

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100272>

# Усиленное универсальное репозиционно-фиксационное кольцо для оперативного лечения переломов вертлужной впадины: предварительные результаты лабораторных статических испытаний

А.И. Колесник<sup>1,2</sup>, Н.С. Гаврюшенко<sup>1</sup>, Л.В. Фомин<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>, Е.П. Тарасов<sup>9</sup>

<sup>1</sup> НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup> ООО «ЦИТО проект», Москва, Российская Федерация;

<sup>3</sup> НИИ механики, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация;

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

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

<sup>6</sup> Лыткаринская городская больница, Лыткарино, Российская Федерация;

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

<sup>8</sup> Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация;

<sup>9</sup> Одинцовская областная больница, Одинцово, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** В настоящее время в хирургическом лечении застарелых переломов вертлужной впадины (ВВ) широко применяют несколько разновидностей конструкций: опорные кольца М. Мюллера, Бурх–Шнейдера, кольца фирмы «PROTEK» (Швейцария), имплантируемые в ВВ. В травматологической практике кольца, как правило, используют в качестве укрепляющего стенки ВВ устройства. Однако они функционально не предназначены для проведения открытой репозиции и фиксации колонн и отломков ВВ с последующим эндопротезированием тазобедренного сустава (ТБС) с цементной фиксацией компонентов эндопротеза. В последние годы чётко прослеживается тенденция к первичному эндопротезированию ТБС при смещённых переломах ВВ, которое рассматривается как лучший вариант оперативного лечения переломов ВВ. В доступной нам литературе мы не нашли аналогов разработанной нами конструкции колец, обеспечивающей СНР (Combined Hip Procedure — комбинированная процедура пластики ТБС) при лечении переломов ВВ.

**Цель.** Изучить деформационные свойства репозиционно-фиксационного кольца с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости.

**Материалы и методы.** Разработано кольцо для оперативного лечения переломов ВВ. Патент на изобретение № 2692526 от 26.06.2019 г. по заявке № 2018133671 от 25.09.2018 г. (Бюл. № 18 от 26.06.2019 г.). Для проведения механических испытаний методом последовательного спекания с помощью аддитивных технологий фирмой ООО «Конмет» (Москва) изготовлено кольцо с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости. Лабораторные механические испытания проведены Испытательной лабораторией медицинских изделий и материалов ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (Москва).

**Результаты.** В результате статического испытания кольца с ребром жёсткости на сжатие, растяжение, кручение и на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма кольца изучены его деформационные свойства, а также реакция на него внешних нагрузок при статических испытаниях. Нагрузка, соответствующая деформации 2 мм кило-ньютон (кН): сжатие — 0,209, растяжение — 0,082, кручение [крутящий момент, соответствующий углу поворота 5°, ньютон-метр (Нм)] — 9,422. Совместное растяжение с закручиванием краёв разъёма кольца (нагрузка, соответствующая деформации 10 мм кН) — 0,060.

**Заключение.** Результаты первичного изучения деформационного поведения новой конструкции кольца с ребром жёсткости демонстрируют упругий характер его деформационных свойств. Полученные положительные первичные результаты изучения деформационного поведения конструкции кольца, усиленной ребром жёсткости, указывают на возможность проведения клинических испытаний и определяют направление дальнейшей доработки конструкции.

**Ключевые слова:** переломы вертлужной впадины; оперативное лечение; открытая репозиция и фиксация переломов вертлужной впадины; первичное эндопротезирование тазобедренного сустава.

## Как цитировать:

Колесник А.И., Гаврюшенко Н.С., Фомин Л.В., Донченко С.В., Солодилов И.М., Иванов Д.А., Овчаренко А.В., Суриков В.В., Тарасов Е.П. Усиленное универсальное репозиционно-фиксационное кольцо для оперативного лечения переломов вертлужной впадины: предварительные результаты лабораторных статических испытаний // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 139–149. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100272>

Рукопись получена: 07.02.2022

Рукопись одобрена: 09.11.2022

Опубликована: 29.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100272>

# Universal reposition and fixation ring for surgical treatment of acetabulum fractures: preliminary results of laboratory static tests

Aleksandr I. Kolesnik<sup>1,2</sup>, Nikolay S. Gavryushenko<sup>1</sup>, Leonid V. Fomin<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>, Evgeniy P. Tarasov<sup>9</sup>

<sup>1</sup> Priorov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Cytoproject LLC, Moscow, Russia;

<sup>3</sup> Research Institute of Mechanics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

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

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

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

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

<sup>8</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;

<sup>9</sup> Odintsovo City Hospital, Odintsovo, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Several structures are widely used in the surgical treatment of long-standing fractures of the BB, such as support rings of M. Muller, Burch–Schneider, rings of PROTEK (Switzerland) implanted in the BB. In traumatology practice, rings are used to strengthen fractured walls. However, these rings are not functionally designed for open reposition and fixation of columns and fractures, followed by TBS endoprosthetics with cement fixation of the components of the endoprosthesis. Recently, primary endoprosthetics of EP TBS became the trend for displaced fractures of the BB, which is considered the best option for surgical treatment of BB fractures. In the literature, no analogs of our ring were available, which provides CHP in the treatment of BB fractures.

**AIM:** To study the deformation properties of a repositioning fixation ring with an outer diameter of 52 mm with a stiffening rib.

**Materials and methods:** A ring has been developed for the surgical treatment of acetabulum fractures (Patent for Invention No. 2692526 dated 26.06.2019 under Application No. 2018133671 dated 25.09.2018.; Bul. No. 18 dated 26.06.2019). For mechanical testing, a ring with an outer diameter of 52 mm with a stiffening rib was manufactured by sequential sintering using additive technologies by Konmet LLC (Moscow). Laboratory mechanical tests were conducted by the Testing Laboratory of Medical Devices and Materials of the FSBI “NMIC TO named after N.N. Priorov” (Moscow).

