

ПРЕДИКТОРЫ РАЗВИТИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСЛЕ АРТРОДЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА У ПАЦИЕНТОВ С ДЕФЕКТАМИ СУСТАВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

PREDICTORS OF COMPLICATIONS FOLLOWING KNEE ARTHRODESIS IN PATIENTS WITH JOINT SURFACE DEFECTS

Клименкова В.С. Klimenkova V.S.
Гуражев М.Б. Gurazhev M.B.
Корочкин С.Б. Korochkin S.B.
Лукинов В.Л. Lukinov V.L.
Романова С.В. Romanova S.V.
Пронских А.А. Pronskikh A.A.

ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна»
Минздрава России,

ФГБУН «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук»,

г. Новосибирск, Россия

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics
n.a. Ya.L. Tsivyan,

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

Novosibirsk, Russia

Дефекты костей, образующих коленный сустав, формируются в результате многочисленных хирургических вмешательств по поводу ортопедических заболеваний как последствия вне- и внутрисуставных переломов, резекции новообразований. Их наличие приводит к стойкому нарушению функции всей конечности, снижению качества жизни пациентов и инвалидности и является одним из показаний к ампутации и внешнему протезированию конечности, основной альтернативой которым служит проведение реконструктивных операций, основывающихся на различных методиках создания опорной конечности.

Наличие обширных дефектов костной ткани, выраженные рубцовые изменения мягких тканей в области сустава, несостоятельность разгибательного аппарата, хроническая инфекция зачастую не позволяют выполнить ревизионное эндопротезирование коленного сустава. Методом выбора для лечения таких пациентов является артродезирование коленного сустава с использованием внутренней или внешней фиксации. Однако это вмешательство также сопряжено с высоким риском развития различных осложнений. Общая частота осложнений после артродезирования коленного сустава составляет до 84 %, несостоятельность анкилоза — от 17 до 80 %, стойкий болевой синдром после формирования артродеза отмечают 73 % пациентов.

Цель исследования — определить и проанализировать наиболее значимые предикторы развития осложнений лечения пациентов с дефектами костей, образующих коленный сустав, методом артродезирования коленного сустава.

Материалы и методы. С 2014 по 2024 г. проведено ретроспективное обсервационное одноцентровое сплошное контролируемое нерандомизированное исследование, в рамках которого проанализированы результаты лечения 44 пациентов после артродезирования коленного сустава различными методами, имевших осложнения артродезирования.

Defects of the bones forming the knee joint are formed as a result of numerous surgical interventions for orthopedic diseases, as a consequence of extra- and intra-articular fractures, and resection of neoplasms. Their presence leads to a persistent impairment of the function of the entire limb, a decrease in the quality of life of patients, and disability, and is one of the indications for amputation and external prosthetics of the limb, the main alternative to which is the performance of reconstructive surgeries based on various techniques for creating a supporting limb.

The presence of extensive bone defects, severe scarring of soft tissue in the joint area, failure of the extensor mechanism, and chronic infection often make revision knee arthroplasty impossible. The preferred treatment for these patients is arthrodesis, either internally or externally fixed. However, this procedure also carries a high risk of various complications. The overall complication rate after knee arthrodesis is up to 84 %. The failure rate of ankylosis ranges from 17 % to 80 %. 73 % of patients experience persistent pain after arthrodesis.

Objective — to identify and analyze the most significant predictors of the development of complications in the treatment of patients with defects of the bones forming the knee joint using the method of arthrodesis of the knee joint.

Materials and methods. A retrospective observational single-center continuous controlled non-randomized study was conducted. The study included 44 medical records of patients who underwent knee arthrodesis using various methods from 2014 to 2024, who subsequently had type II and type III knee arthrodesis complications according to S.O.F.C.O.T.

Для цитирования: Клименкова В.С., Гуражев М.Б., Корочкин С.Б., Лукинов В.Л., Романова С.В., Пронских А.А. ПРЕДИКТОРЫ РАЗВИТИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСЛЕ АРТРОДЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА У ПАЦИЕНТОВ С ДЕФЕКТАМИ СУСТАВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ // ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 1. С. 66-80.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/614>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-1-66-80

ния коленного сустава II и III типов по S.O.F.C.O.T. После обработки данных проведен статистический анализ моделей логистической регрессии осложнений и последующий ROC-анализ с целью выявления наиболее значимых предикторов развития осложнений.

Результаты. Выявлены и статистически обоснованы наиболее значимые предикторы развития осложнений всех типов. Снижение когнитивного статуса согласно шкале MMSE (значение менее 24,5) ассоциировано с повышением шансов развития инфекции области хирургического вмешательства в 12,67 раза ($p = 0,001$). Увеличение Индекса коморбидности Чарльсона более 4,5 повышает шансы несостоятельности анкилоза в 9 раз ($p = 0,050$). Уменьшение плотности костной ткани (показатель Т-критерия менее $-2,45$ увеличивает шансы развития значительной остаточной деформации (более 7 градусов) в 17,5 раза ($p = 0,035$). Тип дефекта C2 по классификации ULBDC или F3T3 по классификации AORI статистически значимо ассоциирован с повышением шансов развития всех типов осложнений в 8,62 раза ($p = 0,006$) и 5,43 раза ($p = 0,013$) соответственно.

В ходе статического исследования получена формула автоматической многофакторной оптимальной модели развития осложнений артродезирования коленного сустава с показателями чувствительности 100 % и специфичности — 48,1 %.

Заключение. Профилактика осложнений после артродезирования коленного сустава основывается на тщательном предоперационном планировании с учетом всех значимых индивидуальных факторов. Наиболее значимые предикторы осложнений можно разделить на индивидуальные для каждого пациента: индекс коморбидности, когнитивный статус, плотность костной ткани (по значению Т-критерия и шкалы Hounsefield), а также на связанные с хирургическим лечением: тип дефекта костной ткани, достижение стабильной фиксации в функционально выгодном положении и соблюдение правил чрескостного остеосинтеза.

Ключевые слова: артродез коленного сустава; дефект костной ткани; предикторы осложнений; статистический анализ; ретроспективное исследование

After data processing, a statistical analysis of logistic regression models of complications and subsequent ROC was performed-analysis in order to identify the most significant predictors of the development of complications.

Results. The most significant predictors of all types of complications were identified and statistically validated. A decreased cognitive status according to the MMSE (a score of less than 24.5) was associated with a 12.67-fold increased risk of surgical site infection ($p = 0.001$). Charlson Comorbidity Index score of greater than 4.5 increased the risk of ankylosis failure by 9 times ($p = 0.050$). A decrease in bone density (T-score less than -2.45) increases the odds of developing significant residual deformity (more than 7 degrees) by 17.5 times ($p = 0.035$). Defect type C2 according to ULBDC classification or F3T3 according to AORI classification are statistically significantly associated with an increase in the odds of developing all types of complications by 8.62 times ($p = 0.006$) and 5.43 times ($p = 0.013$), respectively.

During the static study, a formula for an automatic multifactorial optimal model for the development of complications of knee joint arthrodesis was obtained with sensitivity indicators of 100% and specificity of 48.1 %.

Conclusion. Prevention of complications after knee arthrodesis is based on careful preoperative planning, taking into account all significant individual factors. The most significant predictors of complications can be divided into individual ones for each patient, such as the comorbidity index, cognitive status, and bone density according to the T-criterion and the Hounsefield scale, as well as those related to surgical treatment, such as the type of bone defect, achieving stable fixation in a functionally advantageous position, and following the rules of transosseous osteosynthesis.

Keywords: knee arthrodesis; bone tissue defect; predictors of complications; statistical analysis; retrospective study

С увеличением числа проводимых операций по поводу первичного эндопротезирования коленного сустава неуклонно растет количество ревизионных вмешательств, связанных с асептическим расшатыванием компонентов и перипротезной инфекцией [1]. Наиболее частым видом ревизионного вмешательства на коленном суставе является одно- или двухэтапное реэндопротезирование. Однако постимплантационные или посттравматические дефекты дистальной части бедренной и проксимального отдела большеберцовой костей, выраженные рубцовые изменения, несостоятельность разгибательного аппарата и тотальная нестабильность связочного аппарата не позволяют добиться стабильной фиксации компонентов и хорошего функционального результата. Наличие трудных для лечения или вообще не поддающихся эрадикации возбудителей перипротезной инфекции, выраженный коморбидный фон пациента являются противопоказаниями к

выполнению ревизионного эндопротезирования коленного сустава [2–5].

По данным исследований зарубежных и отечественных авторов, у данной категории пациентов золотым стандартом лечения является артродез коленного сустава, основная цель которого — восстановление опороспособности нижней конечности, улучшение качества жизни, возможность самообслуживания без помощи средств внешней опоры [6, 7].

Для артродеза коленного сустава предложено множество техник. В настоящее время успешно применяется внешняя аппаратная фиксация по методу Г.А. Илизарова, интрамедуллярные штифты, внутренняя фиксация пластинами и винтами, индивидуальные интрамедуллярные имплантаты при обширных дефектах костной ткани, а также различные их комбинации. Каждая из методик имеет свои особенности, преимущества, недостатки, а также показания и противопоказания [6, 8–10].

При артродезировании коленного сустава необходимо учитывать условия формирования анкилоза: достаточный костный контакт сочленяющихся поверхностей при сохранении васкуляризации костной ткани, а также соблюдение принципов остеосинтеза. Обязательным является достижение компрессии и стабильной фиксации в функционально выгодном положении. Соблюдение вышеуказанных условий позволяет сформировать опороспособную функциональную нижнюю конечность в условиях артродеза [11, 12].

Несмотря на широкое использование различных методик артродезирования, на сегодняшний день они все еще являются предметом дискуссий. Частота различных видов осложнений после артродезирования колеблется в пределах от 20 до 84 % [13]. Функциональные результаты также не всегда являются удовлетворительными. Так, у 73 % пациентов сохраняются жалобы на длительные интенсивные боли (3 и более баллов по визуально-аналоговой

шкале (ВАШ)), нарушение походки, трудности в передвижении. Несостоятельность анкилоза коленного сустава, составляющая от 17 до 80 %, по данным разных авторов, является наиболее неблагоприятным результатом артродезирования [3, 14].

