

Научная статья

УДК 616.728.2-009.12-089.227.84:004.9]-089.168

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-2-149-161>

Сравнительная оценка результатов использования аппарата Илизарова и ортопедического гексапода при лечении пациентов со сгибательными контрактурами коленного сустава

Л.Н. Соломин¹, С.А. Рохоев²✉¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия² Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия**Автор, ответственный за переписку:** Сайгидула Абдурахманович Рохоев, 09saga@mail.ru

Аннотация

Введение. В лечении пациентов со стойкими сгибательными контрактурами коленного сустава при недостаточной неэффективности мягкотканного релиза используют чрескостный остеосинтез, — аппарат Илизарова с одноосевым шарниром и ортопедические гексаподы.

Цель работы — провести сравнительный анализ эффективности клинического использования ортопедического гексапода и аппарата Илизарова с одноосевым типом шарнира при лечении пациентов со сгибательными контрактурами коленного сустава.

Материалы и методы. Проанализировано 67 случаев лечения сгибательных контрактур коленного сустава на фоне спастического пареза. Всем пациентам выполнена операция заднего релиза с последующей установкой аппарата внешней фиксации (АВФ). В основной группе ($n = 35$) использовали ортопедический гексапод «Орто-СУВ», в группе сравнения ($n = 32$) — аппарат Илизарова с одноосевым шарниром. Также пациенты разделены на две подгруппы в зависимости от наличия предоперационно диагностированного подвывиха голени кзади. Оценивали длительность этапов лечения, амплитуду движений в коленном суставе и функциональные исходы по шкалам KSS, Lysholm и LEFS через два дня, шесть и 12 месяцев после демонтажа аппарата.

Результаты. Выявлены: значимо меньшая продолжительность периода разгибания в основной группе, сопоставимые показатели средней продолжительности периода фиксации и общей длительности использования АВФ в обеих группах. При оценке амплитуды движений коленного сустава после демонтажа АВФ отмечены сопоставимые показатели снижения величины максимального сгибания в обеих группах. В обеих группах улучшились средние балльные значения функции сустава и конечности по сравнению с дооперационными функциональными показателями по всем шкалам KSS, Lysholm и LEFS.

Обсуждение. К факторам, повлиявшим на функциональный исход, отнесены наличие подвывиха голени и соблюдение пациентом послеоперационных рекомендаций. Специфическим фактором, влияющим на функциональный исход при использовании аппарата Илизарова, является точное позиционирование шарнира на оси сгибания-разгибания во избежание ятрогенной нестабильности коленного сустава. Общая длительность применения АВФ и общая функция нижней конечности в сравниваемых группах не имели статистически значимых отличий, что свидетельствует об отсутствии существенных преимуществ использования одного типа аппарата перед другим.

Заключение. При использовании ортопедического гексапода длительность периода разгибания значимо меньше по сравнению с аппаратом Илизарова, однако общая длительность использования АВФ в обеих группах не имела существенных различий. По основным функциональным показателям, амплитуде движений (сгибание и разгибание) и LEFS, статистически значимых различий между группами на всех этапах наблюдения не обнаружено. На основании шкал KSS и Lysholm, пациенты основной группы через 12 месяцев показали достоверно лучшие результаты. Частота осложнений в обеих группах была сопоставимой.

Ключевые слова: контрактура, коленный сустав, сгибательная контрактура, аппараты внешней фиксации, аппарат Илизарова, ортопедические гексаподы

Для цитирования: Соломин Л.Н., Рохоев С.А. Сравнительная оценка результатов использования аппарата Илизарова и ортопедического гексапода при лечении пациентов со сгибательными контрактурами коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2026;32(2):149-161. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-2-149-161.



Comparative evaluation of the results of using the Ilizarov apparatus and an orthopedic hexapod in the treatment of patients with flexion knee joint contractures

L.N. Solomin¹, S.A. Rokhovev²✉

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

² Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Saigidula A. Rokhovev, 09saga@mail.ru

Abstract

Relevance When soft tissue release is ineffective in the treatment of persistent flexion contractures of the knee joint, external fixation devices are used. Orthopedic hexapods can be used as an alternative to the traditional Ilizarov frame with a uniaxial hinge.

Purpose To conduct a comparative analysis of the effectiveness of the clinical use of an orthopedic hexapod and the Ilizarov fixator with a uniaxial hinge in the treatment of patients with flexion contractures of the knee joint.

Materials and methods A total of 67 cases of flexion contracture of the knee joint due to spastic paresis were analyzed. All patients underwent posterior release surgery followed by the application of an external fixation device (EFD). Patients were divided into two groups: the study group ($n = 35$) treated using the "Orto-SUV" orthopedic hexapod, and the comparison group ($n = 32$) treated using the Ilizarov fixator with a uniaxial hinge. Patients were also subdivided based on the presence or absence of a preoperatively diagnosed posterior tibial subluxation. The duration of treatment stages, range of motion in the knee joint and functional outcomes (assessed with KSS, Lysholm, and LEFS systems) were evaluated at 2 days, 6 months, and 12 months after frame removal.

Results The use of the orthopedic hexapod significantly reduced the duration of the extension stage compared to the Ilizarov fixator. However, the overall duration of external fixation in both groups did not differ significantly. No statistically significant differences were found between the groups at any follow-up time-point for the main functional indicators: range of motion (flexion and extension) and overall lower extremity function (LEFS score). However, according to specialized knee joint assessment scales (KSS and Lysholm), patients in the study group demonstrated significantly better results at 12 months. The complication rate in both groups was comparable.

Discussion Factors affecting functional outcomes in both groups included preoperative tibial subluxation and patient compliance with postoperative recommendations. A specific factor affecting functional outcomes for a uniaxial external fixator is the precise positioning of the hinge on the flexion-extension axis to avoid iatrogenic knee instability. The total duration of external fixation and overall lower extremity function (LEFS) in the compared groups did not differ statistically, indicating no significant advantage of using one type of device over the other.

Conclusion With the orthopedic hexapod, the extension stage was significantly shorter than with the Ilizarov fixator; however, the total duration of external fixation in both groups did not differ significantly. No statistically significant differences were found between the groups at any follow-up point in terms of the main functional indicators, range of motion (flexion and extension), and LEFS. Based on the KSS and Lysholm scales, patients in the study group demonstrated significantly better results at 12 months. Complication rates were comparable in both groups.

Keywords: contracture, knee joint, flexion contracture, external fixation, Ilizarov apparatus, orthopedic hexapods

For citation: Solomin LN, Rokhovev SA. Comparative evaluation of the results of using the Ilizarov apparatus and an orthopedic hexapod in the treatment of patients with flexion knee joint contractures. *Genij Ortopedii*. 2026;32(2):149-161. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-2-149-161.

ВВЕДЕНИЕ

Сгибательные контрактуры коленного сустава наиболее часто возникают при заболеваниях, сопровождающихся синдромом спастичности, и в значительной степени ухудшают качество жизни пациента, лишая его возможности передвигаться без дополнительных средств опоры [1–4]. При длительном существовании контрактуры формируются вторичные изменения в мягких тканях, что делает консервативное лечение безуспешным [5, 6]. Для устранения стойкой сгибательной контрактуры коленного сустава выполняют «задний релиз», включающий невролиз малоберцового нерва, миолиз, тенолиз, удлинение и пересадку сгибателей голени, а также заднюю капсулотомию коленного сустава [7–11]. Вне зависимости от качества выполненного заднего релиза, максимально возможное одномоментное устранение может быть ограничено из-за выраженной патологической ретракции мышечно-сухожильного комплекса и сосудисто-нервного пучка. Поэтому во избежание их тракционного повреждения «мягкотканная» операция может быть дополнена применением «шарнирного» аппарата внешней фиксации, чаще всего аппарата Илизарова [12–15].

