



Научная статья  
УДК 616.728.3-009.12-089.84  
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1756>

## Сравнительная оценка результатов использования аппарата Илизарова и ортопедического гексапода Орто-СУВ при лечении разгибательных контрактур коленного сустава

С.А. Рохоев, Д.В. Чугаев, Л.Н. Соломин

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

**Актуальность.** При невозможности одномоментно устранить контрактуру коленного сустава путем мягкотканного релиза дополнительно используются аппараты внешней фиксации (АВФ), наиболее часто — аппарат Илизарова с одноосевым шарниром. Также могут применяться ортопедические гексаподы, которые, в отличие от аппарата Илизарова, способны воспроизвести кинематику движений в коленном суставе.

**Цель исследования** — оценить эффективность применения ортопедического гексапода для лечения пациентов с разгибательными контрактурами коленного сустава в сравнении с использованием аппарата Илизарова.

**Материал и методы.** Проанализировано 64 случая комбинированного лечения разгибательных контрактур коленного сустава, сформировавшихся вследствие внесуставных переломов бедренной кости. Пациенты были разделены на две группы. В первой группе при лечении 31 пациента в дополнение к мягкотканному релизу применяли ортопедический гексапод Орто-СУВ. Во второй группе при лечении 33 пациентов использовали аппарат Илизарова с одноосевым шарниром. При сравнительном анализе между группами оценивали количество циклов сгибания-разгибания; время, необходимое на их выполнение; общее время восстановления движений в АВФ. Функциональные результаты оценивали по амплитуде движений в коленном суставе и специализированным шкалам-опросникам KSS, Lysholm, LEFS по прошествии 2 дней, а также через 6 и 12 мес. с момента демонтажа АВФ.

**Результаты.** При сравнении общей длительности использования АВФ, а также времени, необходимого для разработки движений, значимой разницы не выявлено ( $p>0,05$ ). При использовании ортопедического гексапода потребовалось выполнение меньшего количества циклов сгибания-разгибания по сравнению с применением аппарата Илизарова. При оценке амплитуды движений через 12 мес. в первой группе отличные результаты получены в 27 случаях и хорошие — в 4 случаях. Во второй группе во всех 33 случаях была отмечена хорошая амплитуда движений. В среднем амплитуда движений в первой группе была на  $20^\circ$  выше, чем во второй группе. Оценка функции коленного сустава через 12 мес. по шкале KSS в первой группе была выше на 16 баллов, по шкале Lysholm — на 5 баллов, по шкале LEFS — на 15 баллов, чем во второй группе. При анализе частоты осложнений значимые различия не были выявлены ( $p>0,05$ ).

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования ортопедического гексапода при лечении пациентов с разгибательными контрактурами коленного сустава.

**Ключевые слова:** коленный сустав, контрактура, артролиз, тенолиз, миолиз, квадрицепспластика, аппараты внешней фиксации, аппарат Илизарова, ортопедический гексапод.

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*. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1756>.

Рохоев Сайгидула Абдурахманович; e-mail: 09saga@mail.ru

Рукопись получена: 12.03.2022. Рукопись одобрена: 07.04.2022. Статья опубликована онлайн: 27.04.2022.

© Рохоев С.А., Чугаев Д.В., Соломин Л.Н., 2022

## Treatment of Extension Knee Contractures with Ilizarov Apparatus Versus Orthopedic Hexapod Ortho-SUV Frame

Saigidula A. Rokhoyev, Dmitrii V. Chugaev, Leonid N. Solomin

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

**Background.** In case if it is impossible to eliminate the knee contracture by soft tissue release, external fixation is additionally used. Most often, the Ilizarov apparatus with a uniaxial hinge is used for this purpose. Orthopedic hexapods, unlike the Ilizarov frame, are able to reproduce the kinematics of movements in the knee joint.

**Aim of the study** — to evaluate the effectiveness of orthopedic hexapod for the treatment of patients with knee extension contractures in comparison with the Ilizarov apparatus.

**Methods.** We analyzed 64 cases of combined treatment of extension knee contractures, which were divided into two groups. In the 1<sup>st</sup> group (31 patients) in addition to the soft tissue release, the orthopedic hexapod Ortho-SUV Frame (OSF) was used. In the 2<sup>nd</sup> group (33 patients) the Ilizarov apparatus with an uniaxial hinge was used. In a comparative analysis between groups, the number of flexion-extension cycles, the time required to complete them, and the time needed for complete knee range of motion (ROM) restoration were evaluated. Functional results were assessed using specialized scales-questionnaires KSS, Lysholm, LEFS in 2 days, 6 and 12 mon. after frame dismantling.

**Results.** Comparing the total external fixation period, as well as the time needed for ROM restoration, no significant difference between groups was found ( $p>0.05$ ). When using the orthopedic hexapod, in comparison with the Ilizarov apparatus, fewer flexion-extension cycles were required. When assessing the amplitude of movements in 12 mon. in the first group, excellent results were found in 27 patients and good results in 4. In the second group, in all 33 patients good ROM was evaluated. On average, the ROM in the 1<sup>st</sup> group was 20° more than in the 2<sup>nd</sup> group. The knee function in 12 mon. was 16 points higher on the KSS in the 1<sup>st</sup> group, 5 points higher on the Lysholm scale, and 15 points higher on the LEFS scale than in the 2<sup>nd</sup> group. When analyzing the frequency of complications, no significant differences were found ( $p>0.05$ ).

**Conclusions.** The results obtained indicate the effectiveness of the orthopedic hexapod in the treatment of patients with knee extension contractures.

**Keywords:** knee joint stiffness, knee joint contracture, quadricepsplasty, external fixation, Ilizarov apparatus, orthopedic hexapod.

**Cite as:** Rokhoyev S.A., Chugaev D.V., Solomin L.N. [Treatment of Extension Knee Contractures with Ilizarov Apparatus Versus Orthopedic Hexapod Ortho-SUV Frame]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1756>.

✉ Saigidula A. Rokhoyev; e-mail: 09saga@mail.ru

Submitted: 12.03.2022. Accepted: 07.04.2022. Published Online: 27.04.2022.

