



Сравнительный анализ результатов клинико-инструментальных исследований при использовании стандартной и модифицированной стромально-васкулярной фракции в лечении пациентов с хондромалацией надколенника

Г.М. Зверев^{1,2✉}, А.С. Судницын², С.В. Яковлев³, А.В. Сайфулин¹, Ш.А. Моев⁴

¹ Акционерное общество «Медси», Москва, Россия

² Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

³ ООО «ПолиКлиника», Челябинск, Россия

⁴ Акционерное общество «Медси 2», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Глеб Михайлович Зверев, dr.zverev@bk.ru

Аннотация

Актуальность. Хондромалация надколенника является одной из ведущих причин боли в переднем отделе коленного сустава и рассматривается как ранняя форма дегенеративного поражения пателло-фemorального хряща. Ограниченный регенераторный потенциал гиалинового хряща и переменная эффективность консервативных методов лечения обуславливают поиск биологических технологий, способных оказывать структурно-модифицирующее воздействие. Перспективным направлением является применение аутологичной стромально-васкулярной фракции (SVF) жировой ткани, обладающей противовоспалительным и регенераторным потенциалом.

Цель работы — провести сравнительную оценку результатов клинико-инструментальных исследований при использовании стандартной и модифицированной технологий SVF-терапии в лечении пациентов с хондромалацией надколенника.

Материалы и методы. Выполнено нерандомизированное ретроспективное многоцентровое когортное исследование, включавшее 41 пациента с хондромалацией надколенника I–III степени по Outerbridge. Пациенты распределены на две группы: стандартная SVF ($n = 20$) и модифицированная SVF ($n = 21$). Оценка проводилась до лечения и через один, шесть и 12 месяцев. Анализировали показатели ВАШ, KOOS-PS, а также количественные параметры дефекта хряща по данным МРТ (линейные размеры, площадь, объём). Различия считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Результаты. В обеих группах через 12 месяцев отмечено достоверное снижение боли и улучшение функции ($p < 0,001$). В группе стандартной SVF площадь дефекта уменьшилась на 27,4 %, объём — на 44,6 %; в группе модифицированной SVF — на 40,2 % и 53,8 % соответственно ($p < 0,001$). Межгрупповое сравнение выявило более выраженное уменьшение ширины дефекта при модифицированной методике ($p = 0,007$). Через один месяц после лечения в группе модифицированной SVF зарегистрировано более выраженное снижение боли и улучшение функции ($p < 0,01$), тогда как в сроки шесть и 12 месяцев различия нивелировались.

Обсуждение. Модифицированная технология SVF-терапии обеспечивала более раннее снижение боли и улучшение функции по сравнению со стандартной методикой. В отдалённые сроки различия сглаживались, что подтверждает высокую эффективность SVF-терапии независимо от варианта протокола. Сопоставимые морфологические результаты по данным МРТ свидетельствуют о сохранении структурного эффекта при модификации технологии. Ограничениями исследования являются нерандомизированный дизайн и умеренный объём выборки.

Заключение. SVF-терапия демонстрирует выраженный клинический и структурно-положительный эффект при хондромалации надколенника. Модифицированная технология обеспечивает более быстрое наступление клинического эффекта при сопоставимых отдалённых результатах морфологических изменений по данным МРТ, что позволяет рассматривать её как перспективный вариант оптимизации клеточной терапии.

Ключевые слова: стромально-васкулярная фракция, хондромалация, мезенхимальные стромальные клетки жировой ткани

Для цитирования: Зверев Г.М., Судницын А.С., Яковлев С.В., Сайфулин А.В., Моев Ш.А. Сравнительный анализ результатов клинико-инструментальных исследований при использовании стандартной и модифицированной стромально-васкулярной фракции в лечении пациентов с хондромалацией надколенника. *Гений ортопедии*. 2026;32(4):470-478. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-4-470-478.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2026-32-4-470-478>


Comparative analysis of clinical and instrumental study of the results of using standard and modified stromal-vascular fractions in the treatment of patients with chondromalacia patellae

G.M. Zverev^{1,2✉}, A.S. Sudnitsyn², S.V. Yakovlev³, A.V. Saifulin¹, Sh.A. Moev⁴

¹ Medsi Group of Companies, Moscow, Russian Federation

² Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

³ PoliKlinika LLC, Chelyabinsk, Russian Federation

⁴ Joint-Stock Company "Medsi 2", Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Gleb M. Zverev, dr.zverev@bk.ru

Abstract

Introduction Chondromalacia patellae is a leading cause of anterior knee pain and is considered an early form of degenerative patellofemoral cartilage disease. The limited regenerative potential of the hyaline cartilage and the variable effectiveness of conservative treatments motivate the search for biological technologies capable of providing structure-modifying effects. A promising approach is the use of autologous stromal vascular fraction (SVF) of adipose tissue that has anti-inflammatory and regenerative potential.

The **purpose** of the work is to conduct a comparative assessment of clinical and instrumental studies of the results of standard and modified SVF therapy technologies in the treatment of patients with chondromalacia patella.