Причинами высокой частоты возникновения несостоятельного анкилоза являются склерозирование костной ткани, низкий регенеративный потенциал костной ткани и организма пациента, наличие обширных дефектов и выраженных нарушений анатомических и биомеханических взаимоотношений между сочленяемыми поверхностями, а также причины, связанные с расшатыванием и нестабильностью имплантов.

Исходя из изложенного, все больше современных исследователей приходят к выводу, что для достижения хорошего конечного результата важен индивидуализированный подход к выбору методики артродезирования, а также определению имплантов для фиксации. Тщательная оценка рисков осложнений и выявление предикторов их развития позволит увеличить процент хороших исходов [15, 16].

С целью выявления факторов риска развития послеоперационных осложнений артродезирования коленного сустава и путей их профилактики было инициировано данное исследование.

Цель исследования — определить и проанализировать наиболее значи-

мые предикторы развития осложнений лечения пациентов с дефектами костей, образующих коленный сустав, методом артродезирования коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено ретроспективное обсервационное одноцентровое сплошное контролируемое нерандомизированное исследование, в рамках которого осуществлялся анализ архивной документации, историй болезни и амбулаторных карт 116 пациентов после оперативного артродезирования коленных суставов, выполненного в клиниках ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России с 2014 по 2024 г.

Критериями включения в исследование являлись: возраст пациента старше 18 лет, наличие дефектов бедренной и большеберцовой костей посттравматического или постимплантационного генеза 2 или 3 типов по широко известной классификации AORI (Anderson Orthopaedic Research Institute) [17] или дефектов 33, 41 В и С типов по ULBDC (Universal long bone defect classification — универсальная классификация дефектов длинных костей, Л.Н. Соломин и соавт.) (рис. 1, рис. 2) [18]. Выбор обусловлен тем, что классификация AORI на данный момент является самой распространенной для оценки постимплантационных дефектов в области коленного сустава, а ULBDC представляет собой

универсальный инструмент описания диафизарных и внутрисуставных дефектов длинных трубчатых костей, основанный на буквенно-цифровой кодировке, подобно классификации переломов АО/ОТА.

Критерием невключения в исследование был возраст младше 18 лет. Критериями исключения из исследования являлись невозможность амбулаторного наблюдения, потеря связи с пациентом или отказ от наблюдения пациентом в течение 12 месяцев после оперативного вмешательства, отсутствие осложнений хирургического лечения 2 и 3 типа по классификации S.O.F.C.O.T. [19].

В итоговое исследование включены 44 пациента, у которых после проведения артродезирования коленного сустава были выявлены различные осложнения (что составило 38 % от всего количества пациентов, которым проводилось артродезирование коленного сустава) (рис. 3): 8 (18 %) мужчин и 36 (82 %) женщин, средний возраст пациентов составил $69,1 \pm 9,6$ (медиана — 69,5 [48,0–87,0] года).

Проанализированы индивидуальные показатели, связанные с пациентом: индекс коморбидности Charlsoni (CCI) [20], уровень когнитивных нарушений по шкале MMSE [21], индекс массы тела (ИМТ), плотность костной ткани — Т-критерий и плотность костной ткани по шкале Hounsefield (HU бедренной кости/HU костей голени). Оценивалось также соблюдение паци-

Рисунок 1

Виды дефектов, относящихся к типу В по ULBDC [18]

Figure 1

Types of defects classified as type B according to ULBDC [18]

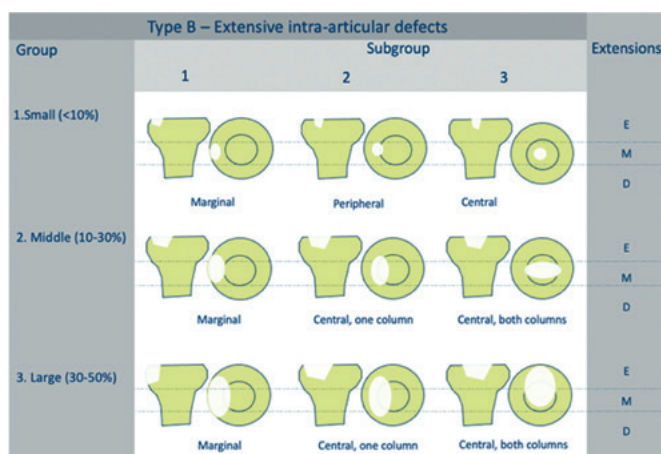
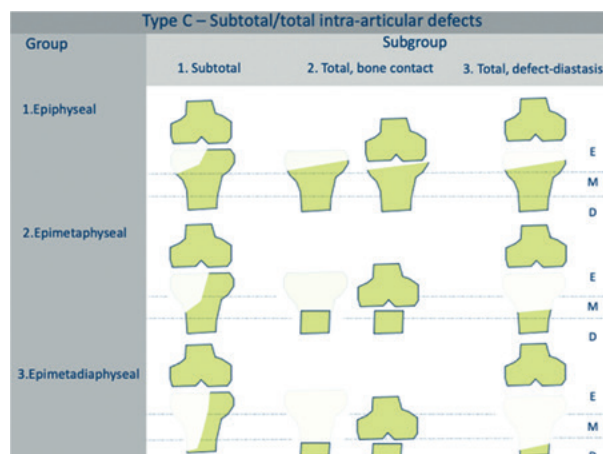


Рисунок 2

Виды дефектов, относящихся к типу С по ULBDC [18]

Figure 2

Types of defects classified as type C according to ULBDC [18]



ентом рекомендаций и ортопедического режима. Результаты представлены в таблице 1.

У исследуемых зарегистрированы дефекты 2 и 3 типов по классификации Anderson Orthopaedic Research Institute (AORI)/B и C типов по универсальной классификации дефектов длинных костей (ULBDC) Л.Н. Соломина и соавт. (рис. 4, 5); 8 случаев составили посттравматические дефекты и 36 — постимплантационные.

У большинства пациентов (40 (91%) человек) артродезирование коленного

сустава проводили с помощью чрескостного внеочагового компрессионного остеосинтеза по методу Г.А. Илизарова, в 3 (7%) случаях использована фиксация блокируемыми интрамедуллярными штифтами, у 1 (2%) пациента выполнена фиксация канюлированными винтами.

Проводился анализ параметров, связанных с оперативным лечением: времени хирургического лечения, интраоперационной кровопотери, длительности госпитализации, а также сроков аппаратной фиксации (табл. 2).

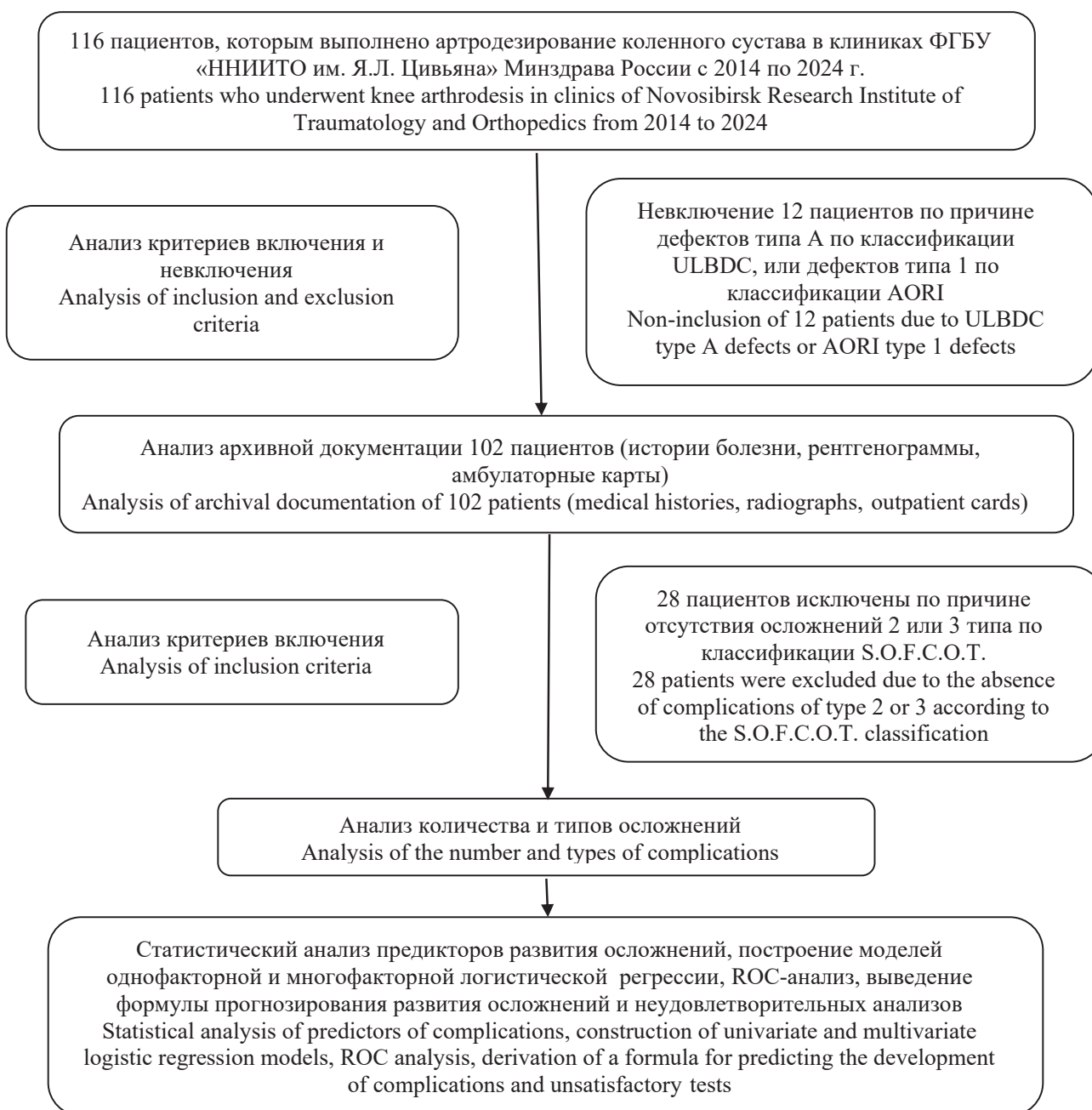
Статистическая обработка результатов исследования производилась в программе RStudio (version 2022.02.1 Build 461©, 2009–2022 RStudio, Inc., USA) на языке R (version 4.1.3 (2022-03-10), Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>). Количественные данные после обработки представлено в виде следующих параметров: $M \pm SD$ (M — среднее арифметическое, SD — стандартное отклонение), $Me [LQ; UQ]$ (Me — медиана, $[LQ-UQ]$ — нижний (25%) и верхний (75%) квартили). Соответствие распределения количественных при-

Рисунок 3

Блок-схема дизайна исследования

Figure 3

Study design flow chart



знаков нормальному распределению оценивалось при помощи критерия Колмогорова — Смирнова с поправкой Большева. Номинальные данные описывали в виде абсолютных значений и долей в процентах (%).

