

ОСОБЕННОСТИ РЕПАРАТИВНОГО ОСТЕОГЕНЕЗА ПОВРЕЖДЕННЫХ ТЕЛ ГРУДНЫХ И ПОЯСНИЧНЫХ ПОЗВОНКОВ В РАЗЛИЧНЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ ТРАВМЫ

Н.В. Богомолова, А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, А.А. Смолькин, И.А. Норкин

ФГБУ «Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии»
Минздрава России, Саратов, РФ

Проведен анализ результатов морфологического исследования костной ткани тел позвонков, полученной в ходе операции у 43 больных в возрасте от 20 до 67 лет с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника в различные сроки после травмы. Все больные были прооперированы с использованием переднего доступа с целью создания опорного вентрального спондилодеза. В исследуемых серийных препаратах структур тел позвонков оценивали качество костной ткани и ее регенераторный потенциал. Установлено, что дифференцировка клеток в процессе остеогенеза тесно связана с ангиогенезом. В зонах с активным ростом сосудов микроциркуляторного русла шел нормальный цикл развития и дифференцировки остеобластов и остеоцитов, а гипоксия и ацидоз приводили к патологическому остеогенезу. У пациентов в возрасте до 50 лет, как у мужчин, так и у женщин, полноценная консолидация наступала в среднем через 5 мес. У пациентов старше 50 лет независимо от пола констатировали уменьшение объема губчатых структур и снижение минеральной плотности костной ткани. На основании полученных данных сформулированы рекомендации по тактике хирургического лечения больных с повреждениями тел грудных и поясничных позвонков.

Ключевые слова: повреждения позвоночника, репаративный остеогенез, хирургическое лечение, реклинация тела позвонка, вентральный спондилодез.

Peculiarities of Reparative Osteogenesis of Injured Thoracic and Lumbar Vertebral Bodies at Different Terms after Trauma

N.V. Bogomolova, A.E. Shul'ga, V.V. Zaretskov, A.A. Smol'kin, I.A. Norkin

Saratov Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Saratov, Russia

The analysis of the results of morphologic examination of vertebral body bone tissue obtained intraoperatively from 43 patients (20 – 67 years) with thoracic and lumbar spine injuries at different terms after trauma was performed. All patients were operated on via anterior approach to create ventral fusion. In the examined serial samples of vertebral body structures the quality and regeneration potential of bone tissue were assessed. It was shown that cell differentiation during the osteogenesis process was closely associated with angiogenesis. In the zones with active growth of microcirculatory bed vessels the normal cycle of osteoblast and osteocytes took place while hypoxia and acidosis resulted in pathologic osteogenesis. In patients under 50 years, both males and females) the full value consolidation time averaged 5 months. In patients over 50 years, independently of the gender, the decrease of spongy structures volume and bone mineral density was observed. The recommendations on surgical treatment tactics of patients with thoracic and lumbar vertebral body injuries were given.

Key words: spine injuries, reparative osteogenesis, surgical treatment, vertebral body reclinination, ventral fusion.

Введение. В последнее десятилетие наблюдается отчетливая тенденция роста частоты повреждений позвоночника [1, 2]. Согласно данным ВОЗ (2013), ежегодно до полумиллиона человек получает травму позвоночного столба. На грудной и поясничной отделах суммарно приходится около 75% случаев [3]. Специализированная помощь этим пострадавшим включает в себя своевременное и адекватное хирургическое лечение, позволяющее в полном объеме устранить деформацию и надежно стабилизировать поврежденный отдел позвоночника [4–6]. В то же время нередко встречаются ошибки тактического или технического

характера, что приводит в последующем к осложнениям, требующим трудоемких ревизионных вмешательств [7, 8].

Одной из основных причин развития вторичных деформаций является неадекватная оценка типа повреждения и возможностей систем для дорсальной фиксации позвоночника [9, 10]. Известно, что при тяжелых разрушениях тел позвонков процессы консолидации, как правило, протекают замедленно и неполноценно. Следовательно, системы для задней стабилизации позвоночника в течение длительного периода времени выполняют несущую функцию позвонка, в результате чего нередко раз-

виваются усталостные переломы элементов металлоконструкции [11]. Нетрудно понять, почему были значительно расширены показания к вентральному спондилодезу как ко второму этапу оперативного лечения [12]. Однако при выполнении корпороза в отсроченном порядке, на фоне полученной адекватной реклинации, зачастую резецируется уже консолидированное тело позвонка, что наряду с травматичностью вмешательства делает его в этой ситуации совершенно неоправданным [13].