Materials and Methods A non-randomized, retrospective, multicenter cohort study was performed. It included 41 patients with Outerbridge grades I–III chondromalacia patellae. Patients were divided into two groups according to treatment protocol provided: standard SVF ($n = 20$) and modified SVF ($n = 21$). Assessments were performed before treatment and after one, six, and 12 months. VAS, KOOS-PS, and quantitative parameters of cartilage defect based on MRI data (linear dimensions, area, volume) were analyzed. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results In both groups, a significant reduction in pain and improvement in function were noted after 12 months ($p < 0.001$). In the standard SVF group, the defect area decreased by 27.4 % and volume by 44.6 %; in the modified SVF group, by 40.2 % and 53.8 %, respectively ($p < 0.001$). Intergroup comparison revealed a more pronounced decrease in defect width with the modified technique ($p = 0.007$). One month after treatment, the modified SVF group showed a more pronounced reduction in pain and improvement in function ($p < 0.01$), while the differences leveled out at six and 12 months.

Discussion The modified SVF therapy technique resulted in earlier pain reduction and improved function compared to the standard technique. These differences leveled over the long term, confirming the high efficacy of SVF therapy regardless of the protocol variant. Comparable morphological results based on MRI data indicate that the structural effect was maintained with the modified technique. Limitations of the study include the non-randomized design and a moderate sample size.

Conclusion SVF therapy demonstrates significant clinical and structural benefits in chondromalacia patellae. The modified technology provides a more rapid onset of clinical effect with comparable long-term morphological changes based on MRI data, suggesting it as a promising option for optimizing cell therapy.

Keywords: stromal-vascular fraction, chondromalacia, adipose tissue, mesenchymal stromal cells

For citation: Zverev GM, Sudnitsyn AS, Yakovlev SV, Saifulin AV, Moev ShA. Comparative analysis of clinical and instrumental study of the results of using standard and modified stromal-vascular fractions in the treatment of patients with chondromalacia patellae. *Genij Ortopedii*. 2026;32(4):470-478. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-4-470-478.

ВВЕДЕНИЕ

Хондромалицию надколенника традиционно рассматривают как раннюю форму дегенеративного поражения суставного хряща пателлофemorального сочленения и одну из ведущих причин боли в переднем отделе коленного сустава [1, 2]. Современные представления эволюционировали от изолированной механической концепции к пониманию многофакторной природы заболевания, включающей биомеханические нарушения, изменения внутрисуставной среды и молекулярные механизмы деградации матрикса [3–5]. Нарушение трекинга надколенника, дисбаланс мышечного контроля и изменения кинематики нижней конечности приводят к увеличению контактных напряжений в пателлофemorальном суставе и прогрессированию хрящевых повреждений [6, 7]. На молекулярном уровне хроническая перегрузка инициирует каскад воспалительно-дегенеративных реакций, сопровождающихся активацией провоспалительных цитокинов (IL-1, TNF- α), нарушением сигнальных путей TGF- β /BMP и формированием фенотипа гипертрофированных и сенесцентных хондроцитов [8–9]. Низкоинтенсивное хроническое воспаление рассматривают как ключевой медиатор прогрессирования дегенеративных изменений хряща [10, 11]. С учётом ограниченного регенераторного потенциала гиалинового хряща [12] традиционные консервативные подходы, включая лечебную физкультуру и модификацию нагрузки, демонстрируют вариабельную эффективность и не обладают доказанным структурно-модифицирующим эффектом [13, 14].

Хирургические методы восстановления хряща (микрофрактурирование, аутологичная имплантация хондроцитов, остеохондральная пластика) способны обеспечивать клиническое улучшение, однако характеризуются инвазивностью, ограниченными показаниями и вариабельностью отдалённых результатов [15–19]. Ограничения как консервативных, так и хирургических методов лечения обусловили активный поиск биологических подходов, направленных не только на купирование симптомов, но и на модификацию внутрисуставной микросреды и стимуляцию репаративных процессов. В последние годы значительный интерес вызывает применение клеточных технологий, в частности мезенхимальных стромальных клеток (МСК) и стромально-васкулярной фракции (*англ.*: stromal vascular fraction, SVF) жировой ткани. Жировую ткань рассматривают как доступный и богатый источник регенераторных клеток [20, 21]. В состав SVF входят мезенхимальные стромальные клетки, перicyты, эндотелиальные и иммуномодулирующие элементы, что обеспечивает выраженное паракринное и иммунорегуляторное действие [22, 23]. Экспериментальные данные свидетельствуют о способности этих клеток снижать воспалительную активность и стимулировать процессы ремоделирования хрящевой ткани [24].

Клинические исследования демонстрируют уменьшение болевого синдрома и улучшение функции после внутрисуставного введения аутологичных клеточных продуктов, полученных из жировой ткани [25–27]. Обзорные публикации и анализы клинических исследований подтверждают потенциал SVF и адипозных мезенхимальных клеток при остеоартрите коленного сустава, однако указывают на выраженную гетерогенность дизайна исследований, методов получения клеточного продукта и режимов введения, что подчёркивает необходимость стандартизации протоколов [28–30].

Несмотря на растущий объём данных о применении SVF при дегенеративных поражениях хряща, сравнительные исследования её эффективности при хондромалиции надколенника остаются ограниченными. Недостаточно изучено и влияние особенностей подготовки клеточного продукта на клинический эффект и выраженность постинъекционной синовиальной реакции. В связи с этим актуальна сравнительная оценка результатов применения стандартной и модифицированной технологий SVF-терапии.

