

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto77159>

# Репозиционно-фиксационное кольцо для оперативного лечения пациентов с переломами вертлужной впадины (предварительные результаты статических испытаний)

А.И. Колесник<sup>1\*</sup>, Н.С. Гаврюшенко<sup>1</sup>, Л.В. Фомин<sup>1,2</sup>, Н.В. Загородний<sup>1,3</sup>, С.В. Донченко<sup>4</sup>, И.М. Солодилов<sup>5</sup>, Д.А. Иванов<sup>6</sup>, А.В. Овчаренко<sup>7</sup>, В.В. Суриков<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия;

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт механики, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

<sup>3</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Россия;

<sup>4</sup> Городская клиническая больница им. С.П. Боткина, Москва, Россия;

<sup>5</sup> Курская городская клиническая больница № 4, Курск, Россия;

<sup>6</sup> Лыткаринская городская больница, Московская область, Лыткарино, Россия;

<sup>7</sup> Калужская областная клиническая больница скорой медицинской помощи им. К.Н. Шевченко, Калуга, Россия;

<sup>8</sup> Российская медицинская академия непрерывного постдипломного образования, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** В настоящее время широко применяется несколько разновидностей конструкций опорных колец М. Мюллера, Бурха–Шнейдера, кольца фирмы «Protek» (Швейцария), имплантируемых в вертлужную впадину (ВВ), которые используются в хирургическом лечении при застарелых переломах ВВ, как правило, в качестве укрепляющего стенки ВВ устройства.

**Цель.** Изучение деформационных свойств репозиционно-фиксационного кольца.

**Материалы и методы.** Для проведения механических испытаний изготовлено кольцо с внешним диаметром 52 мм методом последовательного спекания с помощью аддитивных технологий фирмой ООО «Конмет» (Москва). Лабораторные механические испытания проведены в испытательной лаборатории медицинских изделий и материалов ФГБУ «НИИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России.

**Результаты.** В результате статического испытания кольца на сжатие, растяжение, кручение и на совместное растяжение и закручивание краев разъема кольца изучены его деформационные свойства. Нагрузка, соответствующая деформации 2 мм, кН: сжатие — 0,180; растяжение — 0,061; кручение (крутящий момент, соответствующий углу поворота 5 град, Нм) — 2,653; совместное растяжение с закручиванием краев разъема кольца (нагрузка, соответствующая деформации 10 мм, кН) — 0,048.

**Заключение.** Результаты первичного изучения деформационного поведения конструкции кольца показывают, что требуется доработка конструкции кольца и дальнейшее исследование его деформационно-прочностных характеристик.

**Ключевые слова:** переломы вертлужной впадины; оперативное лечение; открытая репозиция и фиксация переломов вертлужной впадины; первичное эндопротезирование тазобедренного сустава; репозиционно-фиксационное кольцо; аддитивные технологии.

## Как цитировать:

Колесник А.И., Гаврюшенко Н.С., Фомин Л.В., Загородний Н.В., Донченко С.В., Солодилов И.М., Иванов Д.А., Овчаренко А.В., Суриков В.В. Репозиционно-фиксационное кольцо для оперативного лечения пациентов с переломами вертлужной впадины (предварительные результаты статических испытаний) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2021. Т. 28, № 2. С. 29–38. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto77159>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto77159>

# Repositional-fixation ring for surgical treatment of acetabular fractures (preliminary results of static tests)

Aleksandr I. Kolesnik <sup>1\*</sup>, Nikolay S. Gavryushenko <sup>1</sup>, Leonid V. Fomin <sup>1,2</sup>, Nikolay V. Zagorodni <sup>1,3</sup>, Sergey V. Donchenko <sup>4</sup>, Ivan M. Solodilov <sup>5</sup>, Dmitriy A. Ivanov <sup>6</sup>, Anton V. Ovcharenko <sup>7</sup>, Vladislav V. Surikov <sup>8</sup>

<sup>1</sup> N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Research Institute of Mechanics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

<sup>3</sup> Peoples' friendship university of Russia, Moscow, Russia;

<sup>4</sup> S.P. Botkin City Clinical Hospital, Moscow, Russia;

<sup>5</sup> Kursk City Clinical Hospital No. 4, Kursk, Russia;

<sup>6</sup> Lytkarino City Hospital, Moscow Region, Lytkarino, Russia;

<sup>7</sup> Kaluga City Clinical Hospital, Kaluga, Russia;

<sup>8</sup> Russian medical Academy of continuing postgraduate education, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Currently, several types of designs of support rings of M. Muller, Burch-Schneider, rings of the company "Protek" (Switzerland), implanted in the BB are widely used, which are used in the surgical treatment of long-standing fractures of the BB, as a rule, as a device that strengthens the walls of the BB.

**AIM:** Study of the deformation properties of the repositional-fixing ring.

**MATERIALS AND METHODS:** For carrying out mechanical tests, a ring with an external diameter of 52 mm was made by the method of sequential sintering using additive technologies by the company "Konmet" LLC, Moscow. Laboratory mechanical tests were carried out by the Testing Laboratory of Medical Devices and Materials of the N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics.

**RESULTS:** As a result of static testing of the ring for compression, tension, torsion, and joint stretching and twisting of the edges of the ring connector, its deformation properties are studied. Load corresponding to the deformation of 2 mm, kN: compression — 0.180; tension — 0.061; torsion (torque corresponding to the angle of rotation of 5 degrees, Nm) — 2.653; joint tension with twisting of the edges of the ring connector (load corresponding to the deformation of 10 mm, kN) — 0.048.

**CONCLUSION:** The results of the initial study of the deformation behavior of the ring structure show that it is necessary to refine the ring design and further study the deformation and strength characteristics of the ring.

**Keywords:** acetabular fractures; surgical treatment; open reposition and fixation of acetabular fractures; primary hip replacement; repositional-fixation ring; additive technologies.

