

СРАВНЕНИЕ ТРЕХНЕДЕЛЬНЫХ РЕГЕНЕРАТОВ ПЯТОЧНОГО СУХОЖИЛИЯ ПОСЛЕ ТЕНОТОМИИ И ШВА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ IN VIVO

А. В. Зенченко, Ю. М. Чернякова

Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь



Введение. Современные знания о заживлении сухожилий и возможности кистевой хирургии не решают проблему формирования теногенных контрактур. Для предотвращения рубцового процесса используют разобщение скользящих поверхностей сухожилия и его влагаллица полимерными материалами. При этом регенерация сухожилий в условиях изоляции не доказана.

Цель исследования. В модели на лабораторных животных выполнить тенотомию и шов пяточного сухожилия, изучить сформировавшиеся в режиме мобилизации трехнедельные регенераты и оценить регенераторную способность сухожилия в условиях изоляции рассеченной полимерной трубкой.

Материал и методы. Лабораторным крысам на обеих лапах выполняли томию и шов пяточных сухожилий. Сухожилия на правых лапах дополнительно изолировали рассеченными полимерными трубками. Через 3 недели оценивали внешний вид и гистологическую структуру зоны шва.

Результаты. Регенераты сухожилий отличались своей зрелостью и тканевой организацией. Неизолированные сухожилия срастались быстрее, но утрачивали скользящую поверхность. В результате изоляции формировалась скользящая поверхность сухожилия и его влагаллица, но замедлялось формирование регенерата.

Выводы. Репарация сухожилия при изоляции рассеченной трубкой возможна и происходит за счет внутренних источников. Срастание сухожилия демонстрирует хорошо васкуляризованный регенерат в зоне шва.

Ключевые слова: тенотомия, шов сухожилия, изоляция сухожилия, регенерация сухожилия.

Для цитирования: Зенченко, А. В. Сравнение 3-недельных регенератов пяточного сухожилия после тенотомии и шва в эксперименте in vivo / А. В. Зенченко, Ю. М. Чернякова // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2021. Т. 19, № 1. С. 77-84. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2021-19-1-77-84>.

Введение

Экспериментальные исследования биологических и биомеханических аспектов заживления и функционирования зоны сухожильного шва, начатые в 70-х годах XX века, привели к совершенствованию техники оперативных вмешательств на сухожилиях человека и легли в основу современных технологий послеоперационной реабилитации пациентов [1, 2].

Процесс посттравматической регенерации сухожилий достаточно хорошо изучен и изложен в ряде научных публикаций [3, 4, 5, 6]. Так, установлено, что в первые часы после травмы пространство между концами сухожилия заполняется кровяным сгустком, который за счет пролиферации малодифференцированных клеточных элементов уже к концу первой недели превращается в молодую соединительную ткань с большим количеством сосудов. На второй неделе пролиферация соединительной ткани достигает своего максимума, после чего начинается волокнообразование. Оно становится наиболее интенсивным на 3-4 неделях. В это время число вновь образованных продольно ориентированных волокон быстро возрастает, а количество клеток и сосудов уменьшается. Последующее созревание рубцовой ткани продолжается под влиянием движений в течение нескольких месяцев. В результате формируется сухожилиеподобная ткань, которая отличается от сухожильной лишь некоторым увеличением числа клеточных элементов, неточной продольной ориентацией некоторых волокон и большим количеством внутривольных сосудов.

С конца 1970-х годов в реконструктивной хирургии сухожилий утвердилась концепция собственного, или первичного, срастания зоны шва без врастания рубцов из окружающих тканей [7, 8, 9]. Такое срастание считают оптимальным, поскольку именно оно обеспечивает нормальное скольжение сухожилий, особенно в критических зонах костно-фиброзных каналов. Наряду с этим частое наблюдение контрактур после реконструктивных операций свидетельствует о срастании сухожилий с окружающими тканями и их рубцовом блокировании. В свою очередь мобилизация сухожилия, начатая с первых дней после операции, и ранний двигательный стресс подавляют формирование спаек и стимулируют тканеспецифическую организацию зоны шва [10, 11, 12, 13].