Проведенные исследования показали, что традиционно используемые для разработки движений аппараты с одноосевым типом шарнира не соответствуют кинематике коленного сустава [16, 17]. Для соответствия ей аппарат внешней фиксации (АВФ) должен обеспечивать движения на основе виртуального шарнира [18]. Этому требованию соответствуют ортопедические гексаподы, эффективность применения которых уже доказана при лечении пациентов со стойкими разгибательными контрактурами коленного сустава [19]. Однако сравнение эффективности клинического применения ортопедического гексапода и аппарата с одноосевым типом шарнира при стойких сгибательных контрактурах коленного сустава до настоящего времени не проводили.

Цель работы — провести сравнительный анализ эффективности клинического использования ортопедического гексапода и аппарата Илизарова с одноосевым типом шарнира при лечении пациентов со сгибательными контрактурами коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования — ретро-проспективное нерандомизированное когортное исследование. Основой публикации является диссертационная работа С.А. Рохоева «Обоснование применения ортопедического гексапода при лечении пациентов с контрактурами коленного сустава» (Санкт-Петербург, 2022).

Пациенты

Исследование проведено на базе НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена. В исследование включены пациенты, проходившие лечение в период с 2005 г. по 2021 г. Проанализировано 67 случаев комбинированного (задний релиз + АВФ) лечения сгибательных контрактур коленного сустава, возникших вследствие спастического пареза. Причинами возникновения спастического пареза являлись черепно-мозговые травмы (ЧМТ), последствия детского церебрального паралича (ДЦП) и острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК).

В основную группу, где в дополнение к заднему релизу использовали ортопедический гексапод Орто-СУВ, включены 35 пациентов, из них 14 пациентов проанализированы проспективно и 21 — ретроспективно.

В группе сравнения, где задний релиз комбинировали с использованием аппарата Илизарова с одноосевым типом шарнира, включены 32 пациента.

Гендерно-возрастные и этиологические характеристики пациентов обеих групп представлены в таблице 1. Обе группы были сопоставимы по этиологии, гендеру, возрасту, длительности существования контрактуры, а также сопутствующему заднему подвывиху голени ($p > 0,05$).

Таблица 1

Распределение пациентов обеих подгрупп по основным характеристикам, $n/\%$, Ме [Q1; Q3]

Группа		Основная группа (ортопедический гексапод)		Группа сравнения (одноосевой аппарат)	
Количество пациентов		35		32	
Возраст		32 [27;43]		28 [26;37]	
Гендер		абс.	%	абс.	%
Мужчины		21	60	19	59,4
Женщины		14	40	13	40,6
Этиология	ДЦП	17	48,5	18	56,2
	ЧМТ	10	28,5	8	25,0
	ОНМК	8	22,8	6	18,7

Таблица 1 (продолжение)

Распределение пациентов обеих подгрупп по основным характеристикам, n/%, Me [Q1; Q3]

Группа		Основная группа (ортопедический гексапод)		Группа сравнения (одноосевой аппарат)	
Давность	3–5 лет	14	40	9	28,1
	6–10 лет	4	11,4	5	15,6
	↑10 лет	17	48,5	18	56,2
Сопутствующий подвывих голени		Подгруппа 1		Подгруппа 2	
		абс.	%	абс.	%
Количество пациентов		12	34,3	8	25

В обеих группах имелись пациенты с предоперационно диагностированными подвывихами голени казди. Соответственно, эти пациенты были выделены в подгруппу 1 и подгруппу 2.

Оперативная техника

Всем пациентам первым этапом выполняли операцию заднего релиза из двух доступов (медиального и латерального) в параартикулярной области на уровне нижней трети бедра. Латеральный доступ использовали для ревизии и невролиза общего малоберцового нерва (рис. 1, а) от нижней трети бедра до места его входа в межмышечную перегородку. После этого в зависимости от степени натяжения, выполняли либо дистальное фракционное удлинение двуглавой мышцы ($n = 26, 38\%$), либо Z-образное удлинение ее дистального сухожилия ($n = 41, 62\%$). Этот же доступ использовали для визуализации и защиты подколенного сосудисто-нервного пучка (СНП).

Медиальный доступ применяли для выделения портняжной, полусухожильной, полуперепончатой и тонкой мышц. Полуперепончатую и портняжную мышцы при их натяжении удлиняли фракционно. Сухожилие тонкой мышцы отсекали дистально у места перехода мышечной в сухожильную часть, сухожилие полусухожильной мышцы — в наиболее дистальной части (рис. 1, в). При выявлении натяжения головок икроножных мышц тупо отслаивали их в месте прикрепления к бедренной кости. Аналогичным образом при выявлении натяжения подошвенной мышцы выполняли ее «слайдинг». На завершающем этапе осуществляли заднюю капсулотомию коленного сустава (рис. 1, г), при выраженном натяжении — фракционное удлинение тыльного листка фасции. После этого разгибали голень до возникновения натяжения СНП. Проксимальный конец полусухожильной и дистальный конец сухожилия тонкой мышц сшивали по типу «бок в бок» с сохранением умеренного тонуса.

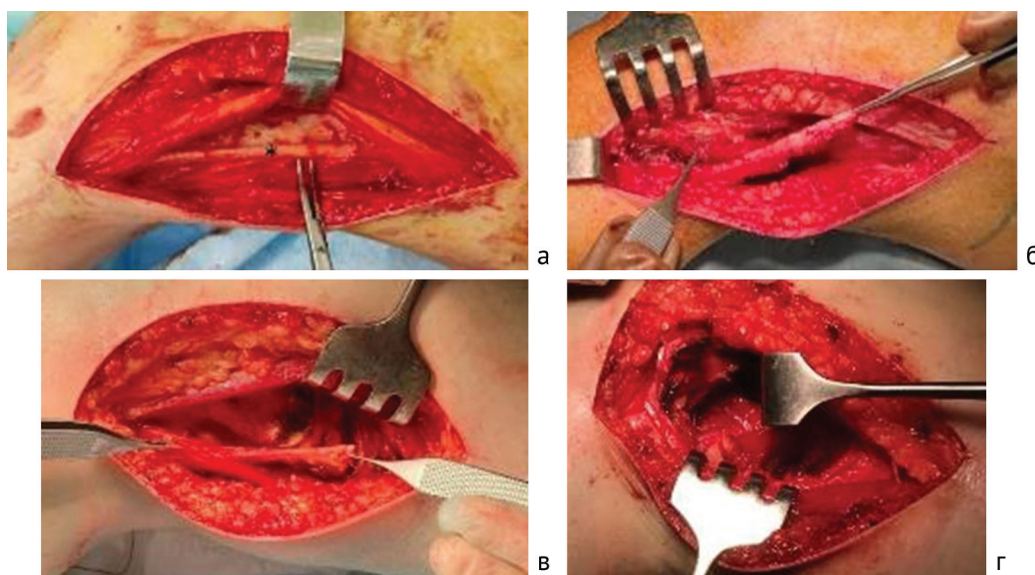


Рис. 1. Этапы заднего релиза: а — невролиз малоберцового нерва; б — удлинение дистального сухожилия двуглавой мышцы; в — фракционное удлинение полуперепончатой мышцы, отсечение тонкой мышцы у места перехода мышечной в сухожильную часть, полусухожильной мышцы в ее наиболее дистальной части; г — задняя капсулотомия

Во всех анализируемых случаях вследствие невозможности одномоментного полного разгибания голени из-за натяжения СНП операцию дополняли установкой АВФ «бедро – голень». Для исключения тракционной невропатии сустав фиксировали в положении $+10^\circ$ сгибания от угла, при котором происходило натяжение СНП.