**RESULTS:** A static testing of a ring with a stiffener for compression, stretching, torsion, joint stretching, and twisting of the edges of the ring connector was performed, and its deformation properties and reaction to external loads during static tests were examined. The load corresponded to the deformation of 2 mm, kN; compression, 0.209; tension, 0.082; torsion (angle of rotation of 5 degrees, Nm), 9.422; and joint stretching with twisting of the edges of the ring connector (load corresponding to the deformation of 10 mm, kN), 0.060.

**CONCLUSION:** The results of the initial study of the deformation behaviors of the new ring design clearly show the elastic nature and deformation properties of the ring, which were attributed to the stiffening rib. The positive primary results of studying the deformation behaviors of the ring reinforced with a stiffening rib indicate the possibility for clinical trials and the direction of further refinement of the design..

**Keywords:** acetabulum fractures; surgical treatment; open reposition and fixation of acetabulum fractures; primary hip replacement.

## To cite this article:

Kolesnik AI, Gavryushenko NS, Fomin LV, Donchenko SV, Solodilov IM, Ivanov DA, Ovcharenko AV, Surikov VV, Tarasov EP. Universal reposition and fixation ring for surgical treatment of acetabulum fractures: preliminary results of laboratory static tests. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):139–149. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100272>

Received: 07.02.2022

Accepted: 09.11.2022

Published: 29.11.2022

## ОБОСНОВАНИЕ

По сведениям ряда исследователей, частота переломов вертлужной впадины (ВВ) колеблется в пределах от 2 до от 18,3% [1–6], по другим данным она составляет 18–23,4% [7].

Хирургическому лечению подлежат переломы ВВ со смещением и многоплоскостные переломы, при этом показания к оперативному лечению разделяют на абсолютные и относительные [2, 6, 8, 9]. К абсолютным показаниям к оперативному лечению переломов ВВ относят:

- смещение более 5 мм при переломах, затрагивающих нагружаемую часть ВВ (сурсил);
- потерю конгруэнтности (сублюксацию) по данным рентгенограмм в любой из 3 проекций;
- переломы задней стенки с признаками нестабильности сустава;
- наличие внутрисуставных остеохондральных фрагментов;
- импакцию хрящевых поверхностей ВВ и головки бедра [2].

Открытая репозиция и внутренняя фиксация (в иностранной литературе используют аббревиатуру ORIF — Open Reposition and Internal Fixation) до настоящего времени остаются стандартным способом лечения переломов ВВ [8–13], а, по мнению отдельных исследователей, и во все являются «золотым стандартом» лечения [14]. Ещё в 1980 году E. Letournel, имея к тому времени 22-летний опыт работы в этой области, писал, что идеальная открытая репозиция является методом выбора для лечения переломов ВВ со смещением [9]. При использовании погружного остеосинтеза широкое распространение для фиксации получили различные варианты нейтрализующих пластин, реконструктивных тазовых пластин и других конструкций [14–16]. В настоящее время в хирургическом лечении переломов ВВ широко применяют несколько разновидностей конструкций: опорные кольца М. Мюллера, Бурх–Шнейдера, кольца фирмы «PROTEK», (Швейцария), имплантируемые в ВВ при дефектах различного генеза с целью восстановления её опороспособности и биомеханики [13, 17, 18]. Однако в травматологии кольца, как правило, используют в качестве укрепляющего стенки ВВ устройства [17, 18] при многооскольчатых и нестабильных переломах ВВ.

В настоящее время всё более широкое распространение получает современный подход к лечению переломов ВВ, подразумевающий комбинацию ORIF и первичного эндопротезирования тазобедренного сустава (ТБС) — способ, называемый «Combined Hip Procedure» (СНП) — «комбинированная процедура пластики ТБС» [19–21]. Первое в мире первичное эндопротезирование ТБС было инициировано в 1954 году A. Westerborn [22, 23]. О возможности одновременного выполнения ORIF и эндопротезирования ТБС пишет много авторов, особенно эта тактика показана лицам пожилого возраста [17, 24–27]. В последние годы

чётко прослеживается тенденция к первичному эндопротезированию ТБС при смещённых переломах ВВ [24, 28, 29], которое рассматривают как лучший вариант оперативного лечения, обеспечивающий возможность ранней мобилизации и позволяющий избежать стандартных осложнений длительного постельного режима. На основании результатов лечения пациентов с переломами ВВ N. Salar и соавт. пришли к выводу, что раннее первичное эндопротезирование ТБС с обоснованными показаниями и соответствующим подбором пациентов позволяет получить отличный и хороший функциональный результат [29]. U.G. De Bellis и соавт. оценивали итоги раннего и отсроченного первичного эндопротезирования ТБС у пациентов с переломами ВВ. По данным авторов, результаты в случаях отсроченного эндопротезирования ТБС были несколько лучше, чем при раннем, хотя различия между двумя группами не были статистически значимыми [30]. T. Lont и соавт. отмечают, что применение ORIF у пожилых пациентов с переломами ВВ с использованием армирующего кольца с последующим первичным эндопротезированием ТБС приводило к меньшему числу повторных операций, чем использование только ORIF. Эти сведения позволяют им утверждать, что первичное эндопротезирование ТБС может стать основным хирургическим способом лечения сложных переломов ВВ у пожилых пациентов [17].

В доступной нам литературе мы не нашли аналогов разработанной нами конструкции кольца, обеспечивающей СНП при лечении переломов ВВ.

