

**ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
АХИЛЛОВОГО СУХОЖИЛИЯ КРОЛИКОВ ПОСЛЕ
ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ В
УСЛОВИЯХ МЕДИКАМЕНТОЗНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ
СПАЕЧНОГО ПРОЦЕССА. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ**

В.В. Пастух

Харьковская медицинская академия последипломного образования

Введение

Различным аспектами репаративной регенерации сухожилий посвящены работы ряда отечественных и зарубежных авторов [1, 2].

Однако, вопрос о характере ткани, замещающей дефект сухожилий, до настоящего времени является предметом обсуждения и споров между биологами, морфологами и хирургами. Основные разногласия возникают по вопросу о том, образуется ли при регенерации истинная ткань сухожилия со свойственной ей типичной структурой или же дефект замещается рубцовой тканью.

Нет единства взглядов на динамику репаративной регенерации сухожилий. Одни исследователи исключают возможность трансформации соединительнотканного регенерата в пучковые структуры сухожилия. Другие отмечают образование сухожильных пучков из клеток поврежденного сухожилия. Концы разорванного сухожилия, независимо от метода пластики, срастаются между собой соединительнотканым рубцом, неполноценным в функциональном отношении [3, 4, 5]. В литературе существуют также различные точки зрения на источники регенерации поврежденного сухожилия. Одни авторы рассматривают сухожилие как высокодифференцированную структуру, неспособную принять участие в регенерационном процессе, придавая большое значение малодифференцированным элементам окружающей рыхлой соединительной ткани [6]. Другие авторы первостепенное значение при регенерации отводят самому сухожилию, признавая его истинную регенерацию [2].

Предлагаются различные варианты профилактики спаечного процесса посредством введения в синовиальные влагалища жид-

ких полимеров, пленок, мембран и устройств, которые создают барьер между раневыми поверхностями, препятствуя адгезиогенезу. Однако растворы быстро выводятся, что требует их повторного введения, а различные пленки и биологические прокладки являются механически раздражающими агентами, способными вызывать асептическую реакцию как со стороны поврежденной, так и со стороны здоровой ткани. Биологическая реакция организма, направленная на локализацию патологического процесса, становится причиной, приводящей к осложнениям: рубцово-спаечным процессам, артрогенно-теногенным контрактурам [7, 8, 9].

Основной причиной неудовлетворительных исходов лечения травм сухожилий исследователи признают рубцово-спаечный процесс, ограничивающий подвижность оперированного сухожилия. Обездвижение конечности в послеоперационном периоде способствует развитию сращений между сухожилием и окружающими тканями [10, 11, 12]. Сегодня тактика лечения повреждений сухожилий включает сокращение срока иммобилизации и раннее использование лечебной гимнастики в виде пассивных и активных движений оперированной конечности, способствующих разрыву спаек сухожилия с окружающими тканями [13].

Целью исследования является подбор препаратов для профилактики адгезиогенеза, применение которых наименее изменяет механические свойства сухожилий после посттравматического восстановления.

Материалы и методы исследования

При изучении литературы прослеживается, что наиболее перспективным при повреждении сухожильно-мышечного комплекса считается применение вязких индифферентных субстанций, разобщающих раневые поверхности. Также, для профилактики и лечения артрогенно-теногенных контрактур используются ферментативные препараты. Были проведены биомеханические исследования механических свойств ахилловых сухожилий кроликов на которых была создана модель их частичного повреждения путем пересечения на $\frac{1}{2}$ диаметра. Травмированное сухожилие ушивалось сухожильным швом.

В ходе эксперимента изучалось 5 групп препаратов ахилловых сухожилий кроликов с пяточной костью по 3 препарата в каждой группе.

1 группа – контрольная. После выполнения сухожильного шва рану промывали раствором антисептика и ушивали.