Несмотря на это, в клинической практике безопасные активные движения без риска разрыва соединения разрешают не ранее чем через 3-4 недели после операции, что обусловлено общими представлениями о прочности сухожильного шва в разные фазы заживления и понятием о средних сроках срастания сухожилий [2, 14]. Реабилитация же пациентов продолжается до достижения стабильного объема движений в суставах оперированного пальца. При этом трудоспособность наступает раньше, чем восстанавливается полный объем движений. Степень же восстановления функции и окончательный результат оценивают не ранее чем через 6 месяцев после операции, когда рубец становится достаточно прочным и способен выдерживать обычные для данного сухожилия нагрузки [15, 16].

В хирургии при профилактике спаек предпочтение отдают средствам механического разобщения раневых поверхностей [17]. В травматологии проблему безопасной активной мобилизации с первых дней после операции и разобщения скользящих поверхностей сухожилия и его влагалища можно решить путем временной изоляции восстановленного сухожилия рассеченной полимерной трубкой [18]. Несмотря на полученные хорошие клинико-функциональные результаты от применения новой технологии [19], забор и морфологическое исследование восстановленных сухожилий у прооперированных пациентов не представляется возможным. Наряду с этим первичное срастание сухожилий в условиях ограниченного питания зоны шва требует доказательств.

Цель – в модели на лабораторных животных выполнить тенотомию и шов пяточного сухожилия, изучить сформировавшиеся в режиме мобилизации трехнедельные регенераты и оценить регенераторную способность сухожилия в условиях изоляции рассеченной полимерной трубкой.

Материал и методы

Экспериментальное исследование выполнено на 10 крысах-самцах линии Wistar весом 250-300 граммов в соответствии с современными этическими и регламентирующими документами [20, 21, 22]. Все операции животным проводили стерильными инструментами в асептических условиях лабораторной операционной медицинского университета под ингаляционной анестезией изофлураном. Во время первой операции у 5 животных на пяточном сухожилии левой лапы разрушали брыжейку на протяжении, выполняли поперечную томию и аккуратно соединяли сухожилие конец-в-конец эпителидными узловыми швами (рис. 1, а). У следующих 5 животных также на левой лапе делали косую тенотомию с разрушением брыжейки, эпителион восстанавливали с деформацией и утолщением зоны шва (рис. 1, б). На правой лапе всем 10 животным моделировали способ с укрытием зоны шва продольно рассеченной полимерной трубкой [18, 19] (рис. 1, с, d). В качестве шовного

материала использовали длительно рассасывающиеся нити из полигликолида калибра 3/0 на атравматичной колющей игле. В качестве изолирующих трубок брали фрагменты эластичных инфузионных проводников из нетоксичного поливинилхлорида (производитель УП «ФреБор», Беларусь) длиной 1 см с внутренним диаметром 1,5 мм и толщиной стенки 0,3 мм. Трубку рассекали вдоль, накладывали на шитое сухожилие и фиксировали к нему п-образными швами выше и ниже зоны соединения. После фиксации между краями трубки оставался щелевидный зазор 0,3 мм для сохранения питания зоны шва. Кожу лап животных ушивали непрерывным обвивным швом. После операции животных содержали и наблюдали в привычных условиях вивария.

Второе вмешательство выполняли через 3 недели после первой операции также под ингаляционной анестезией: у животных иссекали оба пяточных сухожилия. После завершения эксперимента наблюдение за животными продолжали 5-7 дней до появления активных движений в задних лапах.

Во время доступов оценивали непрерывность и внешний вид пяточных сухожилий, а также состояние окружающих тканей в зоне вмешательства (рис. 2). Иссеченные сухожилия после удаления шовных нитей помещали в раствор нейтрального формалина. Гистологическую проводку тканей осуществляли на автоматическом аппарате с принадлежностями STP 120 «Thermo Scientific» (компания Thermo Fisher Scientific Inc., США). Продольные срезы толщиной 5 мкм получали на санном микротоме HM 450 «Thermo Scientific». Препараты окрашивали гематоксилином и эозином и по Ван Гизону. Изучение сухожилий и фотодокументирование проводили с использованием оптического микроскопа «Levenhuk MED 10T» (компания Levenhuk LLC, США) с цифровым видеоскопом TopCam 10.0 MP на увеличениях в 40, 100, 400 и 1000 раз. При изучении морфологии образцов отмечали качественные изменения сухожилий и соотносили их с данными шкалы S. Bonag, разработанной для полуквалиметрической оценки степени тендинопатии [23, 24].