© Rokhoyev S.A., Chugaev D.V., Solomin L.N., 2022

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Формирование разгибательной контрактуры коленного сустава после перелома бедренной кости отмечается в 20–38% случаев [1, 2, 3, 4]. Возникшее ограничение сгибания в коленном суставе в значительной степени ухудшает качество жизни пациентов [5, 6, 7]. Наиболее часто для устранения разгибательных контрактур используется квадрицепс-пластика — мягкотканное вмешательство, направленное на устранение рубцов и спаек с восстановлением скользящих свойств четырехглавой мышцы (ЧГМ) [8, 9, 10, 11]. Однако при длительно существующих контрактурах возникают стойкие вторичные изменения в мягких тканях, их сокращение и частичное рубцовое перерождение [12, 13]. В подобных случаях попытки одномоментного устранения контрактуры с целью достижения необходимой амплитуды движений опасны повреждением сухожилия ЧГМ, отрывным переломом надколенника или бугристости большеберцовой кости [14, 15, 16, 17]. Во избежание данных осложнений мягкотканый этап операции дополняют применением аппарата внешней фиксации (АВФ), наиболее часто — аппарата Илизарова [18, 19, 20, 21]. Известно, что одноосевой шарнирный механизм не позволяет воспроизвести кинематику движений в коленном суставе [22, 23, 24]. Однако это возможно при использовании ортопедических гексаподов [25, 26, 27, 28].

Исходя из этого, *целью исследования* было оценить эффективность применения ортопедиче-

ского гексапода для лечения пациентов с разгибательными контрактурами коленного сустава в сравнении с аппаратом Илизарова.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Выполнено ретро- и проспективное когортное нерандомизированное исследование.

### Пациенты

Все пациенты, включенные в исследование, проходили лечение в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» в период с 2003 по 2021 г. Проанализировано 64 случая комбинированного (мягкотканый релиз и АВФ) лечения разгибательных контрактур коленного сустава, сформировавшихся в результате внесуставных переломов бедренной кости.

Первую (основную) группу составил 31 пациент, у которых после мягкотканного этапа операции для лечения контрактуры был использован ортопедический гексапод Орто-СУВ [29]. Из них 19 пациентов проанализированы ретроспективно и 12 — проспективно. Во вторую группу (группа сравнения) вошли 33 пациента, у которых после мягкотканного релиза применялся аппарат Илизарова с одноосевой шарнирной системой. Обе группы были сопоставимы по полу, возрасту, локализации перелома и методу его лечения, давности существования контрактуры, а также дооперационной амплитуде движений ( $p > 0,05$ ) (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика пациентов в обеих группах (Me [Q25; Q75])

Показатель	Первая группа (Орто-СУВ)	Вторая группа (аппарат Илизарова)
Количество пациентов, <i>n</i>	31	33
Возраст, лет	33 [18; 55]	35 [19; 57]
Пол м/ж	21 (67,8%) / 10 (32,2%)	20 (60,6%) / 13 (39,9%)
Классификация переломов по АО/ОТА:		
32-	10 (32,3%)	14 (42,4%)
33-A2 и A3	21 (67,7%)	19 (57,6%)
Метод лечения перелома	Консервативное лечение	14 (42,4%)
	МОС пластиной	9 (29,0%)
	АВФ	4 (12,9%)
	БИОС	2 (6,5%)
	ПО	4 (12,9%)
Длительность существования контрактуры		
2 года	12 (38,7%)	15 (45,4%)
3 года	15 (48,3%)	15 (45,4%)
4 года	4 (12,9%)	3 (9,1%)
Амплитуда движений до операции, град.	20 [15; 35]	30 [20; 35]

МОС — металлостеосинтез; БИОС — блокируемый интрамедуллярный остеосинтез; ПО — последовательный остеосинтез.

К сожалению, детализировать типы и тем более группы диафизарных и подгруппы внесуставных переломов, последствия которых привели к возникновению контрактуры, не представлялось возможным.

### Хирургическая техника

В обеих группах первым этапом выполняли квадрицепспластику по типу Томпсона, модифицированную S.V. Hanh с соавторами [30]. Через линейный разрез по передне-латеральной поверхности осуществляли доступ к головкам, сухожилию ЧГМ и надколеннику (рис. 1а). Освобождали от спаек полость сустава и связку надколенника от фиброзно-измененной клетчатки Гоффа, после чего мобилизовали прямую мышцу бедра на всем протяжении до верхней трети бедра. Промежуточная мышца, как правило, представляла собой гипотрофический рубцово-перерожденный тяж, который всегда иссекали. И только если после мягкотканного этапа операции необходимая амплитуда не была достигнута (рис. 1б), т.е. основной причиной контрактуры была ретракция ЧГМ, приступали к наложению АВФ на коленный сустав.

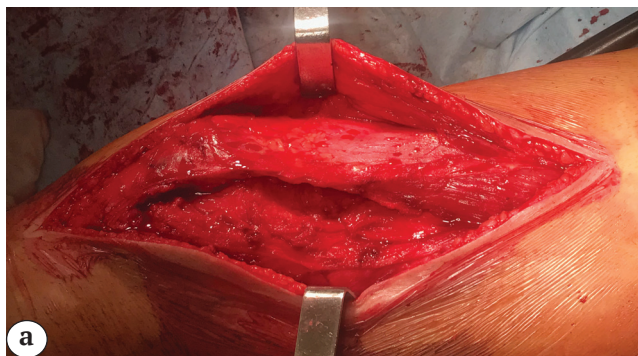
В обеих группах при наложении АВФ использовали две опоры на бедре (сектор и кольцо) и одну кольцевую опору на голени. Чрескостные элементы, спицы и стержни-шурупы вводили в проекции т.н. «Рекомендуемых позиций — РП» [31].

Была использована компоновка гексапода Орто-СУВ, специально разработанная для лечения контрактур коленного сустава [32]. Ее особенностями являлось то, что базовая опора была установлена в сагиттальной плоскости под углом  $60^\circ$  к анатомической оси бедренной кости, а мобильная — под углом  $120^\circ$  к анатомической оси большеберцовой кости. Для фиксации страты №1 использовали дополнительный выносной сектор (рис. 2а).

На следующие сутки после операции выполняли рентгенографию коленного сустава в двух

проекциях. В программе графического редактора Adobe Photoshop 2020 (Adobe Systems, Inc.) на боковую рентгенограмму накладывали специально разработанный шаблон с отмеченными мгновенными центрами вращения коленного сустава и углами ротации (рис. 2б). При расчете в компьютерной программе SUV-Software v.7.2 задавали дистракцию 5–7 мм и с использованием программной опции «многоэтапная коррекция» проводили расчет сгибания до угла  $120^\circ$  с интервалами по  $10^\circ$  (рис. 2с). Также при расчете добавляли внутреннюю ротацию большеберцовой кости при углах сгибания 10, 30, 60, 90 и  $120^\circ$ . Был выбран темп сгибания  $2,5^\circ$  в сутки за 4 приема, вследствие чего программа рассчитывала изменение длины страт для выполнения  $10^\circ$  сгибания за 4 дня.

