

Обзорная статья

УДК 616.728.3-009.12-089.84

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1-185-197>

Использование метода чрескостного остеосинтеза при лечении контрактур коленного сустава у взрослых пациентов: обзор литературы

С.А. Рохоев¹, Л.Н. Соломин^{1,2,3}¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия³ ООО «Орто-СУВ», Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Контрактуры коленного сустава существенно влияют на качество жизни и являются частой причиной утраты трудоспособности. Определенное место при лечении данной патологии занимает использование аппаратов внешней фиксации (АВФ). **Цель** — основываясь на данных мировой литературы, определить значимость, нерешенные вопросы и перспективы использования чрескостного остеосинтеза при лечении сгибательных и разгибательных контрактур коленного сустава у взрослых пациентов. **Материал.** Для поиска литературных данных использовались электронные ресурсы: Embase, MEDLINE, Google Scholar, PubMed, eLIBRARY, КиберЛенинка. Анализу были подвергнуты работы, посвященные лечению контрактур коленного сустава с использованием метода чрескостного остеосинтеза у пациентов старше 18 лет независимо от пола. При анализе публикаций особое внимание было уделено возможности АВФ обеспечить движения в коленном суставе в соответствии с его кинематикой (биомеханикой), стабильную фиксацию бедренной и большеберцовой костей, а также возможность использования для введения чрескостных элементов Рекомендуемых позиций. **Результаты.** При анализе работ, посвященных использованию метода чрескостного остеосинтеза при лечении контрактур коленного сустава, отмечено, что в 64,4% АВФ использовались в качестве дополнения к мягкотканному релизу. В АВФ, используемых при лечении контрактур коленного сустава, было использовано 4 типа соединения проксимального и дистального модулей: бесшарнирный, одноосевой, воспроизводящий и виртуальный. Из них только ортопедические гексаподы, работающие на основе виртуального шарнира, технически способны обеспечить движения в соответствии с кинематикой коленного сустава. **Заключение.** Метод чрескостного остеосинтеза используется при невозможности одномоментного восстановления необходимой амплитуды движений при помощи мягкотканых операций (релизов) и как альтернатива укорачивающим остеотомиям. Из четырех типов аппаратов, применяемых для лечения контрактур коленного сустава, только ортопедические гексаподы соответствуют всем вышеперечисленным критериям, что определяет перспективность их дальнейшего использования. Однако технология использования металлоконструкции и компьютерной программы ортопедического гексапода для лечения контрактур коленного сустава нуждается в дальнейшем совершенствовании.

Ключевые слова: биомеханика движений в коленном суставе, чрескостный остеосинтез, аппараты внешней фиксации, метод Илизарова, контрактуры коленного сустава, мягкотканый релиз, шарнирные аппараты внешней фиксации, ортопедические гексаподы.

Финансирование: работа выполнена без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: Соломин Л.Н. — директор ООО «Орто-СУВ».

Рохоев С.А., Соломин Л.Н. Использование метода чрескостного остеосинтеза при лечении контрактур коленного сустава у взрослых пациентов: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(1):185-197. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1-185-197>.

Cite as: Rokhoyev S.A., Solomin L.N. [Usage of External Fixation in the Treatment of Adult Patients with Knee Joint Stiffness: Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(1):185-197. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1-185-197>.

✉ Рохоев Сайгидула Абдурахманович / Saigidula A. Rokhoyev; e-mail: 09saga@mail.ru

Рукопись поступила/Received: 20.08.2020. Принята в печать/Accepted for publication: 03.03.2021.

© Рохоев С.А., Соломин Л.Н., 2021



Usage of External Fixation in the Treatment of Adult Patients with Knee Joint Stiffness: Review

Saigidula A. Rokhovev¹, Leonid N. Solomin^{1,2,3}

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ LLC "Ortho-SUV", St. Petersburg, Russia

Abstract

Relevance. Knee contractures have an impact on quality of life and are also a common cause of disability. The use of external fixation devices has a certain place in the treatment of this pathology. **Purpose.** Using the world literature, to identify the modern position, problems, and perspectives of external fixation in the treatment of knee flexion and extension contractures in adult patients. **Methods.** EMBASE, Medline, Google Scholar, PubMed, e-LIBRARY, and Cyber resources were used. The analysis included publications relative treatment of knee joint stiffness using external fixation in patients over 18 years old, regardless of gender. At analysis several criterial were used: frame ability to provide movements in the knee joint according with its natural kinematics (biomechanics), stable fixation of the femur and tibia, and possibility inserting wires and half-pins in projection of Reference Positions (RP). **Results.** The devices used in the treatment of knee joint contractures in adult patients were conditionally divided, depending on the type of hinge, into 4 groups: non-hinged, uniaxial, reproducing, and virtual. It has been established that only orthopedic hexapods, based on virtual hinge, can meet all of the criteria mentioned above. However the technology of any orthopedic hexapod hardware and software usage for the treatment of contractures of the knee joint, was not developed till now. **Conclusion.** The necessity of developing hex-based technology for treatment patients with knee joint contractures was justified by world literature review. Hexapod hardware must provide possibilities of any inclination angle of any ring, and struts fixation not only to base and mobile rings, but to stabilizing as well. Software should be equipped with multi-total residual option. Ortho-SUV Frame (OSF) meets these requirements.

Keywords: knee joint biomechanics, external fixation, Ilizarov's technique, knee contracture, knee stiffness, soft tissue release, external fixation apparatus, orthopedic hexapods.

Funding: no funding or sponsorship was received for this study.

Competing interests: Leonid N. Solomin — director of LLC "Ortho-SUV".

Введение

Известно, что движения в коленном суставе, с точки зрения биомеханики, являются сложными и многокомпонентными. Одной из главных особенностей коленного сустава является отсутствие фиксированного центра вращения. В 1911–2000 гг. была распространена концепция кинематики сустава на основе «переменного центра вращения» [1, 2, 3, 4]. Соединение точек перемещающихся мгновенных центров при чистом скольжении мыщелков бедренной кости относительно большеберцовой представляет собой геометрическую кривую — «эволюту» (рис. 1).

С появлением методов трехмерной визуализации, таких как МРТ, КТ, 3D-моделирование, было

доказано, что в медиальном отделе сустава происходит скольжение суставных поверхностей, и он остается относительно неподвижным [5, 6, 7]. В латеральном отделе, помимо скольжения, происходит «перекачивание» и по мере увеличения сгибания до 120°. Перекат сопровождается внутренней ротацией большеберцовой кости до 30° [7]. Задние отделы бедренных мыщелков стали моделироваться как окружности с их сгибательными и разгибательными контактными поверхностями, а центры этих окружностей являются конечными точками выполняемых движений [8]. Таким образом, современная концепция кинематики коленного сустава представлена в виде пространственной системы с контактными поверхностями (рис. 2) [6, 8].