В обеих группах использовали схожие компоновки, включающие базовую опору, установленную на уровне нижней трети бедра, и мобильную опору, установленную на уровне средней трети или границе средней трети и верхней трети голени. В основной группе во избежание контакта страт с кожей при установке мобильной опоры на уровне средней трети голени добавляли «свободную» опору секторного типа (рис. 2, а). Во фронтальной плоскости опоры ориентировали перпендикулярно общей механической оси конечности, а в сагиттальной каждый из модулей — перпендикулярно анатомических осей бедренной и большеберцовой костей.

В основной группе базовую и мобильную опоры соединяли шестью стратами ортопедического гексапода [20]. В первые сутки после операции выполняли рентген-контроль коленного сустава в двух проекциях. Контрольные рентгенограммы открывали в программе ортопедического гексапода (SUV-Software v.7.2). При проведении расчета на начальном этапе задавали дистракцию 5–7 мм. Далее при помощи опции многоэтапной коррекции выполняли этапные (каждые 10°) расчеты разгибания голени. Учитывая возможность возникновения феномена «рикошета» (рецидива контрактуры вследствие ретракции мягких тканей), при расчете в программе добавляли «переразгибание» голени в пределах $5\text{--}7^\circ$ (рис. 2, б). Начальный темп разгибания составлял $2,5^\circ$ в сутки за четыре приема. Дистракцию начинали на вторые–четвертые сутки после операции, затем переходили к разгибанию голени. Первоначальный темп разгибания в зависимости от выраженности болевого синдрома мог быть ускорен или замедлен. По завершении периода разгибания страты ортопедического гексапода демонтировали, а базовую и мобильную опоры соединяли фиксационными шарнирами.

Основой для вышеуказанных параметров явились работы J.E. Herzenberg et. al., H.I. Balci et al., в которых отмечено возникновение феномена рикошета, а также приведены рекомендации для профилактики данного осложнения [14, 21]. В работе М.В. Волкова и О.В. Оганесяна приведены рекомендации темпа разгибания голени в АВФ по $2\text{--}6^\circ$ в сутки [22]. В нашем исследовании при использовании компьютерной программы ортопедического гексапода этапный расчет разгибания, равный 10° , мы предполагали выполнить за четыре дня. Формула выглядела следующим образом $10^\circ/4 \text{ дня} = 2,5^\circ$ в сутки, что близко к минимальным значениям, рекомендованным авторами, и, на наш взгляд, является оптимальным для начального темпа.

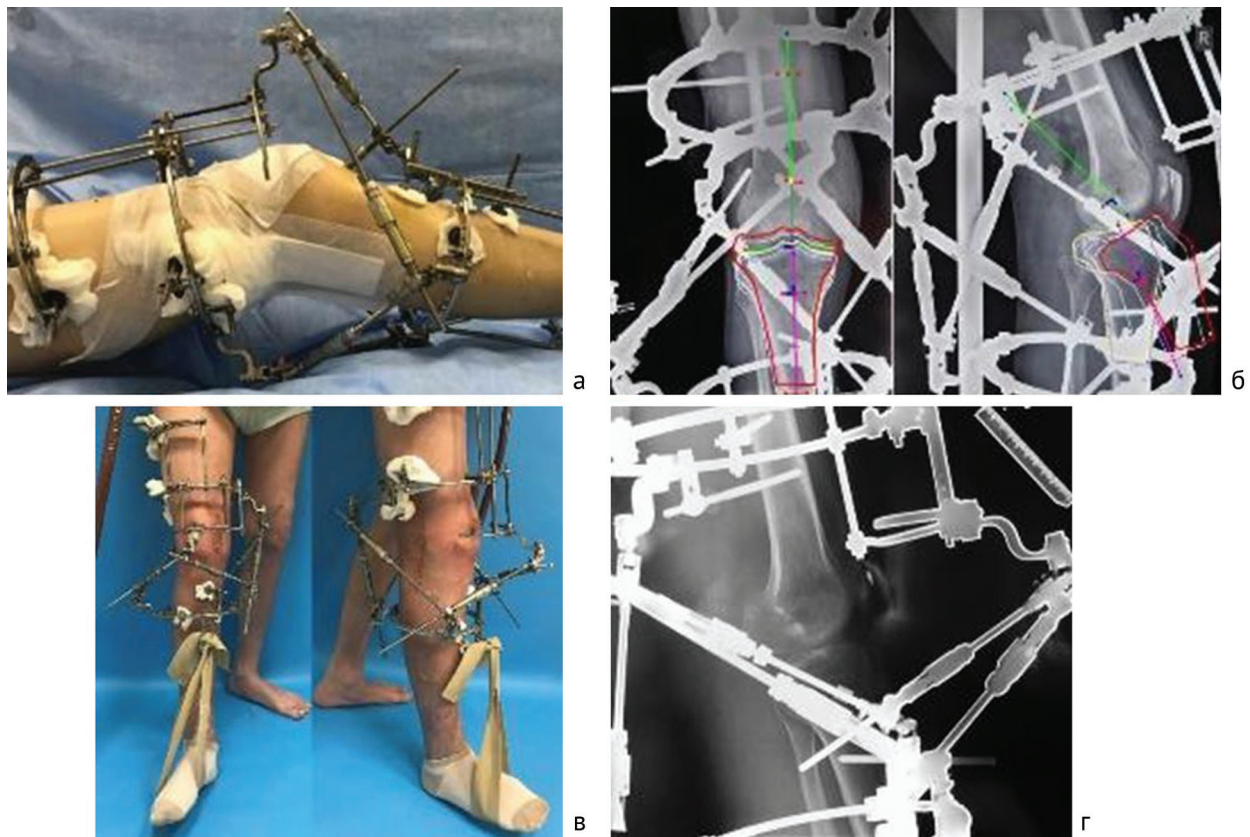


Рис. 2. Использование ортопедического гексапода: а — внешний вид после монтажа ортопедического гексапода; б — расчет разгибания голени в компьютерной программе; в, г — фотография и рентгенограмма в боковой проекции после завершения этапа разгибания голени

В группе сравнения базовую и мобильную опоры соединяли осевыми шарнирами, позиционированными под ЭОП-контролем в проекции оси сгибания – разгибания коленного сустава [23]. Пассивные движения выполняли при помощи поворотных шарниров (рис. 3). Первоначальный темп дистракции составлял 8 мм (в среднем 2–2,5° в сутки) за четыре приема, его также, как у пациентов основной группы, корректировали в зависимости от болевого синдрома [22].

В обеих группах по окончании периода разгибания коленный сустав в положении гиперэкстензии фиксировали в АВФ на шесть недель. По окончании периода фиксации аппарат демонтировали, а коленный сустав фиксировали еще на три недели гипсовым лонгетом или ортезом. В целом протокол послеоперационного ведения и реабилитации пациентов обеих групп был схожим. В обеих группах с момента демонтажа АВФ пациентам рекомендовали проведение курсов реабилитационного лечения, включающего занятия с врачом ЛФК, механотерапию, электромиостимуляцию четырехглавой мышцы, лечебный массаж.