## To cite this article:

Kolesnik AI, Gavryushenko NS, Fomin LV, Zagorodniy NV, Donchenko SV, Solodilov IM, Ivanov DA, Ovcharenko AV, Surikov VV. Repositional-fixation ring for surgical treatment of acetabular fractures (preliminary results of static tests). *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2021;28(2):29–38. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto77159>

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Проблема лечения пациентов с переломами вертлужной впадины (ВВ) представляется актуальной со времени начала развития хирургии травмы таза и обусловлена несколькими факторами: ростом дорожного травматизма, увеличением количества и усилением тяжести данной травмы, проблемой лечения при переломах ВВ у пожилых пациентов, высокой травматичностью используемых доступов, сохраняющимися осложнениями и неудовлетворенностью результатами оперативного лечения [1–6]. D. Butterwick и соавт. [5] отмечают, что гериатрические пациенты — самая быстрорастущая подгруппа пациентов с переломами ВВ, при этом частота ее переломов у пациентов старше 60 лет за последнюю четверть века увеличилась в 2,4 раза [5].

Частота переломов ВВ, по данным одних авторов, колеблется от 2 до 23,4% [1]. Многие авторы отмечают, что основной причиной данной травмы становятся дорожно-транспортные происшествия [1, 2, 6–8]. Переломы ВВ одни исследователи относят к высокоэнергетическим переломам [1, 6, 8, 9], другие — к низкоэнергетическим [10, 11].

Хирургическому лечению подлежат пациенты с переломами ВВ со смещением и многоплоскостными переломами [3, 12–15].

Открытая репозиция и внутренняя фиксация (в иностранной литературе используется аббревиатура ORIF — open reduction and internal fixation) до настоящего времени остается стандартным способом лечения при переломах ВВ [6, 14, 16–18], а по мнению отечественных исследователей, является золотым стандартом [6]. E. Letournel еще в 1980 г., имея на то время 22-летний опыт работы в этой области, писал, что идеальная открытая репозиция является методом выбора для лечения переломов ВВ со смещением [19]. При использовании погружного остеосинтеза широкое распространение для фиксации получили различные варианты нейтрализующих пластин и реконструктивных тазовых пластин и других конструкций [12, 15, 20, 21]. В настоящее время в хирургическом лечении при переломах ВВ широко применяют несколько разновидностей конструкций — опорные кольца М. Мюллера, Бурха–Шнейдера, кольца фирмы «Protek» (Швейцария), — имплантируемых в ВВ при ее дефектах различного генеза с целью восстановления ее опороспособности и биомеханики [11, 18, 22]. Однако в травматологии кольца используют, как правило, в качестве укрепляющего стенки ВВ устройства [11, 22] при многооскольчатых и нестабильных переломах ВВ.

Все более широкое распространение получает современный подход в лечении при переломах ВВ, включающий комбинации ORIF и первичного эндопротезирования тазобедренного сустава (ПЭТБС) — подход, называемый «combined hip procedure» (СНР), «комбинированной процедурой пластики ТБС» [23, 24]. Первое

в мире первичное эндопротезирование ТБС при переломе ВВ выполнено в 1954 г. А. Westerborn [18, 25]. О возможности одновременного выполнения ORIF и эндопротезирования ТБС пишут многие авторы, особенно эта тактика показана у лиц пожилого возраста [11, 26–30]. Т. Lont и соавт. [11] отмечают, что применение ORIF у пожилых пациентов с переломами ВВ с применением армирующего кольца с последующим ПЭТБС приводило к меньшему количеству повторных операций, чем использование только ORIF. Эти данные позволяют им утверждать, что ПЭТБС может быть основным хирургическим способом лечения при сложных переломах ВВ у пожилых пациентов.

В последние годы четко прослеживается тенденция к первичному эндопротезированию ЭПТБС при смещенных переломах ВВ [26, 31, 32], которое рассматривается как лучший вариант оперативного лечения, обеспечивающий возможность ранней мобилизации и позволяющий избежать стандартных осложнений длительного постельного режима. N. Salar и соавт. [32] на основании полученных результатов лечения пациентов с переломами ВВ пришли к выводу, что раннее первичное ЭПТБС с обоснованными показаниями и соответствующим подбором пациентов позволяет получить отличный и хороший функциональный результат. U.G. De Bellis и соавт. [33] оценивали результаты раннего и отсроченного первичного эндопротезирования ТБС у пациентов с переломами ВВ. По их данным, результаты в случаях отсроченного ЭПТБС были несколько лучше, чем при раннем, хотя различия между двумя группами не были статистически значимыми.

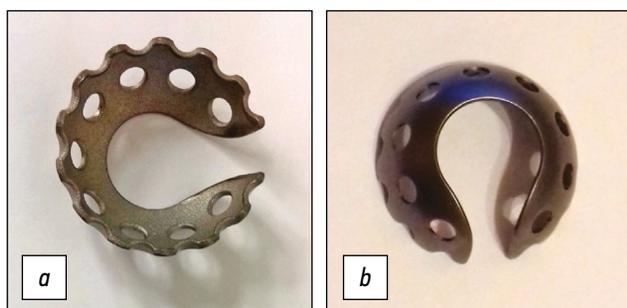
*Цель исследования* — изучение механических свойств репозиционно-фиксационного кольца.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработано универсальное репозиционно-фиксационное кольцо с динамической компрессией для оперативного лечения при сложных переломах ВВ [34] (рис. 1).

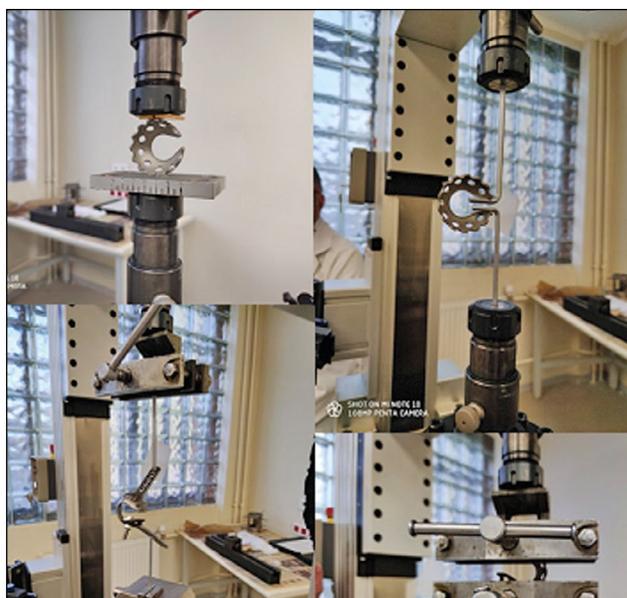
Для проведения механических испытаний ООО «Конмет» (Москва) с помощью аддитивных технологий изготовлено кольцо с внешним диаметром 52 мм методом селективного лазерного спекания (рис. 2). Кольцо изготовлено из титанового сплава Ti64-ELI-A LMF с химическим составом Ti6Al4V ELI по ASTM F36 в соответствии с техническим заданием по изготовлению колец, технических условий (№ 32.50.22.190-021-11458417-2018 от 27.12.2018) и требований ГОСТ Р, ГОСТ Р ИСО, ГОСТ ISO, ГОСТ Р ISO, ГОСТ EN.

