вполне оптимальным. Сделать предварительный прогноз результатов хирургической реконструкции на основании биомеханических свойств инструментированного позвоночника возможно на основании кадавр-эксперимента [16]. Более технологичным и современным методом определения стабильности металлофиксации, по мнению ряда авторов, является компьютерное биомеханическое моделирование. Валидность его относительно *in vitro* исследований подтверждена экспериментально [17]. Математической основой моделирования является метод конечных элементов — численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твердого тела, в роли которого можно рассматривать и инструментированный позвонок.

Известны публикации, описывающие биомеханические аспекты использования транспедикуляр-

Ответственный автор — Лихачев Сергей Вячеславович
Тел.: +7 (904) 2417001
E-mail: likha4@mail.ru

ных систем при тораколюмбарной травме, однако рассматриваемые варианты расположения винтов не отражают в полной мере всех потребностей клинической практики [18].

Цель: оптимизация применения фиксирующих транспедикулярных систем при повреждениях переходного грудопоясничного отдела позвоночника типа А3 на основании тестирования их с использованием компьютерного моделирования, базирующегося на методе конечных элементов.

Осуществлен также предварительный анализ клинического применения различных транспедикулярных систем.

Материал и методы. Проанализированы данные проспективно набранных пациентов мужского пола (81 человек), оперированных в 2017–2018 гг. по поводу неосложненных переломов Th11-L2 позвонков типа А3NOM1 (по классификации AOSpine). Критериями включения в исследование являлись: изолированная травма позвоночника, тип повреждения, сроки с момента травмы (до двух недель), возраст 18–65 лет, отсутствие остеопороза (Т-критерий при денситометрии выше –1,0). Больные разделены на группы согласно типу операции (рис. 1).

В 1-ю группу включены больные (n=42), которым было выполнено вмешательство в объеме 4-винтового бисегментарного спондилосинтеза. Во 2-ю группу вошли пациенты (n=25), которым был выполнен полисегментарный транспедикулярный спондилосинтез с билатеральным введением винтов в 2 позвонка краниальнее и 2 позвонка каудальнее поврежденного. К 3-й группе отнесены больные (n=14), компоновка полисегментарной транспедикулярной системы у которых отличалась от 2-й группы введением в смежные с поврежденным позвонки по одному винту в «шахматном порядке» (см. рис. 1).

По возрастному составу и антропометрическим данным группы однородны. Медиана возраста (интерквартильный интервал) больных 1, 2 и 3-й групп составила 45 (34-54) лет; веса — 74 (67-80) кг; роста — 173 (166-178) см. Для определения интенсивности вертеброгенного болевого синдрома использовали 10-балльную визуально-аналоговую шкалу (ВАШ-10). Интенсивность боли до операции у больных 1, 2 и 3-й групп значительно не различалась, медиана составляла 7 (7-8) баллов.

Всем пациентам перед операцией, через 7 дней и через 2, 6 и 12 месяцев после вмешательства выполняли рентгенографию в двух проекциях в положе-

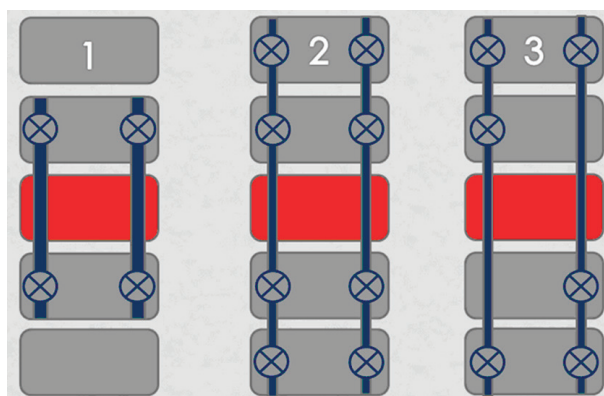


Рис. 1. Компоновки транспедикулярных фиксирующих систем в исследуемых группах

нии стоя. Рентгенографию через 6 дней после операции выполняли в режиме «all body». Компьютерную томографию (КТ) выполняли за сутки до и в 1-е сутки после операции. Уточняли морфологию перелома, измеряли сегментарную кифотическую деформацию, контролировали корректность проведения винтов. По некоторым параметрам группы больных значительно различались. В частности, наиболее выраженная сегментарная кифотическая посттравматическая деформация выявлена у пациентов 2-й группы, медиана составила 14 (13-26). Значимо меньшей деформацией характеризовались 1-я и 3-я группы пациентов, медиана составила 9 (7-12) и 12 (9-13) соответственно. При развитии в дальнейшем нестабильности металлоконструкции ее регистрировали. Анализу подвергли также продолжительность вмешательства и объем интраоперационной кровопотери.

