

Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 1. С. 76-82.

Genij Ortopedii. 2022. Vol. 28, no. 1. P. 76-82.

Научная статья

УДК 616-001.5.004.14-616.748.54-018.38

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-22-1-76-82>

Экспериментальное обоснование армирования ахиллова сухожилия новыми способами

Г.П. Котельников, Ю.Д. Ким[✉], Д.С. Шитиков, Н.А. Князев, Н.Э. Лихолатов

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юрий Дмитриевич Ким, drkim@mail.ru

Аннотация

Повреждения ахиллова сухожилия – самые частые травмы среди всех разрывов (подкожных) сухожилий, их доля достигает 47 %. **Цель.** Подтверждение эффективности новых способов армирования ахиллова сухожилия в эксперименте. **Материалы и методы.** Экспериментальная часть работы проводилась на 60 биоманекенах с интактным ахилловым сухожилием в 3 этапа. На 1 этапе производилось измерение группы из 20 сухожилий, сшитых швом по Кракову. На 2 этапе осуществляли армирование с использованием плантарного сухожилия (оформлено рационализаторское предложение СамГМУ) и последующее измерение силы, необходимой для появления признаков разрыва. На 3 этапе производили армирование с использованием порции длинного малоберцового сухожилия (получен патент РФ № 2616767) и последующее измерение силы, необходимой для появления признаков разрыва. **Результаты.** На первом этапе среднее значение силы, необходимой для разрыва сухожильного шва по Кракову, составило 11,5 кг. На втором – значение силы, необходимой для разрыва шва, армированного плантарным сухожилием, составило 33,4 кг. На третьем этапе значение силы, необходимой для разрыва шва, армированного порцией длинного малоберцового сухожилия, составило 37,3 кг. **Заключение.** Предложенные новые способы армирования ахиллова сухожилия сухожилием плантарной мышцы и порцией сухожилия длинной малоберцовой мышцы на дистальном основании позволяют увеличить прочность зоны повреждения на 195,6 и 214,4 % соответственно.

Ключевые слова: ахиллово сухожилие, эксперимент, армирование

Для цитирования: Экспериментальное обоснование армирования ахиллова сухожилия новыми способами / Г.П. Котельников, Ю.Д. Ким, Д.С. Шитиков, Н.А. Князев, Н.Э. Лихолатов // Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 1. С. 76-82. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-1-76-82>

Original article

Experimental validation for the Achilles tendon reinforced with new techniques

G.P. Kotelnikov, Yu.D. Kim[✉], D.S. Shitikov, N.A. Knyazev, N.E. Likhlatov

Samara State Medical University, Samara, Russian Federation

Corresponding author: Yuriy D. Kim, drkim@mail.ru

Abstract

An Achilles tendon injury is most common among subcutaneous tendon ruptures and accounts for 47 %. **The purpose** was to experimentally evaluate the effectiveness of new methods of the Achilles tendon reinforcement. **Material and methods** The experimental part of the work was performed in 3 stages using 60 biomannikins with intact Achilles tendon. A Krakow suture was used at stage 1 for a group of 20 tendons and a force that would result in rupture of the tendon was measured. Reinforcement was performed using the plantaris tendon (technical innovation offered at the Samara State Medical University) at the 2nd stage and the force required for the appearance of signs of rupture was subsequently measured. A portion of the peroneus longus tendon (RF patent No. 2616767) was used for reinforcement at the 3rd stage and the force measurement produced. **Results** The mean force required to rupture the Krakow suture applied to the tendon at the first stage was 11.5 kg., The force required to rupture the suture reinforced with the plantaris tendon at the second stage measured 33.4 kg. The force required to rupture the suture reinforced with a portion of the peroneus longus tendon at the third stage was 37.3 kg. **Conclusion** The new techniques offered to reinforce the Achilles tendon with the plantaris tendon and a portion of the peroneus longus tendon at the distal base facilitated increase in the strength of the injury site by 195.6 % and 214.4 %, respectively.

Keywords: Achilles tendon, experiment, reinforcement

For citation: Kotelnikov G.P., Kim Yu.D., Shitikov D.S., Knyazev N.A., Likhlatov N.E. Experimental validation for the Achilles tendon reinforced with new techniques. *Genij Ortopedii*, 2022, vol. 28, no 1, pp. 76-82. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-1-76-82>

ВВЕДЕНИЕ

Среди всех подкожных разрывов повреждения ахиллова сухожилия – самые частые и составляют до 47 % [1–3]. Реруптуры после проведенного лечения являются одним из частых осложнений хирургии ахиллова сухожилия, наряду с инфекционными, и требуют повторных вмешательств [4, 5]. Анализ литературных данных не позволяет выработать единого мнения о профилактике данных осложнений [6–9]. Есть работы, посвященные изучению последствий длительной иммобилизации голеностопного сустава, приводящих к выраженной гипотрофии трехглавой мышцы голени и, как следствие, длительному реабилитационному периоду [10, 11].

