



АНАТОМО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАЗРАБОТКА И КЛИНИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ШВА ПЯТОЧНОГО СУХОЖИЛИЯ

А.М. Гурьянов, И.И. Каган

Оренбургский государственный медицинский университет, ул. Советская, д. 6, г. Оренбург, 460000, Россия

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В публикациях, посвящённых травмам пяточного сухожилия, сообщается о низких функциональных результатах их лечения, обусловленных несостоятельностью сухожильных швов и развитием реруптур.

Цель: усовершенствование технологии тенорафии и улучшение результатов лечения при травмах пяточного сухожилия.

Материалы и методы. Настоящее исследование выполнено на 262 объектах: 57 трупов и 13 отчленённых и ампутированных по медицинским показаниям конечностей людей, 14 телят, 178 пациентов с травмами. На материале гистотопограмм 70 трупных пяточных сухожилий людей изучена их макромикроскопическая анатомия. Материалом разработки новой технологии тенорафии послужили 42 сухожилия трупов или отчленённых и ампутированных конечностей людей, материалом экспериментальных исследований – 27 нефиксированных сухожилий телят. В эксперименте разработана и обоснована микрохирургическая технология тенорафии, у 39 человек с повреждениями пяточного сухожилия проведены её клиническая апробация и сопоставительный анализ с исходами традиционных способов тенорафии у 139 пациентов. Результаты клинического исследования оценивали не ранее года после операции, учитывая число осложнений, функциональный результат по шкале American Orthopaedic Foot and Ankle Society.

Результаты. Полученные в ходе изучения макромикроскопической анатомии сухожилий данные стали анатомической базой усовершенствования технологии тенорафии, которое достигнуто разработкой инструмента для атравматичного удержания культей сухожилия и микрохирургического сухожильного шва, что обеспечило сохранение структуры и точную адаптацию культей сухожилия ($p < 0,001$), повышение механической прочности их соединения. Применение её в клинике позволило получить достоверно более высокие функциональные результаты в сравнении с исходами традиционной тенорафии ($p < 0,001$).

Заключение. Полученные результаты обосновывают целесообразность внедрения разработанной технологии сухожильного шва в широкую клиническую практику.

Ключевые слова (русский / English / MeSH): пяточное сухожилие / calcaneal (Achilles) tendon / Achilles Tendon – D000125; травмы сухожилия / tendon injuries / Tendon Injuries – D013708; сухожильный шов / tendon suture / Suture Techniques – D013537; тендопластика / tendoplasty / Tendon Transfer – D013709.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо.

Для цитирования: Гурьянов А.М., Каган И.И. Анатомо-экспериментальная разработка и клиническая апробация новой технологии шва пяточного сухожилия. Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье. 2026;16(3):94-106. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2026.3.CLIN.3>

ANATOMICAL AND EXPERIMENTAL DEVELOPMENT AND CLINICAL TESTING OF A NEW CALCANEAL TENDON SUTURE TECHNOLOGY

Andrey M. Gur'yanov, Il'ya I. Kagan

Orenburg state medical University, Sovetskaya St., 6, Orenburg, 460000, Russia

ABSTRACT

Background. Publications on calcaneal tendon injuries report poor functional results of their treatment due to the failure of tendon sutures and the development of fractures.

Aim. The aim of the study was to improve tenoraphy technology and improve treatment outcomes for calcaneal tendon injuries.

Materials and methods. The present study was performed on 262 objects: 57 corpses and 13 limbs separated and amputated for medical reasons, 14 calves, 178 patients with injuries. The macromicroscopic anatomy of 70 cadaverous calcaneal tendons has been studied on the basis of histotopograms of 70 cadaverous calcaneal tendons. 42 tendons of corpses or severed and amputated limbs of people served as the material for the development of a new tenoraphy technology, 27 unfixed tendons of calves served as the experimental research material. Microsurgical tenoraphy technology was developed and substantiated in the experiment, its clinical approbation and comparative analysis with the outcomes of traditional tenoraphy methods in 139 patients were carried out in 39 people with calcaneal tendon injuries. The results of the clinical trial were evaluated no earlier than a year after surgery, taking into account the number of complications and the functional result according to the American Orthopedic Foot and Ankle Society scale.

Results. The data obtained during the study of macromicroscopic tendon anatomy became the anatomical basis for improving tenoraphy technology, which was achieved by developing a tool for atraumatic retention of tendon stumps and microsurgical tendon suture, which ensured the preservation of the structure and precise adaptation of tendon stumps ($p < 0.001$), increasing the mechanical strength of their connection. Its use in the clinic allowed to obtain significantly higher functional results in comparison with the outcomes of traditional tenoraphy ($p < 0.001$).

Conclusion. The results obtained substantiate the expediency of introducing the developed tendon suture technology into widespread clinical practice.

Keywords (Russian / English / MeSH): пяточное сухожилие / calcaneal (Achilles) tendon / Achilles Tendon – D000125; травмы сухожилия / tendon injuries / Tendon Injuries – D013708; сухожильный шов / tendon suture / Suture Techniques – D013537; тендопластика / tendoplasty / Tendon Transfer – D013709.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

Compliance with ethical principles. The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it necessary.

Cite as: Guryanov A.M., Kagan I.I. Anatomical and experimental development and clinical testing of a new calcaneal tendon suture technology. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2026;16(3):94-106. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2026.3.CLIN.3>

АКТУАЛЬНОСТЬ

Основным способом восстановления пяточного сухожилия при его повреждении является сухожильный шов, традиционные методы демонстрируют эффективность и надежность, тем не менее число неудовлетворительных исходов не уменьшается, а возникающие осложнения пролонгируют лечение, приводят к стойкой утрате трудоспособности [1, 2]. В публикациях, посвящённых травмам пяточного сухожилия, сообщается о низких функциональных результатах их лечения, обусловленных несостоятельностью сухожильных швов и развитием реруптур [1-4]. Ведётся разработка новых способов тенорафии, при этом прецизионность существующих и вновь внедряемых способов остаётся малоизученной. На фоне достаточного объёма информации по секционной анатомии и ультрамикроскопическом строении пяточного сухожилия [3, 5-7], мало сведений о его макромикроскопической анатомии, которые могли бы выступить анатомической основой разработки новых способов тенорафии. Указанные проблемы определили цель и задачи настоящего исследования.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: усовершенствование технологии тенорафии и улучшение результатов лечения при травмах пяточного сухожилия.

Задачи исследования: 1. Изучить макромикроскопическую анатомию пучкового строения сухожилий конечностей как анатомическую основу разработки новых технологий тенорафии. 2. Оценить в эксперименте особенности традиционной техники и разработать новую технологию тенорафии с учётом макромикроанатомического строения сухожилий и выявленных особенностей традиционной техники сухожильного шва. 3. Выполнить в эксперименте сравнение анатомичности и механической прочности сухожильных швов при разных способах соединения концов повреждённого сухожилия. 4. Провести клиническую апробацию разработанной технологии тенорафии и сопоставительный анализ результатов различных способов хирургического лечения пациентов с повреждением сухожилий конечностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на 262 объектах: 57 трупов и 13 ампутированных по медицинским показаниям конечностей людей, 14 телят, 178 пациентов. Исследование проведено в соответствии со статьей 68 Федерального закона № 323 «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», с постановлением Правительства Российской Федерации № 750 «Об утверждении правил пере-

дачи невостробованного тела, органов и тканей умершего человека для использования в медицинских, научных и учебных целях, принципами Хельсинкской декларации, Европейской конвенцией (Страсбург, 1986), разрешением ЛЭК ОрГМУ (протокол №138 от 01.04.2016 г.).

Материалом анатомического исследования послужили гистотопограммы 623 трупных сухожилий людей, на основе которых изучена их макромикроскопическая анатомия: длинной головки двуглавой мышцы плеча – 9, локтевого сгибателя запястья – 4, лучевого сгибателя запястья – 4, локтевого разгибателя запястья – 6, короткого лучевого разгибателя запястья – 5, длинного сгибателя большого пальца кисти – 36, сухожилия к 2-5 пальцам кисти мышцы поверхностного и глубокого сгибателей пальцев кисти – по 144, сухожилие четырёхглавой мышцы

бедр – 23, передней большеберцовой мышцы – 8, длинного разгибателя первого пальца стопы – 35, длинного разгибателя пальцев стопы – 35, длинного сгибателя первого пальца стопы – 35, длинного сгибателя пальцев стопы – 35, задней большеберцовой мышцы – 8, длинной и короткой малоберцовой мышц – по 11, пяточного сухожилия – 70.