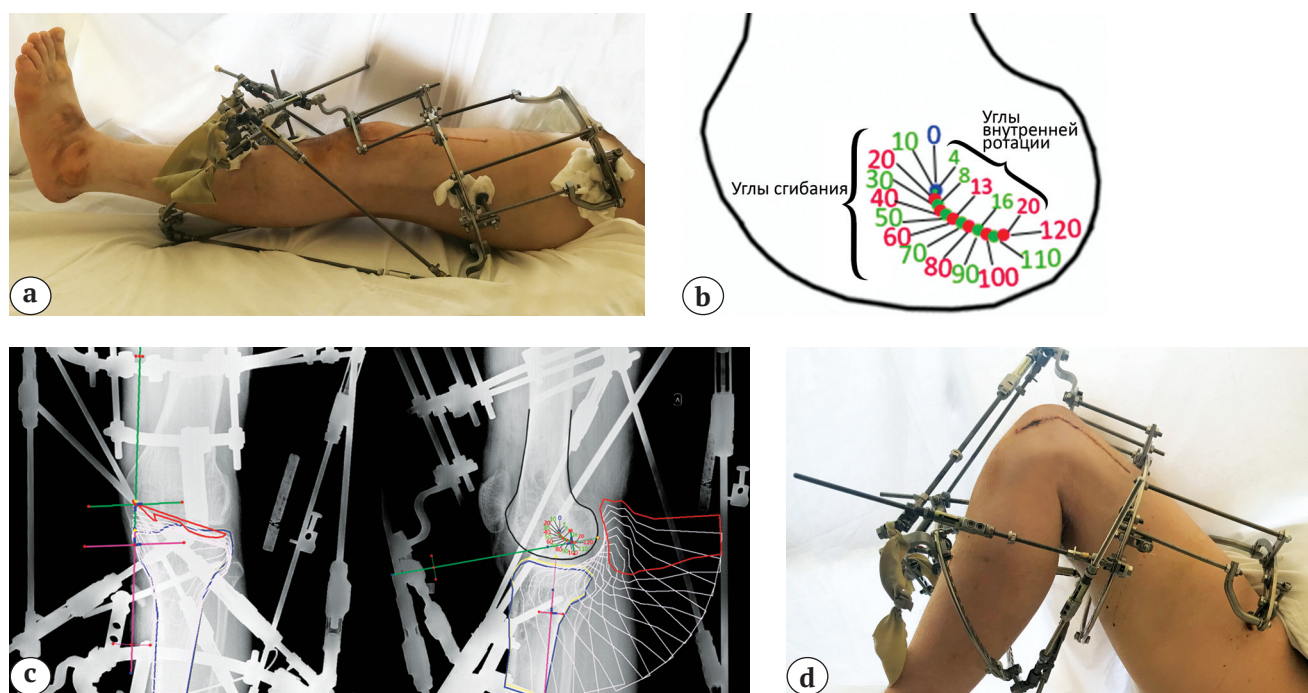
Дистракцию начинали с 3–7 сут., после чего следовал период пассивно-активной разработки движений. Пассивно-активная разработка движений включала выполнение циклов пассивного сгибания-разгибания голени с использованием ортопедического гексапода. При этом активные упражнения начинали после выполнения первого полного цикла пассивных сгибания-разгибания при помощи ортопедического гексапода. Для разработки активных движений страты № 2, 4 и 6 временно открепляли от мобильной опоры. Вновь закрепив страты пациентам, в качестве упражнений рекомендовали касаться пальцами руки кончиков пальцев ноги и поднимать вес нижней конечности в начале с помощью троса, а в последующем — без него. Активные упражнения для сгибателей голени выполнялись ежедневно в течение 30–40 мин. с интервалом 5–6 ч. Циклы повторяли до тех пор, пока амплитуда активных движений в коленном суставе не достигнет угла  $90^\circ$ . Начальный темп сгибания в зависимости от болевого синдрома мог быть ускорен или замедлен. Как правило, темп сгибания-разгибания для каждого последующего цикла был больше предыдущего.



**Рис. 1.** Мягкотканый этап операции:

а — внешний вид после релиза; б — во время операции достигнут угол сгибания  $65^\circ$

**Fig. 1.** Soft tissue procedure: а — after soft tissue release; б — maximal flexion  $65^\circ$



**Рис. 2.** Применение ортопедического гексапода Орто-СУВ:

a — вид нижней конечности до начала разработки движений;

b — специально разработанный шаблон с отмеченными мгновенными центрами вращения и величинами ротации;

c — расчет движений в компьютерной программе;

d — конечность при максимально достигнутом сгибании

**Fig. 2.** Usage of Ortho-SUV Frame (OSF) hexapod:

a — after frame applying; b — the template, in which accordance the movements in the knee joint were modelled;

c — OSF software window; d — maximal flexion achieved

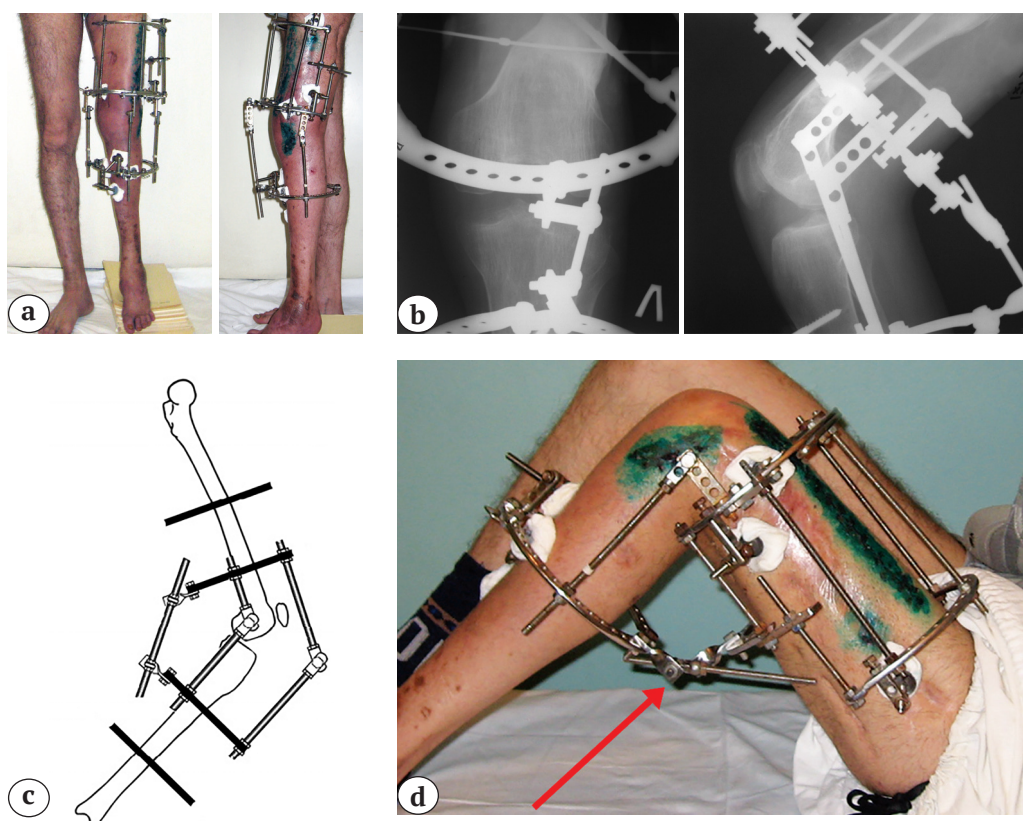
Для предотвращения феномена рикошета (снижения амплитуды движений вследствие ретракции мягких тканей) в послеоперационном периоде, по достижению активной амплитуды движений 70–80°, посуточно чередовали фиксацию коленного сустава на ночь в положении максимально возможного сгибания и разгибания. Демонтаж АВФ выполняли после того, как пациент самостоятельно мог согнуть коленный сустав до угла сгибания 90°.