Исходными данными для построения твердотельной модели инструментированного позвоночника послужили DICOM-файлы послеоперационной КТ и рентгенограммы, выполненные в положении пациента стоя в двух проекциях в режиме «all body», со сшиванием снимков. На первом этапе создавалась трехмерная компьютерная модель позвоночника на основе данных КТ. Далее создавалась трехмерная модель фиксирующей транспедикулярной системы. В дальнейшем модели систем фиксации и позвоночника комбинировали и получали модели, которые показаны на рис. 2.

Биомеханическое моделирование выполняли для каждого варианта компоновки металлокон-

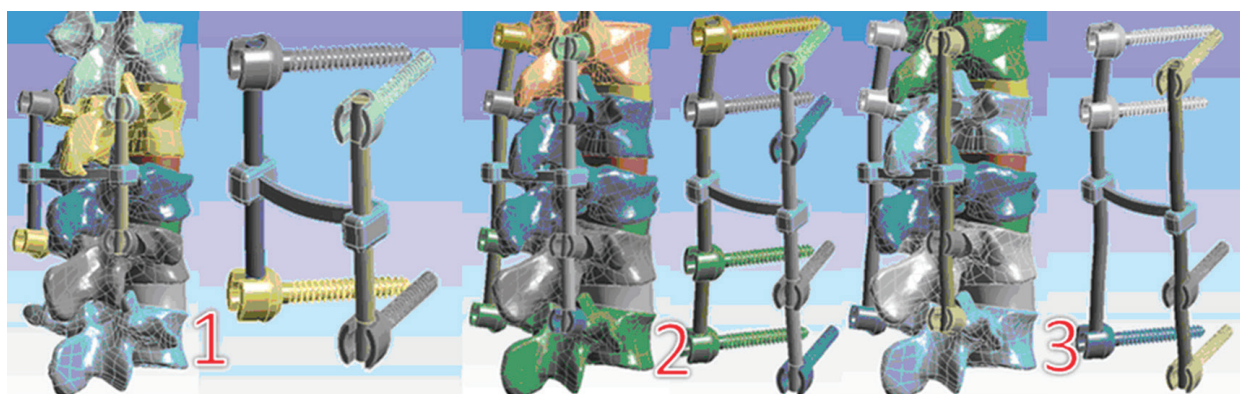


Рис. 2. Трехмерные модели переходного грудопоясничного отдела позвоночника трех групп пациентов с имплантированными транспедикулярными системами:
1 — бисегментарная транспедикулярная фиксация; 2 — полисегментарная 8-сегментарная фиксация;
3 — полисегментарная 6-винтовая фиксация пациентов

Характеристика эпизодов развития нестабильности металлоконструкции (МК)

№ Пациента	Уровень повреждения	Сроки с момента операции до возникновения нестабильности МК, сут.	Характер нестабильности
1	L1	29	Перелом 2 краниальных винтов
2	L1	91	Перелом 2 краниальных винтов
3	L1	87	Перелом 1 краниального винта
4	Th12	90	Перелом 2 стержней
5	L1	93	Перелом 2 стержней
6	L1	34	Перелом 1 стержня
7	Th12	89	Перелом 1 каудального винта
8	Th12	56	Перелом 1 каудального винта
9	L1	88	Перелом 1 стержня
10	L1	79	Прорезывание 2 краниальных винтов
11	L1	120	Прорезывание 2 краниальных винтов

струкции на основании DICOM-файлов, полученных при компьютерной томографии, а также рентгенограмм пациентов. Модель позволила исследовать напряженно-деформированные состояния в системе «кость — фиксирующая система». Использование программы конечно-элементного анализа ANSYS позволило рассчитать и проанализировать напряжения, возникающие в позвонках, межпозвонковых дисках и транспедикулярной системе при приложении следящей нагрузки и нагрузок, возникающих при сгибании, разгибании, наклонах вправо и влево, а также ротации по и против часовой стрелки. Характеристики нагрузок соответствовали усредненным антропометрическим данным пациентов, включенных в исследование. Величина моментов составила 7,6 Нм. Механические характеристики элементов позвоночного столба и имплантатов заимствованы из доступной литературы [19].

Статистический анализ клинического материала проводили, используя программный продукт Microsoft Excel 13 и Statistica 6.0 с пакетом прикладных программ. Проверка на нормальность распределения включала применение критериев Колмагорова — Смирнова и Шапиро — Уилка. Распределение большинства количественных признаков не было нормальным, поэтому для описания использовали

медиану и 25–75-й процентиля, а при анализе — методы непараметрической статистики: U-критерий Манна — Уитни (двусторонний тест) и критерий Краскала — Уоллиса. Для сравнения групп по качественным признакам рассчитывали критерий χ^2 Пирсона (при числе наблюдений в ячейках таблицы менее 5 использовали точный критерий Фишера, двусторонний тест). Для оценки выраженности кифотической деформации в различные периоды после операции применяли критерий знаковых рангов Уилкоксона. Для всех используемых методов статистически значимым считали значение p менее 0,05.