Цель работы — провести сравнительную оценку результатов клинико-инструментальных исследований при использовании стандартной и модифицированной технологий SVF-терапии в лечении пациентов с хондромалицией надколенника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено нерандомизированное ретроспективное многоцентровое когортное исследование, включавшее 41 пациента с хондромалицией надколенника, проходивших лечение в 2021–2024 гг. на базе АО «Медси» (г. Москва) и НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова (г. Курган). Исследование проведено в соответствии с этическими принципами, изложенными в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 г., с последующими поправками), а также с соблюдением требований «Правил надлежащей клинической практики» (GCP) и «Правил клинической практики в Российской Федерации», утверждённых Приказом Минздрава России от 01.04.2016 г. № 200н. Все участники исследования подписали информированное согласие на участие и публикацию обезличенных данных, полученных в ходе исследования.

Формирование выборки осуществляли на основании заранее определённых критериев включения и исключения. В исследование включали пациентов в возрасте от 25 до 80 лет с клинически значимой болью в переднем отделе коленного сустава длительностью более трех месяцев и интенсивностью

более 40 мм по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) при наличии подтверждённой результатами магнитно-резонансной томографии (МРТ) хондромалиции надколенника I–III степени по классификации Outerbridge. Обязательным условием включения являлось отсутствие клинически значимого эффекта от ранее проведённой консервативной терапии продолжительностью не менее трёх месяцев, включавшей кинезитерапию, применение нестероидных противовоспалительных препаратов, хондропротекторов и/или внутрисуставные инъекции гиалуроновой кислоты.

В исследование не включали пациентов с хондромалицией IV степени, клинически значимыми осевыми деформациями нижней конечности (варус, вальгус, patella alta), активными системными воспалительными заболеваниями (ревматоидный артрит, серонегативные спондилоартропатии, системные заболевания соединительной ткани), инфекционными поражениями коленного сустава в анамнезе, тяжёлой соматической патологией (декомпенсированный сахарный диабет, хроническая сердечная недостаточность III–IV функционального класса, онкологические заболевания), а также с клинически значимыми отклонениями лабораторных показателей. Также не включали пациентов, получавших внутрисуставные инъекции биологических препаратов (PRP, SVF, BMAC) или гиалуроновой кислоты менее чем за шесть месяцев до исследования, лиц с нарушениями системы гемостаза, принимающих антикоагулянтную терапию, с индексом массы тела более 35 кг/м², женщин в период беременности и лактации. Допускали эпизодический приём НПВП до включения в исследование при отсутствии систематической противовоспалительной терапии. Таким образом, влияние системных заболеваний и сопутствующей медикаментозной терапии на клинические исходы было минимизировано.

Все пациенты распределены на две группы в зависимости от применяемого ортобиологического метода лечения. В группу I ($n = 20$) вошли пациенты, которым выполняли однократное внутрисуставное введение SVF, полученной механическим способом по стандартной технологии АСТ, рекомендуемой производителем SOLOPHARM. В группу II ($n = 21$) включены пациенты, пролеченные с использованием модифицированного протокола механического получения SVF [31]. Препараты гиалуроновой кислоты в течение 12 месяцев после процедуры во всех группах не применяли.

Возраст пациентов — ($45,4 \pm 11,7$) года, варьировал от 27 до 73 лет. Распределение по полу, возрасту, индексу массы тела (ИМТ) и степени хондромалиции между группами статистически значимо не различалось, что позволяет рассматривать исследуемые когорты как сопоставимые и корректно проводить межгрупповой сравнительный анализ. Подробная характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика пациентов

Показатель		SVF стандарт ($n = 20$)		SVF модифицированная ($n = 21$)	
		абс.	%	абс.	%
Возраст, лет	($M \pm SD$)	$47,2 \pm 11,3$		$43,8 \pm 11,8$	
	18–44	10	50,0	11	52,4
	45–59	7	35,0	8	38,1
	60–74	3	15,0	2	9,5
Пол	Мужчины	14	70,0	12	57,1
	Женщины	6	30,0	9	42,9
ИМТ, кг/м ²	Норма (18,5–24,9)	7	35,0	5	23,8
	Избыточная масса (25,0–29,9)	9	45,0	12	57,1
	Ожирение I ст. (30,0–34,9)	4	20,0	4	19,0
Степень хондромалиции (Outerbridge)	I степень	1	5,0	3	14,3
	II степень	10	50,0	11	52,4
	III степень	9	45,0	7	33,3

Клиническую оценку эффективности проводили до лечения, а также через один, шесть и 12 месяцев наблюдения. Интенсивность болевого синдрома оценивали с использованием ВАШ. Функциональное состояние коленного сустава анализировали по шкале KOOS-PS. Все опросники пациенты заполняли самостоятельно под контролем врача.

Инструментальная оценка включала МРТ коленного сустава, выполняемую до лечения и через 12 месяцев после вмешательства на аппаратах с напряжённостью магнитного поля 1,5 Тл и 3,0 Тл. Для каждого пациента первичное и контрольное исследования проводили на одном и том же аппарате с использованием идентичного протокола сканирования, что обеспечивало сопоставимость полученных данных. Анализировали толщину суставного хряща в зонах интереса, локализацию дефекта (медиальная фа-