Во второй группе (аппарат Илизарова) компоненты включали базовую опору, установленную в проекции нижней трети бедра, и мобильную опору, установленную в проекции верхней трети голени. Во фронтальной плоскости опоры ориентировали перпендикулярно общей механической оси. В сагиттальной плоскости базовую и мобиль-

ную опоры ориентировали перпендикулярно анатомическим осям бедренной и большеберцовой костей. Осевые шарниры устанавливали под ЭОП-контролем в проекции оси сгибания-разгибания коленного сустава [33]. Пассивные движения осуществляли при помощи поворотных шарниров (рис. 3).

Послеоперационное ведение не отличалось от использованного в первой группе. Для выполнения активных упражнений осевые шарниры разъединяли.

После демонтажа АВФ пациенты обеих групп продолжали комплексное реабилитационное лечение, которое включало проведение лечебной физкультуры, низкочастотной магнитотерапии, массажа и механотерапии.



**Рис. 3.** Использование аппарата Илизарова:  
 а — внешний вид после наложения аппарата; б — рентгенограммы коленного сустава в процессе лечения;  
 с — схема установки осевых и поворотных шарниров; д — разработка движений, дальнейшему сгибанию  
 препятствует столкновение колец и поворотных шарниров

**Fig. 3.** Usage of Ilizarov apparatus;  
 а — after frame applying; б — X-ray during treatment; с — axial and swivel hinges; д — ring-to-ring collision

### Сравнение результатов

При сравнительном анализе между группами оценивали длительность периода разработки движений (ПРД) в АВФ, количество циклов сгибания-разгибания и время, потраченное на их выполнение (продолжительность цикла), а также амплитуду движений в суставе. Конечные результаты амплитуды движений оценивали как отличные при  $110^\circ$  и более, хорошие — при  $90-109^\circ$ , удовлетворительные — при  $60-89^\circ$  и неудовлетворительные — при  $60^\circ$  и менее. Для оценки связи осложнений с результатами лечения использовали классификацию J. Caton (1991) [34]. Для оценки функции коленного сустава и нижней конечности в целом использовались шкалы-опросники KSS [35], Lysholm и LEFS. Оценку проводили на следующих этапах: до операции, на 2-е сутки после демонтажа АВФ, через 6 и 12 мес. с момента демонтажа АВФ. У 12 проспективных пациентов из основной группы дополнительно оценка была проведена на сроке 3 и 9 мес. после демонтажа АВФ.

### Статистический анализ

Регистрацию полученных данных осуществляли в электронных таблицах Microsoft Excel. Статистический анализ данных проводили с использованием программы Statistica v.10. Анализ нормальности распределения проводили с использованием критерия Шапиро–Уилка. Распределение большинства изучаемых числовых переменных отличалось от нормального, поэтому использовали непараметрические методы статистического анализа. Для оценки количественных параметров в двух независимых группах применяли U-критерий Манна–Уитни. Как принято при использовании непараметрических методов, количественные данные представляли в виде медианы, нижних и верхних квартилей. Для вычисления связи между количественными параметрами использовали коэффициент корреляции Спирмена. Сопоставление частотных характеристик номинальных данных выполняли при помощи критерия  $\chi^2$  (с поправкой Йетса для малых когорт)

и критерий Фишера. Оценка зависимых выборок в одной и той же группе и изучение показателей в динамике после оперативного лечения выполняли с использованием критериев Вилкоксона и Фридмана.

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

При сравнении периода разработки движений и периода использования АВФ в обеих группах не было выявлено статистически значимого различия ( $p>0,05$ ) (табл. 2).

В первой группе, где применялся ортопедический гексапод Орто-СУВ, угол активного сгибания 90° был достигнут в 5 (16,2%) случаях за 4 цикла, в 24 (77,4%) случаях за 5 циклов и в 2 (6,4%) случаях за 6 циклов. Во второй группе в 12 (36,4%) случаях для достижения активного угла сгибания 90° потребовалось выполнение 6 циклов и в 21 (63,6%) случае 7 циклов сгибания-разгибания (табл. 3). При сравнении продолжительности циклов выявлено статистически значимое различие при первом, втором и третьем циклах ( $p\leq 0,05$ ). Как видно из таблицы 3, на первые три цикла во второй группе было потрачено меньше времени, чем в первой группе. По окончании 4-го цикла средняя продолжительность в обеих группах сравнялась ( $p>0,05$ ), при этом средняя активная амплитуда движений в первой груп-

пе оставалась статистически значимо большей ( $p<0,05$ ), чем во второй группе. По окончании 5-го цикла средний показатель потраченного времени в первой группе был меньше ( $p<0,05$ ), а средняя активная амплитуда движений также была статистически значимо больше, чем во второй группе ( $p<0,05$ ).

Максимальное значение достигнутого угла сгибания при использовании ортопедического гексапода на каждом цикле составило в среднем 115° (110;115), что на 25° больше, чем в группе сравнения, где максимальный угол сгибания в среднем был равен 90° (90;90) ( $p<0,05$ ). При сравнении амплитуда движений на 2-е сутки, а также через 12 мес. с момента демонтажа АВФ была статистически значимо меньше в группе, где использовался аппарат Илизарова ( $p<0,05$ ). Через 12 мес. после демонтажа АВФ в первой группе отличная амплитуда движений была зарегистрирована у 27 (87,1%) пациентов и хорошая — у 4 (12,9%). Во второй группе во всех 33 (100%) случаях амплитуда движений была оценена как хорошая (табл. 4).