Лабораторные механические испытания проведены испытательной лабораторией медицинских изделий и материалов ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России (рис. 3). Виды нагрузок на кольцо определены исходя из: 1) учета конструкции кольца, имеющего



**Рис. 1.** Универсальное репозиционно-фиксационное кольцо с внешним диаметром 52 мм для оперативного лечения при переломах вертлужной впадины: *a* — вид со стороны внутренней поверхности; *b* — вид со стороны наружной поверхности

**Fig. 1.** Universal repositioning-fixation ring with an external diameter of 52 mm for surgical treatment of acetabulum fractures: *a* — view from the inner surface; *b* — view from the outer surface



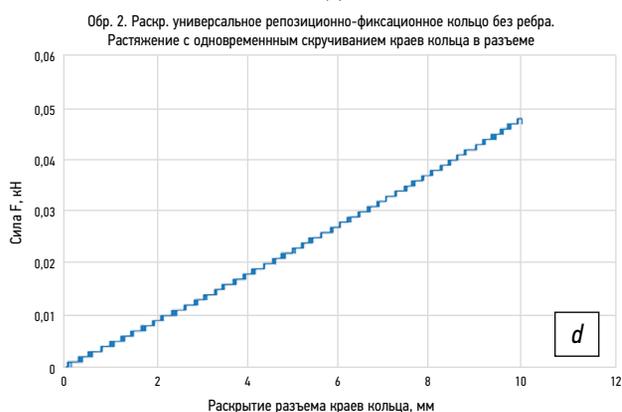
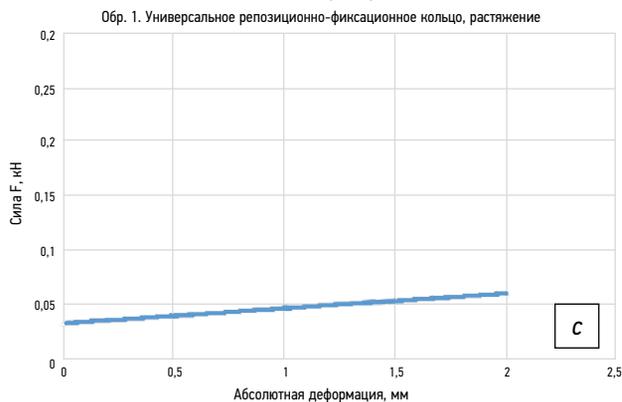
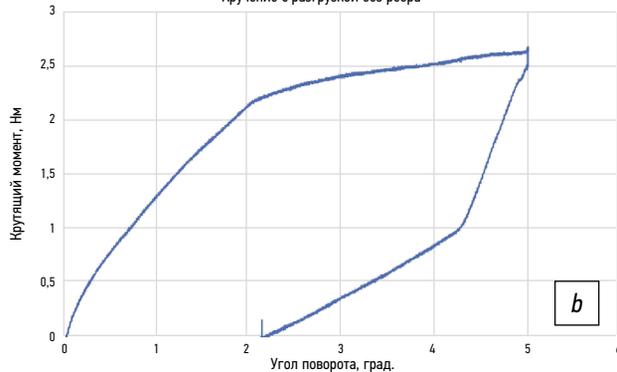
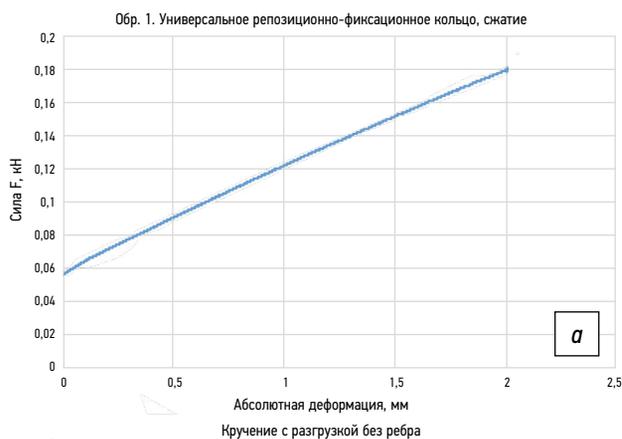
**Рис. 2.** Статические испытания репозиционно-фиксационного кольца на сжатие, растяжение, совместное действие растяжения и закручивания краев разреза (раскрытие кольца) и кручение

**Fig. 2.** Static tests of the repositioning-fixing ring for compression, stretching, joint action of stretching and twisting edges of the connector (opening of the ring) and torsion

форму незамкнутой полусферы; 2) цели изучения механических свойств кольца, так как непосредственно при помощи кольца (почему кольцо и называется репозиционно-фиксационное) выполняется репозиция и фиксация колонн и отломков ВВ.

Для проведения испытаний использовали электро-механическую испытательную машину LFM-50 фирмы Walter and Bai (Швейцария). Параметры 0–50 кН, скорость нагружения 0–500 мм/мин. Вращение 60 об/мин. Точность измерения 0,5%.

*Цель исследования* — получить диаграммы механических испытаний образца.