сетка, латеральная фасетка, межфасеточная борозда), линейные размеры поражения (ширина, высота, глубина), а также расчётные показатели площади (мм^2) и объёма (мм^3) дефекта. Дополнительно учитывали признаки синовиальной реакции по данным МРТ. Для межгруппового анализа рассчитывали величину изменения показателя (Δ), определяемую как разницу между значениями после лечения и исходными данными.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программной среды R (version 3.2.4). Статистический анализ проводили с использованием стандартных методов вариационной статистики. Нормальность распределения количественных показателей предварительно оценивали по соответствующим критериям. При подтверждении нормального распределения внутригрупповую динамику количественных параметров анализировали с применением парного t-критерия Стьюдента для зависимых выборок. Для оценки внутригрупповой динамики показателей, полученных по клиническим шкалам (ВАШ, KOOS), использовали критерий Фридмана. Межгрупповое сравнение независимых выборок выполняли с применением U-критерия Манна – Уитни. Различия считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$. Результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$) либо медианы и межквартильного размаха ($Me [Q1-Q3]$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В группе стандартной SVF-терапии через 12 месяцев наблюдения зарегистрировано статистически значимое уменьшение размеров хондрального дефекта ($p < 0,001$). Площадь поражения сократилась в среднем на 27,4 %, объём — на 44,6 % от исходного уровня. Выявленная динамика отражает умеренно выраженную структурную перестройку зоны повреждения и формирование репаративных процессов в хрящевой ткани. Полученные результаты свидетельствуют о структурно-положительном эффекте стандартной SVF-терапии, проявляющемся в достоверной редукции размеров дефекта и стабилизации дегенеративного процесса (табл. 2).

Анализ линейных и объёмных параметров хондрального дефекта надколенника в группе модифицированной SVF-терапии продемонстрировал статистически значимое уменьшение всех исследуемых показателей через 12 месяцев после проведения процедуры ($p < 0,001$) (табл. 2). Площадь дефекта сократилась в среднем на 40,2 %, объём — на 53,8 % от исходного уровня. Полученные результаты свидетельствуют о выраженной структурной перестройке зоны повреждения и формировании благоприятной морфологической динамики в пателлофemorальном сочленении.

Таблица 2

Динамика параметров дефекта хряща по данным МРТ

Показатель	SVF стандарт ($n = 20$)					SVF модифицированная ($n = 21$)				
	до лечения	после лечения	Δ (после–до)	t	p	до лечения	после лечения	Δ (после–до)	t	p
Ширина дефекта, мм	6,78 $\pm$ 2,61	5,84 $\pm$ 2,52	-0,95 $\pm$ 0,52	8,14	< 0,001	6,85 $\pm$ 3,31	5,19 $\pm$ 2,48	-1,65 $\pm$ 1,10	6,86	< 0,001
Высота дефекта, мм	7,03 $\pm$ 2,17	5,81 $\pm$ 2,11	-1,22 $\pm$ 0,76	7,22	< 0,001	6,97 $\pm$ 4,18	5,54 $\pm$ 3,30	-1,43 $\pm$ 0,95	6,87	< 0,001
Глубина дефекта, мм	1,96 $\pm$ 0,52	1,46 $\pm$ 0,40	-0,50 $\pm$ 0,29	7,56	< 0,001	2,66 $\pm$ 0,94	2,05 $\pm$ 0,88	-0,61 $\pm$ 0,46	6,06	< 0,001
Площадь дефекта, мм^2	50,32 $\pm$ 30,52	36,53 $\pm$ 25,39	-13,79 $\pm$ 8,62	7,15	< 0,001	50,11 $\pm$ 37,73	29,97 $\pm$ 20,59	-20,14 $\pm$ 17,84	5,17	< 0,001
Объём дефекта, мм^3	105,28 $\pm$ 91,90	58,36 $\pm$ 56,02	-46,92 $\pm$ 41,82	5,02	< 0,001	123,65 $\pm$ 96,03	57,16 $\pm$ 52,15	-66,48 $\pm$ 51,49	5,92	< 0,001

В группе стандартной SVF-терапии снижение болевого синдрома носило поступательный и устойчивый характер. Наиболее выраженную динамику по шкале ВАШ отмечали к шестому месяцу наблюдения с сохранением достигнутого уровня к 12-ому месяцу. Полученные данные указывают на формирование стабильного аналгетического эффекта, нарастающего во времени и достигающего максимальной выраженности в отдалённом периоде. Статистический анализ подтвердил достоверность изменений в динамике (критерий Фридмана: $\chi^2(3) = 58,13$; $p < 0,001$) (табл. 3). Динамика функциональных показателей по шкале KOOS-PS соответствовала снижению болевого синдрома: наиболее выраженное улучшение отмечали к шестому месяцу с сохранением достигнутого уровня к 12-ому месяцу наблюдения. Статистический анализ подтвердил достоверность изменений во времени (критерий Фридмана: $\chi^2(3) = 59,71$; $p < 0,001$) (табл. 3). Полученные данные свидетельствуют о стойком функциональном улучшении после SVF-терапии, что согласуется с положительной динамикой морфологических изменений по данным МРТ.

В группе модифицированной SVF-терапии снижение болевого синдрома отмечали уже через один месяц после вмешательства. Динамика по шкале ВАШ носила ранний и выраженный характер с дальнейшим уменьшением показателей к шестому месяцу и сохранением достигнутого уровня к 12-му месяцу наблюдения. Статистический анализ подтвердил достоверность изменений во времени (критерий Фридмана: $\chi^2(3) = 57,75$; $p < 0,001$) (табл. 3). Полученные данные указывают на быстрое формирование аналгетического эффекта с последующей стабилизацией и длительным сохранением клинического результата. Динамика функциональных показателей по шкале KOOS-PS также носила ранний характер: улучшение регистрировали уже через один месяц, и к шестому месяцу оно достигало уровня, сопоставимого с результатами группы стандартной SVF-терапии с сохранением достигнутых значений к 12-му месяцу наблюдения. Статистический анализ подтвердил достоверность изменений во времени (критерий Фридмана: $\chi^2(3) = 61,32$; $p < 0,001$) (табл. 3). Полученные данные свидетельствуют о быстром формировании и устойчивом сохранении функционального улучшения, что соответствует выявленной положительной динамикой морфологических изменений по данным МРТ.