В первой группе при корреляционном анализе была выявлена прямая сильная связь максимально достигнутого сгибания в АВФ с амплитудой движений, достигнутой через 12 мес. ( $p<0,05$ ;  $r = 0,877$ ). Во второй группе отмечена прямая умеренная связь ( $p<0,05$ ;  $r = 0,715$ ).

Таблица 2

**Временные характеристики обеих групп, дни (Me [Q25; Q75])**

Период	Первая группа (Орто-СУВ)	Вторая группа (аппарат Илизарова)
Латентный период	3 [2; 4]	3 [2; 3]
Период distraction	4 [3; 4]	5 [4; 5]
Период разработки движений	99 [91; 107]	110 [88; 119]
Период использования АВФ	108 [99; 120]	109 [98; 114]

Таблица 3

**Количественные данные циклов сгибания-разгибания в обеих группах (Me [Q25; Q75])**

№ цикла	Первая группа (Орто-СУВ)			Вторая группа (аппарат Илизарова)			<i>p</i>	
	<i>n</i>	ПЦ, дни	АДС, град.	<i>n</i>	ПЦ, дни	АДС, град.	ПЦ, дни	АДС, град.
1	31/100%	39 [37; 41]	40 [25; 50]	33/100%	32 [30; 34]	30 [20; 35]	<0,05	<0,05
2	31/100%	28 [26; 30]	55 [45; 60]	33/100%	25 [22; 26]	45 [40; 45]	<0,05	<0,05
3	31/100%	19 [16; 23]	65 [55; 70]	33/100%	17 [16; 18]	55 [50; 60]	<0,05	<0,05
4	31/100%	11 [9; 13]	80 [70; 85]	33/100%	11 [10; 13]	65 [60; 70]	>0,05	<0,05
5	24/77,4%	4 [4; 5]	92 [90; 95]	33/100%	7 [6; 8]	75 [75; 85]	<0,05	<0,05
6	2/6,4%	2,5 [2; 3]	92 [90; 95]	33/100%	5 [3; 7]	85 [85; 90]	–	–
7	–	–	–	21/63,6%	3 [3; 4]	90 [90; 90]	–	–

*n* — количество пациентов; ПЦ — продолжительность цикла в сутках; АДС — амплитуда движений в суставе.

Таблица 4

**Амплитуда движений в коленном суставе в различные сроки, град. (Ме [Q25; Q75])**

Срок наблюдения	Первая группа (Орто-СУВ)	Вторая группа (аппарат Илизарова)	<i>p</i>
До операции	20 [15; 35]	30 [20; 35]	>0,05
После релиза	55 [50; 70]	60 [55; 70]	>0,05
Перед демонтажом АВФ	115 [110; 115]	90 [90; 90]	<0,05
На 2-е сут. после демонтажа	90 [90; 95]	90 [90; 90]	<0,05
Через 6 мес.	105 [100; 110]	95 [90; 95]	<0,05
Через 12 мес.	115 [110; 120]	95 [90; 95]	<0,05

Средние балльные значения по шкалам KSS и Lysholm на 2-е сутки после демонтажа АВФ были статистически значимо меньше во второй группе ( $p < 0,05$ ), при этом по шкале LEFS значимой разницы не наблюдалась ( $p > 0,05$ ). По прошествии 6 и 12 мес. с момента демонтажа АВФ средние балльные значения по шкалам KSS, Lysholm и LEFS были статистически значимо меньше во второй группе ( $p < 0,05$ ) (табл. 5).

Спустя 12 мес. в первой группе по шкале KSS отличные результаты отмечены у всех пациентов, во второй группе — у 10 (30,3%) пациентов отличные результаты и у 23 (69,7%) хорошие. По шкале Lysholm в первой группе отличная функция наблюдалась в 29 (93,5%) случаях, хорошая функция — в 2 (6,4%), во второй группе отличные результаты были зарегистрированы у 9 (27,2%) пациентов, хорошие — в 24 (72,8%). По шкале LEFS в первой группе во всех случаях отмечено незначительное ограничение функции

нижней конечности, во второй группе аналогичный результат отмечен у 15 (45,4%) пациентов, в 18 (54,6%) случаях отмечено умеренное ограничение функции.

Показатели динамики средней амплитуды движений и средней суммы баллов у проспективных пациентов первой группы представлены в таблице 6. При оценке динамики средней амплитуды движений в первой группе с момента операции отмечается ее увеличение и достижение отличных результатов по прошествии 9 мес. с момента демонтажа АВФ. При оценке динамики изменения средних баллов по шкале KSS спустя 6 мес. после демонтажа АВФ отмечается отличная функция коленного сустава. По шкале Lysholm отличная функция коленного сустава достигнута по прошествии 9 мес. с момента демонтажа АВФ. По шкале LEFS ограничение функции нижней конечности как незначительное отмечено спустя 6 мес. с момента демонтажа АВФ.

Таблица 5

**Результаты оценки функции по шкалам в различные сроки, баллы (Ме [Q25; Q75])**

Срок наблюдения	KSS		Lysholm		LEFS	
	Первая группа (Орто-СУВ)	Вторая группа (аппарат Илизарова)	Первая группа (Орто-СУВ)	Вторая группа (аппарат Илизарова)	Первая группа (Орто-СУВ)	Вторая группа (аппарат Илизарова)
До операции	58 [48; 62]	60 [54; 63]	47 [44; 53]	50 [42; 55]	28 [24; 30]	27 [24; 31]
	$p > 0,05$		$p > 0,05$		$p > 0,05$	
На 2-е сут. после демонтажа	74 [71; 76]	68 [67; 70]	81 [76; 81]	77 [75; 81]	50 [48; 54]	51 [47; 53]
	$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p > 0,05$	
Спустя 6 мес.	85 [82; 86]	78 [76; 81]	88 [88; 91]	86 [79; 86]	66 [64; 70]	58 [57; 61]
	$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p < 0,05$	
Спустя 12 мес.	95 [94; 97]	79 [77; 83]	95 [92; 99]	90 [86; 91]	74 [72; 75]	59 [58; 64]
	$p < 0,05$		$p < 0,05$		$p < 0,05$	