Также актуален вопрос ранней активизации голеностопного сустава, но при этом важно не получить элонга-

цию ахиллова сухожилия, что ведет к снижению плантарной флексии стопы.

Повышение прочности шва ахиллова сухожилия возможно за счет применения современного шовного материала, но также важно минимизировать риски инфекционных осложнений в связи с подкожным расположением сухожилия, таких как лигатурные свищи, глубокие и поверхностные некрозы, сохранить скользящий аппарат этой зоны. Армирование зоны разрыва по показаниям позволяет повысить прочность шва ахиллова сухожилия. Некоторые авторы предлагают усиливать зону разрыва синтетическими материалами, что повышает риск инфекционных осложнений [12], другие совсем не видят смысла в первичном армировании ахиллова сухожилия известными способами.

Цель исследования: подтверждение эффективности (прочности) новых способов армирования ахиллового сухожилия в эксперименте.

Задачи исследования:

1) провести оценку прочности шва ахиллового сухожилия

по Кракову, новых способов армирования ахиллового сухожилия в эксперименте и сравнить полученные результаты;

2) выявить показания к первичному армированию ахиллового сухожилия новыми способами в клинической практике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть работы проводилась на 60 сухожилиях биоманекенов с интактным ахилловым сухожилием. Было выделено 3 экспериментальные группы исследований. Общим в этапах было формирование линейного или Z-образного доступа по задней поверхности голени, а также последующее пересечение ахиллового сухожилия в «классической» зоне разрыва (20–50 мм от энтезиса) и выполнение сухожильного шва по Кракову. В первой группе (20 сухожилий) производилось измерение прочности восстановленного экспериментального разрыва ахиллового сухожилия, сшитого по Кракову. Во второй группе (20 сухожилий) дополнительно к сухожильному шву по Кракову производили армирование зоны повреждения с использованием плантарного сухожилия (оформлено рационализаторское предложение СамГМУ) и последующее измерение силы, необходимой для появления признаков разрыва. В третьей группе (20 сухожилий) дополнительно к сухожильному шву по Кракову производили армирование с использованием порции длинного малоберцового сухожилия (получен патент РФ № 2616767) [13] и последующее измерение силы, необходимой для появления признаков разрыва.

При помощи электронного безмена фирмы Garin (точность измерения 10 гр.) производили измерение веса, необходимого для появления признаков разрыва, во всех группах исследований (60 сухожилий).

Материалы статьи были рассмотрены Комитетом по биоэтике СамГМУ на соответствие этическим нормам.

С позиции доказательной медицины проводилась статистическая обработка полученных результатов при помощи программы Statistica 6.0. Проверка нулевой гипотезы об отсутствии эффекта армирования осуществлялась тремя способами. Доверительные интервалы средних, рассчитанных для выборок каждого этапа исследования, не пересекались между собой и выстраивались в строгой последовательности от третьего этапа к первому.

Первая группа (20 экспериментов): шов ахиллового сухожилия по Кракову.

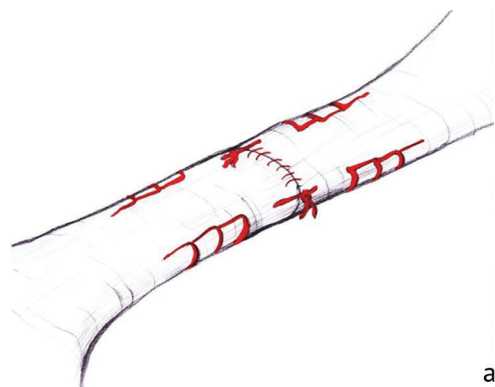
Для шва использовали нить VICRIL 1. Затем накладывали шов по Кракову на дистальный и проксимальный конец ахиллового сухожилия. Нити связывали между собой с последующим наложением адаптационных швов в области сформированного разрыва (рис. 1, а).

После этого проводили отсечение дистального конца ахиллового сухожилия с частью пяточной кости, за которую фиксировали нить диаметром 5 мм. При помощи электронного безмена фирмы Garin (точность измерения 0,1 гр.) производили измерение веса, необходимого для появления признаков разрыва проведенного шва по Кракову (рис. 1, б).

Среднее значение прочности в 20 экспериментах составило 11,5 кг (112,78 Н).

Вторая группа (20 экспериментов) – армирование ахиллового сухожилия плантарным сухожилием. На этот способ армирования нами оформлено рационализаторское предложение СамГМУ. Для шва использовали нить VICRIL 1. Затем накладывали шов по Кракову на дистальный и проксимальный конец ахиллового сухожилия. Нити связывали между собой с последующим наложением адаптационных швов в области сформированного разрыва. Затем выделяли плантарное сухожилие на дистальном основании с целью сохранения питания последнего. В среднем длина плантарного сухожилия составляла 340 мм. Толщина – 2 мм. Такой длины было достаточно, чтобы произвести армирование зоны разрыва. Плантарное сухожилие проводили П-образно и Х-образно в толще ахиллового сухожилия, отступив 5 см от зоны разрыва. Места прохождения плантарного сухожилия в ахилловом сухожилии дополнительно фиксировали противоскользящими швами (рис. 2, а).