Материалами разработки новой технологии тенорафии послужили 42 кадаверных сухожилия человека, экспериментальных исследований – 27 нефиксированных сухожилий телят, клинических исследований – медкарты 178 пациентов с травмами пяточного сухожилия: 39 пациентов группы основной (ГО), у которых применена разработанная технология тенорафии, и 139 пациентов группы сравнения (ГС), оперированных традиционными методами. Дизайн исследования приведён в таблице 1.

Таблица 1. Дизайн исследования
Table 1. Research design

Раздел	Объект	Материал - количество	Методики
Изучение макромикроскопической анатомии	Трупы людей – 57 Конечности людей – 13	Сухожилия: верхней конечности – 352; нижней конечности – 271	Микроскопия, гистотопография, морфометрия
Разработка и экспериментальное обоснование новой технологии тенорафии	Трупы людей – 25 Конечности людей – 12 Телята – 14 особей	Сшитые сухожилия – 52 Сшитые сухожилия – 27	Макромикроскопия, гистотопография, анатомоморфометрия Испытания прочности образцов
Клинический раздел исследования	Пациенты: ГО – 39; ГС – 139	Медицинские карты – 178, протоколы оценки функции конечности и гониометрии	Физикальные методы, гониометрия, шкала AOFAS. Анализ числа осложнений

Разработка новой технологии тенорафии проведена на сухожилиях трупов людей. С целью оценки влияния способа удержания сухожилия на его структуру в ходе тенорафии на 12 сухожилиях выполнена тенотомия и шов по Ланге, один конец сухожилия при этом удерживали пинцетом, стараясь свести к минимуму количество перехватов, другой – тендодержателем. Сухожилия подвергали гистотопографическому исследованию с градацией изменений их структуры на 4 степени по отношению к площади поперечного сечения (ППС): 0-я – отсутствие изменений или объём их до 10% ППС; 1-я – от 11% до 30%; 2-я – от 31% до 60%; 3-я – деструкции 60% ППС и более. Далее 15 образцов сухожилий сшиты по усовершенствованной методике (10 – открытым способом, 5 – через минидоступы), для сравнения выполнено по 5 образцов традиционных швов (Bunnell-Cuneo, Krackow, Ma-Griffith, Розова-Kessler-Tajima, Tsuge), проведён анализ техники их выполнения и анатомичности сформированных анастомозов.

Экспериментально-хирургическое обоснование включало серию экспериментов на изолированных сухожилиях телят с определением механической прочности разработанного (7 образцов) и традиционных швов Bunnell-Cuneo (6 образцов), Розова-

Kessler-Tajima (7 образцов), Tsuge (7 образцов). В испытания не включены швы Krackow и Ma-Griffith, первый по результатам исследования обладал меньшей анатомичностью ввиду обилия шовного материала на поверхности сухожилия и её деформации, а шов Ma-Griffith технически не реализуем в эксперименте на изолированных сухожилиях.

Клинический материал основан на анализе результатов лечения 178 пациентов: ГС – 139 пациентов (средний возраст $41,2 \pm 7,8$ года), ГО – 39 пациентов (средний возраст $42,1 \pm 6,9$ года). По локализации травм сухожилия условно выделено 5 зон: I – энтезис, II – нижняя треть сухожилия, III – средняя треть сухожилия, IV – верхняя треть сухожилия, V – мышечно-сухожильный переход. Распределение пациентов по давности травм и уровню повреждения представлено в таблице 2, по характеру операций – в таблице 3. Группы были репрезентативны по полу, возрасту, характеру травм и сопутствующей нозологии ($p > 0,05$). Каждый пациент дал информированное согласие на участие в исследовании. Результаты оценивали не ранее года после операции, учитывая число осложнений, функциональный результат (ФР) по шкале American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) [3].

Таблица 2. Виды травм сухожилий в группе основной и группе сравнения
Table 2. Types of tendon injuries in the main and comparison groups

Группы n=178	Давность травмы		Зона повреждения		
	Свежая	Застарелая	II	III	IV
ГО, n=39	16 (41,0%)	23 (59,0%)	5 (12,8%)	32 (82,1%)	2 (5,1%)
ГС, n=139	76 (54,7%)	63 (45,3%)	18 (13,0%)	115 (82,7%)	6 (4,3%)

Таблица 3. Способы восстановления сухожилий в группах пациентов
Table 3. Methods of tendon repair in patient groups

Группа	Восстановительные операции		Пластика
	Способ шва	Количество	Количество
ГО, n=39	Разработанная технология тенорафии	16	23
	Bunnell-Cuneo	40	34
ГС, n=139	Krackow	20	
	Ma-Griffith	45	

Полученные данные подвергнуты вариационно-статистической обработке с помощью программ MS Excel и пакета прикладных программ Statistica 10. Определяли среднее арифметическое (X), ошибку среднего (Sx), минимальные (Min) и максимальные (Max) значения, среднеквадратичное отклонение (σ). Проверку данных на «нормальность» распределения проводили с помощью критерия Шапиро – Уилка. Достоверность различий доли пучков в сухожилиях оценивали с помощью расчётов доверительных интервалов с вероятностью 95,5%, частоты признаков в изучаемых группах – с помощью критерия χ^2 . Сравнение двух независимых групп проводили с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни, трёх групп – с помощью критерия Краскелла – Уолисса [8]. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Макромикроскопическая анатомия сухожилий конечностей

Результаты изучения микроанатомии пяточного сухожилия интересны сами по себе, при этом не меньший интерес представляют особенности его микроанатомии в сравнительном аспекте с микроанатомией сухожилий верхней конечности и сухожилий других мышц нижней конечности. Установлено, что сухожилия разных мышц имеют индивидуальные различия в своём строении, при этом обнаруживаются и общие закономерности, имеющие прикладное значение. Главной структурной единицей макромикроскопического строения их являются сухожильные пучки 1-го порядка, которые характеризуются различиями формы и площади поперечного сечения ($p < 0,001$). В исследовании впервые предложена классификация их по размеру (мелкие – 0,004-0,009 мм², средние – 0,01-0,04 мм², крупные – 0,05-0,09 мм², очень крупные 0,1-0,2 мм²), показано разнообразие форм их поперечного сечения – треугольные, четырёхугольные, многоугольные, обеспечивающее их тесное прилегание друг к другу (рис. 1).

Для сухожилий одноимённых мышц разных людей характерны индивидуальные особенности в макромикроскопическом строении, которые выражаются различиями в площади поперечного сечения их, в количестве сухожильных пучков 1-го порядка, в соотношении пучков разных калибров и их микроархитектонике ($p < 0,001$). Обнаружено явное преобладание мелких пучков в сухожилиях пальцев кисти (табл. 4), тогда как в более крупных сухожилиях (двуглавая мышца, сгибатели и разгибатели запястья) увеличивается доля средних и крупных пучков ($p = 0,003$).

Для сухожилий нижних конечностей (табл. 5), в отличие от верхней конечности, характерны сухожильные пучки 1-го порядка, уплощённые в поперечном сечении, с преобладанием доли крупных и средних пучков ($p < 0,001$), ориентированных параллельно друг другу, вдоль поперечного диаметра сухожилия, что возможно обусловлено особенностями их функции.