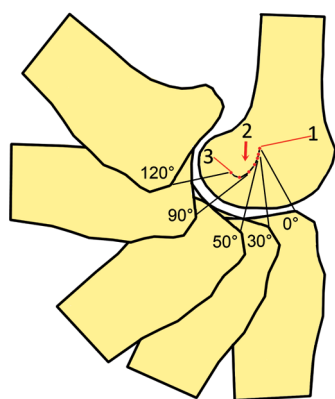


Рис. 1. Перемещение центра вращения коленного сустава:
 1 — расположение центра вращения при нейтральном положении коленного сустава;
 2 — траектория перемещения центра вращения («эволюта»);
 3 — расположение центра вращения при угле сгибания в 120°

Figure 1. Moving the knee joint center of rotation:
 1 — location of the center of rotation with the neutral position of the knee joint;
 2 — trajectory of the center of rotation movement (“evolute”);
 3 — the location of the center of rotation at a flexion of 120°

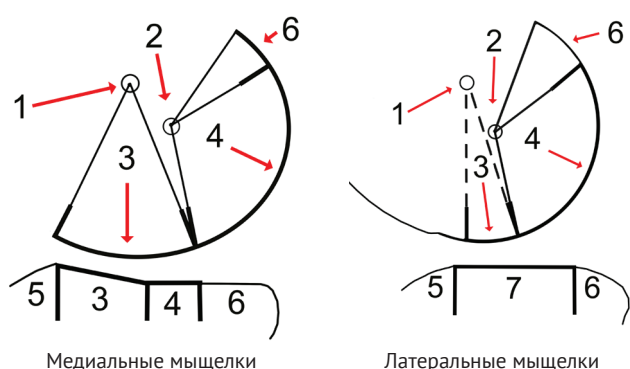


Рис. 2. Схема сагиттальных срезов бедренно-большеберцового сустава:
 1 — центр окружности разгибательной поверхности коленного сустава;
 2 — центр окружности сгибательной поверхности коленного сустава;
 3 — разгибательная поверхность мыщелков;
 4 — сгибательная поверхность мыщелков;
 5 — поверхность переднего рога мениска;
 6 — поверхность заднего рога мениска;
 7 — латеральная суставная поверхность большеберцовой кости (аналогично Н. Iwaki с соавт. 2000)

Figure 2. Sagittal sections scheme of the tibio-femoral joint:
 1 — center of the circumference of the extension facet of the knee joint;
 2 — center of the circumference of the flexion facet of the knee joint;
 3 — extension facet of condyles;
 4 — flexion facet of condyles;
 5 — anterior horn facet;
 6 — posterior horn facet;
 7 — lateral tibial articular facet (similarly H. Iwaki et al.; 2000)

Сложная кинематика также обусловлена высокими функциональными запросами, предъявляемыми к коленному суставу. Восстановление утраченной функции при контрактуре коленного сустава является непростой задачей [9, 10, 11]. При амплитуде сгибания в коленном суставе менее

45° нарушается естественная походка, что создает препятствия при выполнении повседневной деятельности [12, 13]. Ограничение сгибания менее 90° сопряжено со значительными трудностями при попытке сесть на стул или подняться по лестнице, что в конечном итоге заметно ухудшает качество жизни пациентов [14, 15, 16].

По данным мировой литературы, частота формирования разгибательных контрактур после переломов бедренной кости варьирует в пределах 20,6–38,4% [17, 18, 19]. Образование сгибательных контрактур при последствиях детского церебрального паралича встречается в 47–53% случаев, а как осложнение черепно-мозговой травмы — в 13–20% случаев [20, 21, 22, 23].

Обширные мягкотканые вмешательства (релизы, удлинение и пересадка сгибателей голени) при стойких разгибательных контрактурах являются достаточно травматичными. Их выполнение сопряжено с риском возникновения осложнений со стороны мягких тканей: некроза кожи, снижения силы и тракционного повреждения четырехглавой мышцы [24, 25]. В случае длительно существующих сгибательных контрактур, когда имеется хроническое сокращение и частичное рубцовое перерождение мышц, сосудов и нервов [26, 27], приходится прибегать к укорачивающим остеотомиям [28, 29]. Альтернативой укорачиванию кости и, отчасти, мягкотканым релизам, является использование метода чрескостного остеосинтеза [30, 31, 32]. Аппараты внешней фиксации (АВФ) для лечения контрактур коленного сустава используются более 60 лет [33]. Тем не менее работ, связанных с обобщением мирового опыта использования метода чрескостного остеосинтеза при лечении пациентов с контрактурами коленного сустава, нами найдено не было.

Цель — основываясь на данных мировой литературы, определить значимость, нерешенные вопросы и перспективы чрескостного остеосинтеза при лечении сгибательных и разгибательных контрактур коленного сустава у взрослых пациентов.

Материал и методы

Анализу были подвергнуты данные мировой литературы за последние 60 лет, опубликованные на русском и английском языке. Также в обзор было включено несколько более ранних фундаментальных работ, имеющих важное значение для рассматриваемой темы. Критериями включения являлись:

- 1) все уровни доказательств;
- 2) пациенты мужского и женского пола старше 18 лет, у которых при лечении сгибательных и разгибательных контрактур коленного сустава использовался метод чрескостного остеосинтеза;
- 3) отчеты о лечении контрактур коленного сустава чрескостным остеосинтезом в дополнение к другим методам. При анализе опубликованного материала особое внимание было уделено возможности АВФ обеспечить движения в коленном суставе в соответствии с его кинематикой (биомеханикой). В дополнение к этому аппарат должен обеспечивать возможность стабильной фиксации бедренной и большеберцовой костей, а также возможность использования для введения чрескостных элементов Рекомендуемых позиций [34].

Для поиска литературных данных использовались базы данных Embase, MEDLINE, Google Scholar, PubMed, eLIBRARY, КиберЛенинка. Поиск производился последующим ключевым словом: биомеханика коленного сустава (knee joint biomechanics), контрактура коленного сустава (knee contracture, stiff knee), аппарат внешней фиксации (external fixation apparatus), метод Илизарова (Ilizarov's technique), аппарат Илизарова (Ilizarov frame), мягкотканый релиз (soft tissue release), ортопедические гексаподы (orthopedic hexapods). В результате проведенного поиска были отобраны 74 (56 зарубежных и 18 отечественных) опубликованные работы, соответствующие тематике обзора.

Результаты

Все конструкции, используемые при лечении рассматриваемой патологии, были условно разделены на 4 группы в соответствии с конструкцией блока, отвечающего за движения в коленном суставе. Так, условно были обозначены «бесшарнирные», «одноосевые», «воспроизводящие» и «виртуальные» аппараты.

«Бесшарнирные» аппараты

Использование метода чрескостного остеосинтеза для лечения контрактур коленного сустава берет свое начало в 1953 г., когда Н. Ruthig, работавший в клинике «Шарите» (г. Берлин), сконструировал аппарат и применил его для устранения сгибательной контрактуры. Конструкция аппа-

рата состояла из двух спиц, проведенных через бедренную и большеберцовую кости, концы которых фиксировались в скобах, соединенных при помощи раздвижных дистракторов. При помощи них осуществляли растяжение суставных концов в передне-заднем направлении и устранение вальгусной или варусной деформации установок в коленном суставе [35]. В 1971 г. Г.А. Илизаровым и А.А. Девятовым был сконструирован аналогичный дистракционный аппарат, основанный на использовании двух скоб для скелетного вытяжения. При этом разогнуть коленный сустав данным аппаратом было возможно до угла не более 165–170° [36]. К сожалению, подробных данных об их эффективности или о недостатках клинического применения аппаратов Н. Ruthig и Г.А. Илизарова в литературных источниках обнаружено не было.

В 1994 г. J. Herzenberg с соавторами использовали два «бесшарнирных» монологических аппарата OrthoFix у пациента с двухсторонней сгибательной контрактурой коленного сустава [37]. Авторы отметили, что при использовании бесшарнирного аппарата коленный сустав сам выступает в роли оси вращения («the knee joint itself serves as the axis of rotation»). Отрицательным моментом, описанным авторами, является невозможность полной коррекции при большой величине контрактуры. В 2015 г. А. Mugalur с соавторами опубликовали работу о лечении 34-летнего пациента с двухсторонней сгибательной 60° контрактурой коленного сустава, у которого был применен бесшарнирный монологический аппарат «Bhosale fixator». Спустя 2 нед. с момента монтажа аппарата удалось достигнуть полного разгибания, после чего аппарат был демонтирован, а дальнейшее лечение продолжалось консервативными методами [38]. В работах А. Mugalur с соавторами и J. Herzenberg с соавторами утверждалось, что выбор данной конфигурации аппарата был связан с малогабаритностью и удобством при одновременной коррекции двухстороннего поражения коленного сустава [37, 38].