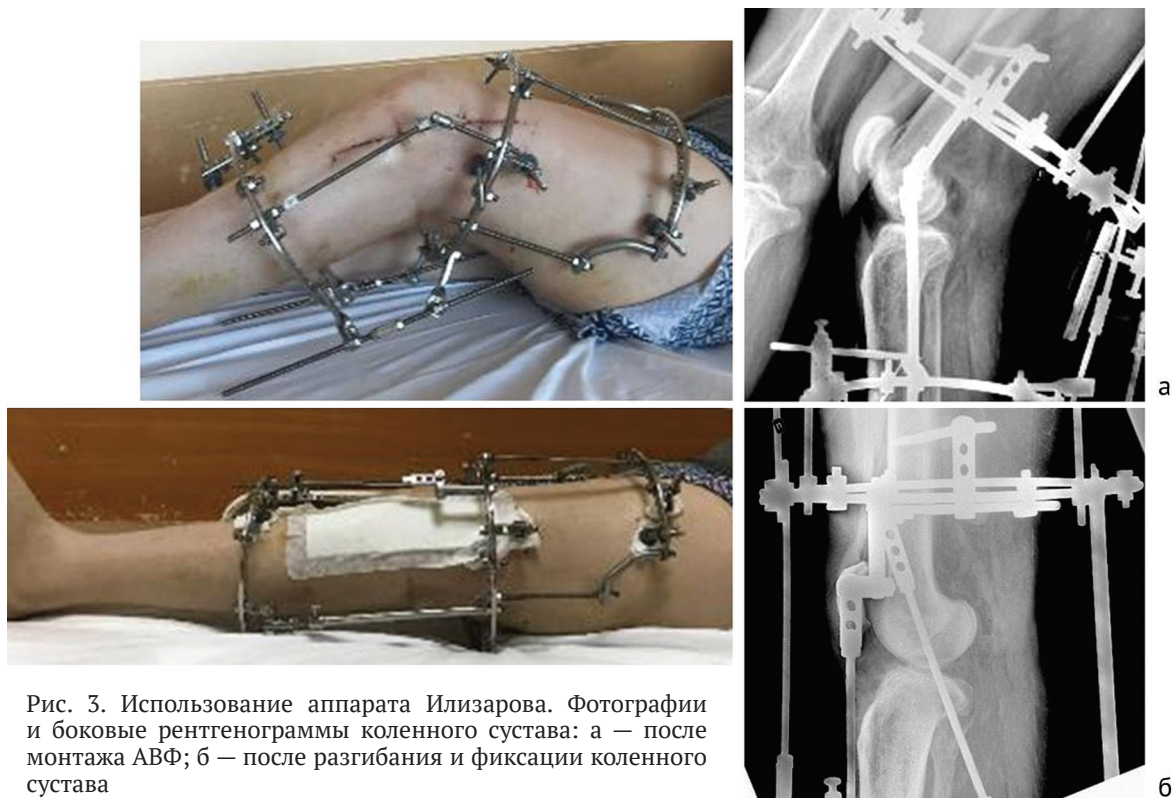


Рис. 3. Использование аппарата Илизарова. Фотографии и боковые рентгенограммы коленного сустава: а — после монтажа АВФ; б — после разгибания и фиксации коленного сустава

Некоторые отличия имелись у пациентов, включенных в подгруппы с наличием подвывиха голени кзади. У 12 (34 %) пациентов из подгруппы 1 после расчета разгибания дополнительно при помощи программной опции «многоэтапной коррекции» проводили расчет устранения подвывиха. У восьми (25 %) пациентов из подгруппы 2 задний подвывих голени устраняли после разгибания сустава путем перемещения мобильной опоры кпереди. Протокол послеоперационной реабилитации и ведения после демонтажа АВФ в целом не отличался от приведенного выше. Но, учитывая сопутствующий предоперационный подвывих, пациентам обеих подгрупп рекомендовали фиксировать коленный сустав в АВФ не на шесть, а на восемь недель.

Сравнение результатов

Для сравнения анализировали длительность различных этапов лечения (рис. 4), амплитуды движений и, в особенности, дефицит разгибания после демонтажа АВФ по критериям J. Herzenberg et. al. [21]. Согласно предложенным критериям отличным результатом считали дефицит разгибания < 5°, хорошим — 6–15°, удовлетворительным — 16–29°, неудовлетворительным — > 30°. Оценку осложнений проводимого лечения выполняли в соответствии с классификацией J. Caton [24]. Оценку функции коленного сустава и нижней конечности в целом проводили с использованием шкал-опросников Lysholm, KSS (англ.: Knee Society Score, шкала оценки состояния коленного сустава) и LEFS (англ.: Lower Extremity Functional Scale, функциональная шкала нижних конечностей) [25–27]. Перечисленные параметры оценивали до операции, на вторые сутки после демонтажа АВФ, через шесть и 12 месяцев с момента демонтажа АВФ. Проспективно наблюдаемым пациентам из основной группы (n = 14) параметры были дополнительно оценены на сроке три и девять месяцев после демонтажа АВФ.

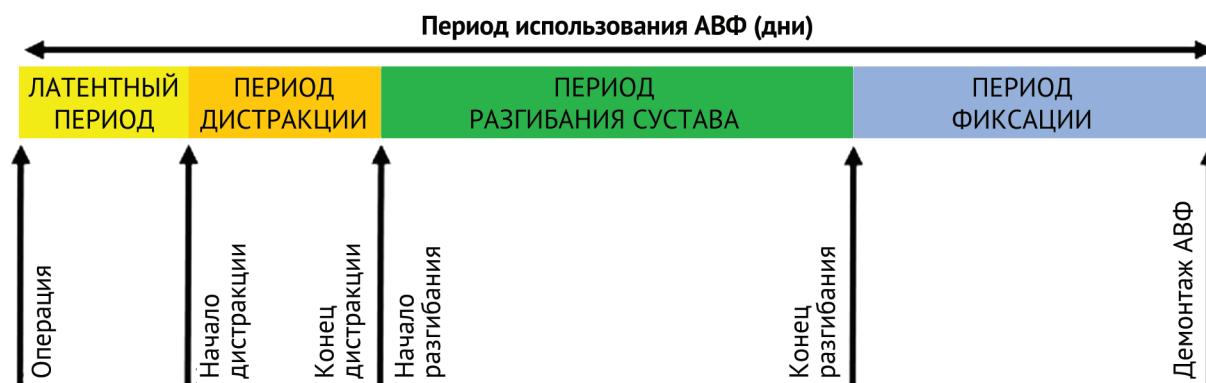


Рис. 4. Этапы лечения пациентов со сгибательными контрактурами коленного сустава

Статистический анализ

Запись полученных данных производили в электронных таблицах Microsoft Excel. Статистический анализ проводили с использованием компьютерных программ Statistica v.10 и jamovi 2.6.17. Нормальность распределения определяли с использованием критерия Шапиро – Уилка. Из-за неправильного распределения большинства анализируемых числовых переменных применяли непараметрические методы статистической обработки. Оценку количественных параметров в двух независимых группах проводили с использованием U-критерия Манна – Уитни. Учитывая применение непараметрических методов, количественные данные представляли в виде медиан (Med), нижних и верхних квартилей (Q1:Q3). Статистическую обработку и анализ номинальных данных проводили при помощи критерия Хи-квадрат (с поправкой Йетса для малых групп) и критерий Фишера. Для анализа зависимых выборок в одной и той же группе и изучения показателей в динамике после оперативного лечения применяли критерии Вилкоксона и Фридмана.

Пациенты подписали информированное согласие на проведение обследования, лечение, сбор, хранение и анализ данных медицинской документации в научных и образовательных целях, а также их публикацию.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С момента выполнения операции заднего релиза полное разгибание (с 35° до гиперэкстензии 5°) в коленном суставе в основной группе достигнуто в среднем за 22 [18;27] дня, а в группе сравнения (с 30° до гиперэкстензии 5°) — за 24,5 [21;31] дня (табл. 2, 3).