Результаты. Последствия хирургического лечения оценены в сроки до 1 года с момента вмешательства. Динамика регресса вертеброгенного болевого синдрома представлена графически на рис. 3.

Интенсивность болевого синдрома, схожая у всех больных до операции, в послеоперационном периоде значительно выше у пациентов 1-й группы относительно 2-й и 3-й групп на протяжении наблюдения. Примечательно, что 2-я и 3-я группы пациентов по этому параметру не различаются. В конечном итоге вне зависимости от объема операции удалось достичь значимого анальгетического эффекта.

Исходные показатели сегментарного посттравматического кифоза статистически значимо различа-

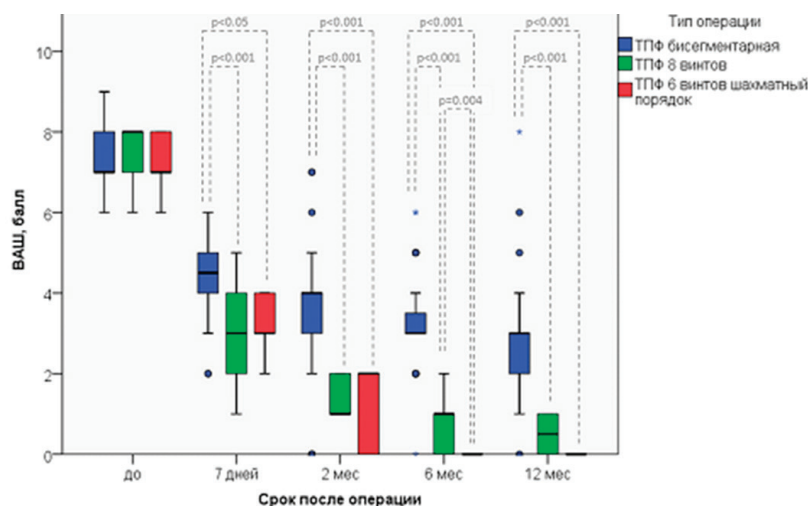


Рис. 3. Динамика регресса вертеброгенного болевого синдрома по группам пациентов

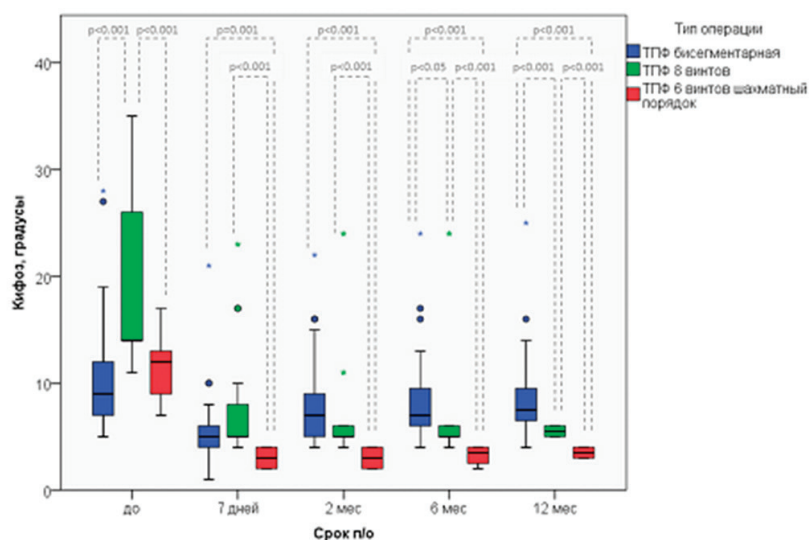


Рис. 4. Динамика изменений посттравматического сегментарного кифоза по группам пациентов

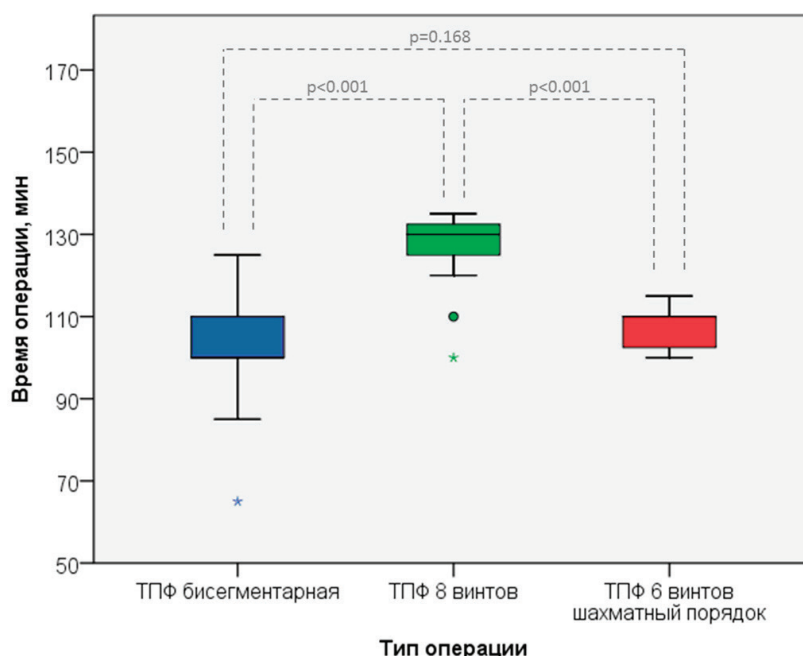


Рис. 5. Продолжительность транспедикулярного спондилосинтеза по группам пациентов