Аппараты на основе «одноосевых» шарниров

Развитие конструкций на основе одноосевых шарниров, очевидно, связано с воззрениями на кинематику движений в коленном суставе, которые преобладали в 1980–1990-х гг. [39, 40, 41, 42]. А.М. Hollister с соавторами свели кинематику коленного сустава к одноосевому вращению с наличием оси сгибания/разгибания [41, 42]. На основе этого были разработаны различные схемы для определения оси сгибания/разгибания (рис. 3) [42, 43, 44].

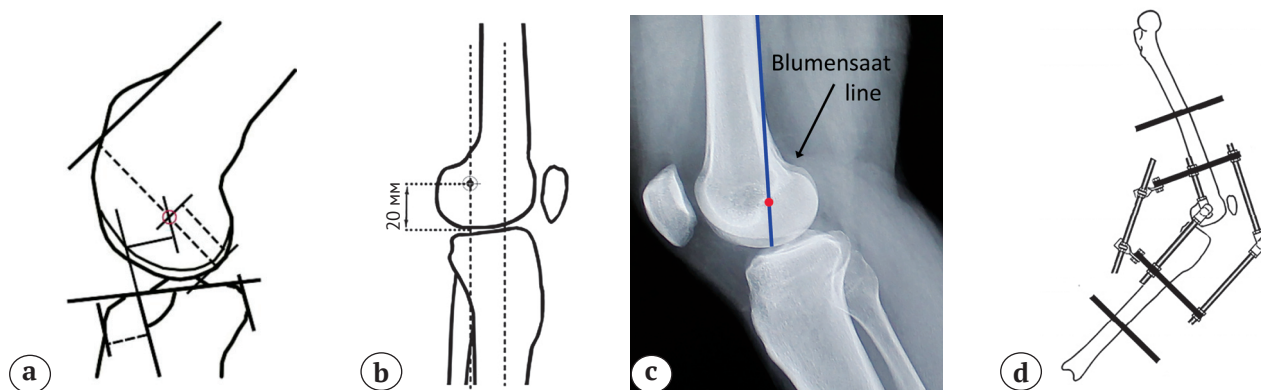


Рис. 3. Схемы определения оси сгибания/разгибания в коленном суставе:

- a – аналогично А.М. Hollister с соавторами (1993);
- b – аналогично М.А. Catagni с соавторами (1996);
- c – аналогично S.C. Standard с соавторами (2019);
- d – схема аппарата, работа которого основана на одноосевом шарнире

Figure 3. Schemes for determining the axis of flexion / extension in the knee joint:

- a – similar to A.M. Hollister et al. (1993);
- b – similar to M.A. Catagni et al. (1996);
- c – similar to S.C. Standard et al. (2019);
- d – a schema of the frame based on a uniaxial hinge

В таблице 1 представлены основные данные из публикаций авторов [31, 32, 37, 45, 46, 47, 48, 49], использующих «одноосевые» аппараты при лечении пациентов со сгибательными и разгибательными контрактурами коленного сустава. Как следует из таблицы, абсолютное большинство публикаций по использованию аппаратов с одноосевым шарниром посвящено лечению сгибательных контрактур коленного сустава. Важно отметить, что при анализе работ, посвященных использованию АВФ, было выявлено, что в 64,4% случаев АВФ был использован после выполнения мягкотканного релиза.

Аппараты на основе «воспроизводящих» шарниров

Пионерами в разработке и использовании чрескостных аппаратов, в которых была сделана попытка обеспечить кинематику коленного сустава в соответствии с воззрениями на «эволюту», по праву можно считать О.В. Оганесяна и М.В. Волкова. В 1968 г. они разработали свой первый шарнирный аппарат (модель I). Однако конструкция его была, по мнению самих авторов, технически несовершенна [33]. Не вполне совершенными, также по мнению самих авторов, были последующие II, III, IV модели (рис. 4), которые были разработаны в 1969–1979 гг.



Рис. 4. Шарнирно-дистракционный аппарат Волкова – Оганесяна, модель IV

Figure 4. Hinge-distraction apparatus of Volkov – Oganesyanyan, model IV

Таблица 1
Данные публикаций, посвященных лечению контрактуры коленного сустава аппаратами на основе одноосевого шарнира

Авторы	Кол-во пациентов/ суставов	Возраст пациентов, лет	Установка сустава	Срок наблюдения	Контрактура до/после операции	Амплитуда движений до операции	Амплитуда движений после операции	Амплитуда движений в отдаленном периоде	Сопутствующие операции	Осложнения	Тип конфигурации аппарата
Herzenberg J.E. с соавт., 1994	10/14	14,8 (1,5–87)	Сгиб.	1,6 (1–3) лет	В ср. 60°/ в ср. 16°	В ср. 59°	Н/д	В ср. 63°	8 – 3Р 1 – ДУБО 3 – устранение контрактуры голеностопного сустава в АВФ	Н/д	12 – Цр 2 – Моно
Damsin J.P., Ghanem I., 1996 (1986–1994)	11/13	12 (1,7–18,8)	Сгиб.	4,1 (3 мес. – 7,2 лет)	90° (90–150°)/ 6,5° (0–20°)	Н/д	Н/д	Н/д	3 – 3Р	1 – Нм/б 3 – Пер. 3 – ПГ	Ком.
Huang S., 1996 (1988–1991)	10/10	13 (2–51)	Сгиб.	3,5 (3,2–6,0) лет	55° (40–135°)/ 10° (0–60°)	50° (10–100°)	Н/д	20° (10–150°)	1 – металлостеосинтез перелома б/к 1 – остеотомия б/к 1 – удлинение б/к	2 – ПГ 1 – НЗОС	Цр
Lee D.H. с соавт., 2010 (1997–2004)	10	59,5 (23–62)	Разгиб.	4,3 (2,1–9,4) лет	Н/д	25° (5–35°)	91° (90°–100°)	93,5° (85–105°)	10 – КвПл	Н/д	Цр
Balci H. с соавт., 2014 (2002–2006)	6/6	14,7 (8–22)	Сгиб.	8 (5,5–10,0) лет	45° (30–75°)/ 10° (5–15°)	58,3 (40–90°)	Н/д	51,6° (25–90°)	6 – 3Р	1 – ПГ	Цр
Lingamfelter M. с соавт., 2014	1	24	Сгиб.	Н/д	90–120°/ 20–90°	Н/д	Н/д	Н/д	3Р	Пер. шар.	Пц
Zhai J. с соавт., 2019 (2009–2015)	7/10	17,0±4,8 (11–24)	Сгиб.	39,3±23,3 (16–85) мес.	58±21° (30–95°)/0°	64±29° (15–110°)	41±35°	38±19°	Н/д	Н/д	Цр
Vulcano E. с соавт., 2016 (2004–2015)	21/21	45 (20–60)	Сгиб.	13 (10–18) мес.	Н/д	44° разгиб. (-10...120°), сгиб. 96° (10–130°)	Н/д	0° разгиб. (0–50°), сгиб. 64° (20–100°)	19 – 3Р	2 – РК	Цр+Гк

Н/д – нет данных; КвПл – Квадрицепс-пластика; ДУБО – дистальная укорачивающая бедренная остеотомия; б/к – бедренная кость; 3Р – задний релиз; пер – перелом; ПГ – подвывих голени; Нм/б – невротипия малоберцового нерва; НЗОС – нестабильность заднего отдела сустава; Пер. шар. – перелом шарнира; РК – рецидив контрактуры; Цр – циркулярный; Пц – полуциркулярный; Моно – монологеральный; Ком. – комбинированный (Пц+Цк); Гк – гексапод