После этого проводили отсечение дистального конца ахиллового сухожилия с частью пяточной кости, за которую фиксировали нить диаметром 5 мм. При помощи электронного безмена фирмы Garin (точность измерения 10 гр.) производили измерение веса, необходимого для появления признаков разрыва проведенного шва по Кракову (рис. 2, б). Среднее значение прочности в 20 экспериментах составило 33,4 кг (327,54 Н).



а



б

Рис. 1. Схема сухожильного шва по Кракову (а) и признаки разрыва сухожильного шва в эксперименте (б)

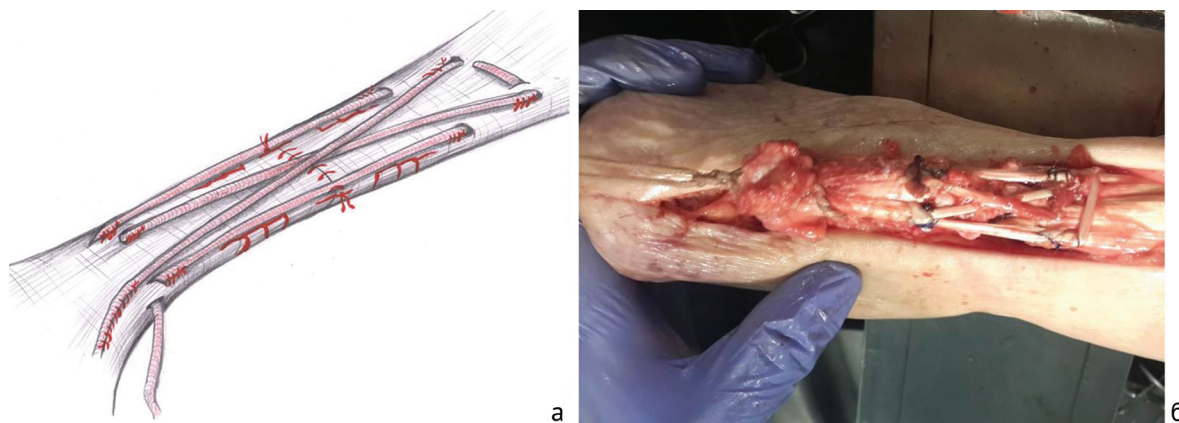


Рис. 2. Схема шва, армированного плантарным сухожилием (а), появление признаков разрыва (б)

Третья группа (20 экспериментов) – армирование ахиллова сухожилия порцией сухожилия длиной малоберцовой мышцы. На этот способ армирования ахиллова сухожилия нами получен патент на изобретение № 2616767 [13]. Для шва использовали нить VICRIL 1. Затем накладывали шов по Кракову на дистальный и проксимальный конец ахиллова сухожилия. Нити связывали между собой с последующим наложением адаптационных швов в области сформированного разрыва. Затем выделяли порцию сухожилия длиной малоберцовой мышцы на дистальном основании для сохранения питания. В среднем длина порции сухожилия длиной малоберцовой мышцы составляла 190 мм, толщина – 5 мм. Такой длины было достаточно, чтобы произвести армирование зоны разрыва. Порцию сухожилия малоберцовой мышцы проводили П-образно в толще ахиллова сухожилия, отступив 5 см от зоны разрыва, и подшивали с медиальной стороны. Места прохождения порции сухожилия малоберцовой мышцы в ахилловом сухожилии дополнительно фиксировали противоскользкими швами (рис. 3, а).

После этого проводили отсечение дистального конца ахиллова сухожилия с частью пяточной кости, за которую фиксировали нить диаметром 5 мм. При помощи электронного безмена фирмы Garin (точность измерения 10 гр.) производили измерение веса, необходимого для появления признаков разрыва проведенного шва по Кракову (рис. 3, б).

Проверка нулевой гипотезы эффекта армирования осуществлялась в три этапа. Первый этап – исходные данные и описательные статистики. Второй этап – проверка однородности стандартных отклонений. Третий этап – проверка однородности матожиданий. Построенная линейная модель зависимости усилия на разрыв от метода армирования имела высокий уровень значимости (коэффициент детерминации $R^2 = 0,99$, критерий Фишера $F = 3079$, $p \gg 0$). Множественные сравнения групповых средних, выполненные методом рандомизации и с использованием поправки Бонферрони, показали высокую значимость эффекта армирования как плантарным сухожилием (критерий Стьюдента $t = 19,5$, $p \gg 0$), так и сухожилием длиной малоберцовой мышцы ($t = 23$, $p \gg 0$).