Таблица 6

## Динамика изменения средней амплитуды движений и баллов шкалам (Me [Q25; Q75])

Срок наблюдения	Амплитуда движений, град.	KSS, баллы	Lysholm, баллы	LEFS, баллы
До операции	27,5 [17,5; 40,0]	58,0 [56,0; 62,0]	50,0 [45,5; 63,0]	28,0 [24,0; 29,5]
После релиза	55,0 [47,5; 67,5]	–	–	–
После демонтажа АВФ	95,0 [95,0; 95,0]	74,0 [72,0; 76,5]	79,0 [76,0; 81,0]	51,5 [47,5; 55,5]
Спустя 3 мес.	100,0 [97,5; 102,5]	80,0 [79,5; 81,5]	84,5 [83,0; 86,0]	55,0 [58,0; 59,5]
Спустя 6 мес.	110,0 [105,0; 112,0]	84,0 [82,5; 86,0]	91,0 [88,0; 91,0]	67,5 [62,5; 71,0]
Спустя 9 мес.	115,0 [115,0; 120,0]	93,0 [92,0; 95,0]	97,0 [95,0; 99,0]	71,5 [70,5; 72,5]
Спустя 12 мес.	115,0 [115,0; 125,0]	95,0 [95,0; 96,5]	99,0 [97,0; 99,0]	73,5 [72,5; 75,0]

В первой группе осложнения развились у 14 (45,1%) пациентов, из которых у 12 (38,7%) было отмечено поверхностное воспаление мягких тканей вокруг чрескостных элементов (1-я категория). Для его купирования прибегали к местному применению антимикробной мази Левомеколь и пероральному приему антибиотиков. У одной (3,2%) пациентки в послеоперационном периоде произошел ограниченный некроз кожи (2-я категория), из-за чего разработка движений была временно приостановлена для проведения некроэктомии. После вторичного заживления раны разработка была продолжена. Еще у одного (3,2%) пациента разработка была приостановлена из-за инфицирования в области оперативного вмешательства (2-я категория), по поводу которого были выполнены ревизия, санация и дренирование инфекционного очага. В результате гнойно-воспалительный процесс был купирован, а разработка продолжена.

Во второй группе осложнения были выявлены у 17 (51,4%) пациентов, из которых у 16 (48,4%) произошло воспаление мягких тканей вокруг чрескостных элементов (1-я категория), которое было купировано консервативными методами. В одном (3%) случае по причине падения пациента произошел перелом чрескостного элемента. Это потребовало его перепроведения (2-я категория), после чего разработка движений была продолжена. При сравнительном анализе осложнений в обеих группах статистически значимая разница не выявлена ( $p > 0,05$ ).

### ОБСУЖДЕНИЕ

Переломы бедренной кости сопровождаются различной степени повреждениями промежуточной головки ЧГМ [11, 13]. Образовавшаяся вследствие повреждения рубцовая ткань, плотно спаянная с периостальным регенератом, препятствует скольжению ЧГМ и является одной из важнейших причин возникновения контрактуры [10]. Можно предположить что, чем тяжелее

тип и группа перелома, тем больше повреждается ЧГМ. Мы намеренно исключили из исследования пациентов с внутрисуставными переломами (типы 33-B и 33-C), чтобы не рассматривать влияние «артрогенного» компонента контрактур. К сожалению, детализировать типы переломов 32- и подгруппы переломов 33-A2 и 33-A3 не представлялось возможным, т.к. на момент госпитализации имелись признаки полной консолидации фрагментов с ремоделированием костной ткани. Доступные выписки из историй болезни были лишены достаточной информации. Поэтому на основе имеющихся данных можно лишь констатировать, что в обеих группах в большинстве случаев контрактура сформировалась после внесуставных переломов в надмышцелковой области: 33-A2 и 33-A3 согласно классификации АО/ОТА (см. табл. 1). Формирование контрактуры у пациентов обеих групп чаще происходило после консервативного лечения и накостного остеосинтеза. Это соответствует данным литературы. В исследовании Н. Mousavi с соавторами у 11 из 27 пролеченных пациентов (40,7%) разгибательной контрактуры предшествовал перелом в диафизарной части, в 6 (22,3%) случаях — на границе диафиза и надмышцелковой области и в 10 (37%) случаях — в надмышцелковой области бедренной кости [36]. В 13 (48%) случаях имел место простой тип перелома и в 14 (51,9%) случаях фрагментарный. При упоминании предшествующих оперативных вмешательств авторы отметили, что формированию контрактуры в 19 (70,3%) случаях предшествовал остеосинтез пластиной, в 5 (18,5%) — интрамедуллярный остеосинтез и в 2 (7,4%) случаях — чрескостный остеосинтез [36].

В первой группе (ортопедический гексапод) максимальное пассивное сгибание, достигаемое при помощи АВФ, в среднем было больше на 25°, чем во второй группе (аппарат Илизарова) (см. табл. 4). Несмотря на то, что АВФ был демонтирован по достижению 90° активного сгибания,

продолжение реабилитации позволяло достичь той же амплитуды, что была достигнута в АВФ уже к 9-му мес. после его демонтажа (см. табл. 6).

В сравниваемой группе максимальное сгибание в АВФ не превышало 90–95°, так как при этих углах длина резьбового стержня на поворотном шарнире заканчивалась. В группе сравнения АВФ также был демонтирован по достижению 90° активного сгибания. Однако, несмотря на продолжение реабилитационного лечения, амплитуда движений оставалась такой же или превышала ее не более чем на 5°. Через 12 мес. амплитуда движений в первой группе была в среднем на 20° больше, чем во второй. Таким образом, можно предположить, что более высокие показатели амплитуды движений в первой группе напрямую связаны с более высоким показателем максимального сгибания, достигнутого в АВФ.

При анализе литературы мы не обнаружили работ, посвященных использованию ортопедического гексапода для лечения разгибательных контрактур коленного сустава. Для сравнения нам удалось обнаружить только две работы, где сообщается о лечении разгибательной контрактуры при помощи мягкотканного релиза в дополнение к аппарату Илизарова [21, 22].

Так, D.H. Lee с соавторами сообщают о лечении 10 пациентов с разгибательными контрактурами коленного сустава, у которых дооперационная амплитуда движений в среднем была равна 25° (5–35°) [20]. В результате лечения средняя амплитуда движений, зарегистрированная авторами при последних наблюдениях (без указания точного срока наблюдения), составила 93° (85–105°) [21]. Авторы отмечали, что амплитуда движений в итоге была такая же, как на момент демонтажа АВФ или выше, у всех кроме одного пациента. Полученные авторами средние значения амплитуды движений схожи с результатами, полученными нами во второй группе на сроке 12 мес. с момента демонтажа АВФ.

Y. Liu с соавторами сообщили о комбинации мягкотканного релиза с применением аппарата Илизарова при лечении 36 пациентов с разгибательными контрактурами коленных суставов. Амплитуда движений до операции в среднем составила 13,8° (8–19°), после лечения — 102,9° (78–115°), при этом срок оценки результата также не был указан [21]. При сравнении в первой группе нашего исследования показатель средней амплитуды движений был выше, чем у Y. Liu и соавторов, но во второй группе этот же показатель был меньше. Более высокие показатели у Y. Liu с соавторами, вероятно, связаны с применением специальных пружинных толкательных шарниров, фиксируемых к опорам по передней стороне, что позволяло им достичь большего угла сгибания в АВФ.