В 1979 г. на основе исследования пространственной кинематики коленного сустава М.В. Волков, О.В. Оганесян и Н.В. Терехова предложили аппарат, который, по их мнению, мог одновременно обеспечивать перекачивание, скольжение суставных концов в сагиттальной плоскости и ротацию вокруг вертикальной оси. Шарнирный механизм аппарата был представлен в виде, по терминологии авторов, «полицентрически-механизированного четырехзвенника». Однако О.В. Оганесян отметил и отрицательные качества данной конструкции, а именно: необходимость перенастройки звеньев четырехзвенника для нивелирования отклонения воспроизводимой CENTROИДЫ от естественной (из-за индивидуальных различий в размерах сустава); ограничение безболевого амплитуды сгибания до угла 90°; меньшая жесткость фиксации суставных концов ввиду отсутствия осевой спицы в проекции мыщелков бедра [33]. По нашим данным, на протяжении 1979–2005 гг. публикаций, посвященных клиническому применению этой модификации аппарата, не было. В 2006 г. была опубликована статья, в которой упоминается аппарат, который, по мнению авторов, воспроизводит анатомию коленного сустава и кинематику всех трех видов движений в нем (перекачивание, скольжение, ротация) [50]. Аппарат был успешно применен при лечении 24 больных с контрактурами коленных суставов (17 пациентов), переломами мыщелков большеберцовой кости (4), а также вывихами костей голени (3). На основе анализа текста статьи можно предположить, что речь шла именно о модификации аппарата, разработанного в 1979 г.

В 1983 г. Г.А. Илизаров и Э.В. Бурлаков разработали шарнирный механизм, позволяющий воспроизводить движение по дуге, близкой к контуру заднего отдела мыщелка бедренной кости — т.н. «шарнир с плавающей осью поворота». Авторы указали, что расположение шарнирного механизма должно быть абсолютно точным. Неправильная установка могла привести к сминанию суставных концов или к перерастяжению капсульно-связочного аппарата. [51]. Данных о клиническом применении этого аппарата нами обнаружено не было. В 1996 г. В.Д. Макушин с соавторами предложили конструкцию шарнирного механизма (перемещающегося в прорези) для АВФ. По мнению авторов, данный механизм шарнира обеспечивал перемещение голени, используя в качестве направляющей кривизну мыщелков бедренной кости. Данный шарнир был применен у пациента 27 лет со стойкой посттравматической контрактурой коленного сустава после предварительного этапа мягкотканного релиза. В результате лечения амплитуда движений была увеличена с 5° (до операции) до 90° (на момент демонтажа аппарата).

При осмотре через 8 мес. амплитуда движений составила 100°. Осложнений авторами отмечено не было [52].

Аппараты на основе виртуального шарнира

В 1971 г. Г.А. Илизаров, В.А. Немков и Г.А. Липанов разработали компрессионно-дистракционный аппарат, скобы которого соединялись не парой дистракторов, а тремя телескопическими стержнями, соединенными шаровыми шарнирами [53]. Этот аппарат, по-видимому, может считаться «предтечей» аппаратов, работа которых основана на использовании виртуального шарнира. Данных о его клиническом применении найти в доступной литературе не удалось. По понятным причинам обсуждать возможности «работы» этого аппарата в соответствии с кинематикой коленного сустава можно только гипотетически.

Ортопедические гексаподы, появившиеся на ортопедическом рынке в конце 1990-х гг. [54, 55], также «работают» на основе виртуального шарнира. Однако первая работа, посвященная использованию этого типа аппаратов для восстановления движений в коленном суставе, была опубликована лишь в 2009 г. [56]. Используя возможности визуализации компьютерной программы аппарата Орто-СУВ (рис. 5), путем многочисленных этапных расчетов были обеспечены движения в коленном суставе, близкие к физиологическим [57]. В дополнение к этому были использованы конструктивные особенности этого аппарата: возможность крепления страт к кольцам любого типа, диаметра и расположенных под любым углом к оси сегмента. Статья была проиллюстрирована клиническим примером использования данной технологии при лечении пациентки 46 лет со стойкой посттравматической разгибательной контрактурой коленного сустава. Мягкотканый релиз позволил увеличить сгибание только до 35°, что явилось показанием для использования гексапода Орто-СУВ. В результате лечения амплитуда движений коленного сустава была увеличена в соответствии с запросами пациентки — 90°/0°/0°. Осложнений при лечении зарегистрировано не было.

Спустя 7 лет, в 2016 г., Е. Vulcano с соавторами сообщили об использовании гексапода Taylor Spatial Frame и аппарата Илизарова у 21 пациентов с сгибательными контрактурами коленных суставов [54]. Эта работа упоминалась выше, где рассматривались аппараты с одноосевым шарниром. Необходимо отметить, что количество больных в каждой из групп, по Илизарову и с использованием гексапода, авторами указано не было. Иллюстраций использования аппарата Taylor Spatial Frame (металлоконструкции и компьютерной программы) также представлено не было.

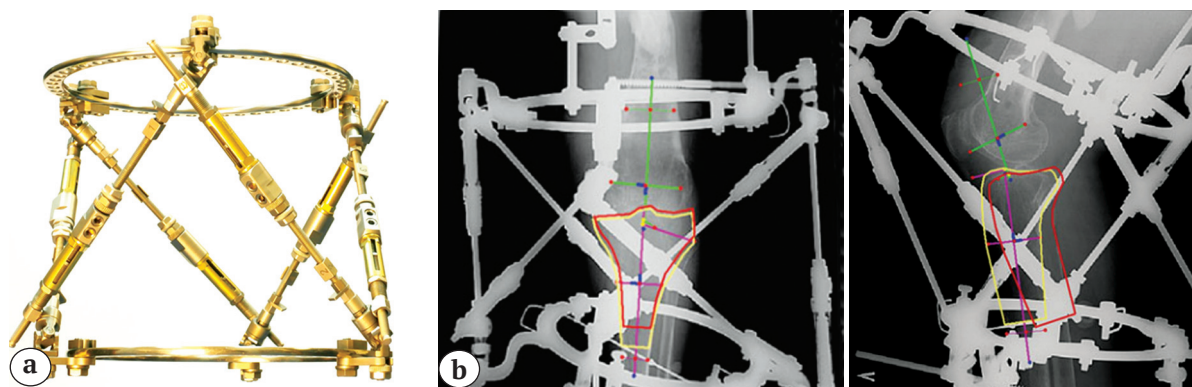


Рис. 5. Ортопедический гексапод Орто-СУВ:
 а — внешний вид конструкции; б — окно компьютерной программы Орто-СУВ
Figure 5. Orthopedic hexapod Ortho-SUV: a — hardware; b — software

Обсуждение

Контрактуры коленного сустава существенно влияют на активность людей, лишая их возможности полноценно пользоваться функцией конечности [58, 59]. Для лечения пациентов с данной патологией большинство авторов признают приоритет и эффективность мягкотканых вмешательств [11, 60, 61, 62, 63]. В то же время многие авторы солидарны в том, что при длительно существующих контрактурах коленного сустава мягкие ткани подвержены сокращению и рубцовому перерождению. Это не только не позволяет получить необходимое улучшение функции сустава, но и чревато возникновением серьезных осложнений, таких как разрыв мягких тканей, отрывные переломы, нейропатии, нарушения кровообращения конечности и подвывихи [24, 25, 64].

Для того чтобы избежать подобных осложнений, ортопеды при стойких сгибательных контрактурах дополнительно используют «укорачивающие» и «разгибательные» остеотомии [28, 29, 65]. Однако эти вмешательства, по-видимому, можно признать вынужденными. Укорочение конечности и/или изменение ее биомеханики [66, 67] нельзя признать оптимальным решением с учетом имеющейся возможности удлинения мягких тканей. При этом осложнения и последствия укорочения сегмента (потеря коррекции, подвывихи голени, стойкий болевой синдром) существенно влияют на результат лечения [66, 68].