лись между группами. Лучшей коррекции и меньшей ее потери удалось достичь благодаря применению полисегментарной фиксации, несмотря на исходно более сложные для коррекции условия по сравнению с 1-й группой (рис. 4). Все типы операций позволили в достаточной мере корригировать посттравматическую кифотическую деформацию.

Продолжительность операции у пациентов 3-й группы (6 транспедикулярных винтов, установленных в «шахматном порядке») составляла 110 (100-110) минут (медиана и квантили при описании здесь и в дальнейшем) и сопоставима с бисегментарной фиксацией 100 (100-110) минут ($p=0,168$). При этом полисегментарная фиксация с использованием 8 винтов — статистически значимо более продолжительная операция (130 (120-135) минут, $p<0,001$). Такое соотношение продолжительности операции мы

связываем с относительной простотой совмещения стержня с тремя винтами в 3-й группе по сравнению с четырьмя винтами во 2-й группе, а также с более удобным заведением длинного стержня в полисегментарной конструкции по сравнению с бисегментарной за счет большего рычага. Графически соотношение продолжительности вмешательства в разных группах пациентов отображено на рис. 5.

Объем интраоперационной кровопотери при соответствующем типе инструментирования позвоночника представлен на рис. 6. Интраоперационная кровопотеря у пациентов 3-й группы (6 винтов) сопоставима с таковой при бисегментарной фиксации. При этом полисегментарная фиксация с использованием 8 винтов сопровождается статистически значимо большей кровопотерей, чем бисегментарная фиксация. Такое соотношение можно связать