Анализ данных литературы последних лет показывает, что до сих пор не определена роль и, главное, сроки выполнения вентрального спондилодеза в системе профилактики осложнений, связанных с потерей коррекции после первичных дорсальных вмешательств на грудном и поясничном отделах позвоночника. Кроме того, отсутствует четкая градация свежей и застарелой травмы, что влечет за собой ряд тактических ошибок [14]. В рамках вышесказанного актуальным представляется изучение особенностей консолидации губчатой кости позвонка в зависимости от характера повреждения, а также возраста и пола пострадавшего. Возможно, существующий пробел могут восполнить исследования, посвященные морфологическому изучению репаративного остеогенеза поврежденных тел позвонков в различные сроки после травмы [15], что в свою очередь даст возможность определить средние сроки его полноценного сращения, обеспечивающего устойчивость к осевым нагрузкам.

Цель исследования: изучить особенности репаративного остеогенеза поврежденных тел грудных и поясничных позвонков в различные сроки после травмы с учетом характера повреждения и возраста пациентов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведен анализ результатов морфологического исследования костной ткани тел позвонков, полученной при выполнении хирургических вмешательств у 43 больных с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, лечившихся в СарНИИТО в период с 2012 по 2015 г. Большинство составили мужчины — 27 (62,8%) человек. Возраст пациентов варьировал от 20 до 67 лет, причем преобладали лица наиболее трудоспособного возраста (25–50 лет). Были выделены три возрастные группы пострадавших: до 30 лет — 9 (21%) пациентов, от 31 до 50 лет — 21 (48,8%) и старше 50 лет — 13 (30,2%).

Все пострадавшие в зависимости от сроков, прошедших с момента травмы, подразделены на 3 группы: 1-я группа — свежая травма (до 2 нед), 2-я группа — подострая травма (от 2 нед до 1 мес), 3-я группа — застарелая травма (более 1 мес). У 17 (39,5%) пациентов повреждения локализовались в грудном отделе позвоночника, у 26 (60,5%) — в поясничном. Следует отметить, что на переходный грудопоясничный отдел (Th11–L2) пришлось подавляющее число переломов — 37 (86%) пострадавших.

В соответствии с классификацией АО/ASIF [16] условно стабильные АII и АIII повреждения позвоночника диагностированы у 19 (44,2%) пациентов, нестабильные ВII, СI–СIII — у 24 (55,8%).

Стандартное обследование включало изучение жалоб, анамнеза, соматического, неврологического и ортопедического статусов пациента, проведение денситометрии. С целью визуализации повреждений позвоночника использовали обзорную рентгенографию, а также КТ и МРТ в динамике.

Неврологический статус пострадавших оценивали по шкале ASIA/IMSOP, согласно которой у 29 (67,4%) больных отсутствовали признаки поражения спинного мозга, а в 14 (32,6%) наблюдениях травма позвоночника сопровождалась неврологическим дефицитом разной степени выраженности.

Все больные были прооперированы с использованием переднего доступа с целью создания опорного вентрального спондилодеза. Данное вмешательство осуществлялось в разные сроки после травмы. Причиной отказа от корпороза в остром периоде травмы служило тяжелое соматическое состояние пострадавших. Хирургическое вмешательство проводилось с одновременной металлофиксацией дорсальными (транспедикулярная, ламинарная системы) или вентральными (передние винтовые системы) конструкциями. В случаях уже выполненной ранее стабилизации позвоночника из заднего доступа протезирование поврежденного тела позвонка осуществлялось изолированно. В зависимости от локализации травмы использовались классические оперативные доступы к грудному и поясничному отделам позвоночника (торакотомия, торакофрентомия, торакофрентолюмботомия, люмботомия).