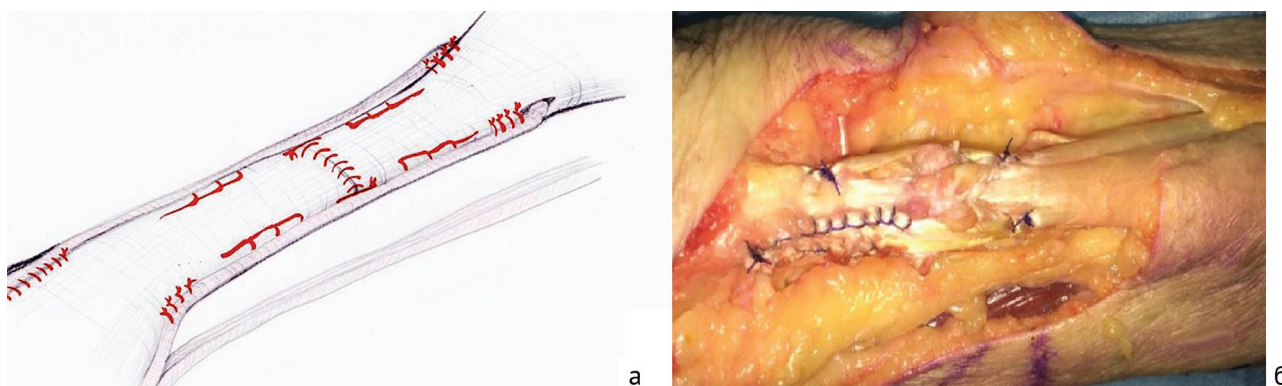


Рис. 3. Схема шва, армированного порцией длинного малоберцового сухожилия (а), и появление признаков разрыва (б)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Среднее значение прочности в 20 экспериментах первой группы составило 11,5 кг (112,78 Н) (табл. 1). Среднее время операции 45 мин.

Среднее значение прочности в 20 экспериментах во второй группе составило 33,4 кг (327,54 Н) (табл. 2). Среднее время операции 55 мин.

Среднее значение прочности в 20 экспериментах в третьей группе составило 37,3 кг (365,79 Н) (табл. 3). Среднее время операции 60 мин.

После полученных цифровых значений мы провели статистическую обработку данных в 3 этапа.

Таблица 1

Сравнение величины сил, затраченных на разрыв шва по Кракову

Номер эксперимента	Результат в кг	Сила (Н)
1	12,36	121,21
2	11,58	113,56
3	9,74	95,52
4	11,87	116,40
5	10,42	102,19
6	13,06	128,07
7	12,50	122,58
8	12,16	119,25
9	11,79	115,62
10	10,88	106,70
11	12,24	120,03
12	10,73	105,23
13	11,62	113,95
14	12,07	118,37
15	9,85	96,60
16	11,71	114,84
17	10,56	103,56
18	13,02	127,68
19	9,91	97,18
20	12,47	122,29

Таблица 2

Сравнение величины сил, затраченных на разрыв шва ахиллова сухожилия, армированного плантарным сухожилием

Номер эксперимента	Результат в кг	Сила (Н)
1	30,41	298,22
2	32,76	321,27
3	33,58	329,31
4	33,91	332,54
5	35,01	343,33
6	34,89	342,15
7	34,82	341,47
8	34,61	339,41
9	34,75	340,78
10	35,00	343,23
11	32,84	322,05
12	30,67	300,77
13	33,21	325,68
14	34,14	334,79
15	33,78	331,27
16	30,93	303,32
17	31,97	313,52
18	32,69	320,58
19	33,82	331,66
20	34,96	342,84

Таблица 3

Сравнение величины сил, затраченных на разрыв шва ахиллова сухожилия, армированного порцией длинного малоберцового сухожилия

Номер эксперимента	Результат в кг	Сила (Н)
1	37,53	368,04
2	38,30	375,59
3	35,89	351,96
4	36,90	361,86
5	37,61	368,83
6	38,02	372,85
7	36,85	361,37
8	37,22	365,00
9	38,27	375,30
10	37,12	364,02
11	35,92	352,25
12	36,78	360,69
13	38,19	374,52
14	37,36	366,38
15	37,41	366,87
16	36,89	361,77
17	37,57	368,44
18	38,17	374,32
19	36,93	362,16
20	37,65	369,22

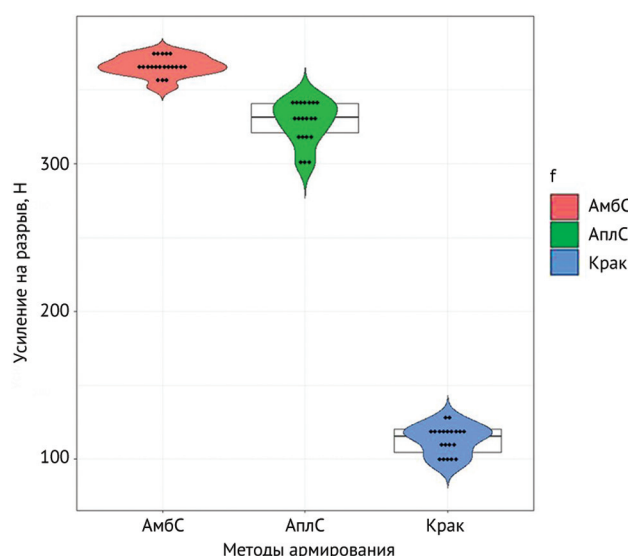
1. Исходные данные и описательные статистики