2 группа – животным, после обработки раны антисептиком, вокруг сухожильного шва вводили трехмерный полиакриламидный полимер (ТПП) 4,5% - 1 мл; (Noltrex™);

3 группа – животным, после обработки раны антисептиком, вокруг сухожильного шва вводили Гиалуроновую кислоту (ГК) 1% - 1 мл; (Сингиал™);

4 группа – животным, после обработки раны антисептиком, вокруг сухожильного шва вводили Гиалуронидазу (ГД) 64 ЕД/мл - 1 мл (Лидаза-Биолек™).

5 группа – норма. Препараты неоперированных ахилловых сухожилий интактных животных.

Все животные были выведены из эксперимента на 60 сутки.

Экспериментальные исследования проводили в два этапа.

На первом этапе препараты закреплялись за фрагмент пяточной кости на стенде, к свободному концу ахиллового сухожилия прикладывали растягивающую нагрузку величиной 30 Н и измеряли величину удлинения сухожилия. По результатам испытаний рассчитывали величину модуля упругости препарата [14]:

$$E = \frac{F}{S\Delta l} \quad (1)$$

где F – величина растягивающей нагрузки (30 Н); S – площадь поперечного сечения препарата ахиллового сухожилия (2 мм²); l – длина препарата ахиллового сухожилия (10 мм); Δl – удлинение ахиллового сухожилия.

На втором этапе нагрузку увеличивали до разрыва ахиллового сухожилия. Величину нагрузки, при которой произошло разрушение фиксировали. По результатам испытаний рассчитывали предел прочности препарата [14]:

$$\sigma_{np} = \frac{F_{np}}{S} \quad (2)$$

где F_{np} – величина разрушающей нагрузки.

Испытания проводили на стенде для биомеханических исследований. Величину деформации измеряли с помощью микрометра часового типа. Величину нагрузки измеряли с помощью тензометрического датчика SBA-100L, результаты фиксировали устройством регистрации CAS типа CI-2001A.

Данные были обработаны статистически. В результате статистического анализа находили средние значения исследуемых и расчетных величин и их стандартное отклонение. С помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием апостериорного теста Дункана, определили на сколько значительно отличаются механические характеристики связок между группами препаратов [15].

Предварительную обработку данных для статистических расчетов проводили с помощью электронных таблиц MS Excel. Статистический анализ выполняли с помощью пакета прикладных программ для статистической обработки данных SPSS 20.0.

Полученные результаты и их обсуждение

В результате проведенных экспериментальных исследований получены данные о величинах механических характеристик (предельно допустимая нагрузка, величина удлинения, модуль упругости, предел прочности) препаратов ахилловых сухожилий кроликов в процессе их восстановления после травматического повреждения, а также неповрежденных препаратов ахилловых сухожилий.

Средние значения величины удлинения препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки 30 Н приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения величины удлинения препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки 30 Н

Группы	Удлинение, мм	
	Среднее	Стд. отклонение
Норма	2,96	0,22
ТПП	1,99	0,20
ГК	2,16	0,03
ГД	1,61	0,07
Контроль	0,83	0,37

Результаты эксперимента показали, что наибольшее удлинение под действием растягивающей нагрузки величиной 30 Н было достигнуто на препаратах неоперированных ахилловых сухожилий кроликов (2,96±0,22) мм. Наименьшая величина удлинения была получена на препаратах контрольной группы (0,83±0,37) мм. Остальные группы препаратов показали промежуточные значения.

Проведено сравнение показателей величин удлинения препаратов ахиллового сухожилия кроликов в разных группах с помощью

однофакторного дисперсионного анализа с использованием апостериорного теста Дункана. Результаты проведенного сравнительного анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа величины удлинения препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки 30 Н (апостериорный тест Дункана)

Группа	Удлинение, мм			
	Подмножество для $\alpha = 0,05$			
	1	2	3	4
Контроль	0,83			
ГД		1,61		
ТПП		1,99	1,99	
ГК			2,16	
Корма				2,96
Значимость, p		0,06	0,35	