В ходе морфологического исследования изучали особенности репаративного остеогенеза поврежденных тел позвонков в зависимости от пола, возраста, характера и сроков травмы. Морфологический материал получен в ходе вышеописанных хирургических вмешательств. С целью забора костной ткани поврежденного позвонка прямым долотом между смежными дисками вырубали костный фрагмент шириной 1 см и толщиной 3–4 см. Костную ткань позвонков фиксировали в 10–12% нейтральном формалине, затем проводили декальцинацию в 12% растворе азотной кислоты. Ткань обезвоживали в батарее спиртов восходящей крепости, заливали в парафин. С парафиновых блоков нарезали серийные срезы толщиной 5–7 мкм, которые после депарафинирования окрашивали гематоксилином и эозином. Обезвоженные, дифференцированные препараты изучали с помощью микроскопа фирмы «Carl Zeiss» при увеличении от 100 до 1000.

В исследуемых серийных препаратах мы старались оценить качество костной ткани и ее регенераторный потенциал по определенному алгоритму [17]. Описание начинали с элементов внутреннего и наружного отделов кортикального слоя; определяли состояние различных элементов матрикса, параметры микроархитектоники

трабекулярной сети (толщину трабекул, их сепарацию и число, а также расстояние между ними и плотность расположения). В местах разветвления трабекул оценивали состояние соединения (узлов), а также концы трабекул — для исследования топологических свойств трабекулярной сети и степени ее соединенности. Изучая строение матрикса, проводили поиск поверхностных и/или интерстициальных дефектов минерализации, выявляли изменения параметров костеобразования и состояние остеоида. В межбалочных пространствах оценивали состояние микроциркуляторного русла и костного мозга.

На клеточном уровне изучали характер остеогенеза, состояние элементов костного дифферона и других структур.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты морфологического исследования тел позвонков пациентов 1-й группы

Одной из основных причин нарастающей в острый период сразу после травмы дистрофии и некроза тканей позвонка являлся механический фактор и, как следствие, — обменная и циркуляторная гипоксия. У данной группы больных костные балки были истончены, с множеством микропереломов и очагами остеомаляции. Во всех наблюдениях отмечены очаговые кровоизлияния различной степени выраженности. Во многих межбалочных пространствах определялись элементы костного мозга и эритроциты (рис. 1). В сохранившихся островках костного мозга визуализировались стромальные клетки с четкой структурой элементов ядра и цитоплазмы. Активность периваскулярных клеток, необходимых для репаративных процессов травмированного позвонка, была достаточно высокой: более 40% элементов клеточного ряда.

У большинства пациентов 1-й группы мы наблюдали изменения сосудов микроциркуляторного русла: неравномерный ход с набуханием, отеком стромы, γ -метахромазией волокнистых элементов и отложением белковых комплексов под эндотелием. В результате изменения межклеточных контактов, метаболических нарушений, реактивного воспаления, кровоизлияний в костных структурах преобладали дистрофия и некроз.

Результаты морфологического исследования тел позвонков у пациентов 2-й группы

Начиная с 3-й недели после травмы, мы отмечали признаки развития очаговых компенсаторно-приспособительных процессов. Во множественных очагах кровоизлияний развивалась туннелизация, начала формироваться грануляционная ткань, появлялись очаги молодой волокнистой соединительной ткани. Сохраняющиеся признаки обменной и циркуляторной гипоксии значительно стимулировали процессы пролиферации соединительнотканых элементов и к концу месяца четко выявлялись признаки активного ангиогенеза и формирование

молодого остеоида. В межбалочных пространствах определялись очаги пролиферации элементов рыхлой волокнистой соединительной ткани с множеством кавернозно расширенных сосудов, а также элементы костного мозга. Местами встречались очаги старых кровоизлияний. В зонах кровоизлияний имела место активная организация с образованием многочисленных щелей и канальцев (туннелей), объединяющихся в систему микроциркуляторного русла. Более половины межклеточных щелей перестраивались в капилляры с эндотелиальной выстилкой. В участках, где туннели долгое время не меняли своей структуры, наблюдали интерстициальный кровоток.