Анализ циклов сгибания-разгибания показал, что в первой группе после каждого цикла амплитуда активных движений была больше, чем во второй группе. При этом во второй группе для выполнения первых трех циклов было потрачено меньше времени, чем в первой. Для достижения активной амплитуды движений 90° в первой группе потребовалось выполнить меньшее количество циклов, чем в группе сравнения. Вероятно, поэтому средние величины периода разработки движений и периода использования АВФ значительно не различались.

Количество дней, потраченных на выполнение 1-го, 2-го и 3-го циклов сгибания-разгибания, в первой группе было значительно больше, поскольку чем больший угол сгибания достигался в АВФ, тем больше времени для этого требовалось. Однако к 4-му циклу данный показатель сравнялся. На выполнение 5-го цикла в первой группе потребовалось уже меньше времени, чем во второй. При этом 5 пациентов из первой группы после 4-го цикла уже достигли активного сгибания 90°. Шестые циклы не могли быть сравнены из-за большой разницы в количестве пациентов (2 — в первой группе и 33 — во второй). Выполнение шести циклов двум пациентам из первой группы потребовалось вследствие временной приостановки разработки движений из-за возникших осложнений. Во второй группе у 12 пациентов после 6-го цикла необходимая амплитуда была достигнута. Остальные пациенты достигли угла активного сгибания 90° после 7-го цикла. При достижении большего угла сгибания в АВФ происходит большее растяжение ЧГМ и, как следствие, лучшая функция. Вероятно, поэтому в основной группе понадобилось выполнение меньшего количества циклов для достижения активной амплитуды 90°.

При сравнении с данными обеих групп нашего исследования можно отметить, что D.H. Lee с соавторами дольше использовали АВФ (в среднем 125 дней). При этом никакого описания выполнения циклов сгибания-разгибания и оценки по функциональным шкалам авторами представлено не было [20].

В работе Y. Liu с соавторами не предоставлено описания особенностей проведения циклов сгибания-разгибания за исключением упоминания о том, что амплитуда активных движений 60° была достигнута в среднем за 28,5±4,3 дней. Эти данные свидетельствуют о более высоких временных и функциональных характеристиках, нежели характеристики первого цикла обеих групп нашего исследования. При этом необходимо отметить, что значения амплитуды, достигнутой после мягкотканного этапа операции у Y. Liu с соавторами, были выше, чем в обеих группах нашего исследования. Данные о периоде

использования аппарата Илизарова авторами не были предоставлены [21].

С момента демонтажа АВФ в обеих группах отмечалось увеличение средних баллов по функциональным шкалам KSS и Lysholm, однако во второй группе средние баллы были значимо меньше. По результатам заполнения шкалы-опросника KSS самими пациентами и лечащим врачом были определены причины меньшей величины средней суммы баллов во второй группе. Разница в основном была обусловлена меньшей амплитудой движений и признаками перерастяжения капсульно-связочных структур коленного сустава. Функция нижней конечности по шкале LEFS на момент демонтажа АВФ в обеих группах не отличалась. Однако спустя 6 и 12 мес. разница была значимо ниже во второй группе, что, вероятно, связано с причинами, указанными выше.

Нами была получена большая частота осложнений в обеих группах по сравнению с данными D.H. Lee с соавторами, которые указывали, что воспаление мягких тканей вокруг чрескостных элементов (1-я категория осложнений) отмечалось у 2 (20%) из 10 пациентов. Возможно, это

связано с недостоверной статистикой ввиду малого количества наблюдений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка движений в коленном суставе с использованием ортопедического гексапода позволяет достичь большего угла сгибания и требует выполнения меньшего количества циклов сгибания-разгибания. Однако сравнительный анализ периодов разработки движений и общего времени использования АВФ в обеих группах показал, что гексапод не имеет значимых преимуществ перед аппаратом Илизарова. Показатели функции коленного сустава при использовании ортопедического гексапода выше, чем при использовании аппарата Илизарова, что обусловлено способностью гексапода обеспечивать большую амплитуду движений в соответствии с его естественной кинематикой. Полученные результаты исследования позволяют заключить, что применение ортопедического гексапода для разработки движений является эффективным методом лечения разгибательных контрактур коленного сустава, который может широко использоваться в клинической практике.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Заявленный вклад авторов

*Рохоев С.А.* — сбор и обработка материала, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка полученных данных, подготовка текста.

*Чугаев Д.В.* — сбор и обработка материала, анализ и интерпретация полученных данных.

*Соломин Л.Н.* — координация участников исследования, разработка концепции и дизайна исследования, 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.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных и фотографий.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

*Saigidula A. Rokhiev* — the collection and processing of material, analysis and statistical processing of data, data statistical processing, manuscript writing.

*Dmitrii V. Chugaev* — the collection and processing of material, analysis and statistical processing of data.

*Leonid N. Solomin* — study coordination, research conception and design, text editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