Для выявления прогностически значимых предикторов развития ослож-

нений после артрорезирования коленного сустава у пациентов с дефектами суставных поверхностей и построения прогностической модели была использована бинарная логистическая регрессия. Качественные факторы были закодированы как «1» при наличии, «0» — при отсутствии признака. Коли-

чественные факторы использовались в формулах в своих абсолютных значениях. Построение логистической регрессионной модели осуществлялось методом пошагового включения прогностических факторов. Проверка соответствия автоматической многофакторной оптимальной модели реаль-

Таблица 1
Распределение индивидуальных показателей, связанных с пациентом
Table 1
Distribution of individual patient-related indicators

Показатель / Value	M ± SD	Min/max	Me [LQ; UQ]
Индекс коморбидности Charlson / Charlson Comorbidity Index	5.2 ± 2.5	2.0/12.0	5.0 [3.0; 7.0]
Шкала MMSE / MMSE Score	23.3 ± 4.5	14.0/29.0	25.0 [20.0; 26.5]
ИМТ / BMI	29.8 ± 6.8	18.0/44.0	30.0 [24.0; 34.0]
T-критерий / T-criterion	-2.4 ± 0.9	-4.0/1.4	-2.4 [-3.0; -1.8]
HU бедренной кости / HU of the femur	182.2 ± 116.6	60.0/636.0	154.5 [119.5; 212.5]
HU костей голени / HU of shin bones	146.7 ± 66.6	69.0/367.0	131.0 [102.8; 176.8]

Рисунок 4
Распределение исследуемых типов дефектов по классификации AORI (1997)
Figure 4
Distribution of the studied defect types according to the classification AORI (1997)

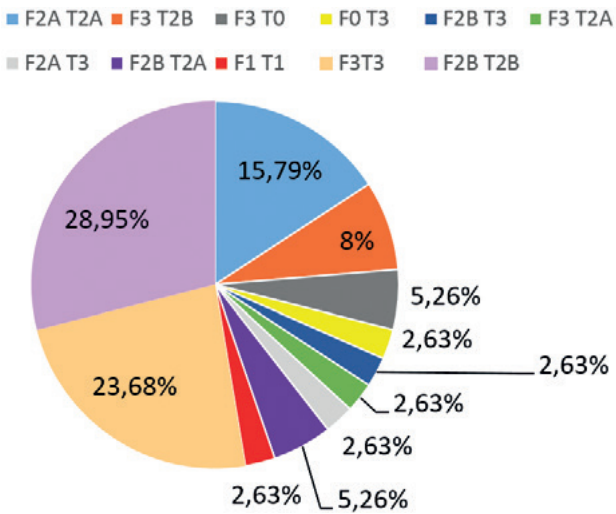


Рисунок 5
Распределение исследуемых типов суставных дефектов бедренной кости по ULBDC (универсальной классификации дефектов длинных костей Л.Н. Соломина и соавт., 2022)
Figure 5
Distribution of the studied types of articular defects of the femur according to the ULBDC (universal classification of long bone defects L.N. Solomina et al., 2022)

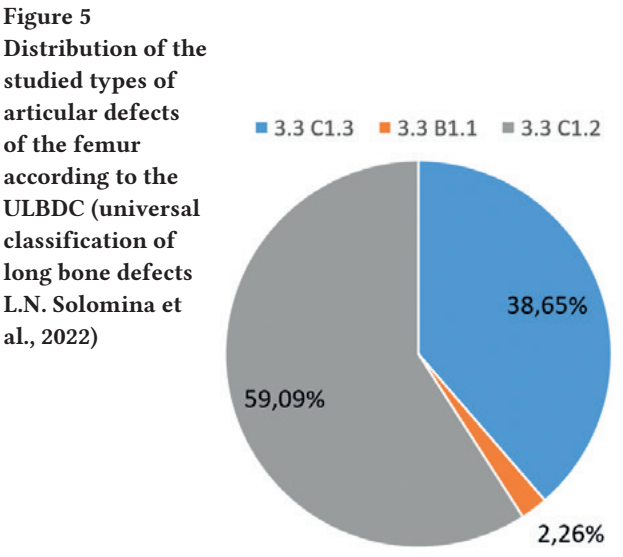


Таблица 2
Показатели, связанные с оперативным лечением (n = 44)
Table 2
Indicators associated with surgical treatment (n = 44)

Показатель Value	M ± SD	Min/max	Me [LQ–UQ]
Время операции, мин / Operation time, min	157.4 ± 39.8	60.0/255.0	157.5 [133.5; 180.0]
Кровопотеря, мл / Blood loss, ml	382.0 ± 199.0	10.0/1100.0	350.0 [287.5; 450.0]
Срок госпитализации, койко-дни Duration of hospitalization, bed days	21.6 ± 10.1	7.0/55.0	21.0 [15.0; 27.0]
Срок аппаратной фиксации, месяцы (n = 40) Duration of hardware fixation, months (n = 40)	6.4 ± 2.6	1.0/12.0	6.0 [5.0; 7.0]

ным данным осуществлялась с использованием критерия согласия Хосмера — Лемешова. Для оценки эффективности полученной модели и выбора порога классификации проведен ROC-анализ (ROC – receiver operating characteristic curve, кривая рабочей характеристики).

Критический уровень статистической значимости во всех случаях был принят равным 0,05.

В связи с ретроспективным характером исследования этическая экспертиза не проводилась. Объем публикуемых данных не требует согласования с пациентами (и/или законными представителями пациентов). Все представленные сведения обезличены, фотографии не публикуются.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного статистического исследования выведена формула автоматической многофакторной оптимальной модели развития осложнений после артродезирования коленного сустава. Пороговое значение вероятности развития осложнений составило 17,7 %, при полученных показателях чувствительности 100 % и специфичности — 48,1 %.

При проведении анализа модели логистической регрессии осложнений основными исследуемыми параметрами стали факторы, связанные с пациентом и описанные выше в разделе матери-

алы и методы. Параллельно исследовались параметры, связанные с хирургическим лечением (количество предшествующих операций, время операции, кровопотеря, корректность проведенной операции — восстановление референтных линий и углов (РЛУ), достижение стабильной фиксации, использование рекомендуемых позиций для проведения чрескостных элементов, использование правильных компоновок аппарата внешней фиксации (АВФ), срок фиксации в АВФ. Проанализирована структура выявленных осложнений.

У всех 44 пациентов, включенных в итоговое исследование, выявлены осложнения 2 и 3 типа по классификации S.O.F.C.O.T., то есть такие, которые требуют дополнительных хирургических вмешательств (конечный результат при этом не ухудшается), либо осложнения, наносящие ущерб здоровью пациента или ухудшающие конечный результат.

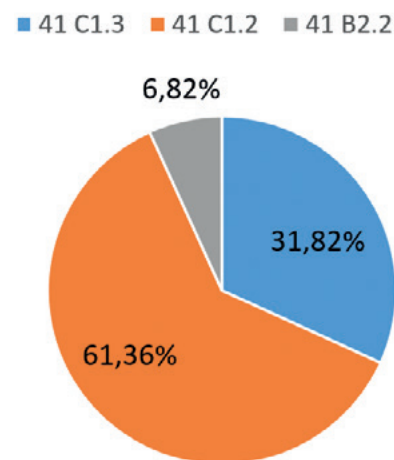
Построены однофакторные, а затем многофакторные модели логистической регрессии, с помощью которых определены наиболее значимые предикторы развития всех типов осложнений. Установлено, что тип дефекта C2 по классификации ULBDC статистически достоверно ассоциирован с повышением шансов развития всех типов осложнений в 8,62 [1,63; 38,23]

Рисунок 6

Распределение исследуемых типов суставных дефектов большеберцовой кости по ULBDC (универсальной классификации дефектов длинных костей Л.Н. Соломина и соавт., 2022)

Figure 6

Distribution of the studied types of articular defects of the tibia according to ULBDC (universal classification of long bone defects by L.N. Solomina et al., 2022)