**Рис. 3.** Статические испытания репозиционно-фиксационного кольца: *a* — на сжатие; *b* — на кручение; *c* — на растяжение; *d* — на совместное действие растяжения и закручивания краев разреза (раскрытие кольца)

**Fig. 3.** Static tests of the repositioning-fixing ring: *a* — for compression; *b* — for torsion; *c* — for tension; *d* — for the joint action of stretching and twisting the edges of the connector (opening of the ring)

**Условия проведения испытаний.** Нормальные климатические условия по ГОСТ 15150-69: температура воздуха 18 °С, относительная влажность 64%, атмосферное давление 98 кПа (745 мм рт. ст.).

**Условия нагружения и описание процесса статических испытаний.** Образец по п. 2.1 протокола помещали в рабочую зону испытательной установки и фиксировали с помощью специальной оснастки.

**Этический комитет.** Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России (№ 2 от 10.09.2020).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

**Испытание кольца на сжатие и растяжение.** При испытании на сжатие скорость сближения нажимных устройств составляла 5 мм/мин. При испытании на растяжение скорость перемещения захватов образца составляла 5 мм/мин.

Испытания кольца на сжатие и растяжение проводили вплоть до достижения абсолютной деформацией значения 2 мм. Предельная величина деформации в 2 мм была выбрана с учетом результатов проведенного исследования механических характеристик костных, хрящевых и связочных структур тазобедренного и коленного суставов человека, в котором показано, что диапазон деформирования кости от 0 до 2 мм принадлежит участку упругого деформирования [35].

Характер прямолинейной зависимости силы от деформации и аналогичного характера разгрузки определяет упругое поведение при деформировании данной конструкции кольца.

Результаты испытания на сжатие и растяжение для кольца приведены в таблице.

**Испытание кольца на кручение.** Испытание на кручение кольца проводили вплоть до угла поворота в 5°. Предельная величина угла поворота в 5° была выбрана из соображений сохранности окружающих костных тканей и совместной работы с ними металлических конструкций изделия, а также необходимости соблюдения условия упругого деформирования кольца. С учетом

результатов проведенного исследования механических характеристик костных, хрящевых и связочных структур тазобедренного и коленного суставов человека, показано, что диапазон деформирования кости от 0 до 5° при кручении принадлежит участку упругого деформирования кости [35]. При испытаниях на кручение скорость поворота составляла 0,1 град/с. При испытании кольца на графике протокола исследования наблюдалась нелинейная зависимость крутящего момента от угла поворота. Так, при нагружении кольца на диаграмме выражен участок пластической деформации: в процессе нагружения наблюдается излом кривой в верхней части графика нагружения после достижения предела упругих деформаций. Далее после достижения заданной деформации происходит разгрузка. При разгрузке (рис. 3, а) (нижняя часть графика), которая идет по классической траектории для металлических материалов в соответствии с законами механики материалов, наблюдаются остаточные деформации, значение которых составляет примерно 2,2°. Результат испытания кольца на кручение приведен в таблице.

**Испытание образца кольца на совместное растяжение и закручивание.** При испытаниях на совместное растяжение и закручивание краев разъема скорость перемещения захватов составляла 5 мм/мин. Закручивание краев разъемного кольца осуществлялось посредством крепления пластин к кольцу, передача нагружения через которые обеспечивала данный вид испытания. Испытание образца кольца на совместное растяжение и закручивание краев разъема кольца проводилось вплоть до достижения раскрытия разъема кольца на величину 10 мм. Наблюдалась прямолинейная зависимость силы от абсолютной деформации. Разгрузка шла по той же прямой на диаграмме, что и нагружение, и приводила в исходное нулевое состояние по деформациям. Результат испытания кольца на совместное растяжение и закручивание представлен в таблице.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В последние годы клинические исследования обозначили весомую роль ПЭТБС в лечении возрастных пациентов с переломами ВВ, основанную, прежде всего, на хороших функциональных результатах пациентов [11, 26–30]. В то же время, отношение к эффективности применения ПЭТБС не однозначно. Известно,

Таблица. Результаты испытания кольца

Table. Ring test results

Вид испытания	Нагрузка, соответствующая деформации 2 мм, кН (кгс)
Сжатие	0,180 (18,4)
Растяжение	0,061 (6,2)
Кручение	Крутящий момент, соответствующий углу поворота 5°, 2,653 Нм
Совместное растяжение с закручиванием краев разъема кольца	Нагрузка, соответствующая деформации 10 мм, кН (кгс) 0,048 кН

что оперативное лечение при переломах ВВ с ПЭТБС порой ограничено трудностью достижения стабильности колонн и отломков и самого вертлужного компонента. D. Butterwick и соавт. [5] предупреждают, что ПЭТБС не представляется простым решением лечения при сложном переломе и может быть тяжелее, чем выполнение ORIF. Авторы отмечают, что ПЭТБС изначально предполагает хорошую первичную стабильность фиксации колонн и отломков ВВ, обеспечение сращения переломов и долгосрочную стабильность компонентов эндопротеза. Достижение этих целей возможно при преодолении многих технических проблем [5]. Конструкционные особенности разработанного универсального репозиционно-фиксационного кольца для оперативного лечения пациентов со сложными переломами ВВ [34] позволяют, во-первых, оперирующему хирургу выполнить ORIF колонн и отломков непосредственно со стороны ВВ с применением доступа Хардинга с минимальной травматизацией тканей. Во-вторых, кольцо используется как эффективный репозиционный инструмент для достижения первичной анатомической репозиции. В-третьих, кольцо позволяет достичь первичную стабильную фиксацию колонн и отломков ВВ. И в-четвертых, кольцо является надежным каркасом для выполнения ПЭТБС с применением гибридной фиксации компонентов эндопротеза.