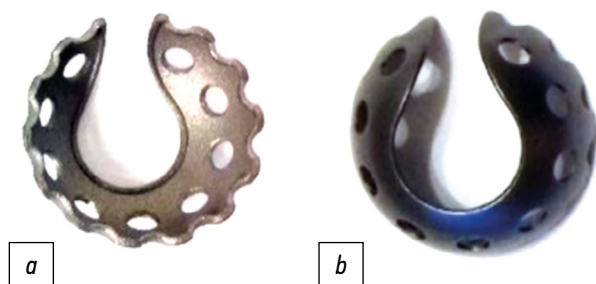
**Цель исследования** — изучить деформационные свойства репозиционно-фиксационного кольца с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оперативного лечения сложных переломов ВВ разработано репозиционно-фиксационное кольцо с внешним диаметром 52 мм, усиленное ребром жёсткости. Патент на изобретение — № 2692526 от 26.06.2019 г. по заявке № 2018133671 от 25.09.2018 г. (Бюл. № 18 от 26.06.2019 г., рис. 1).

Кольцо с внешним диаметром 52 мм, усиленное ребром жёсткости, было изготовлено для проведения механических испытаний и дальнейшего усовершенствования изделия. Кольцо создано ООО «Конмет» (Москва) методом селективного лазерного спекания на основании технического задания изготовления кольца и технических условий (№ 32.50.22.190-021114584172018 от 27.12.2018 г.; рис. 2) и соответствует требованиям ГОСТ Р, ГОСТ Р ИСО, ГОСТ ISO, ГОСТ Р ISO, ГОСТ EN. Кольцо произведено из титанового сплава Ti64-ELI-A LMF с химическим составом Ti6Al4V ELI (см. рис. 2).

Лабораторные механические испытания проведены Испытательной лабораторией медицинских изделий и материалов ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (Москва).

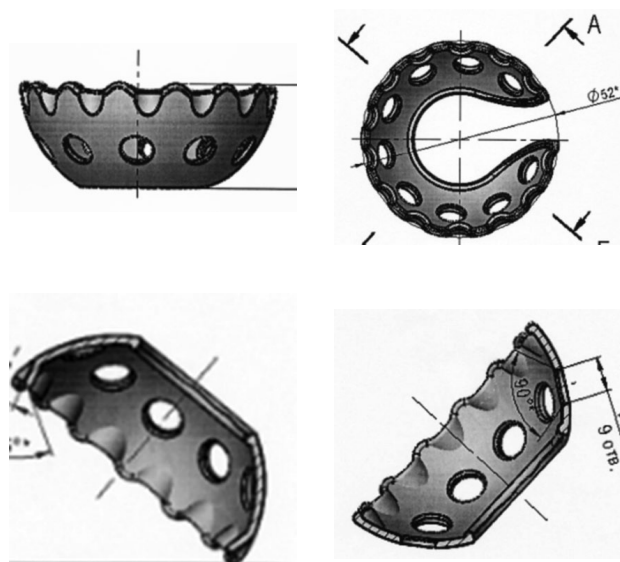


**Рис. 1.** Универсальное репозиционно-фиксационное кольцо с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости для оперативного лечения переломов вертлужной впадины.

*Примечание.* *a* — вид со стороны внутренней поверхности, *b* — вид со стороны наружной поверхности.

**Fig. 1.** Universal repositioning-fixation ring with an outer diameter of 52 mm with a stiffening rib for the surgical treatment of acetabular fractures.

*Note.* *a* — view from the side of the inner surface, *b* — view from the side of the outer surface.



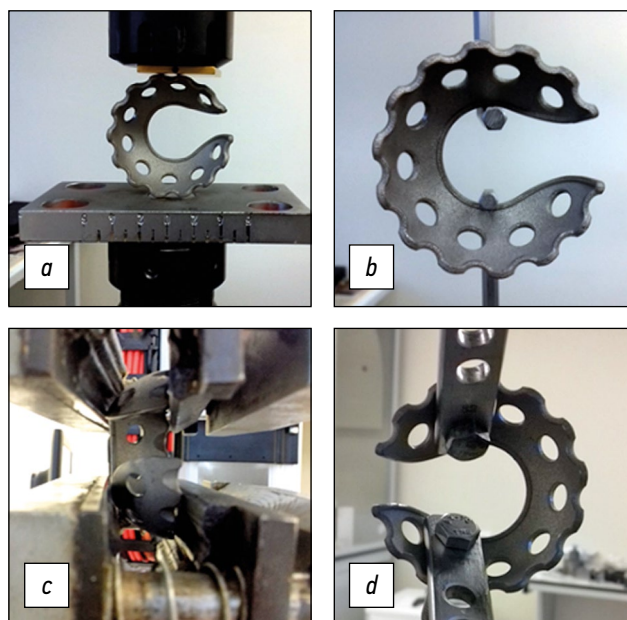
**Рис. 2.** Фигуры кольца из технического задания и требований на изготовление кольца с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости.

**Fig. 2.** Figures of the ring from the terms of reference and requirements for the manufacture of a ring with an outer diameter of 52 mm with a stiffener.

Виды нагрузок на кольцо определены, исходя из:

- 1) учёта конструкции кольца, имеющего форму незамкнутой полусферы;
- 2) возможных вариантов нагрузок на кольцо в организме человека;
- 3) цели изучения механических свойств кольца, поскольку непосредственно при помощи кольца выполняется репозиция и фиксация колонн и отломков ВВ (рис. 3).

Для проведения испытаний использовали электро-механическую испытательную машину LFM-50 фирмы



**Рис. 3.** Статические испытания универсального репозиционно-фиксационного кольца с ребром жёсткости для оперативного лечения переломов вертлужной впадины.

*Примечание.* *a* — на сжатие, *b* — на растяжение, *c* — на кручение, *d* — на совместное действие растяжения и закручивания краёв разъёма (раскрытие кольца).

**Fig. 3.** Static tests of a universal repositioning-fixation ring with a stiffener for the surgical treatment of acetabular fractures.