При описании элементов клеточного ряда (дифферона) костной ткани мы всегда учитываем их отдаленность от сосуда. Периваскулярные клетки находятся в лучших, чем отдаленные, трофических условиях, что не может не сказаться на особенностях их метаболизма и дифференцировки. Развивается картина патологического ремоделирования костной ткани позвонка после повреждения. Одномоментное ремоделирование происходит в нескольких очагах (островках) костной ткани маленького объема, что позволяет восстановленной кости частично выполнять свою функцию. В случае обширной зоны патологического ремоделирования увеличивается объем измененной костной ткани, что приводит к нарушению биомеханической (опорной) функции позвонка.

Выявленная высокая активность клеток в периваскулярных зонах остеогенеза к концу 3–4-й недели после травмы связана с самоподдержанием популяции и ее количественным увеличением в процессе роста сосудов (рис. 2, а). Это означает, что в зоне остеогенеза имеет место сочетание процессов пролиферации, дифференцировки и специфического биосинтеза.

Результаты морфологического исследования тел позвонков у пациентов 3-й группы

На 2-м месяце после травмы в очагах формирующейся костной ткани выявлялись все элементы гистогенетического ряда (дифферона), участвующие в регенераторных процессах и ремоделировании костной ткани. До 50% клеток — это дифференцированные костные клетки, обеспечивающие оптимальное структурно-функциональное состояние формирующейся костной ткани с помощью ремоделирующих механизмов (резорбционных и пластических), участвующие в минеральном обмене. Популяция неравномерно расположенных остецитов была весьма разнообразной (рис. 2, б).

Наряду с описанными изменениями обнаружены весьма «пестрые» картины, формирующие своеобразную морфологическую «мозаику» в различных возрастных категориях пациентов 3-й группы. Наблюдалось истончение костных балок, расширение межбалочных промежутков; в костном мозге определялось значительное количество сидерофагов, процесс остеогенеза был нарушен (рис. 2, в).