Рисунок 1. Различия форм и размеров сухожильных пучков 1-го порядка: 1, 2, 3, 4 – пучки первого порядка. Поперечная гистотограмма. МБС-10. Ок. 6, об. 4. Окраска по Ван Гизону

Figure 1. Differences in the shapes and sizes of tendon bundles of the 1st order: 1, 2, 3, 4 are bundles of the first order. Transverse histotopogram. MBS-10. Ok. 6, ob. 4. Van Gieson coloring

Таблица 4. Количество пучков 1-го порядка в сухожилиях верхней конечности

Table 4. The number of bundles of the 1st order in the tendons of the upper limb

Источник сухожилия	Мелкие	%	Средние	%	Крупные	%
Двуглавая мышца	320±40	62,7	127±18	24,9	63±24	12,4
Локтевой сгибатель запястья	129±31	67,5	36±6	18,8	26±4	13,6
Лучевой сгибатель запястья	207±39	72,9	40±6	14,1	37±3	13,0
Короткий лучевой разгибатель запястья	112±28	54,6	45±1	22,0	48±13	23,4
Локтевой разгибатель запястья	250±54	66,8	76±23	20,3	48±13	12,8
Поверхностный сгибатель 2-го пальца	225±64	81,2	31±8	11,2	21±7	7,6
Поверхностный сгибатель 3-го пальца	186±34	81,2	26±4	11,3	17±3	7,4
Поверхностный сгибатель 4-го пальца	264±33	83,2	35±7	11,0	18±2	5,7
Поверхностный сгибатель 5-го пальца	240±42	79,5	35±10	11,6	27±11	8,9
Глубокий сгибатель 2-го пальца кисти	282±32	82,5	35±9	10,2	25±12	7,3
Глубокий сгибатель 3-го пальца	263±22	79,0	39±4	11,7	31±4	9,3
Глубокий сгибатель 4-го пальца	444±56	81,2	62±2	11,3	41±5	7,5
Глубокий сгибатель 5-го пальца	354±21	71,9	96±29	19,5	42±9	8,5
Длинный сгибатель 1-го пальца	462±30	72,2	116±10	18,1	62±5	9,7

Таблица 5. Количество пучков 1-го порядка в сухожилиях нижней конечности

Table 5. The number of bundles of the 1st order in the tendons of the lower limb

Источник сухожилия	Количество сухожильных пучков					
	Мелкие		Средние		Крупные	
	X±Sx	%	X±Sx	%	X±Sx	%
Четырёхглавая мышца бедра	286±25,5	24,2	579±24,9	48,9	318±4,9	26,9
Длинная малоберцовая мышца	171±28,0	31,2	153±27,0	27,9	224±20,0	40,9
Короткая малоберцовая мышца	142±36,9	46,4	114±21,0	37,2	50±12,0	16,3
Задняя большеберцовая мышца	395±44,0	39,3	395±44,0	39,3	214±9,0	21,3
Длинный разгибатель пальцев	1391±82,0	84,5	127±13,0	7,7	127±13,0	7,7
Длинный разгибатель 1-го пальца	1797±141,0	85,7	172±15,0	8,2	128±6,0	6,1
p-значение	p<0,001		p<0,001		p<0,001	

Таблица 6. Количество пучков 1-го порядка в пяточном сухожилии

Table 6. The number of bundles of the 1st order in the calcaneal tendon

Уровень сухожилия	Мелкие пучки		Средние пучки		Крупные пучки	
	X±Sx	%	X±Sx	%	X±Sx	%
Верхняя треть	21,0±6,5	9,0%	37,0±13,4	15,8%	175,2±117,9	75,2%
Средняя треть	16,0±5,4	7,0%	32,0±19,1	15,0%	170,4±99,8	78,0%
Нижняя треть	16,0±4,05	7,0%	30,0±12,1	13,0%	180,0±126,4	80,0%
p-значение	p<0,001		p<0,001		p=0,008	

В пяточном сухожилии, подобно сухожилиям других мышц, распределение пучков 1-го порядка, их количество, форма и размеры имели различия по длине сухожилия (табл. 6). Особенностью является очень тесное расположение их с минимальным развитием эндотендиния, значительное преобладание крупных пучков (77,5 ДИ (74,3;80,7%)), доля средних и мелких пучков составляла соответственно 14,7 ДИ (11,9;17,3)% и 7,8 ДИ (5,7;9,9)%. Такое распределение пучков не характерно для других сухожилий, в которых доля крупных пучков составляла не более 40,9%.

На разных уровнях сухожилия имеются различия как в архитектонике и форме, так и в размерах и числе сухожильных пучков 1-го порядка (рис. 2), что позволяет предположить деление или объединение их по длине сухожилия, придающее сухожилию компактное сетевидное строение, вопреки существующему мнению о кабельном строении сухожилий ($p<0,001$). На гистотопограмме видны места проникновения в сухожилие питающих сосудов из клетчаточного пространства Кегера, они располо-

жены в сагиттальной плоскости с обращённой в сторону костей голени поверхности. Диаметр сосудов вентральной части сухожилия превышает диаметр сосудов дорсальной половины, что позволяет рассматривать эту зону как сосудистую. Пяточное сухожилие имеет относительно поверхностное расположение, с дорсальной и боковых сторон окружено кожей, подкожной клетчаткой, собственной фасцией (рис. 3). Поверхность его покрыта эпителием, который в виде плотной соединительнотканной однослойной оболочки (от 15 до 20 мкм в толщину) тесно спаян с тканью самого сухожилия по всей поверхности. Между эпи- и паратендинием имеется тонкое щелевидное пространство. Связь эпителиния с эндо- и перитендинием может указывать на его участие в кровоснабжении и регенерации сухожилия. Паратендиний состоит из нескольких плотно лежащих друг к другу листов и покрывает сухожилие по его дорсальной и боковым поверхностям. В верхней трети сухожилия вентрально он продолжается в виде перимизия, в средних и нижних отделах – наружные листки его образуют

внешнюю оболочку клетчаточного пространства Кегера. Это пространство расположено кпереди от сухожилия, впереди оно ограничено задней группой мышц голени и глубоким листком собственной фасции голени, покрывающей их, с боков – фасциальными листками, отходящими от собственной фасции голени. Клетчаточное пространство разделено внутренними листками паратендиния на неправильные формы отсеки, заполненные жировой тканью, содержащей сосуды и нервы.

Клетчаточное пространства Кегера является постоянной анатомической структурой, в связи с этим нами предложено его номенклатурное название – предсухожильное клетчаточное пространство голени (*spatium cellulosum pretendinosum cruris*). Нали-

чие кровеносных сосудов и нервов определяет его роль в кровоснабжении, регенерации, иннервации и функции сухожилия, что диктует необходимость щадящего отношения к нему во время проведения операции.

Полученные данные стали анатомической базой для разработки новой технологии тенорафии. Внимание к особенностям макромикрохирургической анатомии сухожилий и соблюдение принципов анатомического восстановления их, щадящее отношение к ткани сухожилия и его оболочкам, точное сопоставление культей, восстановление эпи- и паратендиния в ходе тенорафии могут быть залогом более прочного сращения сухожилий и сохранения их функции.

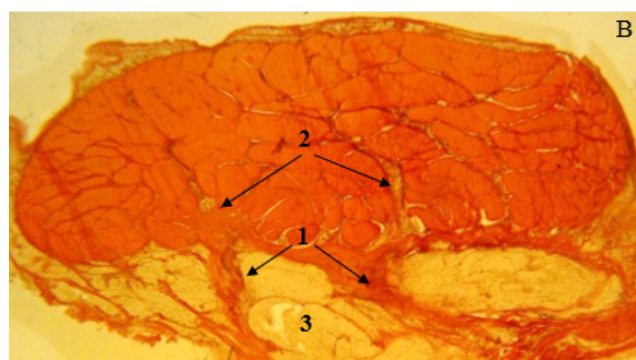
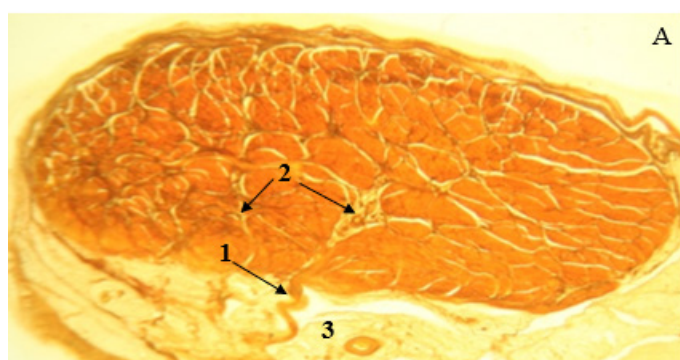


Рисунок 2. Различия формы пучков и внутренней архитектоники пяточного сухожилия на протяжении. Гистотопограммы пяточного сухожилия. **А** – Верхняя треть. **В** – Нижняя треть. 1 – питающие сосуды и место их проникновения в сухожилие; 2 – межпучковый перитендиний, содержащий кровеносные сосуды; 3 – клетчаточное пространство Кегера. Поперечные гистотопограммы. МБС-10. Ок. 6, об. 2. Окраска по Ван Гизону.