Теоретически использование чрескостного остеосинтеза должно являться «идеальным» методом лечения контрактур суставов. Действительно, можно предполагать, что использование дозированного и минимизированного до любой величины сгибания/разгибания в коленном суставе может обеспечить безболезненное устранение любой контрактуры [30, 32]. Возможно, поэтому активное использование данного метода начато с середи-

ны прошлого века, одновременно с новым витком развития внешней фиксации [33]. За это время было разработано и использовано множество отличающихся по конфигурации и шарнирному механизму чрескостных аппаратов [31, 33, 47, 56]. К сожалению, многолетний опыт показал, что декларирование и реальные результаты в значительной мере отличаются. Мы попытались выяснить причину этого, рассмотрев каждую группу аппаратов и их соответствие критериям, определяющим их эффективность. Если группа аппаратов (или аппарат) соответствовали всем критериям, то их по праву можно считать оптимальными для лечения контрактур коленного сустава.

«Бесшарнирные» аппараты наиболее простые и удобные для использования, особенно при одновременном лечении двухстороннего поражения коленных суставов [37, 38]. Однако использование бесшарнирной конструкции аппарата имеет негативные последствия для сустава. Во время distraction на сустав начинают действовать абберантные силы сжатия, которые создают очень высокое давление на хрящевую ткань [47, 68]. С одной стороны, аппарат разгибает сустав, с другой — оказывает пагубное влияние, повреждая хрящ. Исходя из вышесказанного, нельзя считать верным мнение J. Herzenberg с соавторами о том, что коленный сустав сам по себе может выступать в роли оси ротации [37]. Бесшарнирные аппараты не обеспечивают стабильную фиксацию, и их использование не предполагает проведения чрескостных элементов в проекции Рекомендуемых позиций.

Аппараты на основе одноосевых шарниров наиболее широко используются до настоящего времени, о чем свидетельствует количество публикаций. Конструкция большинства «одноосевых» аппаратов состоит из колец и полуколец аппарата Илизарова или его аналогов. При их использовании возможно обеспечение стабильной фикса-

ции бедренной и большеберцовой костей, а также проведение чрескостных элементов в проекции Рекомендуемых позиций [34].

Необходимо обратить внимание на то, что разработка, совершенствование и использование аппаратов данного типа происходили в то время, когда уже было установлено, что коленный сустав не имеет фиксированного центра ротации [69, 70]. Игнорируя этот факт, многие авторы, опираясь на работу А.М. Hollister с соавторами, «упрощали» кинематику коленного сустава, приравнивая ее к одноосевому вращению [42]. Между тем было проведено исследование безопасной дуги (без натяжения связок) движения при расположении шарнира на оси сгибания/разгибания, которая, как оказалось, не превысила 79° [71]. Таким образом, осложнения могут быть связаны не с чрескостными элементами, а с несовершенной кинематикой аппаратов: подвывихи, перерастяжения капсульно-связочного аппарата, импинджмент или даже смятие суставных поверхностей [45, 46, 47, 51]. К этому необходимо добавить, что корректная установка одноосевого шарнира — непростая задача, о чем свидетельствуют попытки разработать устройства, позволяющие обеспечить корректное выполнение этого этапа операции [51, 53]. Почему же одноосевые аппараты были и остаются самыми используемыми при лечении данной патологии? Мы можем объяснить это только их «доступностью» и отсутствием достойной альтернативы.

При анализе литературы, посвященной аппаратам, работающим на основе «воспроизводящих» шарниров, оказалось, что большинство разработок (мы не говорим «все» из осторожности, являющейся следствием того, что в статьях не раскрыты все технические детали) явились только попыткой разработать устройство, близкое по кинематике к коленному суставу. Воспроизводимые аппаратом движения были в пределах только сагиттальной плоскости, т.е. являлись одноплоскостными [33, 51, 52]. Некоторые шарнирные механизмы и вовсе создавали кинематику, не свойственную коленному суставу, обеспечивая одинаковое «перекачивание» обоих мышечков [7, 8]. Даже сами авторы, М.В. Волков и О.В. Оганесян, отмечали, что использование данных устройств приводило к растяжению капсулы и связок и, следовательно, к нестабильности разрабатываемого сустава. По заявлению авторов, аппарат Волкова–Оганесяна–Тереховой способен обеспечить «перекат, скольжение и ротацию» [33]. Однако, насколько можно судить на основе публикации, перекачивание осуществлялось одинаково для обоих мышечков, а «ротационный» компонент так и не был продемонстрирован [33]. Объективным ограничением развития данной группы аппаратов был один типоразмер шарнира, что заведо-

мо ограничивало возможность его эффективного применения.

Следует признать, что конструкция аппаратов, работающих на основе воспроизводящих шарниров, обеспечивает возможность стабильности фиксации бедренной и большеберцовой костей, достаточной для разработки движений в коленном суставе. Используемая геометрия опор аппаратов позволяет проводить чрескостные элементы в проекции Рекомендуемых позиций [34].

С развитием трехмерных (КТ, МРТ, 3D) методов оценки кинематики коленного сустава стало очевидным, что для воспроизведения движений в коленном суставе аппарат должен обладать технической возможностью для перемещения одновременно в нескольких плоскостях, т.е. иметь свойства виртуального шарнира. И именно на основе виртуального шарнира «работают» ортопедические гексаподы, появившиеся на ортопедическом рынке с конца 1990-х гг. [54, 55]. В связи с этим теоретически проблема соответствия выполняемым в коленном суставе движениям могла бы быть успешно решена еще 15–20 лет назад. Ортопедические гексаподы способны обеспечить стабильную фиксацию бедренной и большеберцовой костей. Фиксация страт гексапода может быть выполнена к различным опорам, (циркулярным, $3/4$ или $5/8$ окружности), которые позволяют проводить чрескостные элементы в проекции Рекомендуемых позиций [34]. Однако технические возможности гексапода, как устройства, долгое время превосходили навигационные.

Так, у абсолютного числа гексаподов компьютерная программа, в соответствии с требованиями коррекции деформаций длинных костей, рассчитывает перемещение мобильного фрагмента из точки А в точку В по кратчайшей траектории [72]. Таким образом, при использовании гексапода имеется лишь возможность установить «вершину деформации» как центр одноосевого вращения. Вероятно, поэтому только в одной опубликованной работе имеется упоминание об использовании аппарата Taylor Spatial Frame при лечении контрактур коленного сустава [32].

Благодаря тому, что компьютерная программа гексапода Орто-СУВ образца 2009 г. позволяла визуализировать перемещение дистального «фрагмента», имелась возможность разбить движения в коленном суставе на этапы, равные любой величине. Однако этот процесс очень трудоемок, т.к. для каждого из этапов, т.е. каждые 5° , требуется отдельный расчет. В 2018 г. была разработана новая версия программного обеспечения для гексапода Орто-СУВ, снабженная опцией «многоэтапной коррекции» (Multi-total residual), позволяющая рассчитать изменение длин страт для обеспечения перемещения мобильного фрагмента по любой

траектории, за любое количество этапов. Это теоретически позволяет радикально решить вопрос трудоемкости и длительности расчетов. Однако методики применения этой опции для лечения контрактур коленного сустава до настоящего времени не было разработано.

Требуется обсуждения еще один важный аспект применения чрескостного остеосинтеза при лечении контрактур коленного сустава. Аппаратом можно обеспечить теоретически любую амплитуду пассивных движений в суставе. Однако после его демонтажа угроза рецидива велика. Это может быть объяснено тем, что при разгибательных контрактурах одним из важнейших основополагающих факторов является наличие «мягкотканых блокираторов» — участков сращений мышц между собой, с фасцией, костью, а также рубцовый процесс в полости сустава [73]. Дозированное по времени движение, обеспечиваемое аппаратом, может (должно), подтверждая закон Илизарова [74], привести к «выращиванию» мягких тканей, в том числе рубцов, блокирующих движение в суставе. Это соображение может быть справедливым и для сгибательных контрактур. Вероятно, поэтому абсолютное большинство авторов перед наложением аппарата используют мягкотканый релиз. Однако клинических и экспериментальных работ, посвященных этому вопросу, нами обнаружено не было.