Зависимая переменная: *усилие на разрыв, Н*Независимый фактор: *методы армирования*Общее число измерений: *60*Количество градаций фактора: *3*Равный объем групп: *да*

1.1 Статистики для разных градаций фактора

	Фактор		
	АмбС	АплС	Крак
Среднее	366,1	327,9	113,0
Медиана	366,625	331,465	115,230
Стандартное отклонение	6,833	14,590	10,150
Ni	20	20	20
Ошибка среднего	1,528	3,262	2,271
Min	351,96	298,22	95,52
Max	375,59	343,33	128,07

1.2 График распределения наблюдений по группам



Эта «скрипичная диаграмма» показывает сглаженную функцию плотности распределения данных в каждой группе. Границы ящиков служат первому и третьему квартилям (25-й и 75-й процентилям соответственно), линия в середине ящика – медиана (50-й процентиль).

Использовали анализ с поправкой Бонферрони на множественные сравнения. Т.е. уровень значимости 0,05 принимался для нулевой гипотезы, когда все пары методов лечения не отличаются друг от друга. Следовательно, при сравнении каждой конкретной пары методов использовался уровень значимости 0,017.

1.3 Значения критических и доверительных вероятностей

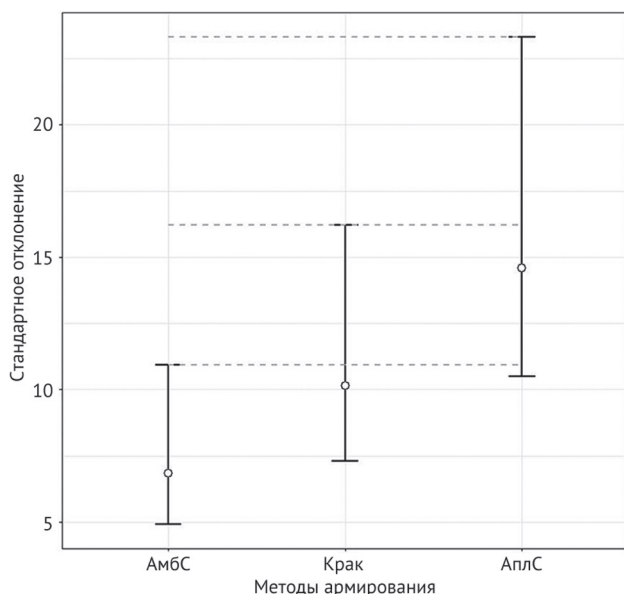
alpha	alphaM
0,05	0,017

2. Проверка однородности стандартных отклонений

2.1 Доверительные интервалы стандартных отклонений при $\alpha = 0,017$

	Фактор		
	АмбС	АплС	Крак
Стандартное отклонение	6,833	14,590	10,150
Ni	20	20	20
ДИ_нижн	4,912	10,490	7,297
ДИ_верх	10,92	23,32	16,22

2.2 График доверительных интервалов стандартных отклонений



Для сравнения различных методов по t-критерию нужно предварительно убедиться в том, что разброс (дисперсия) в каждой группе примерно одинаков. Для проверки этого мы использовали метод доверительных интервалов. На графике выше доверительные интервалы для стандартных отклонений пересекаются (накладываются друг на друга), следовательно, можно предположить, что дисперсии однородны (примечание: использовалась процедура коррекции p-значений Бонферрони). Можно проверять гипотезу о равенстве средних.

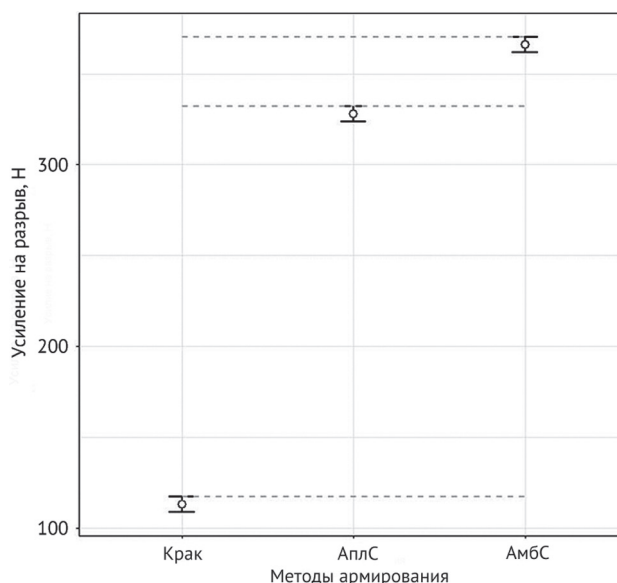
3. Проверка однородности математических ожиданий