*Note.* *a* — for compression, *b* — for tension, *c* — for torsion, *d* — for the combined action of tension and twisting of the edges of the connector (opening of the ring).

«Walter + Bai AG» (Швейцария). Параметры испытательной машины:

- 050 кН (диапазон нагрузок);
- скорость нагружения 0–500 мм/мин;
- вращение 60 об./мин;
- точность измерения 0,5%.

Нашей целью было получить диаграммы механических испытаний образца (рис. 4).

### Условия проведения испытаний

Нормальные климатические условия по ГОСТ 15150-69:

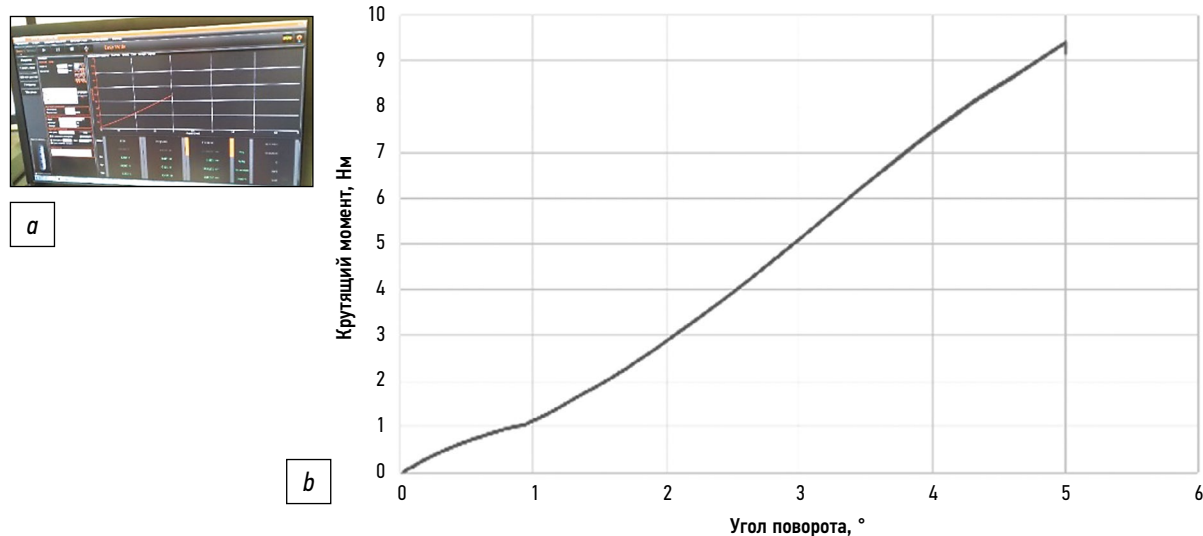
- температура воздуха 18 °С;
- относительная влажность 64%;
- атмосферное давление 98 кПа (745 мм рт. ст.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

### Испытание кольца на сжатие и растяжение

При испытании на сжатие скорость сближения нажимных устройств составила 5 мм/мин. При испытании на растяжение скорость перемещения захватов образца была равна 5 мм/мин.





**Рис. 4.** Графическое отображение статических испытаний универсального репозиционно-фиксационного кольца с ребром жёсткости.

*Примечание.* *a* — фото диаграммы в программе испытательной машины LFM-50 фирмы «Walter + Bai AG» (Швейцария), *b* — диаграмма результатов испытаний.

**Fig. 4.** Graphical display of a universal repositioning-fixation ring static tests with a stiffener.

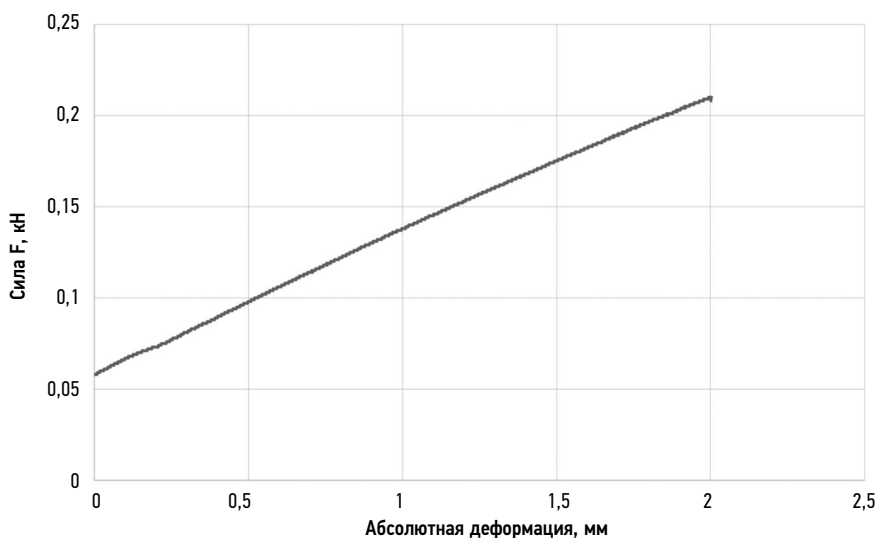
*Note.* *a* — photo of the diagram in the program of the LFM-50 testing machine from Walter + Bai AG (Switzerland), *b* — diagram of the test results.

Испытания кольца на сжатие и растяжение проводили вплоть до достижения абсолютной деформацией значения 2 мм. Предельная величина деформации в 2 мм была выбрана с учётом результатов исследования механических характеристик костных, хрящевых и связочных структур ТБС и коленного сустава человека, в котором показано, что диапазон деформирования кости от 0 до 2 мм принадлежит участку упругого деформирования [31]. Также диапазон деформирования выбран из соблюдения условий работы металлической конструкции в области упругих деформаций. Характер прямолинейной зависимости силы

от деформации и аналогичного характера разгрузки определяет упругое поведение при деформировании этой конструкции кольца (рис. 5, 6). Результаты испытания кольца на сжатие и растяжение приведены в табл. 1.