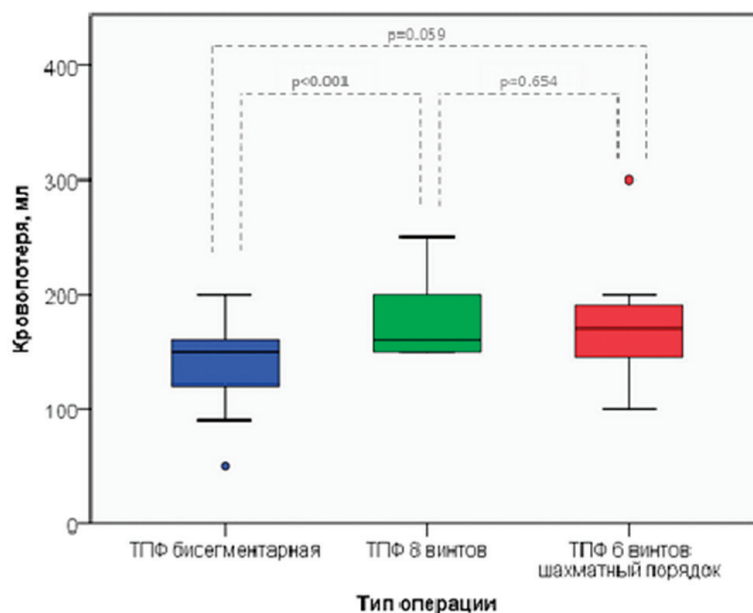


Рис. 6. Интраоперационная кровопотеря по типам операций

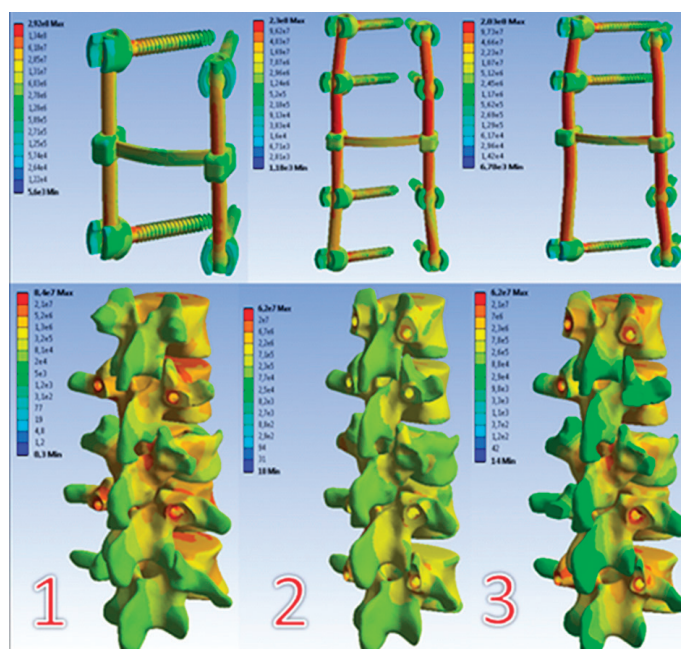


Рис. 7. Напряжения в позвонках и фиксирующих системах: 1 — бисегментарная транспедикулярная фиксация; 2 — полисегментарная 8-винтовая транспедикулярная фиксация; 3 — полисегментарная 6-винтовая транспедикулярная фиксация

как с общей продолжительностью вмешательства, так и с суммированием небольших объемов потери крови при подготовке «посадочного» места для каждого транспедикулярного винта.

Особое внимание обращали на развитие послеоперационных осложнений, обусловленных нестабильностью металлоконструкции. Если на протяжении периода наблюдения за пациентами во 2-й и 3-й группах таких проблем выявлено не было, то бисегментарная транспедикулярная фиксация оказалась несостоятельной в 11 случаях (26% пациентов 1-й группы) (таблица).

При компьютерном биомеханическом конечно-элементном моделировании получены результаты

для трех компоновок транспедикулярных фиксирующих систем при повреждениях L1-позвонка типа A3 по AOSpine.

На рис. 7 визуализированы максимальные эквивалентные напряжения в имплантированных металлоконструкциях и позвонках для сегментов переходного груднопоясничного отдела позвоночника в случае нагружения скручивающим моментом. Распределение напряжений типично и для других исследованных вариантов нагружения.

На рис. 8 и 9 представлены наибольшие значения эффективных напряжений, возникающих в позвонках переходного груднопоясничного отдела позвоночника для трех рассмотренных вариантов компоновки

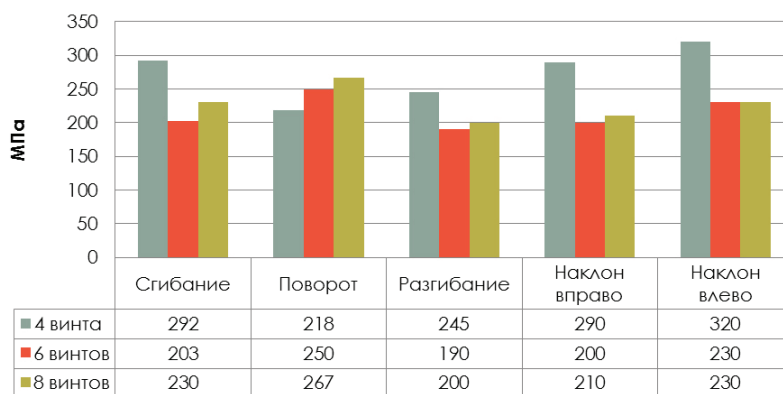


Рис. 8. Максимальные эквивалентные напряжения в металлоконструкции

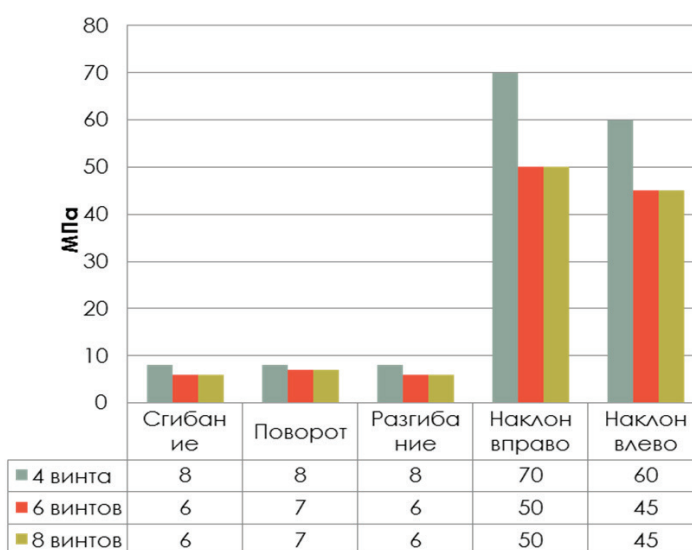


Рис. 9. Максимальные эквивалентные напряжения в костной ткани

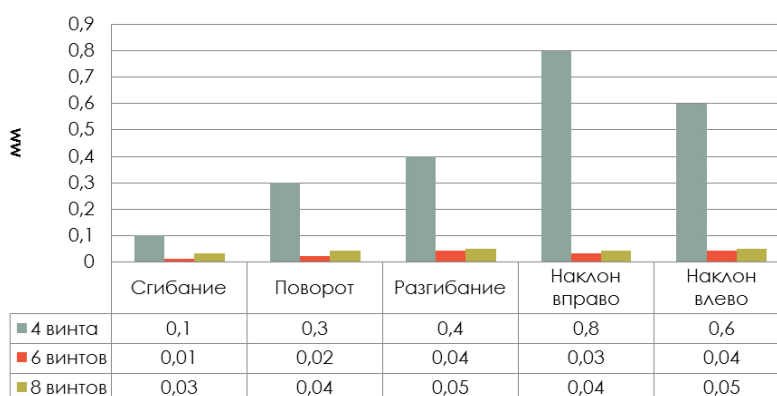


Рис. 10. Наибольшие значения перемещений в системе «позвоночник — металлоконструкция»