Интересен тот факт, что при сгибательных контрактурах, используя АВФ, авторы добивались только разгибания в коленном суставе. После этого следовал период фиксации. При разгибательных контрактурах обязательным считается обеспечить сначала объем пассивных, а затем и активных движений в суставе путем использования от 10 до 15 циклов сгибания и разгибания [53]. Связанные с этим рекомендации представлены как данность, без экспериментальной аргументации.

Заключение

Метод чрескостного остеосинтеза, безусловно, используется в тех случаях, когда операции на мягких тканях не позволяют достичь необходимого результата. Применение АВФ для устранения контрактур коленного сустава играет важную роль в предупреждении осложнений со стороны сосудисто-нервных образований при длительно существующих контрактурах. При этом соответствие кинематике коленного сустава является одним из важнейших требований, предъявляемых к АВФ. Из всех условно выделенных типов аппаратов только ортопедические гексаподы обладают необходимыми возможностями для воспроизведения движений в коленном суставе, что определяет данный тип как наиболее перспективный при лечении контрактур коленного сустава.

Конструктивно все известные на сегодняшний день гексаподы могли бы с той или иной степенью эффективности быть использованы для улучшения функции коленного сустава. Однако компьютерные программы абсолютного большинства гексаподов исходно предназначены для коррекции деформаций длинных костей и репозиции переломов, а именно — перемещения дистального фрагмента по наикратчайшей траектории. Это неприемлемо по отношению к коленному суставу. Конечно, можно производить отдельные перерасчеты для каждого (3–5°) этапа коррекции контрактуры. Используя обеспечиваемую компьютерной программой визуализацию перемещения дистального «фрагмента», был получен положительный опыт при применении с этой целью отечественного гексапода Орто-СУВ. Но следует признать, что трудоемкость и длительность расчетов не оставляют шансов для использования этой технологии в широкой клинической практике.

Разработанная в 2018 г. опция «многоэтапной коррекции» позволяет рассчитать перемещение дистального фрагмента по любой траектории, с любой степенью кратности. Не вызывает сомнений, что эта опция может и должна прийти на замену множественным отдельным расчетам. Одновременно с этим целесообразно использовать потенциал аппарата Орто-СУВ для разработки усовершенствованных компоновок, используемых при лечении патологии коленного сустава.

Литература [References]

1. Fick R. *Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke*. T. Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik. Jena: G. Fischer; 1911. Vol. 3. p. 531-593.
2. Евсеев В.И. Биомеханика повреждений коленного сустава. Москва: РУСАЙНС; 2018. с. 45-69. Evseev V.I. [Biomechanics of knee injuries]. Moscow: RUSAJNS; 2018. p. 45-69. (In Russian).
3. Muller W. Kinematics. In *The Knee: Form, Function, and Ligament Reconstruction*. New York: Springer-Verlag; 1983. p. 8-75.
4. Schwartz C.I. Conservation du ligament croisé antérieur. *Orthop Traumatol*. 1993;(3):105-107.
5. Freeman M.A.R., Pinskerova V. The movement of the knee studied by magnetic resonance imaging. *Clin Orthop Relat Res*. 2003;(410):35-43. doi: 10.1097/01.blo.0000063598.67412.0d.
6. Pinskerova V., Iwaki H., Freeman M.A. The shapes and relative movements of the femur and tibia at the knee. *Orthopade*. 2000;29 Suppl 1:S3-5. doi: 10.1007/pl00003679.
7. McPherson A., Kärrholm J., Pinskerova V., Sosna A., Martelli S. Imaging knee position using MRI, RSA/CT and 3D digitisation. *J Biomech*. 2005;38(2):263-268. doi: 10.1016/j.jbiomech.2004.02.007.
8. Iwaki H., Pinskerova V., Freeman M.A. Tibiofemoral movement 1: the shapes and relative movements of the femur and tibia in the unloaded cadaver knee. *J Bone Joint Surg Br*. 2000;82(8):1189-1195. doi: 10.1302/0301-620x.82b8.10717.
9. Барков А.В., Барков А.А. Лечение разгибательных контрактур коленных суставов у пациентов с пере-