Таблица 2

Сравнительная характеристика этапов лечения

Этапы лечения	Длительность этапа, дни, Med [Q1; Q3]		
	Основная группа	Группа сравнения	Значение <i>p</i>
Латентный период	3,0 [2;4]	3,0 [2;5]	> 0,05
Период дистракции	3,0 [2;3]	3,0 [2;3]	> 0,05
Период разгибания	22,0 [18;27]	24,5 [21;31]	< 0,05
Период фиксации	46,0 [43;54]	45,0 [43;50]	> 0,05
Период использования АВФ	78,0 [68;86]	76,5 [71;89]	> 0,05

Таблица 3

Данные гониометрического исследования коленного сустава

Срок наблюдения	Гониометрические показатели, градусы, Med [Q1; Q3]			
	Основная группа		Группа сравнения	
	Максимальное сгибание	Дефицит разгибания	Максимальное сгибание	Дефицит разгибания
До операции	130 [130;135]	65 [55;70]	122 [120;135]	67 [55;72]
После релиза	130 [130;135]	35 [30;45]	122 [120;135]	30 [20;40]
На вторые сутки после демонтажа	30 [25;35]	0 [0;0]	33 [24;35]	0 [0;0]
По прошествии шести месяцев	80 [65;85]	0 [0;0]	79 [58;84]	0 [0;0]
По прошествии 12 месяцев	110 [97;120]	0 [0;0]	104 [95;108]	0 [0;0]

При сравнительном анализе значимо меньшая продолжительность периода разгибания отмечена в основной группе ($p < 0,05$). При сравнении средней продолжительности периода фиксации выявлены сопоставимые показатели ($p > 0,05$), — 46 дней в основной группе и 45 дней в группе сравнения (табл. 2). Общая длительность использования АВФ в обеих группах также не имела значимых различий ($p < 0,05$), — 78 дней в основной группе и 76,5 дней в группе сравнения (табл. 2).

При оценке амплитуды движений (максимального сгибания и разгибания) коленного сустава после демонтажа АВФ отмечены сопоставимые ($p < 0,05$) показатели снижения величины максимального сгибания в обеих группах: в среднем со 130° до 30° в основной группе и со 122° до 33° в группе сравнения, при этом достигнутое полное разгибание сохраняется (табл. 3).

При оценке средней величины сгибания в коленном суставе зарегистрировано сопоставимое ($p < 0,05$) увеличение с 30° до 80° в основной группе и с 33° до 79° в группе сравнения спустя шесть месяцев после демонтажа, увеличение с 80° до 110° в основной группе и с 79° до 104° в группе сравнения при оценке спустя 12 месяцев.

При оценке дефицита разгибания на сроке шесть месяцев с момента демонтажа АВФ в основной группе выявлен один случай дефицита разгибания величиной 7° , который увеличился при повторном наблюдении на сроке 12 месяцев с момента демонтажа АВФ. В группе сравнения на сроке шесть месяцев с момента демонтажа АВФ дефицит разгибания отмечен у трех пациентов, — по 7° у двух (6,25 %) и 5° у одного (3,1 %). По прошествии 12 месяцев у двух (6,25 %) пациентов дефицит разгибания также был равен 7° , а у третьего пациента увеличился на 3° (до 8°). При этом средний показатель дефицита разгибания, отмеченный спустя шесть и 12 месяцев с момента демонтажа АВФ, в обеих группах был равен 0° ($p < 0,05$). В соответствии с критериями оценки дефицита разгибания J. Herzenberg et. al. [23], спустя 12 месяцев с момента демонтажа АВФ в основной группе отличные результаты отмечены в 34 (97,14 %) случаях, хороший — в одном случае (2,86 %). В группе сравнения отличный результат зарегистрирован в 29 (82,85 %) случаях, хороший — в трех (9,37 %) случаях.

Данные оценки функции сустава и конечности в целом по специализированным шкалам KSS, Lysholm и LEFS представлены в таблице 4. В обеих группах данного исследования выявлено улучшение средних балльных значений по сравнению с дооперационными функциональными показателями по всем трем шкалам.

Таблица 4

Результаты функциональной оценки сустава по шкалам на разных этапах наблюдения

Срок наблюдения	Функциональная оценка сустава по шкалам, баллы, Med [Q1; Q3]					
	KSS		Lysholm		LEFS	
	Орто-СУВ	Аппарат Илизарова	Орто-СУВ	Аппарат Илизарова	Орто-СУВ	Аппарат Илизарова
До операции	43,0 [41;45]	43,0 [43;45]	57,0 [55;60]	55,0 [53;60]	15,0 [11;19]	16,0 [14;18]
	$p > 0,05$		$p > 0,05$		$p > 0,05$	
На вторые сутки после демонтажа	55,0 [53;55]	53,0 [51;55]	59,0 [55;61]	5,5 [51;59]	23,0 [22;25]	24,5 [23;26]
	$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p > 0,05$	
Спустя шесть месяцев	80,0 [75;81]	77,0 [69;81]	85,0 [83;85]	81,0 [71;83]	64,0 [60;67]	62,5 [59;66]
	$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p > 0,05$	
Спустя 12 месяцев	102,0 [94;103]	100,0 [92;101]	99,0 [93;100]	95,0 [88;99]	74,0 [72;76]	73,5 [70;76]
	$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p > 0,05$	

Спустя год после демонтажа АВФ все пациенты основной группы (100 %) имели отличные показатели функции сустава по шкале KSS. В группе сравнения отличные результаты функции сустава по шкале KSS зарегистрированы у 27 (77,14 %) пациентов, а хорошие — у пяти (15,6 %).

Спустя год после снятия АВФ у 32 (91,42 %) пациентов основной группы функция сустава по шкале Lysholm оценена как отличная, у трех (8,58 %) — как хорошая. В группе сравнения 23 (71,87 %) пациента достигли отличной функции сустава по шкале Lysholm, тогда как у остальных девяти (28,12 %) пациентов результаты оценены как хорошие.

Через 12 месяцев после демонтажа АВФ оценка по шкале LEFS показала незначительное ограничение функции нижней конечности у всех пациентов (100 %) в обеих исследуемых группах.

При сравнительном анализе данных шкалы KSS и Lysholm, зарегистрированных после демонтажа АВФ, спустя шесть и 12 месяцев, значимо лучшая функция коленного сустава отмечена в основной группе ($p < 0,05$). При оценке функции нижней конечности по шкале LEFS полученные средние балльные значения сопоставимы ($p < 0,05$) на всех сроках наблюдения.

Динамика изменения максимального сгибания, дефицита разгибания и средних балльных значений по функциональным шкалам у проспективных пациентов основной группы отражены в таблице 5. После демонтажа АВФ зафиксировано четырехкратное уменьшение максимального угла сгибания по сравнению с дооперационными измерениями. При этом от момента демонтажа АВФ отмечали постепенное улучшение, — угол сгибания коленного сустава увеличивался, достигая хороших показателей к девяти месяцам и отличных к 12-ти месяцам. Отличные функциональные результаты по шкале KSS фиксировали на девятый месяц после демонтажа АВФ, в то время как по шкале Lysholm — только на 12-ый месяц. Согласно шкале LEFS, через шесть месяцев после демонтажа АВФ у пациентов наблюдали лишь незначительное ограничение функции нижней конечности.

Таблица 5

Динамика изменения функциональных показателей
по данным гониометрического исследования и оценочных шкал

Срок наблюдения	Функциональные показатели гониометрического исследования и оценочных шкал, Med [Q1; Q3]				
	Максимальное сгибание, °	Дефицит разгибания, °	KSS, баллы	Lysholm, баллы	LEFS, баллы
До операции	130 [130;135]	62,5 [55;65]	41 [39;44]	58,5 [57;60]	15,5 [11;19]
После релиза	130 [130;135]	30 [25;35]	–	–	–
После демонтажа АВФ	30 [25;35]	0 [0;0]	55 [52;58]	59 [55;61]	25 [23;27]
По прошествии трех месяцев	55 [50;65]	0 [0;0]	65 [61;67]	74 [71;76]	49 [47;53]
По прошествии шести месяцев	85 [70;85]	0 [0;0]	81 [75;81]	85 [83;85]	66 [62;67]
По прошествии девяти месяцев	101 [85;110]	0 [0;0]	100,5 [87;103]	94 [90;99]	72 [71;74]
По прошествии 12 месяцев	115 [100;120]	0 [0;0]	103 [94;103]	99 [93;100]	74 [72;76]

При сравнительном анализе выявлено, что у пациентов с наличием предоперационного подвывиха голени кзади достоверно увеличивается длительность использования АВФ ($p < 0,05$) как за счет длительности разгибания, так и за счет фиксации (табл. 6). У пациентов с диагностированным до операции задним подвывихом голени отмечено статистически значимое ($p < 0,05$) ухудшение показателей величины максимального сгибания, а также функционального состояния по всем трем шкалам на сроке 12 месяцев с момента демонтажа АВФ по сравнению с теми пациентами, у которых вывих диагностирован не был (табл. 6).