### Испытание кольца на кручение

Испытание кольца на кручение проводили вплоть до угла поворота в 5°. Предельная величина угла поворота в 5° выбрана нами из соображений сохранности окружающих костных тканей и совместной работы с ними металлических конструкций изделия, а также



**Рис. 5.** Диаграмма статического испытания кольца с ребром жёсткости на сжатие.

**Fig. 5.** Diagram of a ring static test with a stiffener in compression.

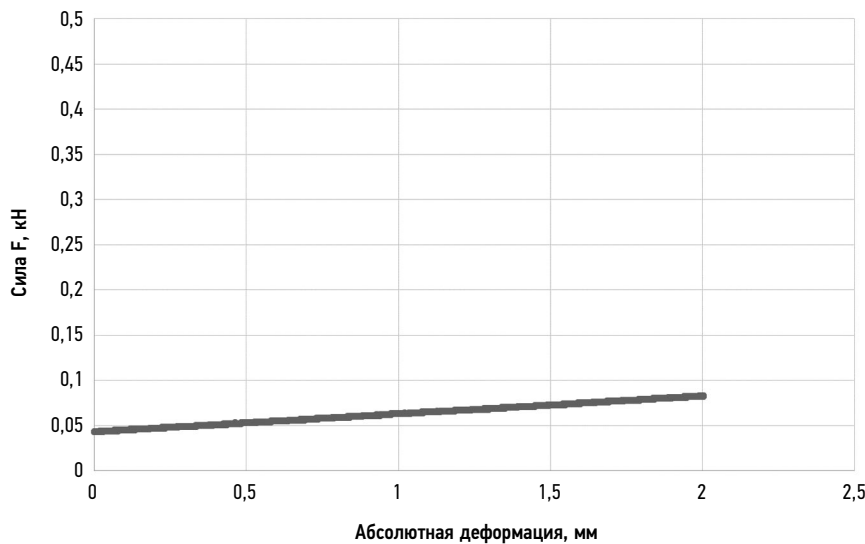


Рис. 6. Диаграмма статического испытания кольца с ребром жёсткости на растяжение.

Fig. 6. Diagram of a ring static test with a tensile stiffener.

Таблица 1. Результаты испытания кольца с ребром жёсткости на сжатие, растяжение, кручение и совместное растяжение с закручиванием краёв разёма кольца

Table 1. Test results of a ring with a stiffener for compression, tension, torsion and joint tension with twisting of the edges of the ring split

Вид испытания	Нагрузка, соответствующая деформации 2 мм, кН
Сжатие	0,209
Растяжение	0,082
Кручение	Крутящий момент, соответствующий углу поворота 5 °, Нм 9,422 Нм
Совместное растяжение с закручиванием краёв разёма кольца	Нагрузка, соответствующая деформации 10 мм, кН 0,060

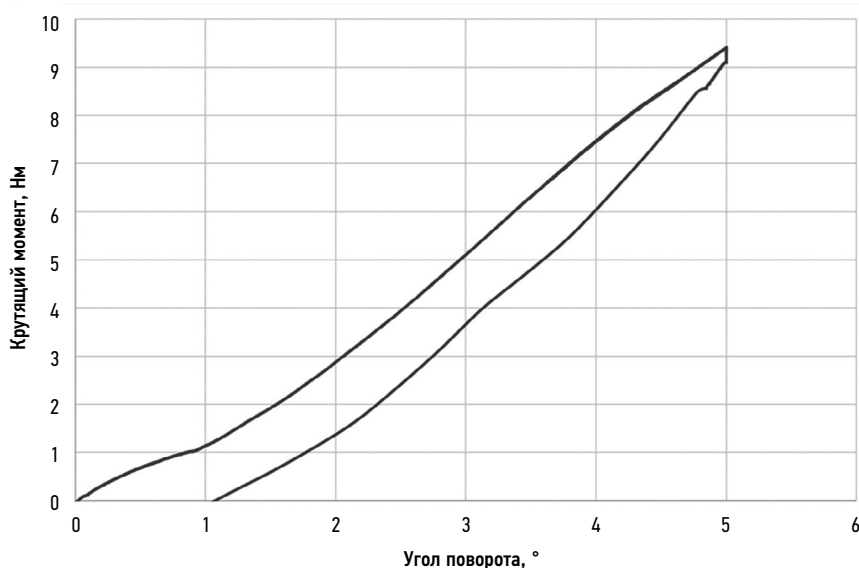
необходимости соблюсти условие упругого деформирования кольца. Также она выбрана с учётом результатов исследования механических характеристик костных, хрящевых и связочных структур ТБС и коленного сустава человека, в котором показано, что диапазон деформирования кости от 0 до 5 ° при кручении принадлежит участку упругого деформирования кости [31]. При испытаниях на кручение скорость поворота составляла 0,1 °/с (рис. 7).

На рис. 7 показана диаграмма испытания кольца на кручение. На нём наблюдается «остаточная» деформация в 1,1 °, которая обусловлена не накопленными пластическими деформациями в процессе нагружения, а в большей степени тем фактом, что после достижения предельно заданного значения угла поворота в 5 ° испытание было прекращено. Естественным образом оператор не мог мгновенно разгрузить образец вручную, поэтому в течение нескольких секунд испытательная машина держала достигнутую деформацию. При этом произошла релаксация (снижение) нагрузки на образце на несколько десятых Нм. Это видно на графике: короткий вертикальный отрезок при значении достигнутой деформации 5 °. После этих нескольких секунд оператор вручную снял нагрузку, и траектория разгрузки уже шла не строго

по траектории нагружения, а эквидистантно ей. Именно поэтому в конце разгрузки мы наблюдали «остаточную» деформацию. Результат испытания кольца на кручение см. в табл. 1.