Figure 2. Differences in the shape of the bundles and the internal architectonics of the calcaneal tendon throughout. Histotopograms of the calcaneal tendon. **A** – is the upper third. **B** – is the lower third. 1 – feeding vessels and the place of their penetration into the tendon; 2 – the intervertebral peritendium containing blood vessels; 3 – the cellular space of the Keger. Transverse histotopograms. MBS-10. Ok. 6, ob. 2. Van Gieson coloring

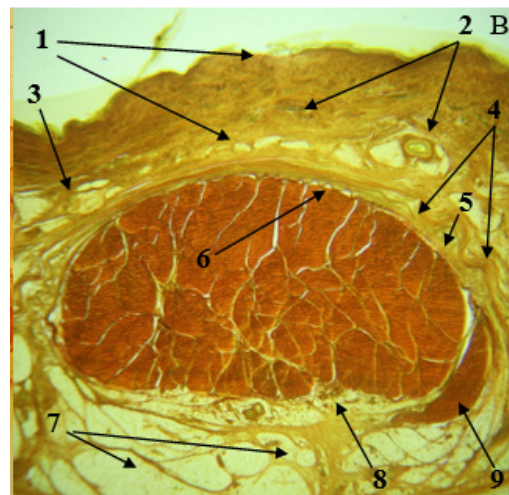
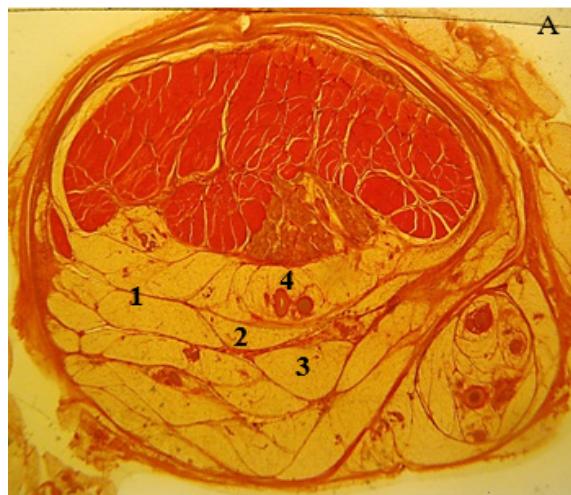


Рисунок 3. А. Предсухожильное клетчаточное пространство голени (пространство Кегера): 1 – фасциальные перемишки; 2, 3 – жировые отсеки; 4 – кровеносные сосуды. **В.** 1 – кожа, подкожная клетчатка; 2 – кровеносные сосуды; 3 – п. suralis; 4 – собственная фасция голени; 5 – паратендиний; 6 – эпитединий; 7 – пространство Кегера; 8 – сосуды в месте их проникновения в сухожилие; 9 – подошвенная мышца. Поперечные гистотопограммы. МБС-10. Ок. 8, об. 2. Окраска по Ван Гизону

Figure 3. A. Pre-tendinous cellular space of the shin (Keger space): 1 – fascial lintels; 2, 3 – fat compartments; 4 – blood vessels. **B.** 1 – skin, subcutaneous tissue; 2 – blood vessels; 3 – N. suralis; 4 – own fascia of the shin; 5 – paratendinium; 6 – epithendinium; 7 – Keger's space; 8 – vessels in place of their penetration into the tendon; 9 – plantar muscle. Transverse histotopograms. MBS-10. Ok. 8, ob. 2. Van Gieson coloring

Разработка и экспериментальное обоснование новой технологии тенорафии

С целью определения воздействия инструментария на сухожилие в ходе его сшивания, выполняли тенотомию сухожилий трупов людей, затем одну культю в ходе тенорафии удерживали пинцетом, противоположную – тендодержателем (рис. 4).

Несмотря на максимально щадящее отношение к сухожилию, в культях, которые удерживались пинцетом, наблюдались изменения микроанатомической структуры и формы сухожилия, повреждения его оболочек (рис. 5, А, В, С). Противоположные культы не имели структурных изменений (рис. 5, D, E, F).

Особенности пучкового строения и кровоснабжения сухожилий определяют их низкую устойчивость к компрессионным воздействиям. Попытки максимально щадяще выполнить шов даже при минимальном воздействии пинцета приводят к нарушению структуры сухожилия, что стало предпосылкой создания нового инструмента «Микрохирургический тендодержатель для выполнения сухожильного шва» (Патент RU177222U1. Микрохирургический тендодержатель для выполнения сухожильного шва. 13.02.2018. Авторы: Гурьянов А.М., Сафронов А.А., Ивлев В.В., Каган И.И., Ким В.И.). При использовании его объём деструкции сухожилия не превышал 10% ППС его, что достоверно меньше ($p < 0,001$) в сравнении с результатами использова-

ния пинцета. На рисунке 6 приведена диаграмма размаха объёма деструкции сухожилий в зависимости от способа их удержания.



Рисунок 4. Микрохирургический тендодержатель: А – вид спереди, В – вид сбоку

Figure 4. Microsurgical tendon holder: A – front view, B – side view

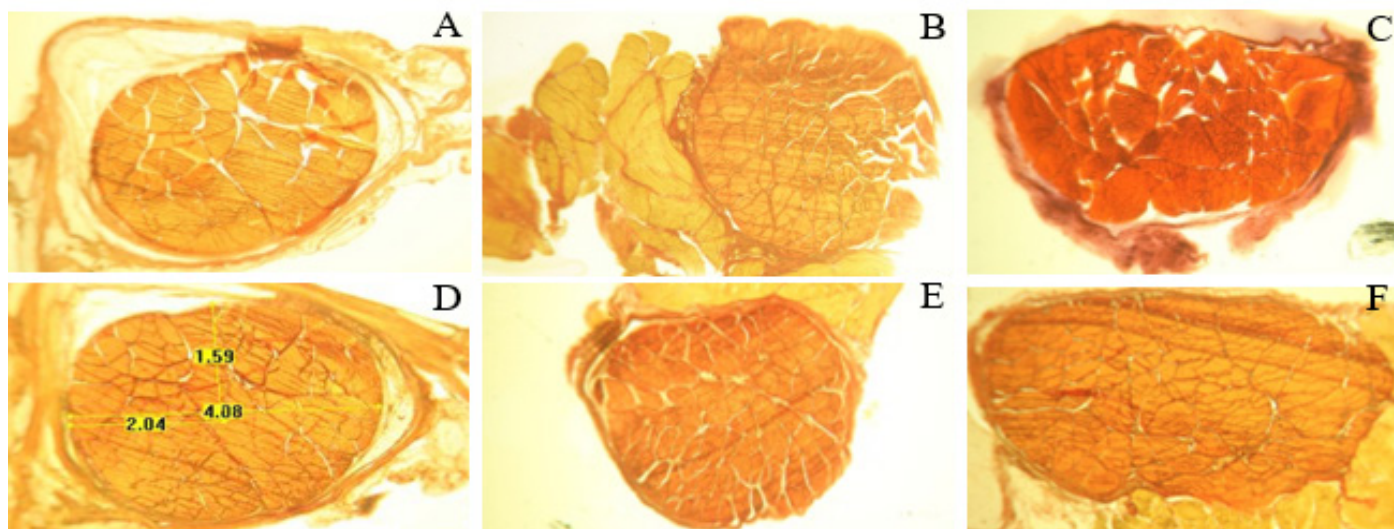


Рисунок 5. Поперечные гистотопограммы образцов сшитых сухожилий. МБС-10. Ок. 6, об. 4. Окраска по Ван Гизону

Figure 5. Transverse histotopograms of sutured tendon samples. MBS-10. Ok. 6, ob. 4. Van Gieson coloring

В ходе разработки нового способа тенорафии выполнено по 5 образцов традиционных швов (Bunnell-Cuneo, Krackow, Ma-Griffith, Розова-Kessler-Tajima, Tsuge) с анализом техники их выполнения, который показал: достаточную трудоемкость, необходимость сжатия и перехватов сухожилия пинцетом; трудность адаптации культей при традицион-

ном прошивании их «к месту разрыва», при котором сложно достичь соосности противоположных нитей на торцах культей, что требует перепроведения иглы; размещение узлов в сухожильной ране, а элементов шовного материала на поверхности эпителия. Гистотопография (рис. 7) демонстрировала разной степени нарушение структуры (1), неточ-

ность сопоставления (2) и деформацию культей (3), изменение ориентации (4) и импактизацию пучков внутри петли (6), дефекты ткани сухожилия (5) в местах размещения узлов.