Результаты однофакторного дисперсионного анализа с использованием апостериорного теста Дункана величин удлинения препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки 30 Н показали, что данный показатель в группах нормы и контроля статистически значимо ($p < 0,05$) отличается, как между собой, так и от групп ахилловых сухожилий леченных с использованием различных медикаментозных препаратов, о чем свидетельствует их размещение в разных подмножествах. Величины удлинения препаратов ахилловых сухожилий кроликов леченых ТПП и ГК имеют статистически незначимые отличия ($p = 0,35$) и, соответственно размещены в одном подмножестве. То же самое можно сказать и о препаратах ахилловых сухожилий кроликов леченых с использованием ТПП и ГД (значимость различий $p = 0,06$). Однако, величина удлинения препаратов ахилловых сухожилий кроликов леченых ГД и ГК имеют статистически значимые различия ($p < 0,05$) и по результатам теста размещены в разных подмножествах.

На основании данных о величинах удлинения препаратов ахиллового сухожилия кроликов были проведены расчеты величины модуля упругости препаратов во всех исследуемых группах. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Как показали расчеты, наибольшим значением модуля упругости обладают препараты ахиллового сухожилия кроликов контрольной

группы ($0,216 \pm 0,123$) МПа. Наименьшее значение модуля упругости выявлено при изучении не травмированных препаратов ахиллового сухожилия ($0,051 \pm 0,004$) МПа.

Таблица 3

Средние значения величины модуля упругости препаратов ахиллового сухожилия кроликов

Группы	Модуль упругости, МПа	
	Среднее	Стд. отклонение
Норма	0,051	0,004
ТПП	0,076	0,008
ГК	0,069	0,001
ГД	0,093	0,004
Контроль	0,216	0,123

Следующим этапом проведено сравнение показателей величин модуля упругости препаратов ахиллового сухожилия кроликов в разных группах с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием апостериорного теста Дункана. Результаты проведенного сравнительного анализа приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты сравнительного анализа величины модуля упругости препаратов ахиллового сухожилия кроликов (апостериорный тест Дункана)

Группа	Модуль упругости, МПа	
	Подмножество для $\alpha = 0,05$	
	1	2
Норма	0,05	
ГК	0,07	
ТПП	0,08	
ГД	0,09	
Контроль		0,22
Значимость, p	0,40	

Результаты однофакторного дисперсионного анализа с использованием апостериорного теста Дункана величин модуля упругости препаратов ахиллового сухожилия кроликов показали, что статистически значимые отличия ($p < 0,05$) по данному показателю имеют препараты контрольной группы, которые выделены результатами теста в отдельное подмножество. Препараты всех остальных групп

препаратов между собой статистически значимых отличий не имеют ($p=0,40$) и по результатам теста размещены в одном подмножестве.

На втором этапе экспериментального исследования измерялась величина предельно допустимой растягивающей нагрузки, при которой происходит разрушение препаратов ахиллового сухожилия кроликов разных групп.

Результаты проведенных исследований величины растягивающей нагрузки, приводящей к разрушению препаратов ахиллового сухожилия кроликов приведены в таблице 5.

Таблица 5

Средние значения величины растягивающей нагрузки, приводящей к разрушению препаратов ахиллового сухожилия кроликов

Группы	Нагрузка, Н	
	Среднее	Стд. отклонение
Норма	69,72	0,18
ТПП	74,49	0,61
ГК	73,84	0,36
ГД	78,43	0,51
Контроль	81,81	0,34

По результатам проведенных исследований величины предельно допустимых растягивающих нагрузок, приводящей к разрушению препаратов ахиллового сухожилия кроликов можно говорить о том, что наибольшей прочностью обладали препараты контрольной группы (величина предельно допустимой нагрузки $(81,81 \pm 0,34)$ Н). Наименьшую прочность продемонстрировали препараты нетравмированных ахилловых сухожилий кроликов (величина предельно допустимой нагрузки $(69,72 \pm 0,18)$ Н).