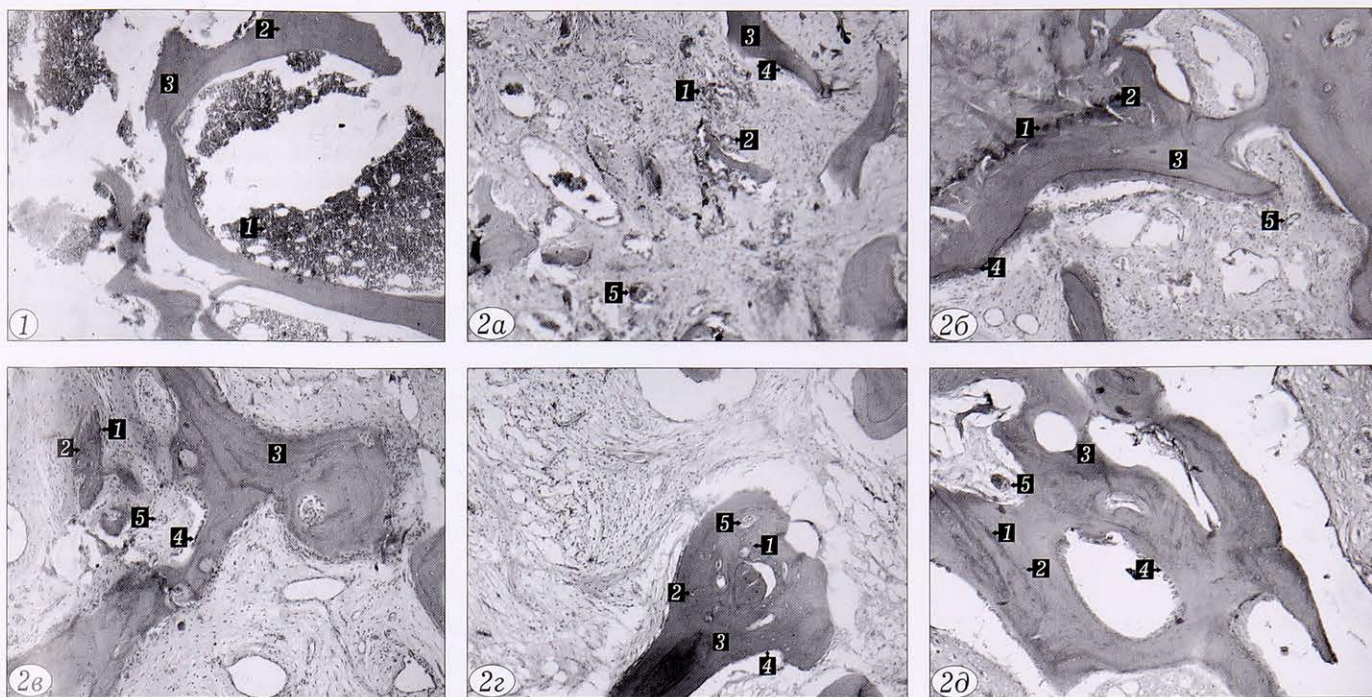


Рис. 1. Фрагмент 2-недельного костного регенерата.
1 — костный мозг, 2 — остеоциты, 3 — первичная костная пластинка.
Здесь и на рис. 2: окраска гематоксилином и эозином, $\times 100$.

Рис. 2. Фрагменты костного регенерата: 20-дневного (а), 2-месячного (б), 2-месячного у пациента с остеопорозом (в), 4-месячного (г) и 5-месячного (д).
1 — зона остеогенеза, 2 — остеобласты, 3 — первичная костная пластинка, 4 — остеокласты, 5 — кровеносный сосуд.

Данные изменения характерны для остеопороза (пациенты возрастных групп).

Формирование провизорных элементов в зоне перелома сопровождалось образованием островков хрящевой и остеоидной (молодой, необызвестленной) костной ткани, на отдельных участках созревающей в балочки и пластинки. Прорастающие сюда молодые сосуды придают регенерату сходство с грануляционной тканью. Наряду с остеоидной и костной тканью встречались островки хрящевой ткани (рис. 2, г). Максимальное количество хрящевой ткани визуализировалось в участках с задержкой роста капилляров и в случаях значительных осевых нагрузок на поврежденный позвонок (неправильная или недостаточная иммобилизация). Перестройка хрящевой ткани в костную шла в основном по типу энхондральной оссификации. Новые костные пластинки были лишены гаверсовых каналов (рис. 2, д).

Для успешного сращения перелома поврежденного позвонка требуется определенный биохимический фон (ферменты, кальций, фосфор, гормоны, витамины) и уровень оксигенации. В результате затянувшегося сращения могут создаваться неблагоприятные условия, связанные с дефицитом вышеперечисленных компонентов [18].

ОБСУЖДЕНИЕ

Организм реагирует на повреждение с момента травмы выбросом гормонов, биологически активных веществ, цитокинов, интерлейкинов, «шоковых молекул». В области повреждения концентрируются белки-опсоины (альбумин, фибриноген, иммуноглобулин класса G и белки системы комплемента) [19] и зона перелома превращается в «горячую точку» с биологически активным материалом, который «сигнализирует» о случившемся всем системам организма. Включается система быстрого реагирования: увеличивается число и повышается активность фибробластов, они начинают синтезировать коллаген. Эти клетки «рекрутируются» из окружающей соединительной ткани под воздействием перифокальных элементов сохранившейся костной ткани образовавшихся гематом. Этот сигнальный каскад инициирует резорбцию и формирование в дальнейшем костной ткани, благодаря чему может происходить ее регенерация и ремоделирование.

Анализируя данные проведенного морфологического исследования, можно сказать, что первые 2 нед после травмы в теле поврежденного позвонка протекают реактивные процессы, характеризующиеся нарушениями кровообращения (кровотечения, тромбообразование, сепарация крови, секвестрация кровотока); воспалительными реакциями; изменением сосудов (неправильный ход с набуханием, отеком стромы, γ -метахромазией волокнистых элементов и отложением белковых комплексов под эндотелием). В результате в костных структурах преобладают дистрофия и некроз, наиболее ярко представленные в очагах со множеством первичных микропереломов.