Таблица 3

Динамика по шкалам опросников

Период	Шкала ВАШ						Шкала KOOS-PS					
	SVF стандарт (n = 20)			SVF модифицированная (n = 21)			SVF стандарт (n = 20)			SVF модифицированная (n = 21)		
	медиана	Q1–Q3	min–max	медиана	Q1–Q3	min–max	медиана	Q1–Q3	min–max	медиана	Q1–Q3	min–max
До лечения	6,0	4,5–7,5	3–9	6,0	5,0–7,0	2–9	11,0	7,0–15,3	3–26	11,0	4,0–15,0	3–26
1 мес.	5,0	4,0–6,5	2–8	3,0	2,0–5,0	1–6	9,5	5,0–13,3	3–24	5,0	2,0–11,0	1–16
6 мес.	3,0	1,0–4,5	1–6	2,0	1,0–3,0	1–5	3,5	2,0–9,0	1–15	2,0	1,0–7,0	0–12
12 мес.	1,0	1,0–1,0	1–2	1,0	1,0–2,0	1–2	1,0	0–2,0	0–10	1,0	1,0–2,0	0–10

Межгрупповое сравнение

При межгрупповом сравнении динамики линейных и объёмных параметров дефекта достоверное преимущество модифицированной методики по сравнению со стандартной методикой выявлено в отношении уменьшения ширины дефекта ($p < 0,05$). По другим параметрам статистически значимых различий не получено ($p > 0,05$) (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительная динамика параметров хондрального дефекта по данным МРТ

Показатель	SVF стандарт Δ	SVF модифицированная Δ	p
	Me (Q1–Q3)		
Ширина дефекта, мм	0,98 (0,46–1,29)	1,42 (1,18–1,66)	0,007
Высота дефекта, мм	1,14 (0,54–1,91)	1,14 (0,92–1,54)	0,629
Глубина дефекта, мм	0,44 (0,25–0,72)	0,36 (0,30–0,92)	0,705
Площадь дефекта, мм²	12,54 (7,10–16,41)	15,99 (5,78–16,90)	0,540
Объём дефекта, мм³	33,49 (24,43–61,15)	37,22 (19,33–114,69)	0,382

Межгрупповой анализ динамики болевого синдрома по шкале ВАШ выявил различия во времени наступления клинического эффекта в зависимости от применяемой методики. В группе модифицированной SVF-терапии отмечено более выраженное снижение болевого синдрома через один месяц после процедуры по сравнению со стандартной SVF-терапией ($p < 0,01$). В более отдалённые сроки наблюдения (шесть и 12 месяцев) статистически значимых различий между группами не выявлено ($p > 0,05$) (рис. 1).

Межгрупповой анализ по шкале KOOS-PS продемонстрировал аналогичную закономерность: применение модифицированной SVF-терапии сопровождалось более ранним функциональным улучшением по сравнению со стандартной SVF-терапией. Статистически значимые различия в динамике показателей KOOS-PS выявлены через один месяц после лечения ($p < 0,01$). На сроках шесть и 12 месяцев различия между группами не достигали уровня статистической значимости ($p > 0,05$) (рис. 2).

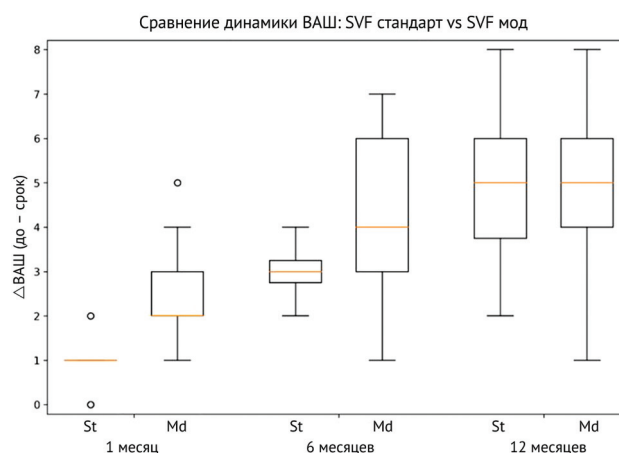


Рис. 1. Межгрупповое сравнение по шкале ВАШ

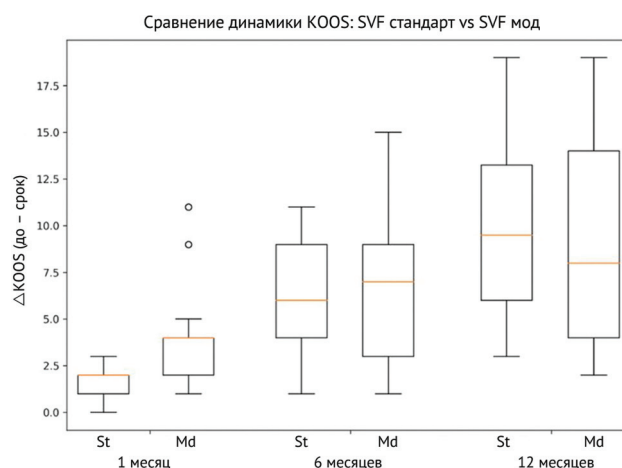


Рис. 2. Межгрупповое сравнение по шкале KOOS-PS

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённый анализ продемонстрировал, что применение модифицированной методики SVF-терапии обеспечивает более быстрое наступление клинического эффекта по сравнению со стандартной методикой. Уже в течение первого месяца наблюдения мы отмечали достоверно более выраженное снижение болевого синдрома и более раннее улучшение функциональных показателей. Данная динамика имеет важное клиническое значение, поскольку позволяет пациентам быстрее возвращаться к физической активности, используя целенаправленные программы укрепления мышц нижних конечностей, что способствует стабилизации достигнутого результата. Кроме того, ускоренное уменьшение боли и более мягкое течение раннего постинъекционного периода повышают переносимость процедуры и формируют более высокий уровень доверия к проводимой терапии.