Первоочередной задачей в подготовке кольца к клинической апробации являлось его изготовление и последующее проведение механических испытаний. Учитывая сложность конструкции при помощи программного обеспечения ООО «Конмет» (Москва) созданы файлы STL-расширения для 3D-печати. Кольцо с внешним диаметром 52 мм изготовлено с помощью аддитивных технологий методом селективного лазерного спекания из сертифицированного порошка. Для проведения механических статических испытаний конструкции кольца использовали электромеханическую испытательную машину LFM-50 фирмы Walter and Bai (Швейцария) испытательной лаборатории медицинских изделий и материалов ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России (руководитель лаборатории профессор, д-р техн. наук Н.С. Гаврюшенко). С учетом конструкции кольца, имеющего форму незамкнутой полусферы с наличием отверстий и выемок по краю стенки входного отверстия под фиксирующие винты, с учетом заложенной в конструкции функции репозирующего инструмента были определены виды нагрузок для изучения механических свойств кольца: испытание кольца на сжатие и растяжение, на кручение и на совместное растяжение и закручивание. Таким образом, определены нагрузки, которые кольцо будет испытывать на этапе проведения ORIF, далее — в момент фиксации колонн и отломков ВВ в кольцо, а также на протяжении всех послеоперационных периодов функционирования ЭПТБС. Необходимо отметить, что испытания кольца

на сжатие и растяжение проводили вплоть до достижения абсолютной деформацией значения 2 мм, при этом, предельная величина деформации в 2 мм была выбрана с учетом результатов проведенного исследования механических характеристик костных, хрящевых и связочных структур тазобедренного и коленного суставов человека, в котором показано, что диапазон деформирования кости от 0 до 2 мм принадлежит участку упругого деформирования [35]. Диапазон деформирования выбран также из соблюдения условий работы металлической конструкции в области упругих деформаций. Полученная диаграмма прямолинейной зависимости силы от деформации и аналогичного характера разгрузки определяет упругое поведение при деформировании данной конструкции кольца.

При испытании кольца на кручение на диаграмме протокола механического исследования наблюдалась нелинейная зависимость крутящего момента от угла поворота. Считаем необходимым обратить внимание на отмеченную остаточную деформацию. Здесь имеется ввиду остаточная деформация при измерении разъема в кольце, соответствующая углу поворота  $2,2^\circ$ . То есть при снятии растягивающей нагрузки разъем в кольце в размере увеличился в миллиметрах по сравнению с исходным; при испытании на сжатие наоборот, при снятии нагрузки разъем уменьшился в миллиметрах. Эта остаточная пластическая деформация в миллиметрах и зарегистрирована в испытаниях на кручение. Испытание образца кольца на совместное растяжение и закручивание осуществлялось путем непосредственного крепления металлических пластин к краям кольца, что обеспечивало передачу нагружения через пластины и проведение данного вида испытания. Во время проведения разгрузки ее траектория шла по той же прямой на диаграмме, что и нагружение, и приводила в исходное нулевое состояние по деформациям. Разгрузка приводила к возврату по деформациям в исходное нулевое значение и происходила так же прямолинейно. Таким образом, наблюдалось упругое поведение кольца при данном виде нагружения. Полученные обнадеживающие результаты механических испытаний кольца ставят перед нами очередные задачи по усовершенствованию конструкции.

## Выводы

1. На основе анализа результатов проведенных статических испытаний на сжатие и растяжение выявлено, что зависимость нагрузки от деформации является прямолинейной. Величина нагрузки, соответствующая деформации 2 мм на сжатие, составила 0,180 кН, на растяжение 0,061 кН. При снятии нагрузки происходил возврат по деформациям в исходное нулевое значение. Проведенное статическое испытание показывает упругий характер деформирования кольца.

2. С учетом анализа результатов проведенных статических испытаний на кручение выявлено, что зависимость нагрузки от деформации является нелинейной, с выраженным участком пластической деформации. Величина нагрузки, соответствующая деформации 5°, составила 2,653 Нм. В испытании на кручение кольца последующая после нагружения разгрузка показывала наличие остаточных абсолютных деформаций 2,2°, что также необходимо учитывать в дальнейшей разработке кольца.

3. Результатами исследования доказано, что нагрузка на совместное растяжение с закручиванием краев разъема кольца (нагрузка, соответствующая деформации 10 мм) составила 0,048 кН. Разгрузка приводила к возврату по деформациям в исходное нулевое значение и происходила так же прямолинейно, при этом наблюдалось упругое поведение кольца при данном виде нагружения.

4. Анализ результатов проведенного статического испытания кольца позволил определить деформационно-прочностные характеристики и упругое поведение данной конструкции кольца при деформировании.

5. По результатам проведенного исследования кольцо требует дальнейшего совершенствования.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы

внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.И. Колесник, Н.С. Гаврюшенко, Л.В. Фомин, Н.В. Загородний, С.В. Донченко — концепция и дизайн исследования; А.И. Колесник, Н.С. Гаврюшенко, Л.В. Фомин, Н.В. Загородний, С.В. Донченко, Д.А. Иванов, А.В. Овчаренко, И.М. Солодилов, В.В. Суриков — сбор и обработка материала; А.И. Колесник, Н.С. Гаврюшенко, Л.В. Фомин, Н.В. Загородний, С.В. Донченко — написание и редактирование текста.

**Author contribution.** Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.I. Kolesnik, N.S. Gavryushenko, L.V. Fomin, N.V. Zagorodniy, S.V. Donchenko — concept and design of the research; A.I. Kolesnik, N.S. Gavryushenko, L.V. Fomin, N.V. Zagorodniy, S.V. Donchenko, D.A. Ivanov, A.V. Ovcharenko, I.M. Solodilov, V.V. Surikov — data collection and processing; A.I. Kolesnik, N.S. Gavryushenko, L.V. Fomin, N.V. Zagorodniy, S.V. Donchenko — writing, editing.

**Источник финансирования.** Не указан.

**Funding source.** Not specified.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гринь А.А., Рунков А.В., Шлыков И.Л. Выбор операционного доступа при лечении двухколонных переломов вертлужной впадины // Травматология и ортопедия России. 2014. № 1. С. 92–97.
- Бондаренко А.В., Круглыхин И.В., Плотников И.А., и др. Особенности лечения повреждений таза при политравме // Политравма. 2014. № 3. С. 46–57.
- Белецкий А.В., Воронович А.И., Мурзич А.Э. Определение показаний к оперативному лечению и выбор доступов при сложных комплексных переломах вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2010. № 4. С. 30–37.
- Sardesai N.R., Miller M.A., Jauregui J.J., et al. Operative management of acetabulum fractures in the obese patient: challenges and solutions // Orthop Res Rev. 2017. Vol. 9. P. 75–81. doi: 10.2147/ORR.S113424
- Butterwick D., Papp S., Gofton W., et al. Acetabular fractures in the elderly: evaluation and management // J Bone Joint Surg Am. 2015. Vol. 97, N 9. P. 758–768. doi: 10.2106/JBJS.N.01037
- Erden A. Fractures — a review of their management // J Trauma Treat. 2015. Vol. 4. P. 4. doi: 10.4172/2167-1222.1000278
- Laird A., Keating J. Acetabular fractures: a 16-year prospective epidemiological study // J Bone Joint Surg Br. 2005. Vol. 87-B, N 7. P. 969–973. doi: 10.1302/0301-620X.87B7.16017
- Negrin L., Seligson D. Results of 167 consecutive cases of acetabular fractures using the Kocher–Langenbeck approach:

a case series // J Orthop Surg Res. 2017. Vol. 12, N 1. P. 66. doi: 10.1186/s13018-017-0563-6