металлоконструкций при различных «движениях». В случае бисегментарной конфигурации транспедикулярной системы напряжения в инструментированных позвонках и металлоконструкции значительно превышают таковые при полисегментарной фиксации. Напряжения, возникающие при нагрузках, имитирующих физиологические, в полисегментарных транспедикулярных системах, значимо не отличаются. Таким образом, можно сделать вывод, что с точ-

ки зрения биомеханики полисегментарная транспедикулярная фиксация (6- и 8-винтовые системы) предпочтительнее бисегментарной фиксации, так как обеспечивает более высокую стабильность и не перегружает зоны контакта «металл — кость».

Наибольшие значения перемещений для всех видов фиксации и пяти прикладываемых моментов нагрузки показаны на рис. 10.

При всех рассмотренных вариантах нагружения конструкция с восемью винтами оказалась более жесткой и стабильной, чем прочие. При этом стабильность полисегментарных конструкций больше бисегментарной на порядок.

Обсуждение. С точки зрения биомеханики предпочтительнее фиксация переходного груднопоясничного отдела позвоночника полисегментарной конструкцией, так как по сравнению с бисегментарной транспедикулярной системой она более стабильна и характеризуется меньшими напряжениями и деформациями в позвонках и элементах металлоконструкции. Данный вариант операции, в отличие от предлагаемых многими авторами компоновок [14], не предполагает инструментирования поврежденного позвонка, которое повлекло бы за собой необходимость перемонтажа металлоконструкции при развитии посттравматического остеонекроза поврежденного позвонка [12]. При этом коррекция кифотической деформации, достигаемая при использовании 8-винтовой компоновки транспедикулярной системы, значимо превосходит возможности короткосегментарной системы.

Заключение. Компьютерное биомеханическое моделирование различных вариантов транспедикулярного спондилосинтеза переходного груднопоясничного отдела позвоночника демонстрирует свою состоятельность в клинической практике для исследования биомеханических параметров функционирования инструментированного позвонка и может быть использовано в процессе планирования спондилосинтеза.

Биомеханическое моделирование провоцирует предпосылки развития нестабильности бисегментарных систем: повышенные по сравнению с полисегментарной фиксацией эквивалентные напряжения и максимальные перемещения. Анализ эффективности применения различных вариантов транспедикулярной фиксации при повреждениях переходного груднопоясничного отдела позвоночника типа АЗ подтвердил преимущество полисегментарных компоновок транспедикулярных систем, причем наиболее предпочтительной по ряду показателей является имплантация 6-винтовой полисегментарной системы.

Конфликт интересов. Работа выполнена в рамках инициативного плана НИИТОН ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России «Совершенствование методов диагностики, лечения и профилактики травм и заболеваний опорно-двигательной и нервной систем». Регистрационный номер АААА-А18-118060790019-0.

Авторский вклад: концепция и дизайн исследования — В.В. Зарецков, С.В. Лихачев; получение и обработка данных — И.Н. Щаницын, С.В. Лихачев, А.Е. Шульга; анализ и интерпретация результатов — В.Б. Арсениевич, А.В. Зарецков, Д.В. Иванов; написание статьи — С.В. Лихачев, В.В. Зарецков, В.Б. Арсениевич, И.Н. Щаницын, А.Е. Шульга, А.В. Зарецков, Д.В. Иванов; утверждение рукописи для публикации — С.В. Лихачев.

References (Литература)

1. Netsvetov PV, Khoudiayev AT, Diachkova GV, Liulin SV. Roentgenometric characteristic of thoracic and lumbar spinal fractures according to CT data at different stages of treatment by transpedicular fixation technique. *Genij Ortopedii* 2007; 1: 69–75. Russian (Нецветов П.В., Худяев А.Т., Дьячкова Г.В., Люлин С.В. Рентгенометрическая характеристика переломов грудного и поясничного отделов позвоночника, по данным

компьютерной томографии, на различных этапах лечения методом транспедикулярной фиксации. *Гений ортопедии* 2007; 1: 69–75).

2. Spiegl UJ, Josten C, Devitt BM, Heyde C-E. Incomplete burst fractures of the thoracolumbar spine: a review of literature. *Eur Spine J* 2017; 26 (12): 3187–98.