Несмотря на выявленное преимущество модифицированной методики в ранние сроки, в отдалённом периоде (6–12 месяцев) показатели боли по ВАШ и функциональной шкале KOOS-PS в обеих группах становились сопоставимыми, что подтверждает общую высокую эффективность SVF-терапии вне зависимости от варианта обработки клеточного субстрата. Отсутствие выраженных межгрупповых различий в морфологических параметрах дефекта по данным MPT также свидетельствует о сохранении регенеративного потенциала при использовании модифицированной технологии. Полученные результаты позволяют предположить, что модификация протокола направлена преимущественно на оптимизацию клеточного состава и переносимость процедуры, не снижая жизнеспособность клеток и не уменьшая структурно-модифицирующий эффект терапии.

Результаты настоящего исследования согласуются с данными ряда клинических работ, посвящённых применению стромально-васкулярной фракции и микро-фрагментированной жировой ткани при дегенеративных поражениях коленного сустава. Так, в исследовании N. Yokota et al. снижение болевого синдрома по шкале ВАШ через шесть месяцев в группе SVF составило 44,0 % [32], тогда как в нашей работе к этому сроку редукция боли превышала 50 % с дальнейшим нарастанием эффекта при более длительном наблюдении. Аналогичная направленность динамики показана S. Bisicchia et al., где применение микро-фрагментированной SVF в сочетании с микрофрактурированием приводило к снижению ВАШ до $(2,6 \pm 1,8)$ балла через 12 месяцев [33]. В нашем исследовании к 12-му месяцу медиана ВАШ уменьшалась с 6 до 1 балла в обеих группах SVF, что отражает выраженный анальгетический эффект клеточной терапии. Сходные результаты получены D. Hudetz et al.: снижение боли при движении составило около 56–57 %, а в покое — до 85 % к 12-му месяцу [34], что сопоставимо с редукцией болевого синдрома на 80–85 % в нашем исследовании. В работе Y. Onoi et al. после однократного введения ADRCs также отмечено уменьшение боли на 75–80 % к шестому месяцу и улучшение показателей KOOS [35]. Данные J. Michalek et al. подтверждают устойчивость эффекта SVF-терапии: снижение боли достигало 65–70 % к 12-му месяцу и сохранялось до 36 месяцев наблюдения [36]. Наконец, A. Russo et al. продемонстрировали медианное уменьшение боли на 40–50 % и улучшение KOOS на 30–35 % через 12 месяцев [37], что также подтверждает выраженную клинко-функциональную эффективность жировой клеточной терапии.

В совокупности эти данные свидетельствуют о воспроизводимости анальгетического и функционального эффектов SVF-терапии, при этом полученные в нашем исследовании показатели редукции боли находятся в диапазоне, сопоставимом или превышающем опубликованные результаты.

К ограничениям исследования можно отнести нерандомизированный характер распределения пациентов и умеренный объём выборки. Тем не менее, стандартизированный протокол лечения и сопоставимость групп минимизируют влияние потенциальных систематических факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование продемонстрировало высокую клиническую и структурную эффективность SVF-терапии при лечении пациентов с хондромалацией надколенника. В обеих группах зарегистрировано достоверное снижение болевого синдрома, выраженное функциональное улучшение и статистически значимая редукция линейных и объёмных параметров хондрального дефекта по данным количественного МРТ-анализа, что подтверждает структурно-положительный эффект клеточной терапии.

Модифицированная технология SVF обеспечивала более быстрое наступление клинического эффекта при сопоставимых структурных изменениях по данным МРТ в отдалённом периоде наблюдения, что свидетельствует о сохранении регенеративного потенциала клеточного субстрата при оптимизации протокола его подготовки.

Полученные данные позволяют рассматривать SVF-терапию как эффективный биологический метод коррекции дегенеративных изменений пателлофemorального сочленения, а модифицированную технологию — как вариант, обеспечивающий ускоренное формирование клинического ответа при сохранении структурной эффективности.

Конфликт интересов. Отсутствует.

Источник финансирования. Источники финансирования отсутствуют.

Информированное согласие. Все участники исследования подписали информированное согласие на участие и публикацию обезличенных данных, полученных в ходе исследования.