3.1 Доверительные интервалы групповых средних при $\alpha = 0,017$

	Фактор		
	АмбС	АплС	Крак
Среднее	366,1	327,9	113,0
Ni	20	20	20
ДИ_нижн	361,8	323,6	108,7
ДИ_верх	370,4	332,2	117,3

Впервые армирование ахиллова сухожилия при ранних разрывах применил Т.А. Lynn в 1966 году. Для армирования он предложил распластывать плантарное сухожилие и покрывать им область шва ахиллова сухожилия. Затем в 2004 году Е.М. Bluman предложил армировать зону повреждения плантарным сухожилием Z-образно. Рандомизированные работы сравнения первичного армирования (методы Lindholm – армирование боковыми лоскутами ахиллова сухожилия, Lynn – армирование распластанным плантарным сухожилием) над швом по типу «конец в конец» проводили S. Aktas и T. Nyssonen. Группы пациентов не различались по частоте реруптур, функциональным результатам. N. Maffulli с соавторами рекомендуют проводить первичное армирование только при застарелых и повторных разрывах [14, 15].

3.2 График доверительных интервалов математических ожиданий



3.3 Тесты парных сравнений групповых средних

3.3.1 Параметрический тест статистики Стьюдента t

Factor	АмбС	АплС	Крак
t-statistics			
АмбС		3,4700	23,0000
АплС	0,0076		19,5000
Крак	< 0,001	< 0,001	
Parametric p-value			

Примечание: использована процедура коррекции p-значений Бонферрони

3.3.2 Пермутационный тест статистики Стьюдента t

	АмбС	АплС
АплС	0,006	
Крак	0,006	0,006

Примечание: использована процедура коррекции p-значений Бонферрони

Тест парных сравнений проводился с использованием как обычного параметрического метода, так и на основе перестановочного алгоритма, не связанного с характером распределения данных. Оба теста показали, что нулевую гипотезу о равенстве усилий на разрыв следует отклонить для всех пар методов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Из отечественных ученых мы встретились с работой А.А. Панова, который предлагает выполнять армирование ахиллова сухожилия сетчатым имплантатом из никелида титана. В результате проведенной работы А.А. Панов с соавторами отмечают значимое снижение сроков восстановления трудоспособности в сравнении с первичным сухожильным швом «конец в конец» [16].

Результаты работ, посвященных сравнению прочности сухожильных швов, достаточно сложно суммировать. Один и тот же шов в руках разных исследователей может показать разные результаты и в большей степени зависит от состояния сухожильной ткани и прочности самой нити. Поэтому в своей работе мы выбрали нить VICRIL 1 в связи с ее техническими характеристиками (период полупрочности 30 дней и полное рассасывание через 56–70 дней), которые, на наш взгляд, опти-

мальны для выполнения сухожильного шва. При выборе шва мы учитывали работу отечественных ученых А.А. Грицюка и А.П. Середы, которые в эксперименте доказали наибольшую прочность шва Кракова [14].

Проанализировав литературу по армированию ахиллова сухожилия, мы решили провести экспериментальную работу для понимания эффективности армирования этой области аутологичными тканями.

Армирование ахиллова сухожилия аутологичными тканями, такими как плантарное сухожилие и порция сухожилия длинной малоберцовой мышцы на дистальном основании, позволяет повысить прочность блокируемого шва в 3 раза. Использование аутологичных тканей на дистальном питающем основании предположительно позволит снизить количество инфекционных осложнений в сравнении с синтетическими материалами. Недостатком способа армирования плантарным сухожилием является вариабельное дистальное расположение сухожилия подошвенной мышцы [17], в связи с чем забор данного аутоотрансплантата и его использование для армирования не всегда является возможным. Целью разработки нового способа армирования ахиллова сухожилия являлось сохранение повышенной прочности армирования ахиллова сухожилия; предсказуемый забор ауто сухожилия на дистальном основании.

В первую очередь мы постарались определить показания к армированию ахиллова сухожилия, так

как не каждый разрыв требует этой манипуляции. Так, например, при травматическом открытом пересечении ахиллова сухожилия нет необходимости применения армирования в связи с нормальной морфологической структурой сухожилия в области повреждения [18–21]. Но при выраженном дистрофическом процессе в ахилловом сухожилии, например, после применения кортикостероидов при лечении ахиллобурсита, когда разволокнение концов более 3 см, армирование шва ахиллова сухожилия будет выполнено по показаниям.