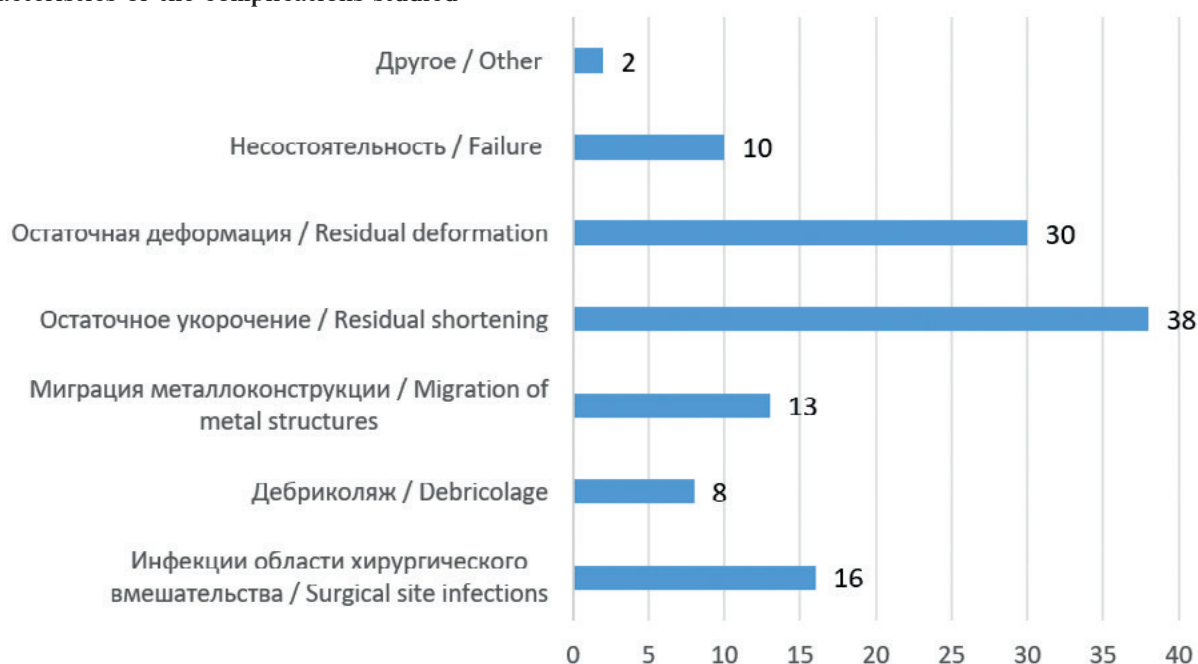
раза ($p = 0,006$); тип дефекта F3T3 по AORI ($p = 0,013$) также повышает шансы всех типов осложнений в 5,43 [1,31; 20,11] раза ($p = 0,013$). Увеличение показателя когнитивных функций по

Рисунок 7

Характеристика исследуемых осложнений

Figure 7

Characteristics of the complications studied



шкале Шкалы MMSE на k ед. изм. понижает шансы осложнения итогового лечения в 0,8 [0,66; 0,95]^k раза; оценка CCI с показателем более 4,5 ($p = 0,033$) показала повышение шансов осложнения итогового лечения в 10,77 [1,71; 211,97] раза.

Выявлено, что мультипликативно значимым предиктором развития неблагоприятного исхода является уровень когнитивного статуса пациентов. Так, увеличение показателя шкалы MMSE ($p = 0,015$) при прочих равных показателях в многофакторной модели понижает шансы осложнения итогового лечения в 0,8 [0,66; 0,95]^k раза.

В работе проведен ROC-анализ многофакторных моделей логистической регрессии осложнений, на основании которого выведена формула автоматической многофакторной оптимальной модели развития осложнений для порогового значения вероятности развития осложнений:

P (осложнения итогового лечения) = $\exp(z)/(1+\exp(z))$,

$z = 4,0139092 - 0,2177151 \times \text{шкала MMSE} + 2,732807314 \times \text{тип дефекта по классификации ULBDC (1 - \{C2\}, 0 - \text{остальные})} + 2,692179392$.

Тип дефекта по AORI (1 - {F3T3}, 0 - остальные), где P (осложнения итогового лечения) – это вероятность осложнения итогового лечения; $\exp(z)$ – это функция экспоненты в степени z . Переменные в формуле для z принимают следующие значения: шкала MMSE = значение показателя <шкала MMSE>. Тип дефекта по классификации ULBDC C2 = 1 (да/присутствует/соответствует) или 0 (нет/отсутствует/не соответствует). Тип дефекта F3T3 по AORI = 1 (да/присутствует/соответствует) или 0 (нет/отсутствует/не соответствует).

Таким образом, в ходе данного исследования мы смогли прогнозировать развитие осложнений у пациентов с пороговым значением, рассчитанным по формуле нашей модели с вероятностью осложнения итогового лечения более 17,7 % [22]. Если величина порогового значения была ниже 17,7 %, вероятность осложнений минимальна (рис. 8).

Отдельно выполнен анализ влияния факторов на развитие конкретных типов осложнений, например риск несращения, формирование остаточной деформации конечности, разрушение и миграция фиксирующих металлоконструкций, развитие инфекции об-

ласти хирургического вмешательства (ИОХВ).

В процессе исследования путем построения однофакторных моделей логистической регрессии выявлено, что наиболее значимым фактором влияния на разрушение металлоконструкций является корректность предшествующего лечения ($p = 0,001$), поскольку это связано с понижением шансов их разрушения в 0,04 [0; 0,23] раза. Логично, что некорректно установленный чрескостный элемент подвержен избыточной нагрузке, приводящей к его дебриколяжу, то есть к разрушению или значимой деформации. Не менее значимым фактором является возраст пациента, поскольку возраст менее 62 лет ($p = 0,035$) ассоциирован с повышением шансов разрушения металлоконструкций в 6,5 [1,15; 40,43] раза. По нашему мнению, данный результат объясним тем, что более молодые и активные пациенты чаще пренебрегают средствами внешней опоры в раннем послеоперационном периоде, что приводит к значительной нагрузке на чрескостные элементы, а особенно на стержни-шурупы, фиксированные к проксимальной базовой опоре; именно их дебриколяж был выявлен в большинстве случаев.

При анализе данных отмечено, что не значительное превышение массы тела, а, наоборот, вес пациентов с ИМТ менее 30,5 кг/м² ($p = 0,038$) ассоциирован с повышением шансов разрушения металлоконструкций в 10,5 [1,58; 209,74] раза. Данный параметр, по нашему мнению, объясним также тем, что пациенты с нормальным ИМТ являются более активными.

Анализ многофакторной модели логистической регрессии подтвердил, что корректность оперативного лечения (соблюдение правил проведения чрескостных элементов, использование стабильных компоновок АВФ, восстановление РЛУ конечности) является мультипликативно значимым предиктором регрессии разрушения металлоконструкций. Данный показатель связан с понижением шансов разрушения металлоконструкций в 0,04 [0; 0,23] раза при прочих равных показателях в многофакторной модели.

Определена формула автоматической многофакторной оптимальной модели прогнозирования для разрушения или деформации чрескостных элементов:

P (разрушение металлоконструкции) = $\exp(z)/(1 + \exp(z))$,

$z = 0,6931472 - 3,2958369 \times \text{предшествующее лечение правильно..1.0..операция.1..да.0..нет,}$

где P (разрушение металлоконструкции) – 1 вероятность разрушения, $\exp(z)$ – функция экспоненты в степени z .

Переменные в формуле для z принимают следующие значения: предшествующее лечение правильно 1.0. операция. 1. да. 0 нет = 1 (да/присутствует/соответствует) или 0 (нет/отсутствует/не соответствует).

С помощью ROC-анализа выполнено исследование предсказательной способности искомой оптимальной многофакторной модели, определены наилучшие показатели чувствительности (75 %) и специфичности (90 %) для порогового значения вероятности разрушения металлоконструкции 36,8 % [22]. То есть, используя полученное пороговое значение, у пациентов с рассчитанной по формуле модели вероятностью разрушения металлоконструкции > 36,8 % можно прогнозировать дебриколяж (рис. 9).

При построении однофакторных моделей логистической регрессии нами выявлено, что значимым фактором, влияющим на вероятность миграции конструкций, является корректность предшествующего лечения ($p = 0,013$), поскольку это связано с понижением вероятности миграции металлоконструкции в 0,13 [0,02; 0,61] раза. Значимым фактором также стала величина плотности костной ткани. Выявлено, что увеличение предиктора Т-критерий ($p = 0,049$), модуль на k ед. изм. связано с повышением шансов миграции конструкции в 4,05 [1,17; 21,66]^k раза.

Выведена формула прогнозирования автоматической многофакторной оптимальной модели миграции металлоконструкций и чрескостных элементов:

P (миграции конструкции) = $\exp(z)/(1 + \exp(z))$,

$z = 0,6931472 - 2,0794415 \times \text{предшествующее лечение правильно 1.0. операция.1..да.0..нет,}$

где P (миграции конструкции) – вероятность миграции конструкции, $\exp(z)$ – функция экспоненты в степени z .

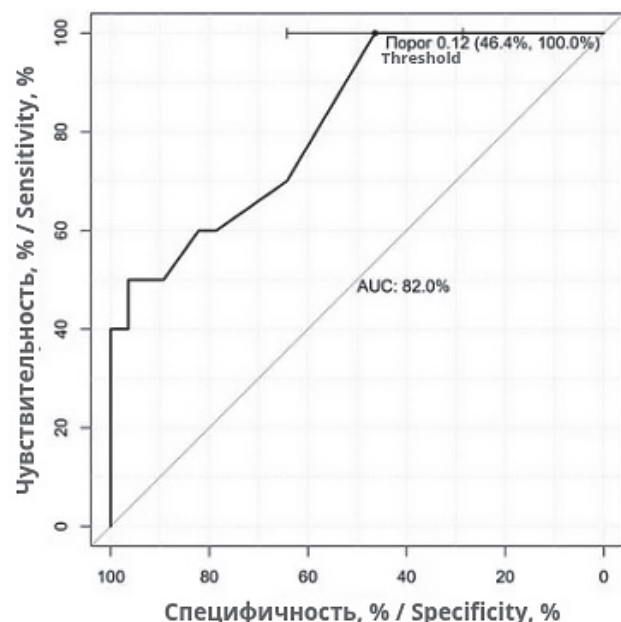
Переменные в формуле для z принимают следующие значения: если опе-

Рисунок 8

ROC-кривая (для порогового значения 17,7 %).
Многофакторная оптимальная модель развития осложнений

Figure 8

ROC curve (for a threshold value of 17.7 %).
Multivariate optimal model for the development of complications



ративное лечение проведено корректно, то присваивается значение 1, если нет — значение 0.

В автоматической оптимальной модели с помощью ROC-анализа определены показатели чувствительности (50 %) и специфичности (88,9 %) а также пороговое значения вероятности миграции конструкции: 43,3 % [22]. То есть, используя полученное пороговое значение, у пациентов с рассчитанной по формуле модели вероятностью миграции конструкции > 43,3% мы прогнозировали миграцию металлоконструкции (рис. 10).