3. Zaretskov VV, Arsenievich VB, Likhachev SV, et al. A clinical case study of long-term injury of the thoracic and lumbar spine. *Pediatric Traumatology, Orthopedics and Reconstructive Surgery* 2016; 4 (2): 61–5. Russian (Зарецков В.В., Арсениевич В.Б., Лихачев С.В., Шульга А.Е., Степухович С.В., Богомолова Н.В. Застарелое повреждение переходного груднопоясничного отдела позвоночника. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста* 2016; 4 (2): 61–5).

4. Dulaev AK, Khan ISh, Dulaeva NM. Causes of anatomical and functional failure of treatment in patients with thoracic and lumbar spine fractures. *Spine Surgery* 2009; 2: 17–24. Russian (Дулаев А.К., Хан И.Ш., Дулаева Н.М. Причины неудовлетворительных анатомо-функциональных результатов лечения больных с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника. *Хирургия позвоночника* 2009; 2: 17–24).

5. Ghogawala Z, Martin B, Benzyl EC, et al. Comparative effectiveness of ventral vs dorsal surgery for cervical spondylotic myelopathy. *Neurosurgery* 2011; 68 (3): 622–31.

6. Likhachev SV, Zaretskov VV, Shulga AE, et al. Injuries to the thoracolumbar junction: bibliometric analysis of English-language literature. *Spine Surgery* 2018; 15 (4): 52–69. Russian (Лихачев С.В., Зарецков В.В., Шульга А.Е., Грамма С.А., Щаницын И.Н., Бажанов С.П. и др. Повреждения переходного груднопоясничного отдела позвоночника: библиометрический анализ англоязычной литературы. *Хирургия позвоночника* 2018; 15 (4): 52–69).

7. Riaz-ur-Rehman, Azmatullah, Azam F, Mushtaq, Shah M. Treatment of traumatic unstable thoracolumbar junction fractures with transpedicular screw fixation. *J Pak Med Assoc* 2011; 61 (10): 1005–8.

8. Rubery PT, Brown R, Prasarn M, et al. Stabilization of 2-Column Thoracolumbar Fractures with Orthoses. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013; 38 (5): E270–5.

9. Shulga AE, Zaretskov VV, Ostrovsky VV, et al. Towards the causes of secondary post-traumatic deformations of thoracic and lumbar spine. *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2015; 11 (4): 570–5. Russian (Шульга А.Е., Зарецков В.В., Островский В.В., Арсениевич В.Б., Смолькин А.А., Норкин И.А. К вопросу о причинах развития вторичных посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2015; 11 (4): 570–5).

10. Zaretskov VV, Artemyeva IA. Comparative characteristics of the radiological measurement techniques for chest kyphosis. *N. N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics* 1997; 3: 58–9. Russian (Зарецков В.В., Артемьева И.А. Сравнительная характеристика рентгенологических методов измерения грудного кифоза. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова* 1997; 3: 58–9).

11. De lure F, Lofrese G, De Bonis P, et al. Vertebral body spread in thoracolumbar burst fractures can predict posterior construct failure. *Spine J* 2018; 18 (6): 1005–13.

12. Babkina TA, Savello VE. Significance of conventional radiography and computed tomography for assessment of post-operative spine stability in patients with thoracolumbar spinal trauma. *Radiology — Practice* 2013; 4: 6–14. Russian (Бабкина Т.А., Савелло В.Е. Рентгенография и компьютерная томография в оценке эффективности стабилизации позвоночника у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой грудной и поясничной локализации. *Радиология — практика* 2013; 4: 6–14).

13. Canbek U, Karapinar L, Imerci A, et al. Posterior fixation of thoracolumbar burst fractures: is it possible to protect one segment in the lumbar region? *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2014; 24 (4): 459–65.

14. Dobran M, Nasi D, Brunozzi D, et al. Treatment of unstable thoracolumbar junction fractures: short-segment pedicle fixation with inclusion of the fracture level versus long-segment instrumentation. *Acta Neurochir (Wien)* 2016; 158 (10): 1883–9.

15. Wang H, Mo Z, Han J, et al. Extent and location of fixation affects the biomechanical stability of short- or long-segment

pedicle screw technique with screwing of fractured vertebra for the treatment of thoracolumbar burst fractures. *Medicine (Baltimore)* 2018; 97 (26): e11244.

16. McDonnell M, Shah KN, Paller DJ, et al. Biomechanical Analysis of Pedicle Screw Fixation for Thoracolumbar Burst Fractures. *Orthopedics* 2016; 39 (3): e514–8.

17. Couvertier M, Germaneau A, Saget M, et al. Biomechanical analysis of the thoracolumbar spine under physiological loadings: Experimental motion data corridors for validation of finite element models. *Proc Inst Mech Eng Part H J Eng Med* 2017; 231 (10): 975–81.