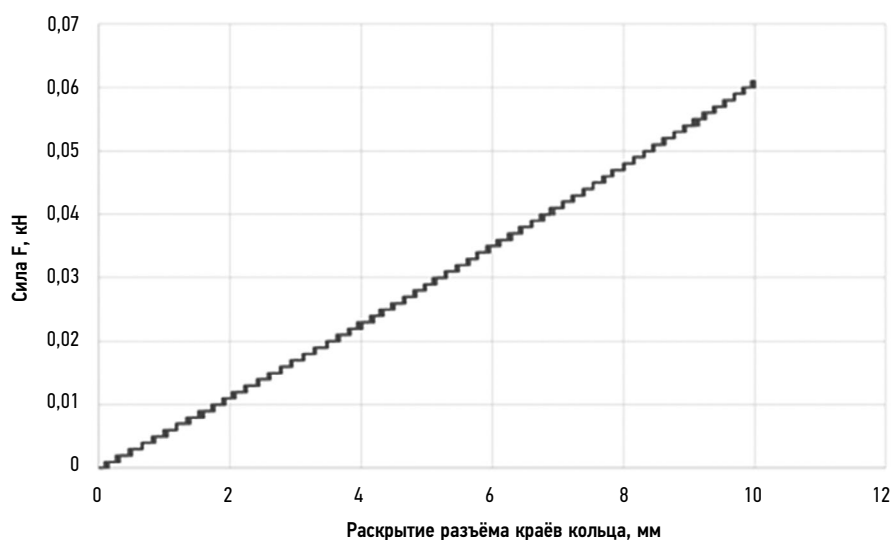
### Испытание образца кольца на совместное растяжение и закручивание

При испытаниях на совместное растяжение и закручивание краёв разёма скорость перемещения захватов составила 5 мм/мин. При данном виде испытания в исследуемом кольце реализуется сложное напряжённое состояние. Закручивание краёв разёма кольца осуществляли посредством крепления пластин к кольцу, передача нагрузки через которые обеспечивала этот вид испытания. Испытание образца кольца на совместное растяжение и закручивание краёв разёма проводили вплоть до достижения раскрытия разёма на величину 10 мм. Наблюдалась прямолинейная зависимость силы от абсолютной деформации (рис. 8). Разгрузка шла по той же прямой на диаграмме, что и нагружение, приводила в исходное нулевое состояние по деформациям и происходила также прямолинейно. Таким образом, наблюдалось упругое поведение кольца при таком виде нагружения.



**Рис. 7.** Диаграмма результатов статических испытаний на кручение кольца с ребром жёсткости, отображающая наличие «остаточной» деформации в 1,1°.

**Fig. 7.** Diagram of a ring static torsion tests results with a stiffener, showing the presence of a permanent deformation of 1.1°.



**Рис. 8.** Диаграмма статического испытания на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма кольца с ребром жёсткости.

**Fig. 8.** Diagram of a static test for joint tension and twisting of the edges of the split ring with a stiffener.

Результат испытания кольца на совместное растяжение и закручивание представлен в табл. 1.

## ОБСУЖДЕНИЕ

### Резюме основного результата исследования

В нашей работе проанализированы результаты испытаний деформационных свойств кольца с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости. При этом диапазон прикладываемой силы при нагружении кольца соответствовал области его упругих деформаций. Определены виды нагрузок на кольцо, а именно: растяжение, сжатие, кручение, сложное напряжённое состояние (совместное

растяжение и закручивание краёв разъёма кольца). Виды нагрузок на кольцо определены исходя из:

- 1) учёта конструкции кольца, имеющего форму незамкнутой полусферы;
- 2) цели изучения механических свойств кольца, поскольку непосредственно при помощи кольца выполняется репозиция и фиксация колонн и отломков ВВ (в связи с чем оно и называется «репозиционно-фиксационное»).

### Обсуждение основного результата исследования

В процессе проведения испытания кольца на сжатие и растяжение предусмотрено достижение абсолютной

деформацией значения в 2 мм. В диапазоне абсолютных деформаций 0–2 мм определено упругое поведение данной конструкции кольца при деформировании, а именно получен характер прямолинейной зависимости силы от деформации и аналогичный характер разгрузки. При проведении анализа полученных значений силы при деформации в 2 мм зафиксированы результаты, представленные в табл. 1. Нагрузка, соответствующая деформации 2 мм на сжатие, составила 0,209 кН. График характера прямолинейной зависимости силы от деформации и аналогичного прямолинейного характера разгрузки кольца — по той же траектории, что и при нагружении. У кольца с ребром жёсткости нагрузка, соответствующая деформации 2 мм на растяжение, составила 0,082 кН. На диаграммах испытания на растяжение кольца мы наблюдали прямолинейный характер зависимости силы от деформации. Аналогичный характер прямолинейной зависимости имел место и при разгрузке кольца с отсутствием «остаточной» деформации.

Испытание на кручение для кольца с ребром жёсткости осуществляли вплоть до угла поворота в 5°, при этом скорость поворота была равна 0,1°/с. Такой режим испытания обусловлен особенностями конструкции кольца, в частности, формой незамкнутой полусферы. Нагрузка кручением (крутящий момент, соответствующий углу поворота 5°) у кольца с ребром жёсткости составила 9,422 Нм (см. табл. 1). Наблюдаемая «остаточная» деформация, как описано выше в пояснениях к рис. 7, это не итог пластического деформирования кольца, она является результатом особенности проведения эксперимента (человеческий фактор при реализации эксперимента оператором установки). На самом деле нагрузка и разгрузка кольца происходила упруго.