9. Kubota M., Uchida K., Kokubo Y., et al. Changes in gait pattern and hip muscle strength after open reduction and internal fixation of acetabular fracture // Arch Phys Med Rehabil. 2012. Vol. 93, N 11. P. 2015–2021. doi: 10.1016/j.apmr.2012.01.016

10. Rickman M., Young J., Bircher M., et al. The management of complex acetabular fractures in the elderly with fracture fixation and primary total hip replacement // Eur J Trauma Emerg Surg. 2012. Vol. 38, N 5. P. 511–516. doi: 10.1007/s00068-012-0231-9

11. Lont T., Nieminen J., Reito A., et al. Total hip arthroplasty, combined with a reinforcement ring and posterior column plating for acetabular fractures in elderly patients: good outcome in 34 patients // Acta Orthopaedica. 2019. Vol. 90, N 3. P. 275–280. doi: 10.1080/17453674.2019.1597325

12. Солод Э.И., Лазарев А.Ф., Лазарев А.А., и др. Возможности оперативного лечения переломов вертлужной впадины с использованием малоинвазивных технологий // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2009. № 2. С. 3–9.

13. Magu N.K., Gogna P., Singh A., et al. Long term results after surgical management of posterior wall acetabular fractures // J Orthop Traumatol. 2014. Vol. 15, N 3. P. 173–179. doi: 10.1007/s10195-014-0297-8

14. Лазарев А.Ф., Солод Э.И., Гудушауры Я.Г., и др. Проблемы лечения переломов вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2013. № 4. С. 81–85
15. Солод Э.И., Лазарев А.Ф., Гудушауры Я.Г., и др. Современные возможности остеосинтеза вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2014. № 2. С. 25–32.
16. Judet R., Judet J., Letournel E. Fractures of the acetabulum: classification and surgical approaches for open reduction. Preliminary report // *J Bone Joint Surg Am.* 1964. Vol. 46. P. 1615–1646.
17. Boelch S.P., Jordan M.C., Meffert R.H., Jansen H. Comparison of open reduction and internal fixation and primary total hip replacement for osteoporotic acetabular fractures: a retrospective clinical study // *Int Orthop.* 2016. Vol. 41, N 9. P. 1831–1837. doi: 10.1007/s00264-016-3260-x
18. Hanschen M., Pesch S., Huber-Wagner S., Biberthaler P. Management of acetabular fractures in the geriatric patient // *SICOT-J.* 2017. Vol. 3. P. 37. doi: 10.1051/sicotj/2017026
19. Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management // *Clin Orthop Relat Res.* 1980. N 151. P. 81–106.
20. Walley K.C., Appleton P.T., Rodriguez E.K. Comparison of outcomes of operative versus non-operative treatment of acetabular fractures in the elderly and severely comorbid patient // *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2017. Vol. 27, N 5. P. 689–694. doi: 10.1007/s00590-017-1949-1
21. Park D.W., Lim A., Park J.W., et al. Biomechanical evaluation of a new fixation type in 3d-printed periacetabular implants using a finite element simulation // *Appl Sci.* 2019. Vol. 9, N 5. P. 820. doi: 10.3390/app9050820
22. Tidermar J., Blomfeldt R., Ponzer S., Söderqvist A. Primary total hip arthroplasty with a Burch-Schneider antiprotusion cage and autologous bone grafting for acetabular fractures in elderly patients // *J Orthop Trauma.* 2003. Vol. 17, N 3. P. 193–197. doi: 10.1097/00005131-200303000-00007
23. Borg T., Hernefalk B., Hailer N.P. Acute total hip arthroplasty combined with internal fixation for displaced acetabular fractures in the elderly. A short-term comparison with internal fixation alone after a minimum of two years // *Bone Joint J.* 2019. Vol. 101-B, N 4. P. 478–483.
24. Anglen J.O. Acute total hip arthroplasty for fracture of the acetabulum: indications and current techniques. In: Borrelli J. Jr., Anglen J.O., editors. *Arthroplasty for the treatment of fractures in the older patient.* Switzerland : Springer International Publishing, 2018. P. 129–144. doi: 10.1007/978-3-319-94202-5\_8
25. Westerborn A. Central dislocation of the femoral head treated with mold arthroplasty // *J Bone Joint Surg Am.* 1954. Vol. 36, N A:2. P. 307–314.
26. Rickman M., Young J.M., Bircher M., et al. The management of complex acetabular fractures in the elderly with fracture fixation and primary total hip replacement // *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2012. Vol. 38, N 5. P. 511–516. doi: 10.1007/s00068-012-0231-9
27. Clarke-Jenssen J., Roise O., Storeggen S.A., Madsen J.E. Long-term survival and risk factors for failure of the native hip joint after operatively treated displaced acetabular fractures // *Bone Joint J.* 2017. Vol. 99-B, N 6. P. 834–840. doi: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-1013.R1
28. Salama W., Mousa S., Khalefa A., et al. Simultaneous open reduction and internal fixation and total hip arthroplasty for the treatment of osteoporotic acetabular fractures // *Int Orthop.* 2018. Vol. 41, N 1. P. 181–189. doi: 10.1007/s00264-016-3175-6
29. Tempelaere C., Divine P., Begue T. Early simultaneous bilateral total hip arthroplasty for the management of bilateral acetabular fracture in an elderly patient // *Arthroplast Today.* 2019. Vol. 5, N 2. P. 139–144. doi: 10.1016/j.artd.2019.03.008
30. Cochu G., Mabit C., Gougam T., et al. Total hip arthroplasty for treatment of acute acetabular fracture in elderly patients // *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2007. Vol. 93, N 8. P. 818–827. (In French). doi: 10.1016/s0035-1040(07)78465-9
31. Iqbal F., Ullah A., Younus S., et al. Functional outcome of acute primary total hip replacement after complex acetabular fractures // *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018. Vol. 28, N 8. P. 1609–1616. doi: 10.1007/s00590-018-2230-y
32. Salar N., Bilgen M.S., Bilgen Ö.F., et al. Total hip arthroplasty for acetabular fractures: “Early Application” // *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2017. Vol. 23, N 4. P. 337–342. doi: 10.5505/tjtes.2016.55675
33. De Bellis U.G., Legnani C., Calori G.M. Acute total hip replacement for acetabular fractures: a systematic review of the literature // *Injury.* 2014. Vol. 45, N 2. P. 356–361. doi: 10.1016/j.injury.2013.09.018
34. Патент на изобретение № 2692526 / от 26.06.2019 г. Бюл. № 18. Колесник А.И., Загородний Н.В., Солод Э.И., и др. Универсальное репозиционно-фиксационное кольцо с динамической компрессией для оперативного лечения смещенных переломов вертлужной впадины. Режим доступа: [https://patents.s3.yandex.net/RU2692526C1\\_20190626.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2692526C1_20190626.pdf). Дата обращения: 27.08.2021
35. Гаврюшенко Н.С. Материаловедческие аспекты создания эрозиянностойких узлов трения искусственных суставов человека : дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2000. 281 с.