Следующим этапом определены предикторы развития ИОХВ. Выявлены следующие значимые мультипликативные предикторы развития ИОХВ.

Ухудшение когнитивного статуса по шкале MMSE до значения менее 24,5 ($p = 0,001$) ассоциировано с повышением шансов ИОХВ в 12,67 [2,94; 71,46] раза; увеличение предиктора шкала MMSE ($p = 0,012$) на k ед. изм. связано с понижением шансов ИОХВ в 0,81 [0,67; 0,94]^k раза.

Значение показателя костной плотности HU бедра более 154,5 ($p = 0,048$) ассоциировано с повышением шансов ИОХВ в 6 [1,11; 41,11] раза. Статистической находкой явилось отсутствие яв-

ной связи развития ИОХВ у пациентов с повышенной массой тела. Так, ИМТ менее 30,5 кг/м² ($p = 0,045$) ассоциирован с повышением шансов ИОХВ в 3,91 [1,07; 16] раза; ИМТ более 30,5 кг/м² ($p = 0,045$) — с понижением шансов ИОХВ в 0,26 [0,06; 0,93] раза.

Аналогичным предыдущим этапам исследования способом выведена формула прогнозирования развития ИОХВ:

$$P(\text{ИОХВ}) = \exp(z) / (1 + \exp(z)),$$

$$z = -1,845827 + 2,538974 \times \text{шкала MMSE менее 24,5},$$

где $P(\text{ИОХВ})$ — вероятность ИОХВ, $\exp(z)$ — функция экспоненты в степени z .

Переменные для z в формуле принимают следующие значения:

шкала MMSE менее 24,5 = 1 (да/присутствует/соответствует) или 0 (нет/отсутствует/не соответствует).

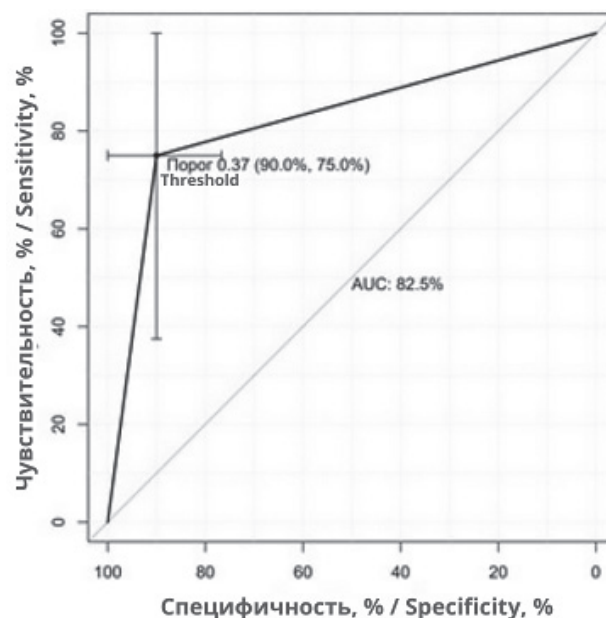
С помощью ROC-анализа определены наилучшие показатели чувствительности (80 %) и специфичности (76 %) для порогового значения вероятности ИОХВ 40,2 % [22]. То есть, используя полученное пороговое значение, у пациентов с рассчитанной по формуле модели вероятностью ИОХВ > 40,2 % мы прогнозировали развитие ИОХВ (рис. 11).

Рисунок 9

ROC-кривая (пороговое значение — 36,8 %).
Многофакторная оптимальная модель развития разрушения металлоконструкции

Figure 9

ROC curve (threshold value — 36.8 %).
Multifactorial optimal model of metal structure failure development



Далее исследованы и определены значимые мультипликативные предикторы развития несостоятельности анкилоза.

Совокупность сопутствующих заболеваний пациента при оценке ССИ более 4,5 ($p = 0,050$) повышает шансы несращения в 9 [1,41; 177,54] раз;

Рост значения когнитивных способностей по Шкале MMSE ($p = 0,004$) на k ед. изм. при прочих равных показателях в многофакторной модели понижает шансы несращения в 0,75 [0,6; 0,9]^k раза.

Выведена формула автоматической многофакторной оптимальной модели прогнозирования возможности развития несостоятельности анкилоза:

$$P(\text{несращения}) = \exp(z) / (1 + \exp(z)),$$

$$z = 5,4162319 - 0,2895411 \times \text{шкала MMSE},$$

где $P(\text{несращения})$ — вероятность несращения, $\exp(z)$ — функция экспоненты в степени z .

Переменные для z в формуле принимают следующие значения:

шкала MMSE = значение уровня когнитивного статуса в баллах.

С помощью ROC-анализа в автоматической оптимальной модели определены наилучшие показатели чувствительности (100 %) и специфично-

Рисунок 10

ROC-кривая (пороговое значение — 43,3 %).
Многофакторная оптимальная модель развития
миграции металлоконструкций

Figure 10

ROC curve (threshold value — 43.3 %).
Multifactorial optimal model for the development of
metal structure migration

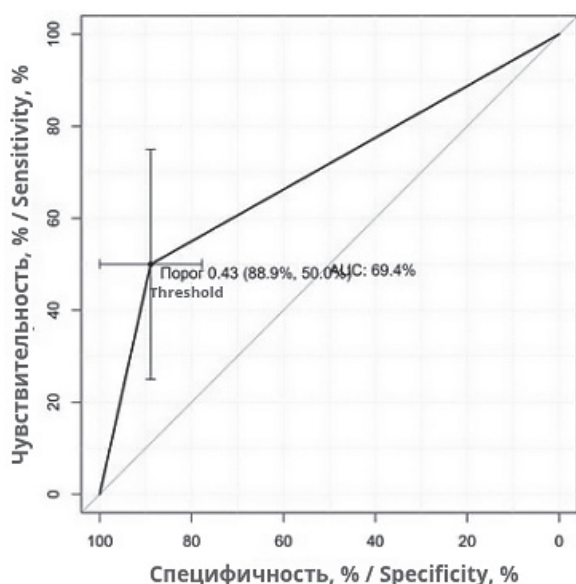
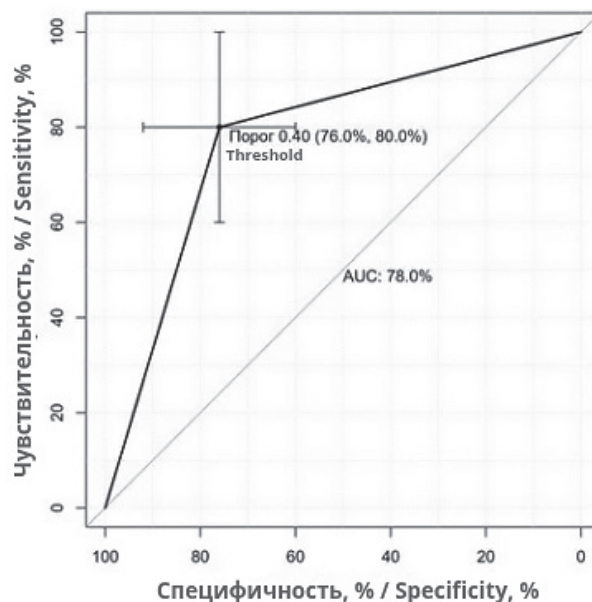


Рисунок 11

ROC-кривая (пороговое значение — 40,2 %).
Многофакторная оптимальная модель развития
ИОХВ

Figure 11

ROC curve (threshold value — 40.2 %).
Multifactorial optimal model of SSI development



сти (46,4 %) для порогового значения вероятности несращения, равной 12,4 % [22]. Используя полученное пороговое значение с рассчитанной по выведенной формуле модели вероятностью несращения > 12,4 %, мы прогнозировали у пациентов несращения, в иных случаях — нет (рис. 12).

Проанализированы также предикторы развития большой остаточной деформации. К большой деформации относили осевые деформации более 7 градусов.

В результате построения однофакторных и многофакторных моделей логистической регрессии определен следующий значимый предиктор: качество костной ткани — снижение показателя Т-критерия менее -2,45 ($p = 0,035$) — ассоциировано с повышением шансов большой остаточной деформации (более 7) в 17,5 [1,63; 471,8] раза.

Выведена формула автоматической многофакторной оптимальной модели прогнозирования большой остаточной деформации:

$P(\text{большой остаточной деформации (более } 7^\circ)) = \exp(z) / (1 + \exp(z))$,

$z = -1,386294 + 1,586965 \times \text{количество предшествующих операций}$ менее 3,5,

где $P(\text{большой остаточной деформации (более } 7^\circ))$ — вероятность большой остаточной деформации (более

7°), $\exp(z)$ — функция экспоненты в степени z .

Переменные для z в формуле принимают следующие значения: если у пациента в анамнезе в области коленного сустава было более 3 оперативных вмешательств, то присваивается значение 1, если менее — значение 0.

Используя полученное пороговое значение с рассчитанной по формуле модели вероятностью большой остаточной деформации (более 7 градусов) > 37,5 %, у пациентов прогнозировали развитие большой остаточной деформации (рис. 13).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного статистического анализа показали, что наиболее значимыми предикторами развития осложнений после проведения артродезирования коленного сустава являются факторы, связанные с соматическим состоянием пациента, однако немаловажными являются и причины, обусловленные техникой хирургического лечения.

До проведения хирургического лечения можно предположить вероятность последующих осложнений, проведя тщательный сбор анамнеза, обследование пациента, и оценить возможность развития неблагоприятных исходов.

Значительное влияние на риск дебриколяжа оказывает несоблюдение техники хирургического вмешательства и методики остеосинтеза, а именно: отсутствие восстановления РЛУ в функционально выгодном положении, использование позиций запрета для проведения чрескостных элементов и неверных компоновок АВФ. Недостаточное количество чрескостных элементов приводит к нестабильности фиксации и увеличивает вероятность дебриколяжа на 36,8 %, а миграции металлоконструкции — на 43,3 %.