Проведено сравнение показателей величин предельно допустимой растягивающей нагрузки, приводящей к разрушению препаратов ахиллового сухожилия кроликов в разных группах, с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием апостериорного теста Дункана. Результаты проведенного статистического сравнительного анализа приведены в таблице 6.

Сравнение показателей величин предельно допустимой растягивающей нагрузки, приводящей к разрушению препаратов ахиллового сухожилия кроликов в разных группах, с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием апостериорного теста Дункана

показало, что препараты ахиллового сухожилия кроликов леченых ГК и ТПП не имеют статистически значимых различий по исследуемому показателю ($p=0,09$) и, соответственно, размещены в одном подмножестве. Препараты ахилловых сухожилий кроликов всех остальных групп статистически значимо ($p<0,05$) отличаются друг от друга, о чем свидетельствует их размещение в отдельных подмножествах.

Таблица 6

Результаты сравнительного анализа величины растягивающей нагрузки, приводящей к разрушению препаратов ахиллового сухожилия кроликов (апостериорный тест Дункана)

Группа	Нагрузка, Н			
	Подмножество для $\alpha = 0,05$			
	1	2	3	4
Контроль	69,72			
ГК		73,84		
ТПП		74,49		
ГД			78,43	
Норма				81,81
Значимость, p		0,09		

Результаты экспериментальных исследований величин предельно допустимой нагрузки, приводящей к разрушению препаратов ахиллового сухожилия кроликов, послужили основой для расчета величины предела прочности для препаратов различных групп.

Результаты расчетов величины предела прочности препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки приведены в таблице 7.

Таблица 7

Средние значения величины предела прочности препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки

Группы	Предел прочности, МПа	
	Среднее	Стд. отклонение
Норма	34,86	0,09
ТПП	37,24	0,30
ГК	36,92	0,18
ГД	39,22	0,26
Контроль	40,90	0,17

Результаты проведенного расчета величины предела прочности препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки полностью соответствуют результатам измерения величины предельно допустимой растягивающей нагрузки.

Проведено сравнение показателей величин предела прочности препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки в разных группах, с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием апостериорного теста Дункана.

Результаты сравнительного анализа величины предела прочности препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки приведены в таблице 8.

Таблица 8

Результаты сравнительного анализа величины предела прочности препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки (апостериорный тест Дункана)

Группа	Предел прочности, МПа			
	Подмножество для $\alpha = 0,05$			
	1	2	3	4
Норма	34,86			
ГК		36,92		
ТПП		37,24		
ГД			39,22	
контроль				40,90
Значимость, p		0,09		

Результаты сравнительного статистического анализа величины предела прочности препаратов ахиллового сухожилия кроликов под действием растягивающей нагрузки, так же полностью совпадают с результатами сравнительного анализа величин предельно допустимой нагрузки. Препараты ахиллового сухожилия кроликов леченых ГК и ТПП не имеют статистически значимых различий по исследуемому показателю ($p=0,09$) и, соответственно, размещены в одном подмножестве. Препараты ахилловых сухожилий кроликов всех остальных групп статистически значимо ($p<0,05$) отличаются друг от друга, о чем свидетельствует их размещение в отдельных подмножествах.

Выводы

1. В процессе восстановления ахиллового сухожилия кроликов после травмы наблюдается увеличение значений показателей, характеризующих прочностные свойства тканей – модуля упругости,

предельно допустимой нагрузки и предела прочности. Величины показатели, характеризующие пластические свойства тканей (величина удлинения), уменьшаются, что может стать одной из причин развития посттравматических контрактур.

2. Наилучшие показатели с точки зрения пластичности тканей наблюдались в группе препаратов ахиллового сухожилия кроликов, где профилактика адгезии проводилась препаратами ГК и ТПП. Наихудшие - в контрольной группе.

3. Учитывая результаты проведенного эксперимента препаратами профилактики адгезии, наименее изменяющимися механические свойства ахиллового сухожилия, являются Гиалуроновая кислота 1% и Трехмерный полиакриламидный полимер 4,5%, и являются перспективными для дальнейших клинических исследований.