- ломами бедренной кости осложненных несращением, остеомиелитом и дефектами кости. *Літопис травматології та ортопедії*. 2009;(1-2):182-184.
- Barkov A.V., Barkov A.A. [Treatment of extensional contracture the knee joint in patients with fractures complicated with non-union, osteomyelitis and bone defects. *Litopis travmatologii ta ortopedii* [Litopys of Traumatology and Orthopedics]. 2009;(1-2):182-184. (In Russian).
10. Leardini A., Belvedere C., Nardini F., Sancisi N., Conconi M., Parenti-Castelli V. Kinematic models of lower limb joints for musculo-skeletal modelling and optimization in gait analysis. *J Biomech*. 2017;62:77-86. doi: 10.1016/j.jbiomech.2017.04.029.
 11. Mousavi H., Mir B., Safaei A. Evaluation of Thompson's quadricepsplasty results in patients with knee stiffness resulted from femoral fracture. *J Res Med Sci*. 2017;22:50. doi: 10.4103/1735-1995.205237.
 12. Salzman B. Gait and balance disorders in older adults. *Am Fam Physician*. 2010;82(1):61-68.
 13. Simonsen E.B. Contributions to the understanding of gait control. *Dan Med J*. 2014;61(4):B4823.
 14. Ding B.T.K., Khan S.A. The judet quadricepsplasty for elderly traumatic knee extension contracture: a case report and review of the literature. *Biomedicine (Taipei)*. 2019;9(3):21. doi: 10.1051/bmdcn/2019090321.
 15. Protopapadaki A., Drechsler W.I., Cramp M.C., Coutts F.J., Scott O.M. Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals. *Clin Biomech*. 2007;22(2):203-210.
 16. Norkin C.C., White D.J. Measurement of Joint Motion: A Guide to Goniometry. Philadelphia: PA, FA Davis Co; 1985. 572 p.
 17. Gomes J.L.E., Ruthner R.P., Moreira L. Femoral pseudoarthrosis and knee stiffness: long-term results of a one-stage surgical approach. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2010;130(2):277-283. doi: 10.1007/s00402-009-0938-1.
 18. Razaq M.N., Muhammad T., Ahmed A., Adeel M., Ahmad S., Ahmad S., Sultan S. Outcomes of distal femur fracture treated with dynamic condylar screw. *JAMC*. 2016;28(2):259-261.
 19. Назаров Х.Н., Линник С.А., Мирзоев Р.Р. Профилактика и лечение посттравматической контрактуры, анкилозов и артрозов суставов при сочетанных и множественных травмах нижних конечностей. *Вестник Академии медицинских наук Таджикистана*. 2018;(3):341-348. Nazarov Kh.N., Linnik S.A., Mirzoev R.R. [Prevention and treatment of post-relative contract, ankylosis and arthrosis joints in combined and multiple lips of lower limbs]. *Vestnik Akademii meditsinskikh nauk Tadzhikistana* [Bulletin of Medical Science Academy of Tajikistan]. 2018;(3):341-348. (In Russian).
 20. Kumari A., Yadav S. Cerebral Palsy: a mini review. *Int J Ther App*. 2012;3(1):15-24.
 21. Данилов А.А., Балицкая Ю.Л., Моця М.А. Лечение сгибательных контрактур коленных суставов у детей с церебральным параличом. *Хирургия детского возраста*. 2014;(3-4):35-41. Danilov A.A., Balickaya Y.L., Motcia M.A. [Treatment of flexion contractures of knee joints in children with cerebral palsy]. *Khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric surgery. Ukraine]. 2014;(3-4):35-41. (In Russian).
 22. Хатькова С.Е., Акулов М.А., Орлова О.Р., Усачев Д.Ю., Орлова А.С., Крылова Л.В. Ботулинотерапия в лечении спастичности нижней конечности. *Нервно-мышечные болезни*. 2017;7(3):21-35. Khat'kova S.E., Akulov M.A., Orlova O.R., Usachev D.Yu., Orlova A.S., Krylova L.V. [Botulinum toxin treatment of lower extremity spasticity]. *Nervno-myshechnye bolezni* [Neuromuscular diseases]. 2017;7(3):21-35. (In Russian).
 23. Клочкова О.А., Куренков А.Л., Кенис, В.М. Формирование контрактур при спастических формах детского церебрального паралича: вопросы патогенеза. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2018;6(1):59-66. doi: 10.17816/PTORS6158-66. Klochkova O.A., Kurenkov A.L., Kenis V.M. [Development of contractures in spastic forms of cerebral palsy: pathogenesis and prevention]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery]. 2018;6(1):59-66. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS6158-66
 24. Kundu Z., Sangwan S., Guliani G., Siwach R., Kamboj P., Singh R. Thompson's quadricepsplasty for stiff knee. *Indian J Orthop*. 2007;41(4):390-394. doi:10.4103/0019-5413.37004.
 25. Hahn S.B., Choi Y.R., Kang H.J., Lee S.H. Prognostic factors and long-term outcomes following a modified Thompson's quadricepsplasty for severely stiff knees. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(2):217-221. doi: 10.1302/0301-620X.92B2.22936.
 26. Schnitzler A., Genêt F., Diebold A., Mailhan L., Jourdan C., Denormandie P. Lengthening of knee flexor muscles by percutaneous needle tenotomy: Description of the technique and preliminary results. *PLoS One*. 2017;12(11):e0182062. doi: 10.1371/journal.pone.0182062.
 27. Marfo K.A., Berend K.R., Lombardi Jr. A.V. Flexion contractures: A stepwise algorithmic approach. *Semin Arthroplasty*. 2018;29(3):229-235. doi: 10.1053/j.sart.2019.01.009.
 28. Novacheck T.F., Stout J.L., Gage J.R., Schwartz M.H. Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement to treat persistent crouch gait in cerebral palsy: surgical technique. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(2):271-286. doi: 10.2106/JBJS.I.00316.
 29. Park H., Park B.K., Park K.B., Abdel-Baki S.W., Rhee I. et al. Distal Femoral Shortening Osteotomy for Severe Knee Flexion Contracture and Crouch Gait in Cerebral Palsy. *J Clin Med*. 2019;8(9):1354. doi: 10.3390/jcm8091354.
 30. Gaurav K., Vilas J. A new approach to the management of fixed flexion deformity of the knee using Ilizarov's principle of distraction histogenesis: a preliminary communication. *Int J Low Extrem Wounds*. 2010;9(2):70-73. doi: 10.1177/1534734610371559.
 31. Lee D.H., Kim T.H., Jung S.J., Cha E.J., Bin S.I. Modified judet quadricepsplasty and Ilizarov frame application for stiff knee after femur fractures. *J Orthop Trauma*. 2010;24(11):709-715. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181c80bb9.
 32. Vulcano E., Markowitz J.S., Fragomen A.T., Rozbruch S.R. Gradual correction of knee flexion contracture using external fixation. *J Limb Lengthen Reconstr*. 2016;2(2):102-107. doi: 10.4103/2455-3719.190712.
 33. Оганесян О.В. Основы наружной чрескостной фиксации. Москва: Медицина; 2004. с. 66-118. Oganesyan O.V. [The basics of external transosseous fixation]. Moscow: Meditsina; 2004. p. 66-118. (In Russian).
 34. Соломин Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза. М.: БИНОМ; 2014. Т. 1. Гл. 9. с. 116-133. Solomin L.N. [Basics transosseous osteosynthesis]. М.: Binom; 2014. Vol. 1, Ch. 9. p. 116-133. (In Russian).

35. Ruthig H. Zur Behandlung der Kniebeugekontrakturen [Treatment of popliteal space contractions]. *Dtsch Gesundheitsw.* 1953;8(35):1050-1053.
36. Оганесян О.В. Лечение заболеваний суставов с помощью шарнирно-дистракционных аппаратов. Москва: Медицина; 1975. с. 29-32.
Oganesyan O.V. Lechenie zabolevanij sustavov s pomoshh'ju sharnirno-distrakcionnyh apparatov [Treatment of joint diseases using hinge-distraction devices]. Moscow: Medicina; 1975. p. 29-32. (In Russian).
37. Herzenberg J.E., Davis J.R., Paley D., Bhave A. Mechanical distraction for treatment of severe knee flexion contractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(301):80-88.
38. Mugalur A., Pathak A.C., Shahane S.M., Samant A. Successful Correction of Idiopathic Bilateral Flexion Deformity of Knee: A Rare Case Report. *J Orthop Case Rep.* 2015;5(1):48-51. doi: 10.13107/jocr.2250-0685.254.
39. Churchill D.L., Incavo S.J., Johnson C.C., Beynon B.D. The transepicondylar axis approximates the optimal flexion axis of the knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(356):111-118. doi: 10.1097/00003086-199811000-00016.
40. Elias S.G., Freeman M.A., Gokcay E.I. A correlative study of the geometry and anatomy of the distal femur. *Clin Orthop Relat Res.* 1990;(260):98-103.
41. Hollister A.M., Kester M.A., Cook S.D., Bruset M.F., Haddad R.J. Knee axes of rotation: determination and implications. *Trans Orthop Res Soc.* 1986;(11):383.
42. Hollister A.M., Jatana S., Singh A.K., Sullivan W.W., Lupichuk A.G. The axes of rotation of the knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;(290):259-268.
43. Catagni M.A., Malzev V., Kirienko A. Advances in Ilizarov Apparatus Assembly. Milan: Medicalplastic; 1996. p. 17-19.
44. Standard S.C., Herzenberg J.E., Conway J.D., Lamm B.M., Siddiqui N.A. The art of limb alignment. Baltimore: Rubin Institute for Advanced Orthopedics, Sinai Hospital of Baltimore; 2019. p. 10-12.
45. Damsin J.P., Ghanem I. Treatment of severe flexion deformity of the knee in children and adolescents using the Ilizarov technique. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78(1):140-144.
46. Huang S.C. Soft tissue contractures of the knee or ankle treated by the Ilizarov technique: High recurrence rate in 26 patients followed for 3-6 years. *Acta Orthop Scand.* 1996;67(5):443-449. doi: 10.3109/17453679608996665.
47. Balci H.I., Kocaoglu M., Eralp L., Bilen F.E. Knee flexion contracture in haemophilia: treatment with circular external fixator. *Haemophilia.* 2014;20(6):879-83. doi: 10.1111/hae.12478.
48. MaxLingamfelter B.S., Sanchez H.B., Wagner R.A. Chronic Knee Dislocation and Flexion Contracture Treated with Open Reduction and External Fixation - A Case Report. *J Arthritis.* 2014;3(133). doi: 10.4172/2167-7921.1000133.
49. Zhai J., Weng X., Zhang B., Peng H., Bian Y. Management of knee flexion contracture in haemophilia with the Ilizarov technique. *Knee.* 2019;26(1):201-206. doi: 10.1016/j.knee.2018.08.006.
50. Оганесян О.В. Модернизированный аппарат для восстановления формы и функции коленного сустава. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2006;(4):29-34.
Oganesyan O.V. [Modernized device for restoration of knee joint shape and function]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2006;(4):29-34. (In Russian).
51. Попков А.В., Югай А.Е., Дьячкова Г.В. Лечение разгибательных контрактур коленного сустава методом Илизарова. Курган: ВКНЦ ВТО; 1991. с. 8-17.
Popkov A.V., Yugay A.E., Dyachkova G.V. [Treatment of extension contractures of the knee joint by the Ilizarov method]. Kurgan: VKNC VTO; 1991. p. 10-17. (In Russian).
52. Макушин В.Д., Бурлаков Э.В., Югай А. Е.-Х. К обоснованию применения шарнирных устройств для устранения контрактур коленного сустава. *Гений ортопедии.* 1996;(4):52-55.
Makushin V.D., Burlakov E.V., Yugay A.E.-Kh. To the rationale for the use of hinge devices for the elimination of contractures of the knee joint. *Genij Ortopedii.* 1996;(4):52-55. (In Russian).
53. Волков М.В., Оганесян О.В. Восстановление формы и функции суставов и костей (аппаратами авторов). Москва: Медицина; 1986. 256 с.
Volkov M.V., Oganesyan O.V. [Reduction of the shape and function of joints and bones (by the authors' apparatus)]. Moscow: Meditsina; 1986. p. 41-63. (In Russian).
54. Taylor J. A new look at deformity correction. Distraction. *The Newsletter of ASAMI - North America.* 1997;5(1):204-209.
55. Seide K., Wolter D., Kortmann H.R. Fracture reduction and deformity correction with the hexapod Ilizarov fixator. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(363):186-195.
56. Соломин Л.Н., Корчагин К.Л., Утехин, А.И. Разработка оптимальной компоновки аппарата Орто-СУВ для разработки движений в коленном суставе. *Травматология и ортопедия России.* 2009;(4):21-26.
Solomin L.N., Korchagin K.L., Utekhin A.I. [Development of optimal composition apparatus Ortho-SUV for the development movement in the knee joint]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2009;(4):21-26. (In Russian).
57. Соломин Л.Н., Утехин А.И., Виленский В.А. Орто-СУВ аппарат: чрескостный аппарат, работа которого основана на компьютерной навигации. *Гений ортопедии.* 2011;(2):148-156.
Solomin L.N., Vilenskiy V.A., Utekhin A.I. [Ortho-SUV frame: external fixator working on the basis of computer navigation]. *Genij Ortopedii.* 2011;(2):161-169. (In Russian).
58. Bawa H.S., Wera G.D., Kraay M.J., Marcus R.E., Goldberg V.M. Predictors of range of motion in patients undergoing manipulation after TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(1):258-263. doi: 10.1007/s11999-012-2591-1.
59. Goldberg S.R., Ounpuu S., Arnold A.S., Gage J.R., Delp S.L. Kinematic and kinetic factors that correlate with improved knee flexion following treatment for stiff-knee gait. *J Biomech.* 2006;39(4):689-698. doi: 10.1016/j.jbiomech.2005.01.015.
60. Beals R.K. Treatment of knee contracture in cerebral palsy by hamstring lengthening, posterior capsulotomy, and quadriceps mechanism shortening. *Dev Med Child Neurol.* 2001;43(12):802-805. doi: 10.1017/s0012162201001451.
61. Khakharia S., Fragomen A.T., Rozbruch S.R. Limited quadricepsplasty for contracture during femoral lengthening. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(11):2911-2917. doi: 10.1007/s11999-009-0951-2.
62. Persico F., Vargas O., Fletscher G., Zuluaga M. Treatment of extraarticular knee extension contracture secondary to prolonged external fixation by a modified Judet quadricepsplasty technique. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2018;13(1):19-24. doi: 10.1007/s11751-017-0302-x.
63. Heydarian K., Akbarnia B.A., Jabalameli M., Tabador K. Posterior capsulotomy for the treatment of severe flexion