Особенности традиционных методов тенорафии и данные микроанатомических исследований учтены при разработке нового способа сухожильного шва (Патент RU2698439C1. Способ микрохирургического шва сухожилия: 26.08.2019. Авторы: Гурьянов А.М., Сафронов А.А., Каган И.И., Ким В.И., Ивлев В.В. и др.). На рисунке 8 представлена схема разработанного шва, особенностями его стали: точное сопоставление культей сухожилия, что достигается новой техникой шва от места разрыва при помощи центрирующей осевой продольно ориентированной двойной нити; расположение всех элементов шва внутри сухожилия, а узлов за пределами сухожильной раны, с погружением их в сухожилие; перпендикулярная ориентация петли; микрохирургическая субэпитединозная адаптация концов сухожилия.

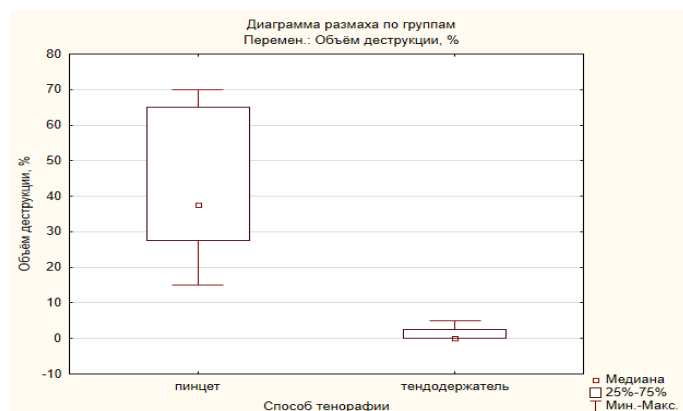


Рисунок 6. Диаграмма размаха объёма деструкции сухожилий в зависимости от способа их фиксации при тенорафии

Figure 6. Diagram of the extent of tendon destruction volume depending on the method of their fixation during tenoraphy

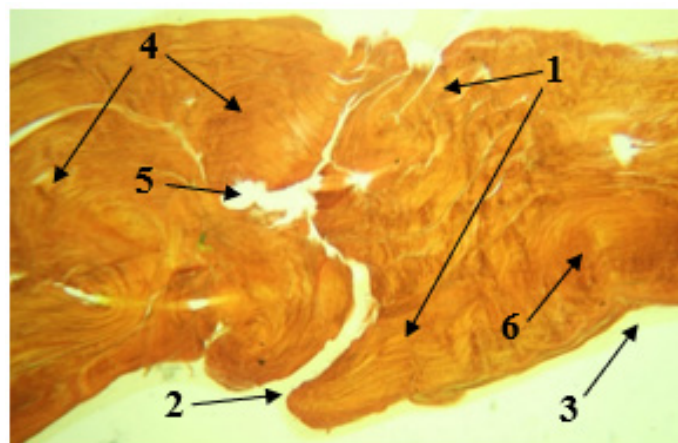


Рисунок 7. Продольная гистотопограмма зоны шва. МБС-10. Ок. 6, об. 4. Окраска по Ван Гизону (пояснения в тексте)

Figure 7. Longitudinal histotopogram of the suture area. MBS-10. Ok. 6, ob. 4. Van Gieson coloring (explanations in the text)

Итогом экспериментального этапа исследования стала новая микрохирургическая технология тенорафии, включающая комбинацию бескомпрессионного способа удержания культей сухожилия с возможностью их сопоставления и микрохирургического сухожильного шва, которая реализуется при 2,5-3,3-кратном оптическом увеличении бинокулярной лупы с использованием микрохирургических инструментов, включая тендодержатель.

Для осевого шва используется петлевая полипропиленовая нить типа Tsuge, с одетой дополнительно круглой иглой на противоположном от заводской иглы конце петли, или сложенная вдвое полипропиленовая нить, противоположные концы которой попарно вдеты в хирургические круглые иглы. Таким образом получается двойная нить, натянутая между двумя иглами на её концах. При описании разработанной технологии на схеме (рис. 8) и в иллюстрации этапов новой технологии тенорафии (рис. 9) для облегчения понимания две части сдвоенной нити осевого шва условно обозначены красным и синим цветом и литерами А и Б соответственно. При проведении тенорафии в клинике для осевого шва использованы нити USP 2, для адаптирующего шва – USP 6/0. В эксперименте для осевого шва использовали нити USP 2/0 (ГОСТ 31620-2012).

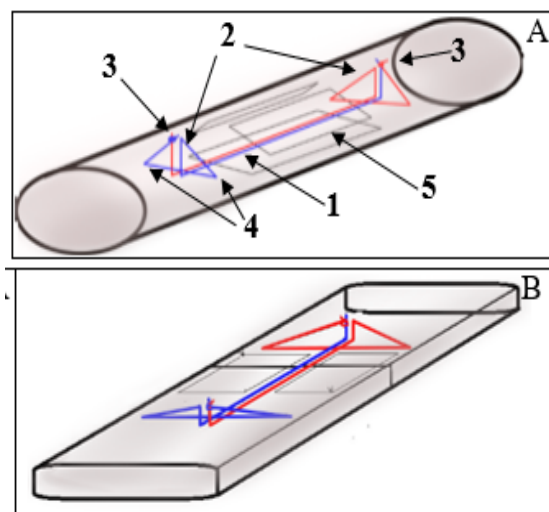


Рисунок 8. Разработанный сухожильный шов и его варианты на сухожилиях округлого (А) и плоского (В) сечения: 1 – осевой двухжильный центрирующий шов двойной нитью, каждая часть которой условно обозначена цветом (нить А – красная, нить Б – синяя); 2 – перпендикулярно ориентированные оси сухожилия треугольные петли, петля одной культи сформирована нитью А, петля другой – нитью Б; 3 – узел у верхнего угла петли, вынесенный за пределы сухожильной раны; 4 – боковые углы петли; 5 – микрохирургический субэпитединозный шов

Figure 8. The developed tendon suture and its variants on round (A) and flat (B) cross-section tendons: 1 – axial double-stranded centering suture with a double thread, each part of which is conventionally indicated by a color (thread A is red, thread B is blue); 2 – triangular loops perpendicular to the axis of the tendon, the loop of one stump is formed by thread A, the loop of the other by thread B; 3 – a knot at the upper corner of the loop, located outside the tendon wound; 4 – lateral corners of the loop; 5 – microsurgical subepitenodinous suture

Тенорафия выполняется в четыре этапа, включающие шесть последовательных шагов (рис. 9):

1. Культы фиксировали тендодержателем, скальпелем в срединной сагитальной плоскости на каждой культе делали по одной микронасечке (1), отступив 1-2 см от их края на кисти и 4-5 см на пяточном сухожилии. Проводили двойную осевую нить через центральные оси культей, делая вкол точно по центру поперечного сечения их торцов (2), что обеспечивало точную адаптацию их, а выкол – через микронасечку (1), что позволяло в последующем погрузить узлы в толщу сухожилия.
2. Формирование треугольной погружной петли: нить Б пересекали вблизи ушка иглы, оставшейся в игле нитью А формировали петлю, делая последний выкол иглы с нитью А через микронасечку (1). Противоположная культя прошивалась аналогично, с той лишь разницей, что пересекалась и отделялась от иглы нить А, а формирование петли производилось нитью Б, что обеспечивало в дальнейшем возможность сближения культей.
3. Сопоставление культей потягиванием свободных (не формирующих петли) концов нитей А и Б, перемещением культей с помощью тендодержателя (3). Нити завязывались с погружением узлов через микронасечку на расстоянии от места разрыва.
4. Наложение субэпителиальных микрохирургических швов (4).

В ходе сравнительного анализа различных способов тенорафии (табл. 7) отмечено, что разработанная технология предполагает меньшее число мануальных действий, более качественную адаптацию сшиваемых концов сухожилия и анатомичность создаваемых анастомозов.