Плотность костной ткани также является фактором, оказывающим значительное влияние на миграцию металлоконструкций. Чем более выражено снижение костной массы и нарушение микроархитектоники костной ткани на фоне возрастных и системных изменений, тем больше рисков развития данного осложнения существует. Достоверно выявлено, что снижение Т-критерия ассоциировано с повышением шансов миграции конструкции в 4,05 раза.

Качественные характеристики костной ткани оказывают значимое влияние и на развитие такого осложнения, как остаточная деформация конечности. Так, наличие резко выраженной остеопении и остеопороза по данным

Рисунок 12

ROC-кривая (пороговое значение — 12,4 %).
Многофакторная оптимальная модель развития
несостоятельности анкилоза

Figure 12

ROC curve (threshold value — 12.4 %). Multivariate
optimal model of ankylosis failure development

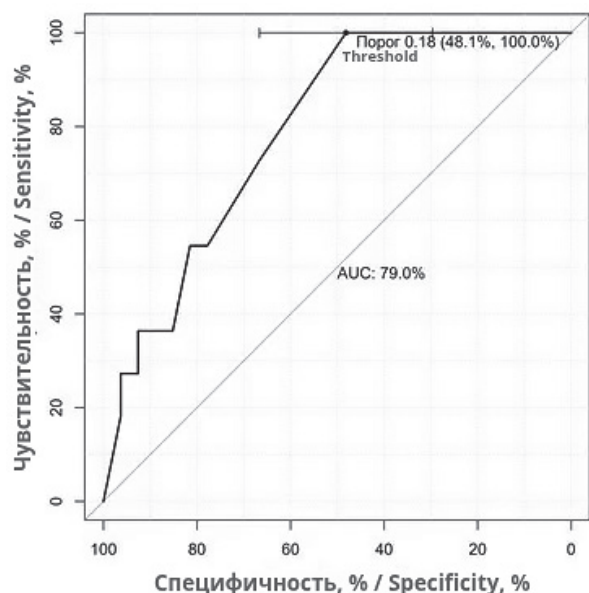
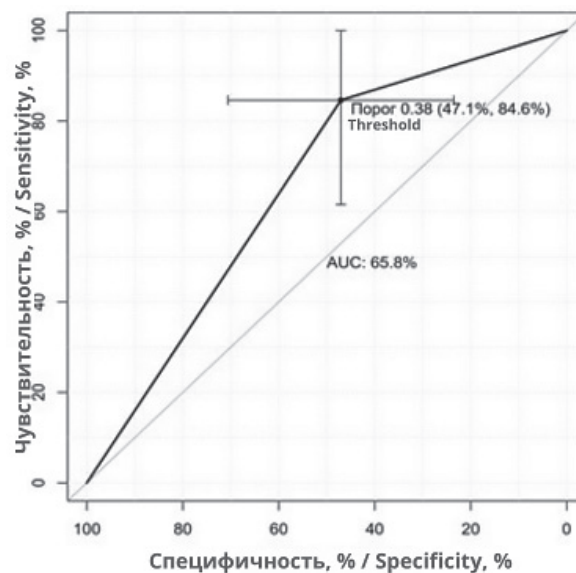


Рисунок 13

ROC-кривая (пороговое значение — 37,5 %).
Многофакторная оптимальная модель развития
остаточной деформации

Figure 13

ROC curve (threshold value — 37.5 %).
Multivariate optimal model of residual deformation
development



рентгеновской денситометрии (значение Т-критерия менее чем -2,45) ассоциировано с увеличением шансов большой остаточной деформации (более 7 градусов) в 17,5 раза. Данные результаты обусловлены остеопоротическими изменениями механических свойств костной ткани, что даже при достижении костного анкилоза приводит к вторичным деформациям конечности.

По результатам проведенного анализа выявлено, что наиболее значимыми для прогнозирования неблагоприятных исходов лечения и развития осложнений являются такие типы дефектов, как C2 по классификации ULBDC и F3T3 по классификации AORI. Полученные нами данные соответствуют показателям, полученным и другими авторами. Так, Н.М. Ключин и соавт. указывают, что артродезирование коленного сустава у пациентов с дефектами 3 типа по AORI в 29,5 % случаев приводит к формированию ложного сустава с остаточным укорочением [11].

Достоверно предполагать развитие осложнений можно, проанализировав соматический и когнитивный статус пациента, толерантность к уходу за АВФ и общий комплаенс к лечению. Выявлено, что значение показателя

шкалы MMSE менее 24,5, то есть наличие преддементных изменений и деменции любой степени выраженности, когда пациенты не могут полноценно соблюдать рекомендации и ухаживать за АВФ, посещать своевременно перевязки и контрольные осмотры, ассоциировано с повышением шансов инфекционных осложнений, особенно локального воспаления в местах стояния чрескостных элементов, в 12,67 раза.

Анализ гендерной принадлежности пациентов не показал значительного влияния на развитие осложнений. Однако полученные данные о том, что молодой возраст (менее 62 лет) и отсутствие избыточной массы тела (ИМТ менее 30) ассоциированы с повышением шансов дебриколяжа металлоконструкций в 6,5 раза, что, вероятно, обусловлено высокой активностью пациентов в послеоперационном периоде и интенсивной осевой нагрузкой на оперированную конечность. В сочетании с некорректной компоновкой АВФ совокупность данных факторов приводит к повышенной нагрузке на чрескостные элементы, развитию их деформации или миграции.

Целью артродезирования коленного сустава является создание опороспособной нижней конечности, поэтому осложнение в виде несостоятельности

анкилоза имеет большое значение в жизни пациента. Выявлено, что соматическое состояние пациента — это комплексный фактор, который говорит нам о том, что чем больший когнитивный дефицит, оцениваемый по шкалы MMSE, имеет пациент, тем больше у него хронических патологий, оцениваемых с помощью CCI, тем большую вероятность несостоятельности анкилоза мы можем ожидать. Так, значение шкалы MMSE менее 17,5 (деменция умеренной и тяжелой степени выраженности) связано с увеличением рисков несращения в 27 раз. Значение CCI более 4,5, характеризующее наличие у пациента множественной сопутствующей патологии и ее тяжесть, связано с увеличением шансов несращения в 9 раз и в целом является неблагоприятным прогностическим фактором для результата всего лечения, что коррелирует с данными других исследователей [13, 23].

КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Пациентка К., 72 лет, поступила в 2019 г. в ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России с жалобами на боли, нестабильность левого коленного сустава, неопорность левой нижней конечности. По данным анамнеза: в 2008 г. пациентке выполнено

тотальное эндопротезирование левого коленного сустава; ранний послеоперационный период гладкий, заживление первичное. В 2012 г. пациента была повторно госпитализирована в связи с развитием поздней глубокой перипротезной инфекции, выполнен первый этап двухэтапного ревизионного эндопротезирования — удаление эндопротеза, санация, дебридмент области хирургического вмешательства, имплантация неартикулирующего цементного спейсера с импрегнацией антибиотиками.

Послеоперационный период гладкий, заживление первичное, пациентка получала антибиотикотерапию на амбулаторном этапе, соответствующую данным бактериологического исследования биоптатов.

Через 9 месяцев, в 2013 г., пациента повторно госпитализирована в связи с рецидивом глубокой перипротезной инфекции. Выполнено оперативное вмешательство в объеме санации, дебридмента, удаления спейсера и повторной имплантации цементного неартикулирующего спейсера с импрегнацией антибиотиками. Однако в раннем послеоперационном периоде выявлено наличие перелома, миграции спейсера, женщина была повторно госпитализирована в 2014 г. (рис. 14).

На момент поступления пациентка предъявляла жалобы на выраженные боли, наличие свища в области послеоперационного рубца со скудным серозным отделяемым, неопороспособность левой нижней конечности, отсутствие активных движений в левом коленном суставе. По данным лабораторной диагностики выявлено наличие полирезистентной микрофлоры, так называемой трудноизлечимой перипротезной инфекции.

CCI составлял 5 баллов, показатель когнитивного статуса по шкале MMSE — 21 балл, по данным денситометрии определено наличие остеопоротических изменений, T-критерий составил -2,5. Ввиду наличия дефекта F3T3 по классификации AORI или 33 C1.3 41 C3.2 по классификации ULBDC, наличия трудного для эрадикации возбудителя принято решение о проведении артродезирования левого коленного сустава с внеочаговым чрескостным компрессионным остеосинтезом в спице-стержневом АВФ. (рис. 15)

Рисунок 14

Рентгенограммы левого коленного сустава пациентки К. в прямой и боковой проекциях на момент поступления перед проведением артродезирования коленного сустава

Figure 14

X-rays of the left knee joint of patient K. in the frontal and lateral projections at the time of admission before arthrodesis of the knee joint