Таблица 6

Сравнение результатов оценки различных показателей

Показатель	Оценка показателей, Med [Q1; Q3]			
	Основная группа		Группа сравнения	
	Без подвывиха (n = 23)	С подвывихом (n = 12)	Без подвывиха (n = 23)	С подвывихом (n = 8)
Период разгибания, дн.	19 [16;25]	25 [22;28]	22 [20;25]	32,5 [31;36]
Период фиксации, дн.	44 [42;43]	55 [53;55]	44 [42;46]	54,5 [54;55]
Период использования АВФ, дн.	44 [42;46]	86 [83;89]	92 [89;97]	74 [70;78]
Амплитуда движений (максимальное сгибание, °)				
После демонтажа	35 [32;37]	22 [20;25]	34 [30;35]	21 [20;22]
Через 6 мес.	85 [81;87]	61 [55;65]	80 [78;85]	56 [55;57]
Через 12 мес.	115 [110;120]	95 [93;100]	105 [90;95]	94 [100;112]
Амплитуда движений (дефицит разгибания, °)				
После демонтажа	0	0	0	0
Через 6 мес.	0	0	0	0 [0;5]
Через 12 мес.	0	0	0	0 [0;7]
Оценка по шкалам через 12 мес., баллы				
KSS	103 [102;103]	93 [92;94]	100 [94;102]	90 [90;92]
LYS	99 [99;100]	93 [92;95]	95 [94;99]	85 [85;87]
LEFS	75 [74;76]	71 [69;72]	74 [73;76]	69 [67;70]

Частота осложнений в основной группе составила 34,28 % (12 случаев), включая девять эпизодов (25,7 %) поверхностного воспаления мягких тканей вокруг чрескостных элементов (1 категория) без потери их стабильности. Воспалительный процесс купирован применением хлорамфениколовой

мази и пероральной антибактериальной терапией. В одном случае (2,85 %) у пациента диагностирован перелом в нижней трети бедра, из-за чего разгибание было временно приостановлено для выполнения перемонтажа АВФ и стабилизации перелома (2 категория). Нестабильность проксимальной опоры выявлена у одного (2,85 %) пациента, что потребовало проведения дополнительных чрескостных элементов для ее стабилизации (2 категория), после чего разгибание было продолжено. Инфицирование гематомы в области вмешательства зарегистрировано у одного (2,85 %) пациента, из-за чего также разгибание было временно приостановлено для выполнения ревизии, санации и дренирования инфекционного очага с последующим бактериологическим исследованием содержимого гематомы и подбором специфической антибиотикотерапии. После купирования гнойно-воспалительного процесса разгибание было продолжено (2 категория).

В сравнительной группе осложнения отмечены у 31,42 % пациентов (11 случаев): в 18,75 % (шесть случаев) зафиксировано воспаление мягких тканей вокруг чрескостных элементов (1 категория), купированное консервативно; в 15,63 % (пять случаев) отмечен незначительный задний подвывих голени при разгибании (2 категория), скорректированный перемещением мобильной опоры после завершения этапа разгибания. Статистически значимых различий в частоте осложнений между группами не выявлено ($p > 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ продолжительности различных этапов лечения в АВФ (табл. 3) выявил статистически значимое сокращение периода разгибания на 2,5 дня (9,8 %) в основной группе ($p < 0,05$). Данное различие, вероятно, обусловлено тем, что в основной группе коррекцию подвывиха ($n = 12$) проводили синхронно с разгибанием, в отличие от группы сравнения ($n = 8$), где коррекцию выполняли поэтапно, — сначала разгибание, затем устранение подвывиха путем изменения положения мобильной опоры по Илизарову. Данный факт также подтверждается тем, что при использовании ортопедического гексапода период разгибания у пациентов с подвывихом в среднем на семь дней меньше, чем у аналогичных пациентов в подгруппе сравнения (табл. 6).

Еще одним из возможных факторов может быть более быстрый темп разгибания вследствие менее выраженного болевого синдрома у пациентов, которым разгибание сустава выполняли при помощи ортопедического гексапода. К сожалению, точно подтвердить данный факт мы не можем, так как оценку по визуальной аналоговой шкале в данном исследовании мы не проводили. Но даже несмотря на то что период разгибания в основной группе был на 2,5 дня меньше, общая длительность применения АВФ в сравниваемых группах не имела статистически значимых отличий. Это свидетельствует об отсутствии весомых преимуществ использования одного типа аппарата перед другим по длительности лечения пациента.

После демонтажа АВФ было зарегистрировано снижение величины максимального сгибания на 76 % в основной и на 72 % в контрольной группе в сравнении с исходными значениями. Данный факт может быть обусловлен тем, что продолжительная фиксация, направленная на поддержание полного разгибания коленного сустава, способствует развитию иммобилизационной разгибательной контрактуры. Согласно данным И.Л. Крупко, ограничение движений до 10 недель классифицируется как фаза нестойкой контрактуры [28]. Это объясняет возможность успешного консервативного лечения, о чем свидетельствуют данные динамического наблюдения, демонстрирующие постепенное улучшение функции сустава в ходе реабилитационных мероприятий (табл. 2, 4, 5).

Анализ показателей максимального сгибания не выявил достоверных межгрупповых различий на всех этапах исследования. Однако у всех пациентов с сопутствующим предоперационным подвывихом голени отмечены более низкие показатели функции. Вероятно, причиной этому является более длительная фиксация коленного сустава у данных пациентов, что непосредственно отразилось на функции сустава.

Анализ дефицита разгибания не выявил достоверных различий между группами. Полученные данные свидетельствуют о сопоставимой эффективности разгибания сустава при использовании ортопедического гексапода и аппарата Илизарова. Тем не менее, у одного пациента основной группы (до 10°) и трех пациентов в группе сравнения (у двоих 7° и у одного 8°) зафиксированы случаи рецидива. У этих пациентов контрактура сопровождалась задним подвывихом голени. Из данных анамнеза известно, что ни один из этих трех пациентов с сопутствующим предоперационным подвывихом после демонтажа АВФ не соблюдал должным образом предписанный трехнедельный период гипсовой иммобилизации. Можно предположить, что именно пренебрежение иммобилизацией на раннем этапе после демонтажа АВФ способствовало возникновению феномена «рикошета». Однако точно определить причину затруднительно из-за ретроспективной оценки незначительного рецидива контрактуры у указанных пациентов на сроке спустя шесть месяцев с момента демонтажа АВФ.

Анализ показал достоверно более высокие средние баллы по шкалам KSS и Lysholm через шесть и 12 месяцев после демонтажа АВФ в основной группе. В шкалах-опросниках KSS и Lysholm одним из оценочных критериев является стабильность коленного сустава. Сравнительный анализ анкет шкалы KSS (заполненных пациентами и врачом) выявил, что снижение суммарных баллов в контрольной группе преимущественно связано именно с симптомами нестабильности коленного сустава. Пять пациентов в графе «наличие стабильности сустава» опросника Lysholm отметили, что испытывают затруднения при интенсивных физических нагрузках, связанные с нестабильностью сустава. Проанализировав истории болезни и данные лучевых методов исследования, мы пришли к выводу, что нестабильность была обусловлена перерастяжением капсульно-связочных структур из-за неточного позиционирования осевого шарнира относительно оси сгибания – разгибания. У этих пяти пациентов из группы сравнения мы наблюдали незначительный подвывих голени после завершения этапа разгибания. Несмотря на то что подвывих голени этим пациентам был устранен еще на этапе пребывания в стационаре, избежать симптомов нестабильности вследствие неправильного позиционирования осевых шарниров все же не удалось. При этом общая функция нижней конечности, оцененная по шкале LEFS, не продемонстрировала значимых межгрупповых различий на всех этапах наблюдений.