Испытание кольца на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма проводили вплоть до достижения раскрытия разъёма на величину 10 мм. Раскрытия кольца, по мнению авторов статьи, можно достичь путём проведения исследования на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма. Этот вид исследования запланирован и проведен с учётом конструктивных особенностей кольца. Незамкнутая полусфера создаёт условия для уменьшения жёсткости кольца и появления дополнительных степеней свободы. В связи с этим было решено провести испытание на совместное растяжение и закручивание

краёв кольца, которое создаёт в кольце сложное напряжённое состояние. Нагрузка на совместное растяжение с закручиванием краёв разъёма (нагрузка, соответствующая деформации 10 мм) у кольца составила 0,060 кН. Разгрузка приводила к возврату по деформациям в исходное нулевое значение и происходила прямолинейно. Таким образом, при этом виде нагружения наблюдалось упругое поведение кольца с ребром жёсткости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате статического испытания кольца с внешним диаметром 52 мм, усиленного ребром жёсткости, на сжатие, растяжение, кручение и на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма изучены его деформационные свойства при статических испытаниях в определённом диапазоне нагрузок. Итоги первичного изучения деформационного поведения новой конструкции кольца продемонстрировали упругий характер его деформационных свойств, в том числе обусловленный наличием ребра жёсткости. Полученные положительные первичные результаты изучения деформационного поведения такой конструкции кольца определяют направление дальнейшей доработки конструкции.

## 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).

**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.

**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

1. Гринь А.А., Рунков А.В., Шлыков И.Л. Выбор операционного доступа при лечении двухколонтных переломов вертлужной впадины // Травматология и ортопедия России. 2014. Т. 20, № 1. С. 92–97. doi: 10.21823/2311-2905-49
2. Лазарев А.Ф., Солод Э.И., Гудушаури Я.Г., и др. Проблемы лечения переломов вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2013. Т. 20, № 4. С. 81–85. doi: 10.17816/vto20130481-85



3. Бондаренко А.В., Круглыгин И.В., Плотников И.А., и др. Особенности лечения повреждений таза при политравме // Политравма. 2014. № 3. С. 46–57.
4. 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. Т. 17, № 4. С. 30–37. doi: 10.17816/vto201017430-37
5. Borrelli J. Jr., Anglen J.O., editors. *Arthroplasty for the Treatment of Fractures in the Older Patient*. Basel: Springer Nature Switzerland AG, 2018.
6. 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. Т. 16, № 2. С. 3–9. doi: 10.17816/vto20091623-9
7. Литвина Е.А. Экстренная стабилизация переломов костей таза у больных с политравмой // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2014. Т. 21, № 1. С. 19–25. doi: 10.17816/vto20140119-25
8. Солод Э.И., Лазарев А.Ф., Гудушаури Я.Г., и др. Современные возможности остеосинтеза вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2014. Т. 21, № 2. С. 25–32. doi: 10.17816/vto20140225-32
9. Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management // *Clin Orthop Relat Res*. 1980. N 151. P. 81–106.
10. Letournel E. The treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach // *Clin Orthop Relat Res*. 1993. N 292. P. 62–76.
11. Letournel E., Judet R., editors. *Fractures of the Acetabulum*. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993. P. 375–385, 521–540, 591–633.
12. 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
13. Hanschen M., Pesch S., Huber-Wagner S., Biberthaler P. Management of acetabular fractures in the geriatric patient // *SICOT-J*. 2017. N 3. P. 37. doi: 10.1051/sicotj/2017026
14. 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
15. 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*. Springer, Cham, 2018. P. 129–144. doi: 10.1007/978-3-319-94202-5\_8
16. 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 // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9, N 5. P. 820. doi: 10.3390/app9050820
17. Lont T., Nieminen J., Reito A., et al. K. Total hip arthroplasty, combined with a reinforcement ring and posterior column plating for acetabular fractures in elderly patients: good outcome in 34 patients // *Acta Orthop*. 2019. Vol. 90, N 3. P. 275–280. doi: 10.1080/17453674.2019.1597325
18. Tidermar J., Blomfeldt R., Ponzer S., et al. Primary total hip arthroplasty with a Burch-Schneider antiprotrusion 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
19. Sheth H., Salunke A.A., Panchal R., et al. Simultaneous bilateral shoulder and bilateral central acetabular fracture dislocation: What to do? // *Chin J Traumatol*. 2016. Vol. 19, N 1. P. 59–62. doi: 10.1016/j.cjtee.2016.01.006
20. Firoozabadi R., Cross W.W., Krieg J.C., Routt M.L.C. Acetabular Fractures in the Senior Population — Epidemiology, Mortality and Treatments. *Arch Bone Jt Surg*. 2017. Vol. 5, N 2. P. 96–102.
21. 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. doi: 10.1302/0301-620X.101B4.BJJ-2018-1027.R2
22. 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.
23. 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. doi: 10.1016/s0035-1040(07)78465-9
24. 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
25. Clarke-Jenssen J., Røise O., Storeggen S.A.Ø., 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
26. 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
27. 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
28. 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
29. 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
30. 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
31. Гаврюшенко Н.С. Материаловедческие аспекты создания эрозионностойких узлов трения искусственных суставов чело века: дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2000. Режим доступа: <https://www.disserscat.com/content/materialovedcheskie-aspekty-sozdaniya-erozionnostoikikh-uzlov-treniya-iskusstvennykh-sustavo>. Дата обращения: 27.11.2022.