Вторым показанием к армированию являются длительные тенопатии ахиллова сухожилия, не поддающиеся консервативному лечению. Пациентов, как правило, беспокоят боли в области ахиллова сухожилия, усиливающиеся после физической нагрузки [22–25]. При осмотре выявляется утолщение в средней трети ахиллова сухожилия и болезненность при пальпации в этой зоне. Целью оперативного лечения пациентов с этой патологией является удаление измененного паратенона и резекция измененной сухожильной ткани в области асептического воспаления. Для профилактики разрыва в области иссечения ахиллова сухожилия армирование этой зоны будет выполнено по показанию. Подробно клиническая часть работы по армированию будет представлена в следующей статье.

ВЫВОДЫ

1. Предложенные способы армирования ахиллова сухожилия сухожилием плантарной мышцы и порцией сухожилия длинной малоберцовой мышцы на дистальном основании позволяют увеличить прочность зоны повреждения на 195,6 и 214,4 % соответственно, в сравнении с блокирующим швом Кракова.

2. При выраженном разволокнении концов в зоне разрыва и тенопатии ахиллова сухожилия вероятность реруптуры повышается, что подтверждают данные литературы. Возможно, минимизировать риски реруптуры позволит армирование ахиллова сухожилия новыми способами, что будет изучено в клинической части работы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мионов С.П. Ортопедия: национальное руководство / под ред. С.П. Мионова, Г.П. Котельникова. М.: GEOTAP-Медиа, 2013. 944 с.
2. Ahmad J., Jones K., Raikin S.M. Treatment of Chronic Achilles Tendon Ruptures with Large Defects // *Foot Ankle Spec.* 2016. Vol. 9, No 5. P. 400-408. DOI: 10.1177/1938640016640895.
3. The influence of early weight-bearing compared with non-weight-bearing after surgical repair of the Achilles tendon / A.A. Suchak, G.P. Bostick, L.A. Beaupré, D.C. Durand, N.M. Jomha // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2008. Vol. 90, No 9. P. 1876-1883. DOI: 10.2106/JBJS.G.01242.
4. Minimally Invasive Achilles Tendon Stripping for the Management of Tendinopathy of the Main Body of the Achilles Tendon / N. Maffulli, F. Oliva, G.D. Maffulli, A.G. Via, N. Gougoulas // *J. Foot Ankle Surg.* 2017. Vol. 56, No 5. P. 938-942. DOI: 10.1053/j.fas.2017.05.019.
5. Achilles Tendon Load is Progressively Increased with Reductions in Walking Speed / T. Brauner, P. Pourcelot, N. Crevier-Denoix, T. Horstmann, S.C. Wearing // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2017. Vol. 49, No 10. P. 2001-2008. DOI:10.1249/MSS.0000000000001322.
6. Chan J.Y., Elliott A.J., Ellis S.J. Reconstruction of Achilles rerupture with peroneus longus tendon transfer // *Foot Ankle Int.* 2013. Vol. 34, No 6. P. 898-903. DOI: 10.1177/1071100712473273.
7. Lohrer H., Nauck T. Results of operative treatment for recalcitrant retrocalcaneal bursitis and midportion Achilles tendinopathy in athletes // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2014. Vol. 134, No 8. P. 1073-1081. DOI: 10.1007/s00402-014-2030-8.
8. Achilles tendon rupture rehabilitation: a mixed methods investigation of current practice among orthopaedic surgeons in the United Kingdom / R.S. Kearney, N. Parsons, M. Underwood, M.L. Costa // *Bone Joint Res.* 2015. Vol. 4, No 4. P. 65-69. DOI: 10.1302/2046-3758.44.2000400.
9. McCormack R., Bovard J. Early functional rehabilitation or cast immobilisation for the postoperative management of acute Achilles tendon rupture? A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials // *Br. J. Sports Med.* 2015. Vol. 49, No 20. P. 1329-1335. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094935.
10. Anatomic study suggests that the morphology of the plantaris tendon may be related to Achilles tendonitis / Ł. Olewnik, G. Wysocki, M. Polguj, M. Topol // *Surg. Radiol. Anat.* 2017. Vol. 39, No 1. P. 69-75. DOI: 10.1007/s00276-016-1682-1.
11. Performance of the Achilles Tendon Total Rupture Score Over Time in a Large National Database: Development of an Instruction Manual for Accurate Use / M.S. Hansen, K. Nilsson Helander, J. Karlsson, K.W. Barfoot // *Am. J. Sports Med.* 2020. Vol. 48, No 6. P. 1423-1429. DOI:10.1177/0363546520912222.
12. Fell D., Enocson A., Lapidus L.J. Surgical repair of acute Achilles tendon ruptures: a follow-up of 639 consecutive cases // *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2020. Vol. 30, No 5. P. 895-899. DOI: 10.1007/s00590-020-02650-1.
13. Способ армирования ахиллова сухожилия : пат. 2616767 Рос. Федерация : МПК A61B 17/00 / Котельников Г.П., Чернов А.П., Лосев И.И., Ким Ю.Д., Шитиков Д.С., Зимин Д.В., Князев Н.А. ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. № 2016113022 ; заявл. 05.04.2016 ; опубл. 18.04.2017. Бюл. № 11.
14. Грицюк А.А., Середа А.П. Ахиллово сухожилие. М.: РАЕН, 2010. 313 с.
15. Plaster cast versus functional bracing for Achilles tendon rupture: the UKSTAR RCT / M.L. Costa, J. Achten, S. Wagland, I.R. Marian, M. Maredza,