Первые признаки сращения, если можно так выразиться, или скорее фиброзной спайки («скле-

ивания»), появляются на 10–12-е сутки, на что указывает наличие активных фибробластов и фиброцитов в зоне альтерации. Причем скорость формирования фиброзной спайки и ее гистоморфологическая характеристика не зависели от возраста пациента. Через 3 нед соединительная ткань еще больше организуется, и мы наблюдали очаги пролиферации элементов соединительной ткани, поля ангиогенеза, формирование хондрогенных островков и остеоида. Таким образом, полученные данные указывают на тот факт, что хирургические вмешательства, направленные на реклинацию позвоночника в подостром периоде (от 2 до 3 нед после травмы) заведомо обречены на неудачу. В то же время есть основания предполагать, что наличие «не расправленного» позвонка в условиях дорсальной фиксации может стать показанием к его протезированию на ранних сроках с целью профилактики развития вторичных деформаций.

Изучение репаративного остеогенеза тел поврежденных позвонков в отдаленные сроки после травмы представляло интерес с точки зрения определения сроков их полноценной консолидации. Установлено, что у пациентов до 50 лет вне зависимости от пола сращение проходит ряд стандартных стадий: 1) пролиферация соединительнотканых элементов с активацией периоста и началом ангиогенеза, 2) образование провизорных элементов в зоне повреждения, 3) формирование окончательных структур с ремоделированием костной ткани. В среднем полноценное сращение, когда тело позвонка становится опорным, наступает через 5 мес. Консолидация многооскольчатых (взрывных) переломов протекает замедленно (6 мес), что обусловлено мультифокальными очагами разрушения костной ткани тел позвонков и таким же характером репаративного остеогенеза. Островки восстановления кости и других элементов соединительной ткани значительно отличались по клеточному составу, скорости ангиогенеза и, соответственно, дифференцировке основных структур. Таким образом, данные исследования дают основания предполагать у отдельной группы пациентов быстрое и полноценное сращение поврежденного тела, что позволяет дожидаться консолидации в условиях дорсальной фиксации, без последующего вентрального спондилодеза. При условии, что тело позвонка было полноценно реклинировано в остром периоде травмы.

Как показал анализ полученных данных, остеогенез поврежденных тел позвонков у пациентов старше 50 лет имеет ряд характерных особенностей в зависимости от возраста и половой принадлежности. В частности, практически у всех пострадавших выявлены морфологические признаки остеопороза, в условиях которого остеогенез связан с различными механизмами потери костной массы. Причем у женщин отмечена более «ажурная» морфологическая картина трабекулярных элементов за счет усиленной резорбции, а у мужчин имелись явные признаки замедления костеобразования.

Снижение минеральной плотности костной ткани у пациентов этой группы было подтверждено результатами денситометрии. Полученные данные о длительной и неполноценной консолидации у возрастных пациентов наводят на мысль о целесообразности вентрального спондилодеза на ранних этапах хирургической реабилитации [20].

ВЫВОДЫ

1. Дифференцировка клеток в процессе остеогенеза тесно связана с ангиогенезом и метаболическим каскадом. В зонах с достаточной оксигенацией и хорошим парциальным давлением кислорода, активным ростом сосудов микроциркуляторного русла идет нормальный цикл развития и дифференцировки остеобластов и остеоцитов, а гипоксия и ацидоз обуславливают патологический остеогенез.

2. Формирование фиброзной спайки между отломками поврежденного позвонка начинается в среднем на 10–12-е сутки после травмы, следовательно, реклинация позвоночника позже данного срока может оказаться неэффективной.

3. У молодых пациентов и пострадавших зрелого возраста (30–50 лет), вне зависимости от пола, процесс сращения проходит ряд стандартных стадий и завершается формированием полноценного костного регенерата в среднем через 5–6 мес после повреждения.