## REFERENCES

1. Grin' AA, Runkov AV, Shlykov IL. The choice of surgical approach in the treatment of two-column acetabular fractures. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2014;20(1):92–97. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-49
2. Lazarev AF, Solod EI, Gudushauri YG, et al. Problems in Acetabular Fractures Treatment. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2013;20(4):81–85. (In Russ). doi: 10.17816/vto20130481-85
3. Bondarenko AB, Kruglykhin IV, Plotnikov IA, et al. Features of treatment of pelvic injuries in polytrauma. *Polytrauma*. 2014;3:46–57. (In Russ).
4. Beletskiy AV, Voronovich AI, Murzich AE. Determination of Indications to Surgical Treatment and Choice of Surgical Approaches in Complicated Complex Acetabular Fractures. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2010;17(4):30–37. (In Russ). doi: 10.17816/vto201017430-37
5. Borrelli J Jr, Anglen JO, editors. *Arthroplasty for the Treatment of Fractures in the Older Patient*. Basel: Springer Nature Switzerland AG; 2018.
6. Solod EI, Lazarev AF, Lazarev AA, et al. Potentialities of Surgical Treatment for Acetabular Fractures Using Low-Invasive Techniques. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2009;16(2):3–9. (In Russ). doi: 10.17816/vto20091623-9
7. Litvina EA. Emergent Stabilization of Pelvic Bones Fractures in Polytrauma. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2014;21(1):19–25. (In Russ). doi: 10.17816/vto20140119-25
8. Solod EI, Lazarev AF, Gudushauri YG, et al. Modern Potentialities of Acetabular Osteosynthesis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2014;21(2):25–32. (In Russ). doi: 10.17816/vto20140225-32
9. Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management. *Clin Orthop Relat Res*. 1980;(151):81–106.
10. Letournel E. The treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(292):62–76.
11. Letournel E, Judet R, editors. *Fractures of the Acetabulum*. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag; 1993. P. 375–385, 521–540, 591–633.
12. 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
13. 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
14. 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
15. 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*. Springer, Cham; 2018. P. 129–144. doi: 10.1007/978-3-319-94202-5\_8
16. 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. *Applied Sciences*. 2019;9(5):820. doi: 10.3390/app9050820
17. Lont T, Nieminen J, Reito A, et al. K. Total hip arthroplasty, combined with a reinforcement ring and posterior column plating for acetabular fractures in elderly patients: good outcome in 34 patients. *Acta Orthop*. 2019;90(3):275–280. doi: 10.1080/17453674.2019.1597325
18. Tidermar J, Blomfeldt R, Ponzer S, et al. Primary total hip arthroplasty with a Burch-Schneider antiprolusion 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
19. Sheth H, Salunke AA, Panchal R, et al. Simultaneous bilateral shoulder and bilateral central acetabular fracture dislocation: What to do? *Chin J Traumatol*. 2016;19(1):59–62. doi: 10.1016/j.cjtee.2016.01.006
20. Firoozabadi R, Cross WW, Krieg JC, Roult MLC. Acetabular Fractures in the Senior Population — Epidemiology, Mortality and Treatments. *Arch Bone Jt Surg*. 2017;5(2):96–102.
21. 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. doi: 10.1302/0301-620X.101B4.BJJ-2018-1027.R2
22. Westerborn A. Central dislocation of the femoral head treated with mold arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 1954;36(A:2):307–314.
23. 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. doi: 10.1016/s0035-1040(07)78465-9
24. 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
25. Clarke-Jenssen J, Røise O, Storeggen SAØ, 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
26. 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
27. 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
28. 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
29. 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
30. 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
31. Gavryushenko NS. *Materialovedcheskie aspekty sozdaniya erozionnostoikikh uzlov treniya iskusstvennykh sustavov cheloveka* [dissertation]. Moscow; 2000. Available from: <https://www.disserscat.com/content/materialovedcheskie-aspekty-sozdaniya-erozionnostoikikh-uzlov-treniya-iskusstvennykh-sustavo>. Accessed: 27.11.2022. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

\* **Колесник Александр Иванович**, д.м.н., профессор;  
адрес: Россия, 127287, Москва, ул. Онежская, д. 37;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1435-8743>;  
eLibrary SPIN: 6305-2246; e-mail: ko-lesnik@mail.ru

**Гаврюшенко Николай Свиридович**, д.т.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7198-433X>;  
eLibrary SPIN: 3335-6472; e-mail: testlabcito@mail.ru

**Фомин Леонид Викторович**, к.ф.-м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9075-5049>;  
eLibrary SPIN: 7186-8776; e-mail: fleonid1975@mail.ru

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

**Солодилов Иван Михайлович**, врач-травматолог;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8219-5582>;  
eLibrary SPIN: 3744-5922; e-mail: Ivan\_s\_007@mail.ru

**Иванов Дмитрий Александрович**, врач-травматолог;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-6774>;  
eLibrary SPIN: 9446-1227; e-mail: Ivanovda2001@mail.ru

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

**Суриков Владислав Владимирович**, аспирант;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3668-2376>;  
eLibrary SPIN: 9734-7382; e-mail: Airbag366@yandex.ru

**Тарасов Евгений Петрович**, врач-травматолог;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3960-0148>;  
e-mail: t.john@mail.ru

## AUTHORS INFO

\* **Aleksandr I. Kolesnik**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
address: 37 Onezhskaya Str., 127287, Moscow, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1435-8743>;  
eLibrary SPIN: 6305-2246; e-mail: ko-lesnik@mail.ru

**Nikolay S. Gavryushenko**, MD, Dr. Sci. (Tech.), Professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7198-433X>;  
eLibrary SPIN: 3335-6472; e-mail: testlabcito@mail.ru

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

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

**Ivan M. Solodilov**, traumatologist;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8219-5582>;  
eLibrary SPIN: 3744-5922; e-mail: Ivan\_s\_007@mail.ru

**Dmitriy A. Ivanov**, traumatologist;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-6774>;  
eLibrary SPIN: 9446-1227; e-mail: Ivanovda2001@mail.ru

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

**Vladislav V. Surikov**, graduate student;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3668-2376>;  
eLibrary SPIN: 9734-7382; e-mail: Airbag366@yandex.ru

**Evgeniy P. Tarasov**, traumatologist;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3960-0148>;  
e-mail: t.john@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author