- M.M. Schlüssel, A.S. Liew, N.R. Parsons, S.J. Dutton, R.S. Kearney, S.E. Lamb, B. Ollivere, S. Petrou // *Health Technol. Assess.* 2020. Vol. 24, No 8. P. 1-86. DOI: 10.3310/hta24080.
16. Исследование результатов применения сверхэластичных имплантатов из никелида титана в лечении разрывов ахиллова сухожилия / А.А. Панов, В.И. Подолужный, В.А. Ланшаков, В.Э. Гюнтер, А.Х. Баховудинов // *Сибирский медицинский журнал.* 2009. Т. 24, № 3-1. С. 42-44.
17. Functional anatomy, histology and biomechanics of the human Achilles tendon – A comprehensive review / K. Winnicki, A. Ochała-Kłos, B. Rutowicz, P.A. Pękala, K.A. Tomaszewski // *Ann. Anat.* 2020. Vol. 229. 151461. DOI: 10.1016/j.aanat.2020.151461.
18. Maffulli N., Via A.G., Oliva F. Chronic Achilles tendon rupture // *Open Orthop. J.* 2017. Vol. 11. P. 660-669. DOI: 10.2174/1874325001711010660.
19. The risk of Achilles tendon rupture in the patients with Achilles Tendinopathy: Healthcare Database analysis in the United States / Y. Yasui, I. Tonogai, A.J. Rosenbaum, Y. Shimozone, H. Kawano, J.G. Kennedy // *Biomed. Res. Int.* 2017. Vol. 2017. ID 7021862. DOI: 10.1155/2017/7021862.
20. Outcomes and complications of percutaneous versus open repair of acute Achilles tendon rupture: A meta-analysis / B. Yang, Y. Liu, S. Kan, D. Zhang, H. Xu, F. Liu, G. Ning, S. Feng // *Int. J. Surg.* 2017. Vol. 40. P. 178-186. DOI: 10.1016/j.ijsu.2017.03.021.
21. Achillon versus open surgery in acute Achilles tendon repair / I. Alcelik, Z.M. Saeed, B.A. Haughton, R. Shahid, J.C. Alcelik, C. Brogden, A. Budgen // *Foot Ankle Surg.* 2018. Vol. 24, No 5. P. 427-434. DOI: 10.1016/j.fas.2017.04.016.
22. Patel M.S., Kadakia A.R. Minimally Invasive Treatments of Acute Achilles Tendon Ruptures // *Foot Ankle Clin.* 2019. Vol. 24, No 3. P. 399-424. DOI: 10.1016/j.fcl.2019.05.002.
23. Krueger H., David S. The Effectiveness of Open Repair versus Percutaneous Repair for an Acute Achilles Tendon Rupture // *J. Sport Rehabil.* 2016. Vol. 25, No 4. P. 404-410. DOI: 10.1123/jsr.2015-0024.
24. Clinical failure after Dresden repair of mid-substance Achilles tendon rupture: human cadaveric testing / C. de la Fuente, G. Carreño, M. Soto, H. Marambio, H. Henríquez // *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2017. Vol. 25, No 6. P. 1849-1856. DOI: 10.1007/s00167-016-4182-2.
25. Surgical Treatment versus Conservative Management for Acute Achilles Tendon Rupture: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials / S. Deng, Z. Sun, C. Zhang, G. Chen, J. Li // *J. Foot Ankle Surg.* 2017. Vol. 56, No 6. P. 1236-1243. DOI: 10.1053/j.jfas.2017.05.036.

Статья поступила в редакцию 16.07.2021; одобрена после рецензирования 16.09.2021; принята к публикации 23.12.2021.

The article was submitted 16.07.2021; approved after reviewing 16.09.2021; accepted for publication 23.12.2021.

Информация об авторах:

1. Геннадий Петрович Котельников – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН;
2. Юрий Дмитриевич Ким – кандидат медицинских наук, drkim@mail.ru;
3. Дмитрий Сергеевич Шитиков – кандидат медицинских наук;
4. Никита Алексеевич Князев;
5. Никита Эдуардович Лихолатов.

Information about the authors:

1. Gennadii P. Kotelnikov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of RAS;
2. Yuriy D. Kim – Candidate of Medical Sciences, drkim@mail.ru;
3. Dmitry S. Shitikov – Candidate of Medical Sciences;
4. Nikita A. Knyazev – M.D.;
6. Nikita E. Likhlatov – M.D.