Данные систематического обзора, посвященного использованию АВФ при контрактурах коленного сустава, демонстрируют, что наиболее часто используемым аппаратом является аппарат Илизарова с одноосевым типом шарнира [18]. В подавляющем большинстве работ (семь из восьми) упоминается о применении АВФ именно при сгибательных контрактурах коленного сустава [18]. Также следует отметить, что не всем пациентам перед установкой АВФ выполняли процедуру мягкотканного релиза. Согласно исследованию J.E. Herzenberg et al., при исходной сгибательной контрактуре около 60° задний релиз был проведен лишь у восьми из 14 пациентов [21]. Авторы не представили детали техники выполнения релиза и величины разгибания, достигнутые после его выполнения. Средняя продолжительность фиксации АВФ составила 3,5 месяца (диапазон – 1,25–8,5 месяцев), что превышает показатели в наших группах и, возможно, связано с отсутствием релиза. Среди восьми пациентов, перенесших релиз, результаты распределились следующим образом: отличные (дефицит разгибания < 5°) – два случая, хорошие (6–15°) – два случая, удовлетворительные (16–29°) – два случая, неудовлетворительные (> 30°) – два случая. Средний остаточный дефицит разгибания (16°) превышал дефицит разгибания, отмеченный в обеих группах данного исследования. Среди осложнений, упомянутых авторами, встречаются случаи воспаления мягких тканей около чрескостных элементов (1 категория) без уточнения количества случаев.

В исследовании H. Balci et al. описаны результаты комбинированного лечения сгибательных контрактур коленного сустава с использованием аппарата Илизарова и заднего релиза (шесть из шести случаев) [14]. Техника релиза включала Z-образное удлинение сухожилий медиальной группы сгибателей, удлинение сухожилия двуглавой мышцы бедра (без уточнения методики), релиз головок икроножных мышц и суставной капсулы (без детализации). Авторы не указали величину достигнутого разгибания непосредственно после релиза. Средний срок наблюдения составил восемь лет (5,5–10), а продолжительность фиксации АВФ – 4,4 месяца (2,5–10), что превышает наши показатели. Исходный дефицит разгибания в среднем составлял 45° (30–75°), через восемь лет наблюдения – 10° (5–15°), что также выше, чем в нашем исследовании. Осложнения включали воспаление мягких тканей вокруг чрескостных элементов (1 категория) – один случай (16,6 %), послеоперационный подвывих голени (2 категория) – один случай (16,6 %). Сравнение частоты осложнений с нашими данными не проводилось ввиду малой выборки ($n = 6$) в указанном исследовании.

Среди анализируемых зарубежных публикаций только в исследовании E. Vulcano et al. описано применение ортопедического гексапода (Taylor Spatial Frame), однако авторы не предоставили ни фотодокументации использования конструкции, ни данных о работе с компьютерной программой [29]. Согласно данным исследования, задний релиз был выполнен у 19 из 21 пациента (90,5 %) до монтажа АВФ, однако технические детали процедуры не описаны. Период наблюдения в среднем составил 13 месяцев (10–18 месяцев). Исходный дефицит разгибания в среднем равнялся 44° (диапазон – 10–120°), при завершающем осмотре – 10° (0–50°), что превышает аналогичные показатели в обеих наших группах. Средний период применения АВФ достигал трех месяцев. Среди зарегистрированных осложнений авторы отметили воспаление в области проведения чрескостных элементов у 15 (71 %) пациентов (1 категория), перелом бедра у одного пациента (4,8 %) и полный рецидив контрактуры у двух (9,5 %) пациентов (40° у одного и 45° у второго) из-за отсутствия медикаментозного контроля спастичности. В обеих группах нашего исследования наблюдается существенно меньшая частота осложнений.

В исследовании J.P. Damsin et al., где задний релиз выполнили лишь у трех из 13 пациентов, и S. Huang, где релиз проводили у двух из 10 пациентов, мы рассматривали исключительно осложнения, возникшие в процессе разгибания в АВФ [30, 31]. Так, J.P. Damsin et al. зафиксировали: один случай (7,6 %) невропатии малоберцового нерва, три случая (23 %) импрессионного перелома, три случая (23 %) подвывиха голени. S. Huang отметил два случая (20 %) подвывиха голени, один случай (10 %) нестабильно-

сти коленного сустава. В нашем исследовании незначительный подвывих голени был у пяти пациентов (15,6 %) в группе с аппаратом Илизарова, что в процентном соотношении меньше, чем в работах J.P. Damsin и S. Huang. Однако из-за различий в численности групп мы полагаем, что сравнительный анализ частоты осложнений не может считаться полностью достоверным.

В исследовании J. Zhai et al. отсутствовали данные как о выполнении мягкотканного релиза, так и о возможных осложнениях при разгибании в АВФ, в связи с чем мы не осуществляли сравнения с данной работой [32].

По сравнению с результатами приведённых выше исследований, в обеих наших группах общая продолжительность использования АВФ оказалась значительно (в 1,4 раза, в среднем на 28 дней) меньше. При анализе функциональных исходов зарубежные авторы также отмечают более низкие показатели. Данное отличие можно связать с применением в нашем исследовании более эффективной методики заднего релиза. В ходе мягкотканного этапа мы достигали максимально возможного разгибания коленного сустава, ограниченного лишь натяжением сосудисто-нервного пучка. Таким образом, в основной группе после проведения мягкотканного этапа среднее достигнутое разгибание коленного сустава составило 45 % (41–50 %) от исходного значения, тогда как в группе сравнения после выполнения заднего релиза данный показатель равнялся 53 % (38–60 %). Что касается осложнений, наблюдавшихся у пациентов обеих подгрупп нашего исследования, их частота в целом не превышает показатели, описанные в литературных источниках, а в сравнении с отдельными авторами даже оказывается существенно ниже.

В своей работе мы придерживались классификации осложнений J. Caton, где основополагающей целью является оценка влияния возникшего осложнения на конечный результат [24]. Используя данную классификацию нам было важно указать не тяжесть возникшего осложнения, а его категорию, чтобы определить, повлияло ли осложнение на конечный результат. И по влиянию на конечный результат значимых различий в данном исследовании мы не обнаружили.

Исходя из полученных результатов исследования, безусловно, оба типа аппарата являются эффективным дополнением к операции заднего релиза при лечении стойких сгибательных контрактур коленного сустава. При разгибательных контрактурах коленного сустава доказано, что использование ортопедического гексапода позволяет достичь более высоких функциональных показателей при меньшей длительности использования АВФ [20]. В случае сгибательных контрактур при соблюдении правильной техники операции и правильном позиционировании шарнира на оси сгибания-разгибания, применение ортопедического гексапода не имеет явных преимуществ перед аппаратом Илизарова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнении амплитуды движений коленного сустава в обеих группах на всех сроках наблюдения отмечены сопоставимые показатели. Функция коленного сустава, оцененная по специализированным шкалам, была лучше в основной группе, при этом результаты общей функции нижней конечности в обеих группах не отличались на всех сроках наблюдения. Использование ортопедического гексапода позволяет более быстро достичь разгибания сустава, однако сравнительный анализ общего периода использования АВФ (от момента монтажа до демонтажа) доказал отсутствие преимуществ одного типа аппарата над другим. Полученные результаты позволяют заключить, что применение обоих типов АВФ эффективно при лечении пациентов со сгибательными контрактурами коленного сустава. При сгибательных контрактурах коленного сустава, сопряженных с подвывихом голени, более предпочтительным является использование ортопедического гексапода из-за возможности обеспечения одновременного разгибания и устранения подвывиха голени и, как следствие, меньшей длительности периода разгибания.