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

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Апагуни А.Э. Ошибки и осложнения оперативного лечения диафизарных переломов бедренной кости. *Травматология и ортопедия России*. 2005;(1):38-39. Apaguni A.Je. [Mistakes and complications of surgical treatment of diaphyseal fractures of the femur]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2005;(1):38-39. (In Russian).
2. Gomes J.L., 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.
3. Гримайло Н.С. Алгоритм оперативного лечения переломов дистального отдела бедренной кости. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация*. 2013;23(18(161)):45-48. Grimailo N.S. [Algorithm of operative treatment of distal femur fractures]. *Nauchnye ведомosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya* []. 2013;23(18(161)):45-48 (In Russian).
4. Razaq M.N.U., Muhammad T., Ahmed A., Adeel, Ahmad S., Ahmad S., Sultan S. Outcomes Of Distal Femur Fracture Treated With Dynamic Condylar Screw. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. 2016;28(2):259-261.
5. Fitzsimmons S.E., Vazquez E.A., Bronson M.J. How to treat the stiff total knee arthroplasty?: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(4):1096-1106. doi: 10.1007/s11999-010-1230-y.
6. Attias M., Chevalley O., Bonnefoy-Mazure A., De Coulon G., Cheze L., Armand S. Effects of contracture on gait kinematics: A systematic review. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2016;33:103-110. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2016.02.017.
7. 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.
8. Ebrahimzadeh M.H., Birjandi-Nejad A., Ghorbani S., Khorasani M.R. A modified Thompson quadricepsplasty for extension contracture resulting from femoral and periarticular knee fractures. *J Trauma*. 2010;68(6):1471-1475. doi: 10.1097/TA.0b013e3181bdcdcc.
9. Oliveira V.G., D'Elia L.F., Tirico L.E., Gobbi R.G., Pecora J.R., Camanho G.L. et al. Judet quadricepsplasty in the treatment of posttraumatic knee rigidity: long-term outcomes of 45 cases. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012;72(2):E77-80. doi: 10.1097/ta.0b013e3182159e0a.
10. Pujol N., Boisrenoult P., Beaufiles P. Post-traumatic knee stiffness: surgical techniques. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2015;101(1 Suppl):S179-186. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.026.
11. 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.
12. Ирисметов М.Э. Хирургическое лечение стойких разгибательных контрактур коленного сустава. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2010;(3):31-34. Irismetov M.E. [Surgical treatment of persistent extension contractures of the knee joint]. *Ortopediya, Travmatologiya i Protezirovaniye* [Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics]. 2010;(3):31-34. (In Russian).
13. Барков А.В., Барков А.А. Способ капсулопластики при устранении стойких разгибательных контрактур коленного сустава. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2013;(2):25-27. Barkov A.V., Barkov A.A. [Method of capsuloplasty in the elimination of persistent extensor contractures of the knee joint]. *Ortopediya, Travmatologiya i Protezirovaniye*. [Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics]. 2013;(2):25-27. (In Russian).
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Khan L., Ahmad S., Qadir I., Zaman A. U., Aziz A. Functional outcome of judet's quadriceptoplasty in posttraumatic stiff knees. *Prof Med J*. 2021;28(12):1783-1787. doi: 10.29309/TPMJ/2021.28.12.3938.
18. Плаксейчук Ю.А., Салихов Р.З., Соловьев В.В. Опыт применения дистракционных аппаратов в хирургическом лечении спастических контрактур коленного сустава. *Практическая медицина*. 2014;2(4):115-117. Plakseichuk Ju.A., Salihov R.Z., Solov'ev V.V. [Experience in the use of distraction devices in the surgical treatment of spastic contractures of the knee joint]. *Prakticheskaya meditsina* [Practical Medicine]. 2014;2(4):115-117. (In Russian).
19. Tuncay I., Solomin L. Joint contracture management with external fixators. In: *Advanced Techniques in Limb Reconstruction Surgery*. Springer-Verlag: Springer Berlin Heidelberg; 2015. p. 191-221. doi: 10.1007/978-3-642-55026-3\_11.
20. 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.
21. Liu Y., Shi P., Li J., Li H., Dong S. Treatment of traumatic knee stiffness with Ilizarov stretcher. *Res Square*. (Preprint). Available from: <https://www.researchsquare.com/article/rs-21353/v1>. doi: 10.21203/rs.3.rs-21353/v1.
22. 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.
23. Postolka B., Schütz P., Fucentese S.F., Freeman M.A.R., Pinskerova V., List R. et al. Tibio-femoral kinematics of the healthy knee joint throughout complete cycles of gait activities. *J Biomech*. 2020;110:109915. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.109915.
24. Coles L.G., Gheduzzi S., Miles A.W., Gill H.S. Kinematics of the natural and replaced knee. In: *Total Knee Arthroplasty*. Ed. by E.C. Rodríguez-Merchán, S. Oussedik. London: Springer; 2015. p. 7-19.

25. 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(54):21-26. Solomin L.N., Korchagin K.L., Utekhin A.I. [Investigation of the Ortho-SUV frame optimal assembly for working out motions in the knee joint]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2009;4(54):21-26. (In Russian).
26. Massobrio M., Mora R. Hexapod External Fixator Systems: Principles and Current Practice in Orthopaedic Surgery. Rome: Springer Nature; 2021. 313 p.
27. 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. Rokhoyev S.A., Solomin L.N. [Usage of the method of external fixation in the treatment of adult patients with knee joint stiffness: literature review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(1):185-197. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-185-197. (In Russian).
28. Solomin L.N. Hexapod External Fixators in Articular Stiffness Treatment. In: *Hexapod External Fixator Systems*. Ed. by Massobrio M., Mora R. Springer, Cham; 2021. p. 199-238. doi: 10.1007/978-3-030-40667-7\_10.
29. 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).
30. Hahn S.B., Lee W.S., Han D.Y. A modified Thompson quadricepsplasty for the stiff knee. *J Bone Joint Surg Br*. 2000;82(7):992-995. doi: 10.1302/0301-620x.82b7.10590.
31. Соломин Л.Н. Метод унифицированного обозначения чрескостного остеосинтеза. В кн.: *Основы чрескостного остеосинтеза*. Под. ред. Л.Н. Соломина. Москва: БИНОМ; 2014. Т.1. С. 45-55. Solomin L.N. [Method of Unified Designation of External Fixation]. In: *Osnovy chreskostnogo osteosinteza* [Fundamentals of transosseous osteosynthesis]. Ed. by L.N. Solomin. Moscow: BINOM; 2014. Vol.1. p. 45-55. (In Russian).
32. Рохоев С.А., Соломин Л.Н., Старчик Д.А., Демин А.С. Усовершенствование компоновок ортопедического гексапода Орто-СУВ, используемых для лечения пациентов с контрактурами коленного сустава (экспериментальное исследование). *Современные проблемы науки и образования*. 2022;(2):12. doi: 10.17513/spno.31521. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31521>. Rokhoyev S.A., Solomin L.N., Starchik D.A., Demin A.S. [Improvement of the Ortho-SUV orthopedic hexapod arrangements used for the treatment of patients with knee joint stiffness (experimental study)] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education]. 2022;(2):12. doi: 10.17513/spno.31521. Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31521>. (In Russian).
33. 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.
34. Caton J. Traitement des inégalités de longueur des membres inférieurs et des sujets de petite taille chez l'enfant et l'adolescent. *Rev Chir Orthop*. 1991;77 (Suppl. I):31-80.
35. Kettelkamp D.B., Chao E.Y. 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.
36. 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.

#### Сведения об авторах

✉ Рохоев Сайгидула Абдурахманович

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8

<https://orcid.org/0000-0003-4369-9619>

e-mail: 09saga@mail.ru

Чугаев Дмитрий Валерьевич — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0001-5127-5088>

e-mail: dr.chugaev@gmail.com

Соломин Леонид Николаевич – д-р мед. наук, профессор

<https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>

e-mail: solomin.leonid@gmail.com

#### Authors' information

✉ Saigidula A. Rokhoyev

Address: 8, Akademika Baykova str., St. Petersburg, 195427, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4369-9619>

e-mail: 09saga@mail.ru

Dmitrii V. Chugaev — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0001-5127-5088>

e-mail: dr.chugaev@gmail.com

Leonid N. Solomin — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>

e-mail: solomin.leonid@gmail.com