Информация об использовании генеративного искусственного интеллекта. Искусственный интеллект использован с целью проверки орфографии и редактирования речевых оборотов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Outerbridge RE. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-B:752–757. doi:10.1302/0301-620X.43B4.752.
- Insall JN, Falvo KA, Wise DW. Chondromalacia patellae: a prospective study. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(1):1–8.
- Crossley KM, Stefanik JJ, Selfe J, et al. 2016 Patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester. Part 1: Terminology, definitions, clinical examination, natural history, patellofemoral osteoarthritis and patient-reported outcome measures. *Br J Sports Med.* 2016;50(14):839–843. doi: 10.1136/bjsports-2016-096384.
- Altukhova AV, Kaurkin SN, Skvortsov DV, et al. Changes in gait biomechanics as functional symptom of chondromalacia patella. *Russian Open Med J.* 2021;10(2):e0213. doi:10.15275/rusomj.2021.0213.
- Fang T, Zhou X, Jin M, et al. Molecular mechanisms of mechanical load-induced osteoarthritis. *Int Orthop.* 2021;45(5):1125–1136. doi: 10.1007/s00264-021-04938-1.
- Макушин В.Д., Чергунов О.К., Карасева Т.Ю., и др. Хондромалация надколенника: современные концепции этиопатогенеза и лечения. *Гений ортопедии.* 1998;(4):92–96.
- Farrokhi S, Keyak JH, Powers CM. Individuals with patellofemoral pain exhibit greater patellofemoral joint stress: a finite element analysis study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2011;19(3):287–294. doi: 10.1016/j.joca.2010.12.001.
- Thielen NGM, van der Kraan PM, van Caam APM. TGFβ/BMP Signaling Pathway in Cartilage Homeostasis. *Cells.* 2019;8(9):969. doi: 10.3390/cells8090969.
- Han Z, Wang K, Ding S, Zhang M. Cross-talk of inflammation and cellular senescence: a new insight into the occurrence and progression of osteoarthritis. *Bone Res.* 2024;12(1):69. doi: 10.1038/s41413-024-00375-z.
- Robinson WH, Lepus CM, Wang Q, et al. Low-grade inflammation as a key mediator of the pathogenesis of osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol.* 2016;12(10):580–592. doi: 10.1038/nrrheum.2016.136.
- De Roover A, Escribano-Núñez A, Monteagudo S, Lories R. Fundamentals of osteoarthritis: Inflammatory mediators in osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2023;31(10):1303–1311. doi: 10.1016/j.joca.2023.06.005.
- Hunziker EB. Articular cartilage repair: basic science and clinical progress. A review of the current status and prospects. *Osteoarthritis Cartilage.* 2002;10(6):432–463. doi: 10.1053/joca.2002.0801.
- Носков С.М., Маргазин В.А., Башкина А.С. и др. Почему лечебная физкультура является лучшим методом лечения остеоартрита коленных суставов? Пациентоориентированная медицина и фармация. 2024;2(3):21–28. doi: 10.37489/2949-1924-0055.
- van der Heijden RA, Lankhorst NE, van Linschoten R, et al. Exercise for treating patellofemoral pain syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;1(1):CD010387. doi: 10.1002/14651858.CD010387.pub2.
- Brittberg M. Clinical articular cartilage repair—an up to date review. *Annals Joint.* 2018;3:94. doi: 10.21037/aoj.2018.11.03.
- Егизарян К.А., Лазишвили Г.Д., Храменкова И.В. и др. Алгоритм хирургического лечения больных с рассекающим остеохондритом коленного сустава. *Вестник РГМУ.* 2018;(2):77–83. doi: 10.24075/vrgmu.2018.020.
- Айрапетов Г.А., Загородний Н.В., Воротников А.А. Экспериментальный метод замещения костно-хрящевых дефектов суставов (ранние результаты). *Медицинский вестник Юга России.* 2019;10(2):71–76. doi: 10.21886/2219-8075-2019-10-2-71-76.
- Айрапетов Г.А., Воротников А.А., Коновалов Е.А. Методы хирургического лечения локальных дефектов гиалинового хряща крупных суставов (обзор литературы). *Гений ортопедии.* 2017;23(4):485–491. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-4-485-491.
- Куляба Т.А., Банцер С.А., Трачук П.А. и др. Эффективность различных хирургических методик при лечении локальных повреждений хряща коленного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2020;26(3):170–181. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-170-181.
- Zuk PA, Zhu M, Mizuno H, et al. Multilineage cells from human adipose tissue: implications for cell-based therapies. *Tissue Eng.* 2001;7(2):211–228. doi: 10.1089/107632701300062859.
- Gimble JM, Katz AJ, Bunnell BA. Adipose-derived stem cells for regenerative medicine. *Circ Res.* 2007;100(9):1249–1260. doi: 10.1161/01.RES.0000265074.83288.09.
- Bourin P, Bunnell BA, Casteilla L, et al. Stromal cells from the adipose tissue-derived stromal vascular fraction and culture expanded adipose tissue-derived stromal/stem cells: a joint statement of the International Federation for Adipose Therapeutics and Science (IFATS) and the International Society for Cellular Therapy (ISCT). *Cytotherapy.* 2013;15(6):641–648. doi: 10.1016/j.jcyt.2013.02.006.
- Yi T, Song SU. Immunomodulatory properties of mesenchymal stem cells and their therapeutic applications. *Arch Pharm Res.* 2012;35(2):213–221. doi: 10.1007/s12272-012-0202-z.