Литература

1. Лаврищева Г.И. Морфологические и клинические аспекты регенерации опорных органов и тканей / Г.И. Лаврищева, Г.А. Оноприенко. - М.: Медицина, 1996. - 208 с.
2. Лаврищева Г.И. Предотвращение образования спаек при регенерации сухожилий в зоне синовиальных влагалищ / Г.И. Лаврищева, О.К. Болотцев // Травматология, ортопедия. - 1985. - № 11. - С. 29-31.
3. Белова А.Н. Нейрореабилитация: руководство для врачей / А.Н. Белова, С.В. Прокопенко. - [3-е изд., перераб. и доп.]. - М.: Антидор, 2010. - 1288 с.
4. Белоусов А.Е. Микрохирургическая техника в хирургии кисти / А.Е. Белоусов // Реабилитация больных с некоторыми заболеваниями и повреждениями кисти. - Горький, 1987. - С. 33-35.
5. Казарезов М.В. Контрактуры / М.В. Казарезов, А.Н. Королева, В.А. Головнев. - Новосибирск, 2002. - 295 с.
6. Risberg B. Adhesions: preventive strategies / B. Risberg // Eur J Surg. - 1997. - Vol. 577. - P. 32-39.
7. Enwemeka C. Cellularity and fibrillogenesis in regenerating tendon / C. Enwemeka // Phys. Ther. - 1989. - Vol. 69, № 10. - P. 816-825.
8. Green D.P. A brief history of the scientific programme / D.P. Green // American society for the surgery of the hand. The first fifty years. - N.Y., 1995. - P. 67-74.
9. Strickland J.W. Flexor tendon injuries: I. Foundations of treatment / J.W. Strickland // J. Amer. Acad. Orthop. Surg. - 1995. - Vol. 3, № 1. - P. 44-50.
10. Курінний І.М. Особливості патогенетичних механізмів формування стійких згинальних контрактур пальців кисті у хворих з наслідками поєднаної травми кисті та передпліччя / І. М. Курінний, С.С. Страфун, В.В. Гайович // Ортопедія, травматологія та протезування. - 2000. - № 4. - С. 29-35.
11. Хименко С.О. Відновне лікування хворих з ушкодженнями термінальної порції сухожилка розгинача пальців кисті / С.О. Хименко, І.М. Курінний // Вісник ортопедії, травматології та протезування. - 2010. - № 1. - С. 60-65.

12. *A post-operative regime after digital flexor tenolysis* / G. Foucher, E. Lenoble, K. Ben Yossef, D. Sammut // *J. Hand Surg.* - 1993. - Vol. 18-B, № 1. - P. 35-40.

13. Черенок Є.П. Хірургічне лікування травматичних дефектів термінальних відділів пальців кисті: автореф. дис. на здобуття наук. канд. мед. наук: спец. 14.01.03 «Хірургія» / Є.П. Черенок. - Київ, 2006. - 20 с.

14. Писаренко Г.С. *Справочник по сопротивлению материалов* / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев; отв. ред. Писаренко Г.С. - [2-е изд. перераб. и доп.]. - Київ: Наукова думка, 1988. - 736 с.

15. Бююль Ахим. *SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей* / Ахим Бююль, Петер Цефлер; пер. с нем. - СПб.: ДиаСофтЮП, 2005. - 608 с.

Резюме

Пастух В.В. Зміни механічних властивостей ахіллового сухожилка кроликів по завершенню післятравматичного відновлення в умовах медикаментозної профілактики спайкового процесу. Експериментальне дослідження.

У результаті зміни механічних властивостей сухожилля, відновлених після травми, виникає парадоксальна ситуація. З одного боку, збільшення пружності покращує характеристики міцності сухожилля, з іншого - знижує величину його відносного подовження, що може бути однією з причин післятравматичних контрактур. У результаті проведеного експерименту підібрані препарати профілактики адгезії, найменш змінюють механічні властивості ахіллового сухожилля.