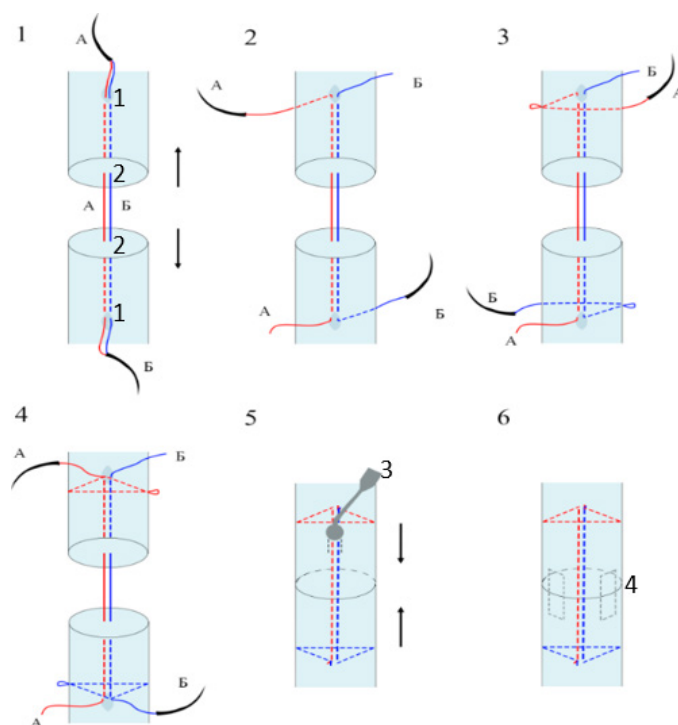


Рисунок 9. Этапы разработанной технологии тенорафии (пояснения в тексте)

Figure 9. The stages of the developed tenoraphy technology (explanations in the text)

Тендодержатель позволяет надежно и без пере- хватов удерживать культы, не нарушая их структуры, погружной шов не деформирует поверхность куль- тей (1), обеспечивает их точное сопоставление (2), достигаемое техникой шва «от места разрыва» и микрохирургической адаптацией с восстановлени- ем оболочек сухожилия (3). Отсутствуют зоны им- пактизации и деформации пучков (4) от давления петель (рис. 10).

Таблица 7. Сравнение разработанного и традиционных способов тенорафии
Table 7. Comparison of the developed and traditional tenoraphy methods

Вид шва	Число вколов-выколов	Число перехватов пинцетом	Смещения культей по ширине	Диастаз, мм	Число вдавлений от петель
Bunnell-Cuneo	7	6-8	1/10 - 3/10	1-3	8-12
Krackow	9	5-6	1/10 - 2/10	1-2	12
Ma-Griffith	7	0	2/10 - 5/10	3-8	4-10
Розова-Kessler-Tajima	5	3-4	1/10 - 3/10	0,2-0,3	4
Tsuge	2	2-3	1/10 - 2/10	0,1-0,3	2
Разработанная технология	4	0	0	0	0

На рисунке 11 показан *чрескожный вариант разработанного шва* пяточного сухожилия, выполняе- мый по описанной методике, с той лишь разницей, что нити проводят через проколы кожи с медиаль- ной (2), латеральной (3) сторон и по срединной ли- нии (4) каждой культы, микрохирургическую адапта- цию (5) культей выполняют через S-образный мини- доступ (1).

Изучение прочности швов показало, что предла- гаемый шов оказался прочнее швов Розова-Kessler- Tajima ($p=0,028$) и Tsuge ($p=0,012$) и выдерживал несколько большие нагрузки ($p=0,094$) в сравнении со швом Bunnell-Cuneo (табл. 8).

Клинический раздел исследования

Успех экспериментальной части исследования позволил приступить к клинической апробации. Результаты её показали, что технология бескомпрессионной фиксации и новый способ шва сухожилия позволили минимизировать его интраоперацион-

ную травму, повысить прочность шва, достичь высоких функциональных результатов как при восстановительных операциях (ВО) по поводу свежих травм, так и при реконструктивно-пластических операциях (РПО), выполненных у пациентов с застарелыми повреждениями (табл. 9).

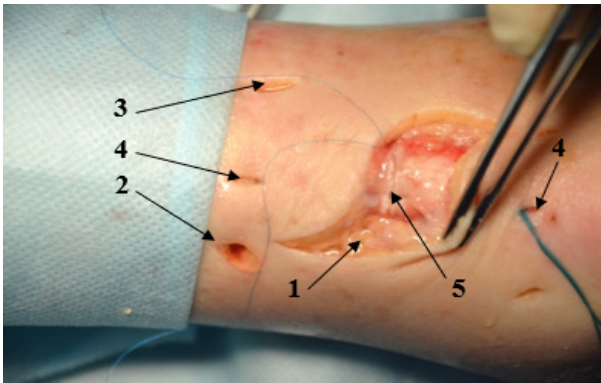


Рисунок 11. Разработанный шов сухожилия через мини-доступ (пояснения в тексте)
Figure 11. Developed tendon suture through mini-access (explanations in the text)

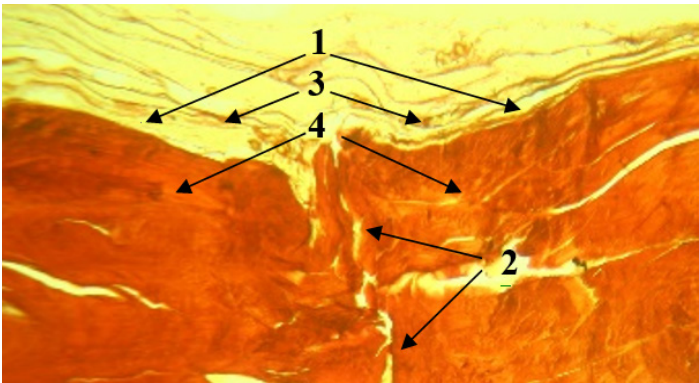


Рисунок 10. Разработанный сухожильный шов. Продольная гистотопограмма зоны тенорафии. МБС-10. Ок. 6, об. 4. Окраска по Ван Гизону (пояснения в тексте)
Figure 10. Developed tendon suture. Longitudinal histotopogram of the tenoraphy zone. MBS-10. Ok. 6, ob. 4. Van Gieson coloring (explanations in the text)

Таблица 8. Механическая прочность сухожильных швов
Table 8. Mechanical strength of tendon sutures

Вид шва	Количество образцов	Показатель тракционного испытания, $\bar{X} \pm Sx, Н$	р-значение
Шов Bunnell-Cuneo	7	50,4±4,2	р=0,094
Шов Розова-Kessler-Tajima	6	39,4±12,3	р=0,028
Шов Tsuge	7	23,8±6,9	р=0,012
Разработанный шов	7	61,4±9,3	-

Таблица 9. Сравнение результатов лечения травм пяточного сухожилия
Table 9. Comparison of treatment results for calcaneal tendon injuries

Осложнение и функциональный результат	Группа основная		Группа сравнения	
	ВО, n=16	РПО, n=23	ВО, n=105	РПО, n=34
ИОХВ	-	1 (4,3%)	6 (5,7%)	5 (14,7%)
Некроз кожи	-	1 (4,3%)	3 (2,9%)	1 (2,9%)
Нейропатия n. suralis	-	-	8 (7,6%)	2 (5,9%)
Теногенная контрактура	1 (6,3%)	2 (8,7%)	9 (8,6%)	6 (17,6%)
Элонгация сухожилия	-	-	5 (4,8%)	-
Реруптура	-	-	6 (5,7%)	1 (2,9%)
Всего	1 (6,3%)	4 (17,4%)	37 (35,2%)	15 (44,1%)
(р-значение)			(р=0,06)	(р=0,12)
ФР по AOFAS	91,9±8,9	86,2±2,3	72,3±1,6	68,7±2,8
(р-значение)			(р<0,001)	(р<0,001)

Приведём клиническое наблюдение, демонстрирующее результаты применения разработанной методики тенорафии в клинике. Пациентка, 62 лет. Закрытое повреждение правого пяточного сухожилия. Травма за 7 дней до обращения: оступилась, почувствовала «удар палкой», хруст. При поступлении в клинику жалобы на боль, невозможность быстро идти, подняться на носки, спускаться и подниматься по ступеням. При осмотре болезненность, западение по ходу сухожилия в 4,0 см от энтезиса (рис. 12А). Выполнен разработанный шов пя-

точного сухожилия (рис. 12В,С). Фиксация стопы в послеоперационном периоде выполнена ортезом с шарнирной системой (рис. 12D), позволяющим приступить к ранней мобилизации. Послеоперационный период без осложнений. Пациентка осмотрена через год (рис. 12Е, F), жалоб нет, без труда встаёт на носки, объём движений в суставах стопы соответствует контралатеральной стопе. Сила мышцы голени 5 баллов. Функциональный результат отличный.