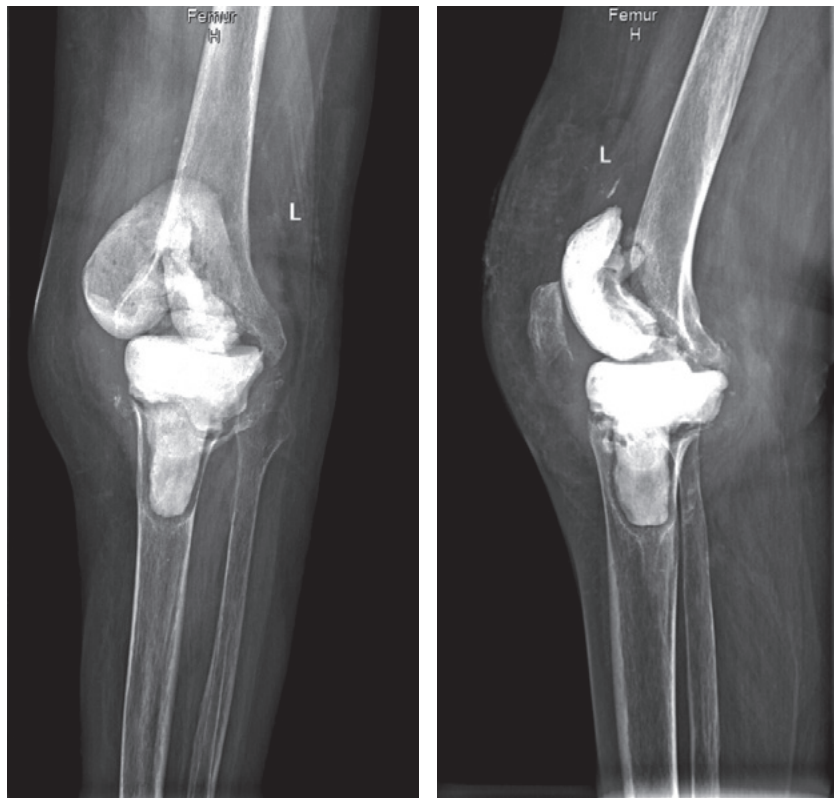
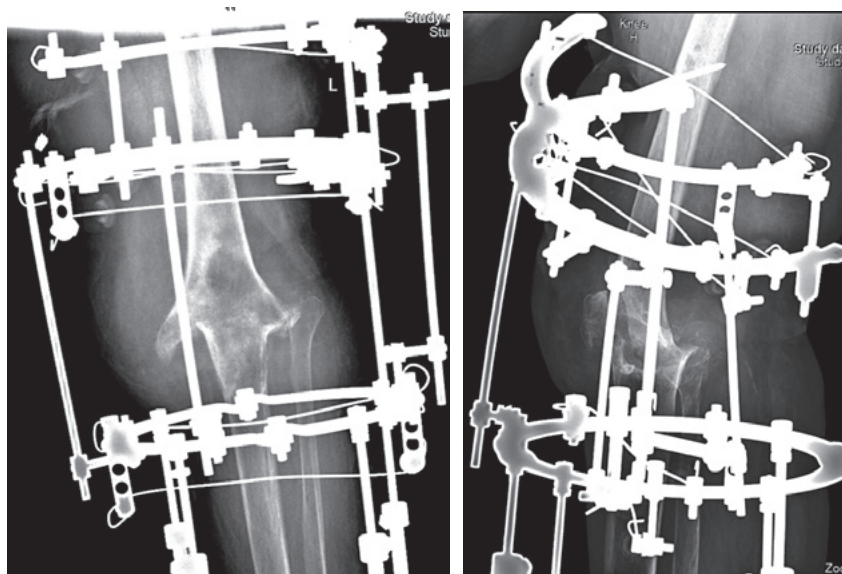


Рисунок 15

Рентгенограммы левого коленного сустава пациентки К. в прямой и боковой проекциях после операции артродезирования коленного сустава в спице-стержневом аппарате внешней фиксации

Figure 15

X-rays of the left knee joint of patient K. in the frontal and lateral projections after arthrodesis of the knee joint using a wire-rod external fixation device



Ретроспективно обращает на себя внимание компоновка АВФ, проведение спиц в позициях запрета, что привело к развитию ранних осложнений, таких как разрушение и миграция чрескостных элементов и потеря стабильности фиксации. Наблюдалось также локальное воспаление в местах выхода спиц. Данное осложнение потребовало повторной госпитализации и перемонтажа АВФ. Срок аппаратной фиксации составил 273 дня, на всем его протяжении проводилась поддерживающая компрессия. После проведения стресс-пробы аппарат был демонтирован (рис. 16).

На последующих осмотрах на контрольных рентгенограммах отмечалась потеря коррекции, отсутствие костного анкилоза в области оперативного вме-

шательства, а также абсолютное укорочение левой нижней конечности 4 см, которое пациентка компенсировала ортопедической обувью.

Через 3 года, в 2019 г., пациентка повторно обратилась в клинику с вышеуказанными жалобами. На момент осмотра отмечалось наличие нестабильности, отсутствие костного анкилоза, невозможность ходьбы без средств внешней опоры.

Болевой синдром по ВАШ составил 7 баллов, ССИ — 7 баллов, показатель когнитивного статуса по шкале MMSE — 21 баллов. По данным денситометрии выявлено усиление остеопоротических изменений, Т-критерий — 3,5 балла. По классификации AORI дефект определен как F3T3, по классификации ULBDC — 33 C2.2 41 C3.3.

С учетом наличия таких факторов, как низкий уровень когнитивного статуса, высокий уровень коморбидности, обширный дефект костной ткани, выраженный остеопороз, наличие в анамнезе более 3 оперативных вмешательств на коленном суставе выявлены значимые предикторы развития осложнений и высокая вероятность неудовлетворительного результата лечения при повторном использовании метода внеочагового чрескостного остеосинтеза. Принято решение о проведении повторного артродезирования коленного сустава с фиксацией индивидуальным блокируемым штифтом с восстановлением РЛУ в объеме: mLDFA — 88°, mPDFA — 81°, MPTA — 88°, mPPTA — 81° (рис. 17).

Рисунок 16

Рентгенограммы пациентки К. в прямой и боковой проекции после демонтажа аппарата внешней фиксации

Figure 16

X-rays of patient K. in frontal and lateral projections after removal of the external fixation apparatus

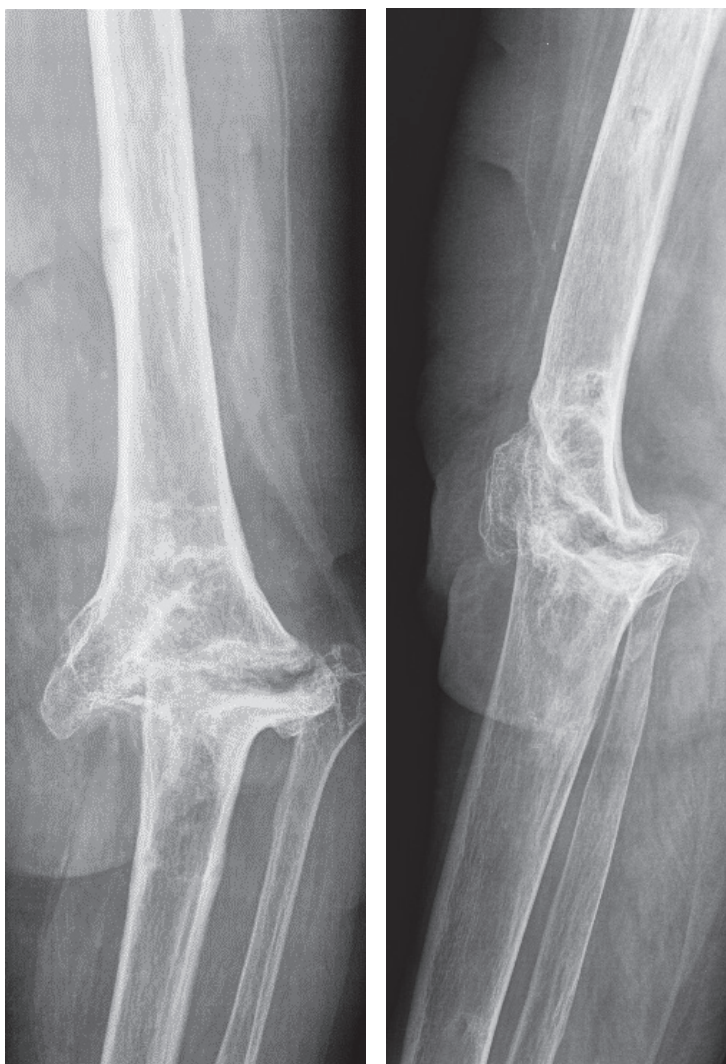
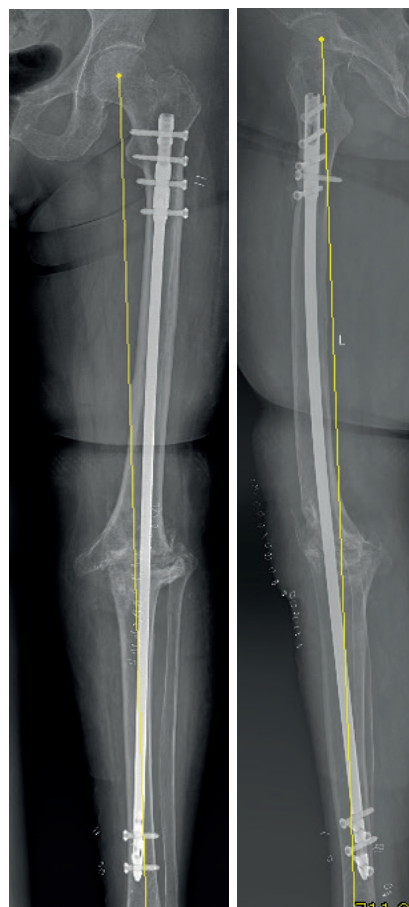


Рисунок 17

Рентгенограммы пациентки К. в прямой и боковой проекции после артродезирования с фиксацией индивидуальным блокируемым интрамедуллярным штифтом

Figure 17

X-rays of patient K. in the frontal and lateral projections after arthrodesis with fixation using a custom-made locking intramedullary pin



Послеоперационный период без особенностей, заживление первичное, инфекционных осложнений выявлено не было. В периоде наблюдения, через 36 месяцев, отмечено стойкое снижение болевого синдрома до 1 балла по ВАШ с оценкой функциональных результатов по шкале WOMAC суммарно в 26 баллов (при показателе 52 в дооперационном периоде), что расценивается как хороший результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все предикторы развития осложнений и неблагоприятных результатов лечения могут быть разделены на два типа. К первому типу отнесены факторы, позволяющие спрогнозировать

риск развития осложнений на этапе предоперационной подготовки и в ходе проведения хирургического лечения. Это параметры связаны с соматическим и когнитивным статусом пациента, качеством костной ткани, анамнестическими данными. К факторам, которые связаны непосредственно с хирургическим лечением, относится корректное планирование компоновки АВФ или выбор типоразмера погружного имплантата в каждом наблюдении. В случаях, когда не были восстановлены референтные углы и линии конечности в функциональном положении с достижением стабильной фиксации любым из выбранных методов, достоверно можно прогнози-