Ключові слова: сухожилля, адгезія, профілактика, механічні властивості.

Резюме

Пастух В.В. Изменение механических свойств ахиллового сухожилия кроликов после посттравматического восстановления в условиях медикаментозной профилактики спаечного процесса. Экспериментальное исследование.

В результате изменения механических свойств сухожилий, восстановленных после травмы, возникает парадоксальная ситуация. С одной стороны, увеличение упругости улучшает прочностные характеристики сухожилия, с другой - снижает величину его относительного удлинения, что может быть одной из причин посттравматических контрактур. В результате проведенного эксперимента подобраны препараты профилактики адгезии, наименее изменяющие механические свойства ахиллового сухожилия.

Ключевые слова: сухожилие, адгезия, профилактика, механические свойства.

Summary

Pastukh V.V. Changes in the mechanical properties of the rabbits achilles tendon after posttraumatic recovery under medical prophylaxis of adhesions. Experimental study.

As a result of changes in the mechanical properties of tendons, recovered from injury, there is a paradoxical situation. On the one hand, increasing the elasticity improves the strength characteristics of the tendon. On the other hand - it reduces the amount of elongation, which may be a reason of posttraumatic contractures. In the experiment we picked up medicines for adhesion prevention, that little change mechanical properties of the achilles tendon.

Key words: tendon, adhesion, prevention, adhesion, mechanical property.

Рецензент: д.мед.н., проф. О.А. Тяжелов

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ РУКОПИСІВ ДЛЯ ПУБЛІКАЦІЇ

«Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології»: збірник наукових праць.

1. Збірник включений до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук в галузях медицини, біології та фармації, затвердженого постановою президії ВАК України від 14.10.2009 р. № 1-05/4 (Бюлетень ВАК України 2009. - № 11. - С. 9.).

2. До публікації у збірнику приймаються рукописи, що містять результати оригінальних біологічних, медичних, фармацевтичних досліджень, лекцій, огляди літератури, клінічні спостереження, наукову інформацію, рецензії та інші матеріали, що раніше не були опубліковані.

3. Мова публікації - українська, російська. Обов'язково надається англomовний варіант статті.

4. Стаття друкується у форматі А4 (береги: лівий - 3 см, правий - 1,5 см, верхній та нижній - по 2 см) через 1,5 інтервали у текстовому редакторі Word for Windows без ручних перенесень шрифтом Times New Roman Size 14. Обов'язково слід вказувати поштову адресу, телефон, бажано адресу електронної пошти того, з яким буде вестися листування.

5. Кожна стаття на початку повинна нести таку інформацію: індекс УДК, назва без використання абревіатур, ініціали та прізвища авторів, установа, де виконувалася робота.

6. Текст оригінальних досліджень має такі розділи: вступ, мета, матеріали та методи дослідження, отримані результати та їх обговорення, висновки.

7. Обов'язково вказується зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами (з зазначенням державного реєстраційного номеру).

8. Наприкінці публікуються резюме та ключові слова (3-5 слів або словосполучень) трьома мовами (українською, російською та англійською). Кожне резюме повинно мати обсяг до 200 слів і містити прізвища авторів, назву роботи, висвітлювати мету дослідження, методи, результати та висновки.

9. Матеріал може ілюструватися таблицями, рисунками, діаграмами, мікрофото та ін. Ілюстрації наводяться після їх першого згадування.

10. Висновки мають перспективи подальших досліджень.

11. Список літератури оригінальних робіт повинен бути обсягом 10-20 джерел (не менше 2-х латиницею), оглядів, лекцій - 40 джерел. Розташування джерел - за алфавітом. Посилання на бібліографічні джерела в тексті даються в квадратних дужках. Спочатку приводяться роботи українською та російською мовами, потім - іноземними в оригінальній транскрипції. Оформлення переліку літератури проводиться відповідно до вимог Державного стандарту 2006 року (бюл.ВАК 2008, № 3).