Рисунок 12. Пациентка Ч., 62 лет. **А.** Вид конечности сбоку, западение тканей в месте разрыва сухожилия. **В.** Полное повреждение пяточного сухожилия. **С.** Шов пяточного сухожилия. **Д.** 15 дней после операции, фиксация стопы в ортезе. **Е, F.** Результат лечения

Figure 12. Patient Ch., 62 years old. **A.** Is a side view of the limb, the sinking of the tissues at the site of the tendon rupture. **B.** Complete damage to the calcaneal tendon. **C.** Is the suture of the calcaneal tendon. **D.** 15 days after surgery, foot fixation in orthosis. **E, F.** The result of treatment

ОБСУЖДЕНИЕ

Продолжающаяся разработка новых способов сухожильного шва указывает на сохраняющиеся актуальность и нерешённость проблемы выбора оптимального шва среди существующих методик, высокое число осложнений и низкие функциональные исходы тенорафии [1-4, 9-14]. В приведённых выше публикациях изложены особенности техники и различные методики восстановления сухожилий при их травмах, изучение литературы позволяет сделать заключение об отсутствии специализированных инструментов для удержания культей сухожилия, которые бы исключали давление на сухожилие и окружающие его оболочки в ходе тенорафии. Ослабленное и повреждённое давлением инструментария сухожилие неспособно противостоять натяжению нитей, тем самым снижается стабильность шва и повышается риск его несостоятельности. При этом нет исследований, в которых проводилась бы оценка влияния способа захвата и удержания сухожилия в процессе тенорафии на изменения микроструктуры его после операции, мало внимания уделяется совершенствованию самой техни-

ки шва. Прочность шва обычно пытаются повысить за счёт увеличения числа нитей и мономеров шва, тем самым увеличивая массу шовного материала в сухожилии, реже прибегают к модернизации петель. При этом о роли вида микрохирургической адаптации, формы петли, расположения узлов в усилении шва не упоминается. Как правило сухожильный шов выполняется без применения микрохирургических адаптирующих швов, не всегда уделяется внимание необходимости восстановления рассечённого паратендиния.

В проведённом исследовании показано, что эпитединий и паратендиний, щелевидные пространства между ними, обеспечивающие оптимальное функционирование сухожилия, могут быть нарушены воздействием пинцетов, грубых манипуляций с сухожилием, давлением внешних петель шва. Восстановление их является необходимым условием для возобновления утраченных функций, кровоснабжения и заживления сухожилия в зоне тенорафии. Вышеперечисленное предполагает необходимость бережного отношения к оболочкам и ткани самого сухожилия, минимизацию вколов и выколов иглы, погружение всех элементов шва под эпитединий. С учётом тонкости эпитединия, его возможного участия в кровоснабжении, адаптирующий микрохирургический шов рекомендуется выполнять субэпитединозно, а элементы осевого шва размещать вне сосудистой зоны сухожилия и полностью погружать их по эпитединий в толщу сухожилия.

Петли при традиционных техниках сухожильного шва зачастую размещаются на поверхности сухожилия, узел же, как правило, располагается между его концами, реже - на его поверхности. Методик, при которых узлы выносят за пределы сухожильной раны и одновременно погружают в толщу сухожилия, в сочетании с погружными петлями в литературе не обнаружено. При этом М. К. Chang с коллегами [15] и М. Vanhees с коллегами [16] указывают на ослабление шва в случае завязывания узлов в сухожильной ране.

Многие авторы стремятся к минимизации операционной травмы, отказываясь от открытых расширенных доступов к сухожилию, объясняя это высокими рисками гнойно-некротических осложнений, интраоперационного повреждения паратендиния как источника кровоснабжения и регенерации [3, 4]. Однако предлагаемые закрытые чрескожные методы сухожильного шва отличаются высоким числом повторных разрывов сухожилий, связанных с ошибками прошивания культей и попыткой их адаптации вслепую, сохранением диастаза. Высока вероятность ятрогенного повреждения п. suralis при чрескожном шве, которая увеличивается с ростом числа проколов кожи при закрытом прошивании [17-19]. Авторы, отмечая низкий риск инфекционных

осложнений и косметичность этих операций, указывают на ограничения в их применении ввиду высокой частоты вышеуказанных осложнений, считают допустимым выполнение чрескожного шва только у лиц с высоким риском осложнений и низкими функциональными запросами.

Сохраняется механистическое упрощённое отношение к сухожилиям, рассматривая их роль как структур, передающих усилие с мышцы на кость, что упрощает требования к их восстановлению при травмах. Как показало настоящее исследование, сухожилия имеют достаточно сложную пучковую архитектуру, сложноустроенный скользящий аппарат, индивидуальные различия в своем строении. Сложная архитектура сухожильных пучков, различия количества, размеров, формы и площади поперечного сечения их должны учитываться в ходе реконструкции сухожилий с соблюдением принципов их анатомического восстановления: точное сопоставление и устранение всех видов смещения (по длине, по ширине, ротационное) культей сухожилия относительно друг друга. Важными в хирургическом плане стали новые сведения о возможном делении и объединении пучков 1-го порядка. Участки деления и соединения их могут служить опорными площадками петель шва, которые, в связи с этим, должны быть ориентированы перпендикулярно оси сухожилия, при этом чем большая часть петли будет погружена в сухожилие, тем больше площадь её контакта с тканью сухожилия и указанными опорными зонами, следовательно выше прочность и стабильность шва. Учитывая продольную ориентацию пучков в сухожилии, для их меньшей деформации и во избежании гофрирования сухожилия, осевые нити шва стоит ориентировать вдоль культей сухожилия. Прочное сращение сухожильных культей возможно только при плотном контакте и отсутствии препятствий контакту пучков между собой, достичь этого возможно вынесением узлов за пределы сухожильной раны. Основная гипотеза, подтвердившаяся в ходе исследования, что при приложении мышечной силы к сшитому сухожилию её концентрация приходится на зону сухожильной раны, где размещены узлы швов. Рана сухожилия является его слабым местом, а узлы – слабым звеном шва, совмещение их значительно снижает прочность шва. Напротив, вынесение узлов за пределы сухожильной раны, поперечная ориентация петли, погружение элементов шва в сухожилие, микрохирургическая адаптация и сохранение структуры его способствовали повышению прочности шва.

В проведённом исследовании установлено, что традиционная техника тенорафии с применением пинцетов нарушает структуру культей сухожилия и резистентность их к натяжению шва. Прошивание культей «к месту разрыва» затрудняет их сопоставление, а размещение узлов шва между культей препятствует их срастанию, снижая прочность шва. Усовершенствование технологии тенорафии достигнуто разработкой инструмента для атравматичного удержания и микрохирургического шва сухожилия с прошиванием культей «от места разрыва», их микрохирургической адаптацией, вынесением узлов за пределы сухожильной раны, погружением шва под эпителий, что обеспечивает сохранение структуры и точную адаптацию культей сухожилия ($p < 0,001$), повышение механической прочности по сравнению с традиционной техникой тенорафии и достоверно более высокие функциональные результаты ($p < 0,001$) разработанной технологии шва пяточного сухожилия. Предлагаемая технология характеризуется простотой, предполагает меньшее число мануальных действий, отсутствие компрессионного воздействия пинцета. Техника малоинвазивного варианта шва пяточного сухожилия менее сложна в сравнении с техникой Ma-Griffith, отличается меньшим числом вколов-выколов иглы, обеспечивает визуальный контроль за качеством адаптации через минидоступ, следовательно меньший риск прошивания *n. suralis*, тенофасциоза, диастаза и несоосности при сопоставлении культей.

При реконструкции пяточного сухожилия в основной группе пациентов не встречались элонгация и нейропатии *n. suralis*, отсутствовало такое грозное осложнение, как руптура пяточного сухожилия, сократилось число теногенных контрактур в сравнении с группой пациентов, у которых применена традиционная тенорафия. Достоверно ниже было число неудовлетворительных исходов лечения, а число отличных и хороших результатов превалировало над числом отличных и хороших результатов в группе сравнения ($p < 0,001$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют рекомендовать новую технологию тенорафии к внедрению в клиническую практику травматолого-ортопедических отделений при проведении восстановительных и реконструктивно-пластических операций по поводу травм пяточного сухожилия.