- contractures of the knee. *J Pediatr Orthop.* 1984;4(6): 700-704. doi: 10.1097/01241398-198411000-00009.
64. Wallny T., Eickhoff H.H., Raderschadt G., Brackmann H.H. Hamstring release and posterior capsulotomy for fixed knee flexion contracture in haemophiliacs. *Haemophilia.* 1999;5 Suppl 1:25-27. doi: 10.1046/j.1365-2516.1999.0050s1025.x.
65. DelBello D.A., Watts H.G. Distal femoral extension osteotomy for knee flexion contracture in patients with arthrogryposis. *J Pediatr Orthop.* 1996;16(1):122-126. doi: 10.1097/00004694-199601000-00025.
66. Hosny G.A., Fadel M. Managing flexion knee deformity using a circular frame. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(12):2995-3002. doi: 10.1007/s11999-008-0530-y.
67. Leong J.C., Alade C.O., Fang D. Supracondylar femoral osteotomy for knee flexion contracture resulting from poliomyelitis. *J Bone Joint Surg Br.* 1982;64(2):198-201. doi: 10.1302/0301-620X.64B2.7068740.
68. Brunner R., Hefti F., Tgetgel J.D. Arthrogryptic joint contracture at the knee and the foot: correction with a circular frame. *J Pediatr Orthop B.* 1997;6(3):192-197. doi: 10.1097/01202412-199707000-00007.
69. Frankel V.H., Burstein A.H., Brooks D.B. Biomechanics of internal derangement of the knee. Pathomechanics as determined by analysis of the instant centers of motion. *J Bone Joint Surg Am.* 1971;53(5):945-962.
70. Soudan K., Van Audekercke R., Martens M. Methods, difficulties and inaccuracies in the study of human joint kinematics and pathokinematics by the instant axis concept. Example: the knee joint. *J Biomech.* 1979;12(1):27-33. doi: 10.1016/0021-9290(79)90006-x.
71. Sommers M.B., Fitzpatrick D.C., Kahn K.M., Marsh J.L., Bottlang M. Hinged external fixation of the knee: intrinsic factors influencing passive joint motion. *J Orthop Trauma.* 2004;18(3):163-169. doi: 10.1097/00005131-200403000-00007.
72. Виленский В.А., Поздеев А.П., Бухарев Э.В., Поздеев А.А., Зубаиров Т.Ф., Соломин Л.Н. Ортопедические гексаподы: история, настоящее, перспективы. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2015;3(1):61-69. doi: 10.17816/PTORS3161-69.
- Vilensky V.A., Pozdeev A.P., Bukharev E.V., Pozdeev A.A., Zubairov T.F., Solomin L.N. [Orthopedic hexapods: history, present and prospects]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery]. 2015;3(1):61-69. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS3161-69.
73. Мирошниченко В.Ф. Миофасциотендез коленного сустава. Самара; 2001. с. 11-22.
- Miroshnichenko V.F. [Myofasciatenodesis of the knee joint]. Samara; 2001. p. 11-22. (In Russian).
74. Губин А.В., Борзунов Д.Ю. Парадигма Илизарова. *Гений ортопедии.* 2012;(4):5-9.
- Gubin A.V., Borzunov D.Iu. [Ilizarov's paradigm]. *Genij ortopedii.* 2012;(4):5-9. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Рохоев Сайгидула Абдурахманович — аспирант, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия
09saga@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4369-9619>

Соломин Леонид Николаевич — д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России; профессор кафедры общей хирургии СПбГУ; директор ООО «Орто-СУВ» г. Санкт-Петербург, Россия
solomin.leonid@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>

Заявленный вклад авторов

Рохоев С.А. — поиск литературы, анализ и обработка материала, подготовка текста.

Соломин Л.Н. — разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

AUTHORS' INFORMATION:

Saigidula A. Rokhoyev — PhD Student, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia
09saga@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4369-9619>

Leonid N. Solomin — Dr. Sci. (Med.), Professor, Leading Researcher of the department of treatment of Injuries and their consequences, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics; Professor of the Surgery Chair Medical Faculty, Saint-Petersburg State University; director, LLC "Ortho-SUV", St. Petersburg, Russia
solomin.leonid@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>