24. Zhou J, Wang Y, Liu Y, et al. Adipose derived mesenchymal stem cells alleviated osteoarthritis and chondrocyte apoptosis through autophagy inducing. *J Cell Biochem.* 2019;120(2):2198-2212. doi: 10.1002/jcb.27530.
25. Lee WS, Kim HJ, Kim KI, et al. Intra-Articular Injection of Autologous Adipose Tissue-Derived Mesenchymal Stem Cells for the Treatment of Knee Osteoarthritis: A Phase IIb, Randomized, Placebo-Controlled Clinical Trial. *Stem Cells Transl Med.* 2019;8(6):504-511. doi: 10.1002/sctm.18-0122.
26. Смышляев И.А., Гильфанов С.И., Копылов В.А. и др. Оценка безопасности и эффективности внутрисуставного введения стромально-васкулярной фракции жировой ткани для лечения гонартроза: промежуточные результаты клинического исследования. *Травматология и ортопедия России.* 2017;23(3):17-31. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-17-31.
27. Kim KI, Kim MS, Kim JH. Intra-articular Injection of Autologous Adipose-Derived Stem Cells or Stromal Vascular Fractions: Are They Effective for Patients With Knee Osteoarthritis? A Systematic Review With Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Am J Sports Med.* 2023;51(3):837-848. doi: 10.1177/03635465211053893.
28. Vargel İ, Tuncel A, Baysal N, et al. Autologous Adipose-Derived Tissue Stromal Vascular Fraction (AD-tSVF) for Knee Osteoarthritis. *Int J Mol Sci.* 2022;23(21):13517. doi: 10.3390/ijms232113517.
29. Tang X, Huang H, Hao L. Decadal analysis of efficacy and safety profiles of mesenchymal stem cells from varied sources in knee osteoarthritis patients: A systematic review and network meta-analysis. *Exp Gerontol.* 2024;192:112460. doi: 10.1016/j.exger.2024.112460.
30. Голубинская П.А., Ручко Е.С., Пикина А.С. и др. Особенности тканеинженерных и клеточных препаратов, применяемых для терапии поражений хрящевой ткани. *Гены и клетки.* 2025;20(1):5-17. doi: 10.17816/gc640858.
31. Зверев Г.М., Судницын А.С., Яковлев С.В., Сайфулин А.В. Использование модифицированного протокола механического получения стромально-васкулярной фракции в сочетании с плазмой, обогащённой тромбоцитами, при остеохондральных дефектах коленного сустава. *Гений ортопедии.* 2026;32(3): 340-349. doi: 10.18019/1028-4427-2026-32-3- 340-349.
32. Yokota N, Hattori M, Ohtsuru T, et al. Comparative clinical outcomes after intra-articular injection with adipose-derived cultured stem cells or noncultured stromal vascular fraction for the treatment of knee osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2019;47(11):2577-2583. doi: 10.1177/0363546519864359.
33. Bisicchia S, Bernardi G, Pagnotta SM, Tudisco C. Micro-fragmented stromal-vascular fraction plus microfractures provides better clinical results than microfractures alone in symptomatic focal chondral lesions of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(6):1876-1884. doi: 10.1007/s00167-019-05621-0.
34. Hudetz D, Borić I, Rod E, et al. The Effect of Intra-articular Injection of Autologous Microfragmented Fat Tissue on Proteoglycan Synthesis in Patients with Knee Osteoarthritis. *Genes (Basel).* 2017;8(10):270. doi: 10.3390/genes8100270.
35. Onoi Y, Hiranaka T, Nishida R, et al. Second-look arthroscopic findings of cartilage and meniscus repair after injection of adipose-derived regenerative cells in knee osteoarthritis: Report of two cases. *Regen Ther.* 2019;11:212-216. doi: 10.1016/j.reth.2019.07.010.
36. Michalek J, Vrablikova A, Darinskas A, et al. Stromal vascular fraction cell therapy for osteoarthritis in elderly: Multicenter case-control study. *J Clin Orthop Trauma.* 2019;10(1):76-80. doi: 10.1016/j.jcot.2018.11.010.
37. Russo A, Condello V, Madonna V, et al. Autologous and micro-fragmented adipose tissue for the treatment of diffuse degenerative knee osteoarthritis. *J Exp Orthop.* 2017;4(1):33. doi: 10.1186/s40634-017-0108-2.

Статья поступила 25.02.2026; одобрена после рецензирования 12.03.2026; принята к публикации 09.06.2026.

The article was submitted 25.02.2026; approved after reviewing 12.03.2026; accepted for publication 09.06.2026.

Информация об авторах:

Глеб Михайлович Зверев — врач — травматолог-ортопед, Dr.zverev@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9097-0144>;

Анатолий Сергеевич Судницын — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед, заведующий лабораторией, <https://orcid.org/0000-0002-2602-2457>;

Сергей Витальевич Яковлев — кандидат медицинских наук, врач — травматолог-ортопед;

Александр Валерьевич Сайфулин — врач;

Шота Александрович Моев — врач — травматолог-ортопед.

Information about the authors:

Gleb M. Zverev, MD — Orthopaedic Surgeon, Dr.zverev@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9097-0144>;

Anatolii S. Sudnitsyn — Candidate of Medical Sciences, Orthopaedic Surgeon, Head of the Laboratory, <https://orcid.org/0000-0002-2602-2457>;

Sergey V. Yakovlev — Candidate of Medical Sciences, Orthopaedic Surgeon;

Alexander V. Saifulin — MD;

Shota A. Moev — Orthopaedic Surgeon.

Вклад автора:

Зверев Г.М. — лечение пациентов, сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи, разработка концепции, проведение исследования, утверждение окончательного варианта рукописи для публикации.

Судницын А.С. — написание текста статьи, разработка концепции, проведение исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, утверждение окончательного варианта рукописи для публикации.

Яковлев С.В. — написание текста статьи, утверждение окончательного варианта рукописи для публикации.

Сайфулин А.В. — сбор, анализ и интерпретация данных.

Моев Ш.А. — лечение пациентов, сбор, анализ и интерпретация данных.