ровать увеличение риска развития осложнений механического характера, а также повышение риска несостоятельности анкилоза. Тщательное предоперационное планирование и анализ индивидуальных особенностей пациента позволяют проводить профилактику неблагоприятных исходов и осложнений артродезирования коленного сустава на всех этапах лечения.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Kornilov NN, Kulyaba TA, Fil AS, Muravyeva YuV. Data of knee arthroplasty register of Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics for period 2011–2013. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2015; (1):136–151. DOI: 10.21823/2311-2905-2015-0-1-136-151. Russian (Корнилов Н. Н., Куляба Т. А., Филь А. С., Муравьева Ю. В. Данные регистра эндопротезирования коленного сустава РНИИТО им. Р.Р. Вредена за 2011–2013 годы // Травматология и ортопедия России. 2015. № 1. С. 136–151. DOI: 10.21823/2311-2905-2015-0-1-136-151.)
2. Preobrazhensky PM, Bozhkova SA, Kazemirsky AV, Goncharov MYu. Results of two-stage reimplantation in patients with periprosthetic joint infection after total knee arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2017;23(1):98–107. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-98-107. Russian (Преображенский П. М., Божкова С. А., Каземирский А. В., Гончаров М. Ю. Результаты этапного лечения пациентов с перипротезной инфекцией после эндопротезирования коленного сустава // Травматология и ортопедия России. 2017. № 23(1):98–107. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-98-107.)
3. Conway JD, Mont MA, Bezwada HP. Arthrodesis of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(4):835–848. DOI: 10.2106/00004623-20040400-00027.
4. Kuchinad R, Fourman MS, Fragomen AT, Rozbruch RS. Knee arthrodesis as limb salvage for complex failures of total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2014;29(11): 2150–2155. DOI: 10.1016/j.arth.2014.06.021.
5. Baitov VS, Ganchukov EB. Infectious complications in total knee replacement. *Modern Problems of Science and Education*. 2017; (5):209. Russian (Байтов В. С., Ганчуков Е. Б. Инфекционные осложнения при тотальном эндопротезировании коленного сустава // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 5. С.209. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27110> (дата обращения: 22.07.2025.)
6. Gottfriedsen TB, Schröder HM, Odgaard A. Knee arthrodesis after failure of knee arthroplasty: a nationwide register-based study. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(16):1370–1377. DOI: 10.2106/JBJS.15.01363.
7. Balato G, Rizzo M, Ascione T, Smeraglia F, Mariconda M. Re-infection rates and clinical outcomes following arthrodesis with intramedullary nail and external fixator for infected knee prosthesis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):361. DOI: 10.1186/s12891-018-2283-4.
8. Lee S, Jang J, Seong SC, Lee MC. Distraction arthrodesis with intramedullary nail and mixed bone grafting after failed infected total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(2):346–355. DOI: 10.1007/s00167-011-1724-5.
9. Solomin LN, Shchepkina EA, Korchagin KL, Sabirov FK. Comparative analysis of knee joint fusion with long locking nail and Ilizarov apparatus in patients with deep infection after arthroplasty. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(3):109–118. DOI: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-109-118. Russian (Соломин Л. Н., Щепкина Е. А., Корчагин К. Л., Сабиров Ф. К. Сравнительный анализ артродезирования коленного сустава длинными блокируемыми стержнями и аппаратом Илизарова при последствиях глубокой инфекции после эндопротезирования // Травматология и ортопедия России. 2020. № 26(3). С.109–118. DOI: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-109-118.)
10. Shavyrin DA, Oshkukov SA, Shevyrev KV, Sharkov KA, Voloshin VP, Eremin AV. Knee arthrodesis experience in patients with periprosthetic infection. *Bulletin of the Ivanovo Medical Academy*. 2023; 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-artrodezirovaniya-kolennogo-sustava-u-patsientov-s-periproteznoy-infektsiei> (date of appeal: 22.07.2025). Russian (Шавырин Д. А., Ошкуков С. А., Шевырев К. В., Шарков К. А., Волошин В. П., Еремин А. В. Опыт артродезирования коленного сустава у пациентов с перипротезной инфекцией // Вестник ИвГМА. 2023. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-artrodezirovaniya-kolennogo-sustava-u-patsientov-s-periproteznoy-infektsiei> (дата обращения: 22.07.2025.)
11. Kliushin N, Ermakov A, Ababkov I, Koiushkov A. True efficiency of arthrodesis in the treatment of periprosthetic knee infection. *Genius of Orthopedics*. 2019;25(2):156–161. DOI: 10.18019/1028-4427-2019-25-2-156-161. Russian (Клюшин Н., Ермаков А., Абабков Ю., Коюшков А. Истинная эффективность методики артродезирования при лечении перипротезной инфекции коленного сустава // Гений ортопедии. 2019;25(2):156–161. DOI:10.18019/1028-4427-2019-25-2-156-161.)
12. Sorrel Langley-Hobbs MA, editor. Arthrodesis principles. 3 rd World Veterinary Orthopaedic Congress, ESVOT-VOS 15th ESVOT Congress. Bologna (Italy); 2010.

13. Wood JH, Conway JD. Advanced concepts in knee arthrodesis. *World J Orthop.* 2015;6(2):202-10. DOI: 10.5312/wjo.v6.i2.202.
14. Röhner E, Windisch C, Nuetzmann K, Rau M, Arnhold M, Matziolis G. Unsatisfactory outcome of arthrodesis performed after septic failure of revision total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(4):298-301. DOI: 10.2106/JBJS.N.00834.
15. Van Renssch PJ, Van de Pol GJ, Goosen JH, Wymenga AB, De Man FH. Arthrodesis of the knee following failed arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(8):1940-8. DOI: 10.1007/s00167-013-2539-3.
16. Denyer S, Hoyt AK, Schneider AM, Brown NM. Knee arthrodesis: an analysis of surgical risk factors and complications using a National Database. *Arthroplast Today.* 2023;20:101098. DOI: 10.1016/j.artd.2023.101098.
17. Engh GA, Ammeen DJ. Classification and preoperative radiographic evaluation: knee. *Orthopedic Clinics of North America.* 1998; 29(2): 205-217. DOI: 10.1016/S0030-5898(05)70319-9.
18. Solomin L, Komarov A, Semenistyy A, Sheridan GA, Rozbruch SR. Universal long bone defect classification. *Journal of Limb Lengthening & Reconstruction.* 2022; 8(1): 54-62. DOI: 10.4103/jllr.jllr_3_22.
19. Andrianov MV, Aranovich AM, Artemyev AA, Begoun PI, Bilen TF, Borzunov DYU, et al. Fundamentals of transosseous osteosynthesis: in 3 volumes/edited by L. N. Solomin. 2nd ed., revised and supplemented. Moscow: Binom, 2015. Vol. 3, 560 p. Russian (Андрьянов М. В., Аранович А. М., Артемьев А. А., Бегун П. И., Биле Т. Ф., Борзунов Д. Ю. и др. Основы чрескостного остеосинтеза : в 3 т. / под ред. Л. Н. Соломина. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Бином, 2015. Т. 3. 560 с.)
20. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis.* 1987;40(5):373-83. DOI: 10.1016/0021-9681(87)90171-8.
21. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res.* 1975;12(3):189-98. DOI: 10.1016/0022-3956(75)90026-6.
22. Swets JA. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science.* 1988;240(4857):1285-1293. DOI: 10.1126/science.3287615.
23. Efremov IM, Midlenko VI. Compression arthrodesis of the knee joint as a way to stop chronic deep periprosthetic infection. *Modern Problems of Science and Education.* 2022; 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31663> (дата обращения: 03.08.2025). DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.31663>. Russian (Ефремов И. М., Мидленко В. И. Компрессионный артродез коленного сустава как способ купирования хронической глубокой перипротезной инфекции // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31663> (дата обращения: 03.08.2025). DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.31663>.)

Сведения об авторах:

Клименкова В.С., младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела травмы и ее последствий, врач травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения № 1 ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия. <https://orcid.org/0009-0001-9464-6210>

Гуражев М.Б., к.м.н., научный сотрудник научно-исследовательского отдела травмы и ее последствий, заведующий травматолого-ортопедическим отделением № 1 ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-6398-9413>

Корошкин С.Б., к.м.н., научный сотрудник научно-исследовательского отдела травмы и её последствий, врач травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения №1 ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-0291-5162>

Лукинов В.Л., к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела организации научных исследований ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России; ведущий научный сотрудник лаборатории численного анализа стохастических дифференциальных уравнений ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

Романова С.В., к.м.н., научный сотрудник научно-исследовательского отдела организации научных исследований ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-7014-2763X>

Пронских А.А., д.м.н., начальник научно-исследовательского отдела травмы и ее последствий ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-1197-556X>

Information about authors:

Klimenkova V.S., junior researcher, research department of injury and its consequences, traumatologist-orthopedist, traumatology and orthopedics department No. 1, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia. <https://orcid.org/0009-0001-9464-6210>

Gurazhev M.B., researcher, research department of injury and its consequences, head of traumatology and orthopedics department No. 1, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-6398-9413>

Korochkin S.B., candidate of medical sciences, researcher of research department of injury and its consequences, traumatologist-orthopedist, traumatology and orthopedics department No. 1, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-0291-5162>

Lukinov V.L., PhD in Physics and Mathematics, leading researcher of research department of organization of scientific research, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan; leading researcher of laboratory of numerical analysis of stochastic differential equations, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

Romanova S.V., candidate of medical sciences, researcher of research department of organization of scientific research, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-7014-2763X>

Pronskikh A.A., MD, PhD, chief of research department of organization of scientific research, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-1197-556X>

Адрес для переписки:

Клименкова Виктория Сергеевна, ул. Фрунзе, 17, г. Новосибирск,
Россия, 630091

Тел: +7 (383) 373-32-01 (доб. *1248)

E-mail: vikimaslovska@gmail.com

Статья поступила в редакцию 24.09.2025

Рецензирование пройдено 12.01.2026

Подписано в печать 30.01.2026

Address for correspondence:

Klimenkova Victoriya Sergeevna, Frunze St., 17, Novosibirsk, Russia,
630091

Tel: +7 (383) 373-32-01 (add. *1248)

E-mail: vikimaslovska@gmail.com

Received 24.09.2025

Review completed 12.01.2026

Passed for printing 30.01.2026