## REFERENCES

1. Grin' AA, Runkov AV, Shlykov IL. The choice of surgical approach in the treatment of two-column acetabular fractures. *Travmatologiya i ortopediya Rossii.* 2014;(1):92–97. (In Russ).
2. Bondarenko AV, Kruglykhin IV, Plotnikov IA, et al. Features of treatment of pelvic injuries in polytrauma. *Politravma.* 2014;(3):46–57. (In Russ).
3. Beletskiy AV, Voronovich AI, Murzich AE. Determination of indications to surgical treatment and choice of surgical approaches in complicated complex acetabular fractures. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova.* 2010;(4):30–37. (In Russ).
4. Sardesai NR, Miller MA, Jauregui JJ, et al. Operative management of acetabulum fractures in the obese patient: challenges and solutions. *Orthop Res Rev.* 2017;9:75–81. doi: 10.2147/ORR.S113424
5. Butterwick D, Papp S, Gofton W, et al. Acetabular fractures in the elderly: evaluation and management. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(9):758–768. doi: 10.2106/JBJS.N.01037
6. Erden A. Fractures — a review of their management. *J Trauma Treat.* 2015;4:4. doi: 10.4172/2167-1222.1000278
7. Laird A, Keating J. Acetabular fractures: a 16-year prospective epidemiological study. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87-B(7):969–973. doi: 10.1302/0301-620X.87B7.16017
8. Negrin L, Seligson D. Results of 167 consecutive cases of acetabular fractures using the Kocher–Langenbeck approach: a case series. *J Orthop Surg Res.* 2017;12(1):66. doi: 10.1186/s13018-017-0563-6
9. Kubota M, Uchida K, Kokubo Y, et al. Changes in gait pattern and hip muscle strength after open reduction and internal fixation of

acetabular fracture. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(11):2015–2021. doi: 10.1016/j.apmr.2012.01.016

10. Rickman M, Young J, Bircher M, et al. The management of complex acetabular fractures in the elderly with fracture fixation and primary total hip replacement. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2012;38(5):511–516. doi: 10.1007/s00068-012-0231-9

11. Lont T, Nieminen J, Reito A, et al. Total hip arthroplasty, combined with a reinforcement ring and posterior column plating for acetabular fractures in elderly patients: good outcome in 34 patients. *Acta Orthopaedica.* 2019;90(3):275–280. doi: 10.1080/17453674.2019.1597325

12. Solod EI, Lazarev AF, Lazarev AA, et al. Potentialities of surgical treatment for acetabular fractures using low-invasive techniques. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova.* 2009;(2):3–9. (In Russ).

13. Magu NK, Gogna P, Singh A, et al. Long term results after surgical management of posterior wall acetabular fractures. *J Orthop Traumatol.* 2014;15(3):173–179. doi: 10.1007/s10195-014-0297-8

14. Lazarev AF, Solod EI, Gudushauri YaG, et al. Problems in acetabular fractures treatment. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova.* 2013;(4):81–85. (In Russ).

15. Solod EI, Lazarev AF, Gudushauri YaG, et al. Modern potentialities of acetabular osteosynthesis. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova.* 2014;(2):25–32. (In Russ).

16. Judet R, Judet J, Letournel E. Fractures of the acetabulum: classification and surgical approaches for open reduction. Preliminary report. *J Bone Joint Surg Am.* 1964;46:1615–1646.

17. Boelch SP, Jordan MC, Meffert RH, Jansen H. Comparison of open reduction and internal fixation and primary total hip replacement for osteoporotic acetabular fractures: a retrospective clinical study. *Int Orthop.* 2016;41(9):1831–1837. doi: 10.1007/s00264-016-3260-x

18. Hanschen M, Pesch S, Huber-Wagner S, Biberthaler P. Management of acetabular fractures in the geriatric patient. *SICOT-J.* 2017;3:37. doi: 10.1051/sicotj/2017026

19. Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management. *Clin Orthop Relat Res.* 1980;(151):81–106.

20. Walley KC, Appleton PT, Rodriguez EK. Comparison of outcomes of operative versus non-operative treatment of acetabular fractures in the elderly and severely comorbid patient. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2017;27(5):689–694. doi: 10.1007/s00590-017-1949-1

21. Park DW, Lim A, Park JW, et al. Biomechanical evaluation of a new fixation type in 3d-printed periacetabular implants using a finite element simulation. *Appl Sci.* 2019;9(5):820. doi: 10.3390/app9050820

22. Tidermar J, Blomfeldt R, Ponzer S, Söderqvist A. Primary total hip arthroplasty with a Burch-Schneider antiprotrusion cage and autologous bone grafting for acetabular fractures in elderly patients. *J Orthop Trauma.* 2003;17(3):193–197. doi: 10.1097/00005131-200303000-00007

23. Borg T, Hernefalk B, Hailer NP. Acute total hip arthroplasty combined with internal fixation for displaced acetabular fractures

in the elderly. A short-term comparison with internal fixation alone after a minimum of two years. *Bone Joint J.* 2019;101-B(4):478–483.