18. Wang H, Zhao Y, Mo Z, et al. Comparison of short-segment monoaxial and polyaxial pedicle screw fixation combined with intermediate screws in traumatic thoracolumbar fractures: a finite element study and clinical radiographic review. *Clinics* 2017; 72 (10): 609–17.

19. Wu C–C, Jin H–M, Yan Y–Z, et al. Biomechanical Role of the Thoracolumbar Ligaments of the Posterior Ligamentous Complex: A Finite Element Study. *World Neurosurg* 2018; 112: e125–33.

УДК 617.3:616–071/–072/–078

Оригинальная статья

КЛИНИКО-ЛАБОРАТОРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ У ПАЦИЕНТОВ С НЕСТАБИЛЬНОСТЬЮ ЭНДОПРОТЕЗА КОЛЕННОГО СУСТАВА

С. П. Шпиняк — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, младший научный сотрудник отдела инновационных проектов в травматологии и ортопедии, кандидат медицинских наук; **Е. А. Галашина** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, младший научный сотрудник отдела фундаментальных и клинико-экспериментальных исследований, кандидат биологических наук; **И. В. Бабушкина** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, старший научный сотрудник отдела фундаментальных и клинико-экспериментальных исследований, кандидат медицинских наук; **М. В. Гиркало** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в травматологии и ортопедии, кандидат медицинских наук; **О. А. Кауц** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в травматологии и ортопедии, кандидат медицинских наук; **К. А. Гражданов** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в травматологии и ортопедии, кандидат медицинских наук.

CLINICAL AND LABORATORY INDICES OF PERIPROSTHETIC INFECTION IN PATIENTS WITH KNEE ENDOPROTHESIS INSTABILITY

S. P. Shpinyak — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Junior Research Assistant of Department of Innovation Projects in Traumatology and Orthopedics, PhD; **E. A. Galashina** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Junior Research Assistant of Department of Fundamental, Clinical and Experimental Studies, PhD; **I. V. Babushkina** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Senior Research Assistant of Department of Fundamental, Clinical and Experimental Studies, PhD; **M. V. Girkalo** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Senior Research Assistant of Department of Innovation Projects in Traumatology and Orthopaedics, PhD; **O. A. Kautz** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Senior Research Assistant of Department of Innovation Projects in Traumatology and Orthopaedics, PhD; **K. A. Grazhdanov** — Saratov State Medical University n. a. V. I. Razumovsky, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Senior Research Assistant of Department of Innovation Projects in Traumatology and Orthopaedics, PhD.

Дата поступления — 24.05.2019 г.

Дата принятия в печать — 13.06.2019 г.

Шпиняк С. П., Галашина Е. А., Бабушкина И. В., Гиркало М. В., Кауц О. А., Гражданов К. А. Клинико-лабораторные показатели у пациентов с нестабильностью эндопротеза коленного сустава. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2019; 15 (2): 283–286.

Цель: провести оценку изменений клинико-лабораторных показателей у пациентов с глубокой перипротезной инфекцией и асептической нестабильностью эндопротеза коленного сустава. **Материал и методы.** Объект исследования: 80 пациентов с септической и асептической нестабильностью эндопротеза коленного сустава. Пациентам проведено комплексное клинико-лабораторное исследование (цитологическое, микробиологическое исследование внутрисуставной жидкости, гистологическое исследование тканей сустава, методом твердофазного иммуноферментного анализа определяли уровни маркеров ремоделирования скелетной ткани). **Результаты.** Полное сочетание нескольких диагностических критериев, характерных для перипротезной инфекции коленного сустава, выявлено у 23 из 36 больных (63,9%) с верифицированной перипротезной инфекцией. Подозрение на перипротезную инфекцию подтвердилось в 6 из 15 случаев (40%). В группе пациентов, госпитализированных по поводу асептической нестабильности эндопротеза, описанной комбинации признаков перипротезной инфекции не обнаружено, при этом у 10 пациентов (34,5%) выявлены возбудители в суставной жидкости и околосуставных тканях. **Заключение.** Больным с нестабильностью эндопротеза коленного сустава необходимо проводить комплексное клинико-лабораторное обследование, включающее определение иммунологических, цитологических, бактериологических и гистологических показателей, что повышает возможность выявления перипротезной инфекции.

Ключевые слова: эндопротезирование, коленный сустав, нестабильность, инфекция.

Shpinyak SP, Galashina EA, Babushkina IV, Girkalo MV, Kautz OA, Grazhdanov KA. Clinical and laboratory indices of periprosthetic infection in patients with knee endoprosthesis instability. *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2019; 15 (2): 283–286.

Objective: to make assessment of clinical and laboratory indices in patients with deep periprosthetic infection and knee endoprostheses aseptic instability. **Material and Methods.** 80 patients with septic and aseptic instability of knee