Конфликт интересов. Л.Н. Соломин — директор ООО «Орто-СУВ», в котором был разработан ортопедический гексапод «Орто-СУВ».

Источник финансирования. Исследование выполнено без спонсорской поддержки.

Информированное согласие получено авторами на проведение обследования, лечение, сбор, хранение и анализ данных медицинской документации с использованием в научных и образовательных целях, а также их публикацию. Авторы подтверждают отсутствие в статье данных, не подлежащих публикации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Richards C, Higginson JS. Knee contact force in subjects with symmetrical OA grades: differences between OA severities. *J Biomech.* 2010;43(13):2595–2600. doi: 10.1016/j.jbiomech.2010.05.006.
2. Attias M, Chevalley O, Bonnefoy-Mazure A, et al. Effects of contracture on gait kinematics: A systematic review. *Clin Biomech (Bristol)*. 2016;33:103–110. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2016.02.017.
3. Sendroy-Terrill M, Whiteneck GG, Brooks CA. Aging with traumatic brain injury: cross-sectional follow-up of people receiving inpatient rehabilitation over more than 3 decades. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91(3):489–497. doi: 10.1016/j.apmr.2009.11.011.
4. Wissel J, Verrier M, Simpson DM, et al. Post-stroke spasticity: predictors of early development and considerations for therapeutic intervention. *PM R.* 2015;7(1):60–67. doi: 10.1016/j.pmrj.2014.08.946.

5. Огородова И.И., Загороднева В.И., Огородов И.А./, Белая Н.Н. Морфологические изменения мышечного аппарата детей, страдающих спастическими формами ДЦП, при различных подходах к лечению. *Детская и подростковая реабилитация*. 2014;(1):24-30.
6. Зиновьева ОЕ, Головачева ВА. Вопросы патогенеза и лечения постинсультной спастичности. *Медицинский совет*. 2016;(8):63-67. doi: 10.21518/2079-701X-2016-8-63-67.
7. Vahedi H, Khlopas A, Szymczuk VL, et al. Treatment with posterior capsular release, botulinum toxin injection, hamstring tenotomy, and peroneal nerve decompression improves flexion contracture after total knee arthroplasty: minimum 2-year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28(8):2706-2714. doi: 10.1007/s00167-020-05939-0.
8. Chung CY, Kwon SS, Park MS, et al. Surgical outcomes after single event multilevel surgery in cerebral palsy patients with mid-stance knee hyperextension. *Gait Posture*. 2020;77:1-5. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.01.005.
9. Bozinovski Z, Popovski N. Operative treatment of the knee contractures in cerebral palsy patients. *Med Arch*. 2014;68(3):182-183. doi: 10.5455/medarch.2014.68.182-183.
10. Jones S, Al Hussaini HA, Ali F, et al. Davies AG. Distal hamstring lengthening in cerebral palsy: the influence of the proximal aponeurotic band of the semimembranosus. *J Pediatr Orthop B*. 2006;15(2):104-108. doi: 10.1097/01.bpb.0000179272.61726.a0.
11. Sung KH, Lee J, Chung CY, et al. Factors influencing outcomes after medial hamstring lengthening with semitendinosus transfer in patients with cerebral palsy. *J Neuroeng Rehabil*. 2017;14(1):83. doi: 10.1186/s12984-017-0296-0.
12. Karol LA, Chambers C, Popejoy D, Birch JG. Nerve palsy after hamstring lengthening in patients with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(7):773-776. doi: 10.1097/BPO.0b013e318186b8db.
13. 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.
14. Balci HI, Kocaoglu M, Eralp L, Bilen FE. Knee flexion contracture in haemophilia: treatment with circular external fixator. *Haemophilia*. 2014;20(6):879-883. doi: 10.1111/hae.12478.
15. Yadhav S, Grover R, Kaur P, et al. Soft-tissue origin joint contractures treated with the Ilizarov fixation method. *Genij Ortopedii*. 2024;30(2):255-262. doi:10.18019/1028-4427-2024-30-2-255-262.
16. Sommers MB, Fitzpatrick DC, Kahn KM, et al. 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.
17. Рохоев С.А., Соломин Л.Н., Старчик Д.А. Разработка шаблона мгновенных центров вращения коленного сустава (экспериментальное исследование). *Гений ортопедии*. 2022;28(4):554-558. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-4-554-558.
18. 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. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-185-197.
19. Рохоев С.А., Чугаев Д.В., Соломин Л.Н. Сравнительная оценка результатов использования аппарата Илизарова и ортопедического гексапода Орто-СУВ при лечении разгибательных контрактур коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(2):7-19. doi: 10.17816/2311-2905-1756.
20. Соломин Л.Н., Щепкина Е.А., Виленский В.А. и др. Коррекция деформаций бедренной кости по Илизарову и основанным на компьютерной навигации аппаратом «Орто-СУВ». *Травматология и ортопедия России*. 2011;17(3):32-39. doi: 10.21823/2311-2905-2011-0-3-32-39.
21. Herzenberg JE, Davis JR, Paley D, Bhav A. Mechanical distraction for treatment of severe knee flexion contractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1994;(301):80-88.
22. Волков М.В., Оганесян О.В. *Восстановление формы и функции суставов и костей (аппаратами авторов)*. Москва: Медицина; 1986:256.
23. Hollister AM, Jatana S, Singh AK, et al. The axes of rotation of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;290:259-268.
24. Caton J. Treatment of leg length discrepancies and short stature in children and adolescents. *Rev Chir Orthop*. 1991;77 (Suppl. I):31-80. (In Franc.)
25. Kettelkamp DB, Chao EY. A method for quantitative analysis of medial and lateral compression forces at the knee during standing. *Clin Orthop Relat Res*. 1972;83:202-213. doi: 10.1097/00003086-197203000-00037.
26. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res*. 1985;(198):43-49.
27. Dingemans SA, Kleipool SC, Mulders MAM, et al. Normative data for the lower extremity functional scale (LEFS). *Acta Orthop*. 2017;88(4):422-426. doi: 10.1080/17453674.2017.1309886.
28. Круглик И.Л. *Руководство по травматологии и ортопедии*. Кн. 2. Ортопедия. Ленинград: Медицина; 1975:270.
29. Vulcano E, Markowitz JS, Fragomen AT, Rozbruch SR. Gradual correction of knee flexion contracture using external fixation. *J Limb Lengthen Reconstr*. 2016;2(2):102-107. doi: 10.4103/2455-3719.190712.
30. Damsin JP, 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.
31. Huang SC. 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.
32. Zhai J, Weng X, Zhang B, et al. 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.

Статья поступила 16.09.2025; одобрена после рецензирования 23.12.2025; принята к публикации 09.02.2026.

The article was submitted 16.09.2025; approved after reviewing 23.12.2025; accepted for publication 09.02.2026.

Информация об авторах:

Леонид Николаевич Соломин — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник, solomin.leonid@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>;

Сайгидула Абдурахманович Рохоев — врач — травматолог-ортопед, 09saga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4369-9619>.

Information about the authors:

Leonid N. Solomin — Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher, solomin.leonid@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>;

Saigidula A. Rokhoviev — orthopaedic surgeon, 09saga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4369-9619>.

Вклад авторов:

Соломин Л.Н. — вклад в разработку концепции и дизайна исследования, работа над окончательным вариантом рукописи.

Рохоев С.А. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание рукописи.