24. Anglen JO. Acute total hip arthroplasty for fracture of the acetabulum: indications and current techniques. In: Borrelli J Jr, Anglen JO, editors. *Arthroplasty for the treatment of fractures in the older patient.* Switzerland: Springer International Publishing; 2018. P. 129–144. doi: 10.1007/978-3-319-94202-5\_8

25. Westerborn A. Central dislocation of the femoral head treated with mold arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 1954;36(A:2):307–314.

26. Rickman M, Young JM, Bircher M, et al. The management of complex acetabular fractures in the elderly with fracture fixation and primary total hip replacement. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2012;38(5):511–516. doi: 10.1007/s00068-012-0231-9

27. Clarke-Jenssen J, Roise O, Storeggen SA, Madsen JE. Long-term survival and risk factors for failure of the native hip joint after operatively treated displaced acetabular fractures. *Bone Joint J.* 2017;99-B(6):834–840. doi: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-1013.R1

28. Salama W, Mousa S, Khalefa A, et al. Simultaneous open reduction and internal fixation and total hip arthroplasty for the treatment of osteoporotic acetabular fractures. *Int Orthop.* 2018;41(1):181–189. doi: 10.1007/s00264-016-3175-6

29. Tempelaere C, Divine P, Begue T. Early simultaneous bilateral total hip arthroplasty for the management of bilateral acetabular fracture in an elderly patient. *Arthroplast Today.* 2019;5(2):139–144. doi: 10.1016/j.artd.2019.03.008

30. Cochu G, Mabit C, Gougam T, et al. Total hip arthroplasty for treatment of acute acetabular fracture in elderly patients. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2007;93(8):818–827. (In French). doi: 10.1016/s0035-1040(07)78465-9

31. Iqbal F, Ullah A, Younus S, et al. Functional outcome of acute primary total hip replacement after complex acetabular fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(8):1609–1616. doi: 10.1007/s00590-018-2230-y

32. Salar N, Bilgen MS, Bilgen ÖF, et al. Total hip arthroplasty for acetabular fractures: “Early Application”. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2017;23(4):337–342. doi: 10.5505/tjtes.2016.55675

33. De Bellis UG, Legnani C, Calori GM. Acute total hip replacement for acetabular fractures: a systematic review of the literature. *Injury.* 2014;45(2):356–361. doi: 10.1016/j.injury.2013.09.018

34. Patent RUS № 2692526/ 25.06.2019. Byul. № 18. Kolesnik AI, Zagorodnii NV, Solod EI, et al. Universal'noe repositsionno-fiksatsionnoe kol'tso s dinamicheskoi kompressiei dlya operativnogo lecheniya smeshchennykh perelomov vertluzhnoi vpadiny. Available from: [https://patents.s3.yandex.net/RU2692526C1\\_20190626.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2692526C1_20190626.pdf) (In Russ).

35. Gavryushenko NS. *Materialovedcheskie aspekty sozdaniya erozionnostaikikh uzlov treniya iskusstvennykh sustavov cheloveka* [dissertation]. Moscow; 2000. 281 p. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

\***Александр Иванович Колесник**, д-р мед. наук, профессор; Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1435-8743>; e-mail: ko-lesnik@mail.ru.

## AUTHORS INFO

\***Aleksandr I. Kolesnik**, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.), professor; address: 10 Proirova str., Moscow, 127299, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1435-8743>; e-mail: ko-lesnik@mail.ru.

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

**Николай Свиридович Гаврюшенко**, д-р техн. наук, профессор; eLibrary SPIN: 3335-6472; e-mail: testlabcito@mail.ru.

**Леонид Викторович Фомин**, канд. физ.-мат. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9075-5049>; eLibrary SPIN: 7186-8776; e-mail: fleonid1975@mail.ru.

**Николай Васильевич Загородний**, чл.-корр. РАН, д-р мед. наук, профессор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>; e-mail: zagorodniy51@mail.ru.

**Сергей Викторович Донченко**, канд. мед. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3341-7446>; e-mail: Don\_03@mail.ru.

**Иван Михайлович Солодилов**, врач-травматолог; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8219-5582>; e-mail: Ivan\_s\_007@mail.ru.

**Дмитрий Александрович Иванов**, врач-травматолог; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-6774>; e-mail: Ivanovda2001@mail.ru.

**Антон Васильевич Овчаренко**, врач-травматолог; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3014-4828>; e-mail: antovcharenko@yandex.ru.

**Владислав Владимирович Суриков**, аспирант; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3668-2376>; e-mail: Airbag366@yandex.ru.

**Nikolay S. Gavryushenko**, PhD, Dr. Sci. (Technol.), professor; eLibrary SPIN: 3335-6472; e-mail: testlabcito@mail.ru.

**Leonid V. Fomin**, MD, PhD; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9075-5049>; eLibrary SPIN: 7186-8776; e-mail: fleonid1975@mail.ru.

**Nikolay V. Zagorodni**, Corresponding Member of RAS, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.), professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>; e-mail: zagorodniy51@mail.ru.

**Sergey V. Donchenko**, MD, PhD; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3341-7446>; e-mail: Don\_03@mail.ru.

**Ivan M. Solodilov**, MD, traumatologist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8219-5582>; e-mail: Ivan\_s\_007@mail.ru.

**Dmitriy A. Ivanov**, MD, traumatologist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-6774>; e-mail: Ivanovda2001@mail.ru.

**Anton V. Ovcharenko**, MD, traumatologist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3014-4828>; e-mail: antovcharenko@yandex.ru.

**Vladislav V. Surikov**, postgraduate student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3668-2376>; e-mail: Airbag366@yandex.ru.