4. Ремоделирование костной ткани у пациентов возрастных групп, в большей степени у женщин, протекает длительно и неполноценно, что не позволяет говорить об опорности тела поврежденного позвонка в течение продолжительного периода времени.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Рамих Э.А. Повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника. Хирургия позвоночника. 2008; 1: 86–106 [Ramikh E.A. Injuries of the thoracic and lumbar spine. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2008; 1: 86–106 (in Russian)].
2. Шульга А.Е., Норкин И.А., Нинель В.Г., Пучиньян Д.М., Зарецков В.В., Коршунова Г.А. и др. Современные аспекты патогенеза травмы спинного мозга и стволов периферических нервов. Российский физиологический журнал. 2014; 100 (2): 145–60 [Shul'ga A.E., Norkin I.A., Ninel' V.G., Puchin'yan D.M., Zaretskov V.V., Korshunova G.A., et al. Modern aspects of pathogenesis of the trauma of the spinal cord and trunks of peripheral nerves. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal*. 2014; 100 (2): 145–60 (in Russian)].
3. Луцик А.А., Бондаренко Г.Ю., Булгаков В.Н., Епифанцев А.Г. Передние декомпрессивно-стабилизирующие операции при осложненной травме грудного и грудопоясничного отделов позвоночника. Хирургия позвоночника. 2012; 3: 8–16 [Lutsik A.A., Bondarenko G.Yu., Bulgakov V.N., Epifantsev A.G. Anterior decompressive and stabilizing surgery for complicated thoracic and thoracolumbar spinal injuries. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2012; 3: 8–16 (in Russian)].
4. Зарецков В.В., Арсениевич В.Б., Лихачев С.В., Шульга А.Е., Титова Ю.И. Использование транспедикулярной фиксации при оскольчатых переломах тел грудных и поясничных позвонков. Саратовский научно-медицинский журнал. 2014; 10 (3): 441–6 [Zaretskov V.V., Arsenievich V.B., Likhachyov S.V., Shul'ga A.E., Titova Yu.I.].