Литература [References]

- 1 Файн А.М., Власов А.П., Акимов Р.Н., Кисель Д.А., Лазарев М.П., Мигулева И.Ю. и др. Лечение повреждения ахиллова сухожилия. История и современное состояние проблемы. *Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского*. 2022; 11(4):655-667. Fain A.M., Vlasov A.P., Akimov R.N., Kisel D.A., Lazarev M.P., Miguleva I.Yu., Svetlov K.V. Achilles Tendon Injury Treatment: the History and Current State of the Art. *Russian Sklifosovsky Journal "Emergency Medical Care"*. 2022;11(4):655-667. (In Russ.). <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-4-655-667>

- 2 Котельников Г.П., Ардатов С.В., Ким Ю.Д., Шитиков Д.С. Новый способ хирургического лечения пациентов с дистальным разрывом ахиллова сухожилия. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2021;1:62-68. Kotel'nikov G.P., Ardatov S.V., Kim Yu.D., Shitikov D.S. Novyy sposob hirurgicheskogo lecheniya pacientov s distal'nym razryvom ahillova suhozhiiliya [A new method of surgical treatment of patients with distal Achilles tendon rupture]. *Pirogov Russian Journal of Surgery* 2021;1:62-68. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia202101162>
- 3 Грицюк А.А., Середа А. П. *Ахиллово сухожилие*. Москва: РАЕН; 2010. Gricyuk A.A., Sereda A. P. *Ahillovo suhozhiilie [Achilles tendon]*. Moskva: RAEN; 2010. (In Russ.).
- 4 Thermann H. Achilles tendon rupture-Part 2: treatment and rehabilitation. *Chirurg*. 2020;91(1):85-100. <https://doi.org/10.1007/s00104-019-01106-5> PMID: 31940067
- 5 Неттер Ф. *Атлас анатомии человека*. Перевод с английского под редакцией Л.Л. Колесникова [6-е изд.]. Москва : ГЭОТАР-Медиа; 2017. Netter F. *Atlas anatomii cheloveka [Atlas of Human Anatomy]*. Perevod s anglijskogo pod redakciej L.L. Kolesnikova [6-e izd.]. Moskva: GEHOTAR-Media; 2017. (In Russ.).
- 6 Pichler W, Tesch NP, Grechenig W, Leithgoeb O, Windisch G. Anatomic variations of the musculotendinous junction of the soleus muscle and its clinical implications. *Clinical Anatomy*. 2007;20(4):444-447. <https://doi.org/10.1002/ca.20421> PMID: 17022026
- 7 Jozsa L, Kio G. *Human tendons: anatomy, physiology, and pathology*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1997.
- 8 Петри А., Сэбин К. *Наглядная медицинская статистика [Visual medical statistics]*. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2010. Petri A., Sehbin K. *Naglyadnaya medicinskaya statistika*. Moskva: GEHOTAR-Media; 2010. (In Russ.).
- 9 Сиваконь С.В., Сретенский С.В., Зварич М.М. Проблемы хирургического лечения дегенеративных повреждений ахиллова сухожилия (обзор литературы). *Современные проблемы науки и образования*. 2023;5:99. Sivakon' S.V., Sretenskij S.V., Zvarich M.M. Problemy hirurgicheskogo lecheniya degenerativnyh povrezhdenij ahillova suhozhiiliya (obzor literatury) [Problems of surgical treatment of degenerative Achilles tendon injuries (literature review)]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2023;5:99. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/spno.32964>
- 10 Парфеев Д.Г., Гаврилов О.Н., Митрофанов А.И., Авдеев А.И., Конев В.А. Шов пяточного сухожилия: классический открытый или чрескожный закрытый, что лучше? *Современные проблемы науки и образования*. 2020;1:68. Parfeev D.G., Gavrilov O.N., Mitrofanov A.I., Avdeev A.I., Konev V.A. Shov pyatochnogo suhozhiiliya: klassicheskij otkrytyj ili chreskoznyj zakrytyj, chto luchshe? [Calcaneal tendon suture: classic open or percutaneous closed, which is better?]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2020;1:68. (In Russ.).
- 11 Магнитская Н.Е., Логвинов А.Н., Рязанцев М.С., Андреев П.С., Васильев И.А., Бессонов Д.А. Отдаленные результаты и осложнения хирургического лечения пациентов с разрывами ахиллова сухожилия. *Гений ортопедии*. 2024;30(1):28-37. Magnitskaya N.E., Logvinov A.N., Ryazancev M.S., Andreev P.S., Vasil'ev I.A., Bessonov D.A. Otdalennye rezul'taty i oslozhneniya hirurgicheskogo lecheniya pacientov s razryvami ahillova suhozhiiliya [Long-term results and complications of surgical treatment of patients with Achilles tendon ruptures]. *Genij ortopedii*. 2024;30(1):28-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-1-28-37>
- 12 Ефименко Н.А., Грицюк А.А., Гаврюшенко Н.С., Середа А.П., Кулешов Д.Н. Оптимальный шов ахиллова сухожилия (клинико-экспериментальное исследование). *Московский хирургический журнал*. 2011;3:44-50. Efimenko N.A., Gricyuk A.A., Gavryushenko N.S., Sereda A.P., Kuleshov D.N. Optimal'nyj shov ahillova suhozhiiliya (kliniko-ehksperimental'noe issledovanie) [Optimal suture of the Achilles tendon (clinical and experimental study)]. *Moscow Surgical Journal*. 2011;3:44-50. (In Russ.).
- 13 Wagner E, Wagner P. Mini-open Achilles tendon rupture repair. *JBJS Essential Surgical Techniques*. 2019; 9(4):e46.1-2. <https://doi.org/10.2106/JBJS.ST.18.00139> PMID: 31370993
- 14 Patel MS, Kadakia AR. Minimally Invasive Treatments of Acute Achilles Tendon Ruptures. *Foot and ankle clin*. 2019;24(3):399-424. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.05.002>
- 15 Chang MK, Wong YR, Tay SC. Biomechanical comparison of modified Lim / Tsai tendon repairs with intra- and extra-tendinous knots. *J Hand Surg Eur*. 2018;43(9):919-924. <https://doi.org/10.1177/1753193418769804> PMID: 29690811
- 16 Vanhees M, Cardillo ND, Hile MS. The effect of knot position in Adelaide flexor tendon repairs. *J Hand Surg Eur*. 2020;45(3):303-304. <https://doi.org/10.1177/1753193419889297> PMID: 31791165
- 17 Parekh SG, Aran FS, Mithani S, Chopra A. Achilles: failed acute repair. *The Foot and Ankle Online Journal*. 2022;27(2):415-430. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2021.11.026> PMID: 35680297
- 18 Myhrvold SB, Brouwer EF, Andresen TKM, Rydevik K, Amundsen M, Grün W et al. Nonoperative or surgical treatment of acute Achilles' tendon rupture. *The New England Journal of Medicine*. 2022;386(15):1409-1420. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2108447> PMID: 35417636
- 19 Maffulli N. In adults with acute Achilles tendon rupture, nonoperative treatment, open repair, and minimally invasive surgery did not differ for health status at 12 months. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2022;104(22):2035. <https://doi.org/10.2106/JBJS.22.00965> PMID: 36383170

Авторская справка**Гурьянов Андрей Михайлович**

Канд. мед. наук, доцент, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии, Оренбургский государственный медицинский университет. ORCID 0000-0002-8085-3307; guryanna@yandex.ru; 89033989166

Вклад автора: анализ литературы, дизайн исследования, проведение экспериментальных и клинических исследований, анализ данных, написание текста статьи.

Каган Илья Иосифович

Д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры оперативной хирургии и клинической анатомии им. С.С. Михайлова, Оренбургский государственный медицинский университет.

ORCID 0000-0002-7723-7300; kaganil@mail.ru

Вклад автора: научное руководство, концептуализация, методология, дизайн исследования, анализ данных.

Author's reference**Andrey M. Gur'yanov**

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Orenburg state medical University.

ORCID 0000-0002-8085-3307; guryanna@yandex.ru

Author's contribution: literature analysis, research design, experimental and clinical research, data analysis, and article writing.

Il'ya I. Kagan

Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Operative Surgery and Clinical Anatomy named after S.S. Mikhailov, Orenburg state medical University.

ORCID 0000-0002-7723-7300; kaganil@mail.ru

Author's contribution: supervision, conceptualization, methodology, research design, data analysis.