- va Yu.I. Transpedicular fixation in comminuted fractures of bodies of thoracic and lumbar vertebrae. *Saratovskiy meditsinskiy zhurnal*. 2014; 10 (3): 441-6 (in Russian)].
5. Рерих В.В., Борзых К.О., Рахматиллаев Ш.Н. Хирургическое лечение взрывных переломов грудных и поясничных позвонков, сопровождающихся сужением позвоночного канала. *Хирургия позвоночника*. 2007; 2: 8-15 [Rerikh V.V., Borzykh K.O., Rakhmatillaev Sh.N. Surgical treatment of burst fractures of the thoracic and lumbar spine accompanied with spinal canal narrowing. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2007; 2: 8-15 (in Russian)].
 6. Норкин И.А., Федонников А.С., Акимова Т.Н., Семенова С.В., Паланчук Б.А., Бажанова С.П. Значимость анализа медико-социальных параметров травм позвоночника в организации специализированной медицинской помощи. *Хирургия позвоночника*. 2014; 3: 95-100 [Norkin I.A., Fedonnikov A.S., Akimova T.N., Semionova S.V., Palanchuk B.A., Bazhanova S.P. The importance of analysis of medical and social parameters of traumatic spine injuries for organization of specialized medical care. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2014; 3: 95-100 (in Russian)].
 7. Колесов С.В., Прохоров А.Н., Сажнев М.Л. Хирургическое лечение тяжелого постламинэктомического кифоза. *Хирургия позвоночника*. 2011; 4: 35-9 [Kolesov S.V., Prokhorov A.N., Sazhnev M.L. Surgical treatment of severe postlaminectomy kyphosis. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2011; 4: 35-9 (in Russian)].
 8. Hempfing A., Zenner J., Ferraris L., Meier O., Koller H. [Restoration of sagittal balance in treatment of thoracic and lumbar vertebral fractures]. *Orthopade*. 2011; 40 (8): 690-702 (in German).
 9. 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 [Dulaev A.K. Khan I.Sh., Dulaeva N.M. Causes of anatomical and functional failure of treatment in patients with thoracic and lumbar spine fractures. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2009; 2: 17-24 (in Russian)].
 10. De Iure F., Bonavita J., Saccavini M., Mavilla L., Bosco G., Boriani S. The role of surgical treatment in the rehabilitation protocols of thoracolumbar spine injuries. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci*. 2013; 17 (21): 2933-40.
 11. Фарйон А.О., Сергеев К.С., Паськов Р.В. Хирургическое лечение повреждений нижних грудных и поясничных позвонков методом транспедикулярной фиксации. *Хирургия позвоночника*. 2006; 4: 40-6 [Farjon A.O., Sergeev K.S., Pas'kov R.V. Transpedicular fixation for lower thoracic and lumbar spine injuries. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2006; 4: 40-6 (in Russian)].
 12. Арсениевич В.Б., Зарецков В.В., Шульга А.Е., Помощников С.Н. Результаты применения полисегментарных вентральных систем при повреждении переходного груднопоясничного отдела позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2007; 3: 16-9 [Arsenievich V.B., Zaretskov V.V., Shulga A.Ye., Pomoshnikov S.N. Outcomes of polysegmental ventral system application for thoracolumbar junction injuries. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2007; 3: 16-9 (in Russian)].
 13. Garreau de Loubresse C. Neurological risks in scheduled spinal surgery. *Orthop. Traumatol. Surg. Res*. 2014; 100 (1): 85-90.
 14. Богомолова Н.В., Норкин И.А., Шульга А.Е., Зарецков В.В., Смолькин А.А. Репаративный остеогенез поврежденных позвонков на различных сроках после травмы. В кн.: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию СарНИИТО. Саратов; 2015: 48-50 [Bogomolova N.V., Norkin I.A., Shul'ga A.E., Zaretskov V.B., Smol'kin A.A. Reparative osteogenesis of injured vertebrae at different terms after trauma. In: Proc. All-Rus. Scient.-Pract. Conf. devoted to 70th Anniversary of SarNIITO. Saratov; 2015: 48-50 (in Russian)].
 15. Liotier P.J., Rossi J.M., Wendling-Mansuy S., Chabrand P. Trabecular bone remodelling under pathological conditions based on biochemical and mechanical processes involved in BMU activity. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin*. 2013; 16 (11): 1150-62.
 16. Muller M.E., Nazarian S., Koch P. Classification AO des fractures. v. 1. Les os longs. Berlin; 1987.
 17. Денисов-Никольский Ю.И., Миронов С.П., Омеляненко Н.П., Матвейчук И.В. Актуальные проблемы теоретической и клинической остеоартрологии. М.: ОАО «Типография «Новости»; 2005 [Denisov-Nikol'skiy Yu.I., Mironov S.P., Omel'yanenko N.P., Matveichuk I.V. Actual problems of theoretical and clinical osteoarthology. Moscow: ОАО «Tipografiya «Novosti»; 2005 (in Russian)].
 18. Омеляненко Н.П., Слуцкий Л.И. Соединительная ткань (гистология и биохимия). т. 2. М.: Известия; 2010: 190-364 [Omel'yanenko N.P., Slutskiy L.I. Connective tissue (histophysiology and biochemistry). v. 2. Moscow: Izvestiya; 2010: 190-364 (in Russian)].
 19. Kumar S. Bone defect repair in mice by mesenchymal stem cells. *Methods Mol. Biol*. 2014; 12 (13): 193-207.
 20. Ветрилэ С.Т., Кулешов А.А., Швец В.В., Дарчия Л.Ю. Тактика хирургического лечения пациентов с переломами тел грудного и поясничного отделов позвоночника в комплексном лечении системного остеопороза. *Хирургия позвоночника*. 2011; 1: 8-15 [Vetrile S.T., Kuleshov A.A., Shvets V.V., Darchiya L.Yu. Surgical treatment of patients with thoracic and lumbar vertebral fractures in multimodal treatment of systemic osteoporosis. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2011; 1: 8-15 (in Russian)].

Сведения об авторах: Богомолова Н.В. — академик РАЕ и АВН, доктор мед. наук, профессор, консультант, отдел фундаментальных и клинико-экспериментальных исследований; Шульга А.Е. — канд. мед. наук, старший науч. сотр. отдела инновационных проектов в вертебрологии и нейрохирургии; Зарецков В.В. — доктор мед. наук, ведущий науч. сотр. отдела инновационных проектов в вертебрологии и нейрохирургии; Смолькин А.А. — младший науч. сотр. того же отдела; Норкин И.А. — доктор мед. наук, профессор, директор СарНИИТО, зав. кафедрой травматологии и ортопедии СарГМУ им. В.И. Разумовского.

Для контактов: Шульга Алексей Евгеньевич. 410002, Саратов, ул. Чернышевского, д. 148. Тел.: +7 (960) 343-79-88. E-mail: doc.shulga@yandex.ru.