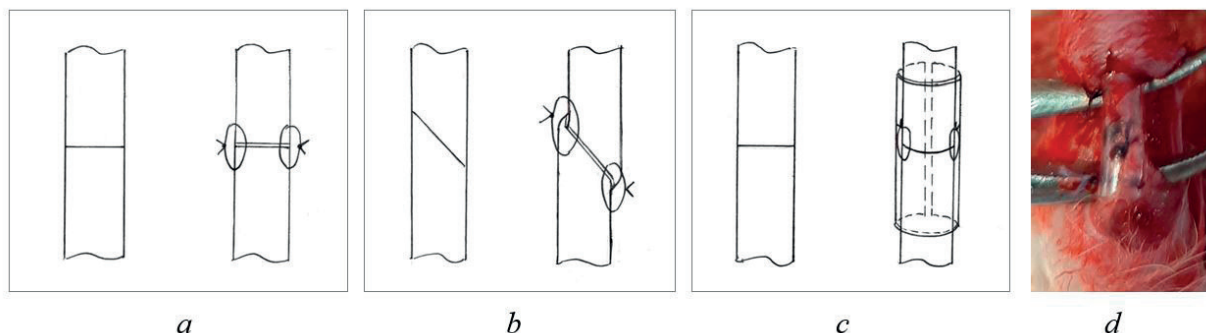


Рисунок 1. – Операции, выполненные на пяточном сухожилии у крыс: а – поперечная тенотомия и шов конец-в-конец; б – косая тенотомия с деформацией зоны шва; с – поперечная тенотомия со швом конец-в-конец и изоляцией продольно рассеченной трубкой; d – внешний вид изолированного сухожилия

Figure 1. – Operations that carried out on rates Achilles tendon: a – transversal tenotomy and end-to-end suturing; b – oblique tenotomy with suture site deformation; c – transversal tenotomy with end-to-end suturing and longitudinally dissected tube isolation; d – appearance of an isolated tendon

Результаты и обсуждение

Длительность эксперимента 3 недели была обоснована достаточным для возникновения сухожильного регенерата сроком и теми доводами, что метаболизм и регенерация тканей у крыс происходит значительно быстрее, чем у более крупных животных или у человека. Например, у таких животных, как кролики, собственная регенерация сухожилий даже в аваскулярной среде наступает через 3 недели после шва [7, 8]. У человека это же время соответствует фазе репарации (или фибропластической фазе), когда прочность зоны шва прогрессивно возрастает настолько, что можно приступать к более активной реабилитации пациента [2, 14].

Выбор режима ранней мобилизации сухожилий в эксперименте был обусловлен двумя причинами. С одной стороны, создание длительной внешней иммобилизации лап животных представляет практическую сложность, с другой – немедленная мобилизация улучшает биологический отклик сухожилия к репарации [25]. В нашем наблюдении после первой операции активные движения в обеих лапах у всех крыс постепенно восстанавливались и не отличались от нормальных уже через 3 суток.

Через 3 недели выделение и иссечение сшитых сухожилий на левых лапах животных представляло сложности, поскольку из-за спаек с окружающими тканями, изменения формы и утраты скользящей поверхности сухожилия плохо дифференцировались (рис. 2, б). В результате производились тенолиз и иссечение плотного тяжа из места естественного расположения пяточного сухожилия. Сухожилия, сшитые конец-в-конец, были истончены по сравнению с сухожилиями, сшитыми с деформацией зоны шва. Последние выглядели укороченными и утолщенными до 3 мм в зоне соединения. Несмотря на такие изменения, присутствие у животных активного подошвенного сгибания (вставание на задние лапы и отталкивание от поверхности) свидетельствовало о функциональной состоятельности прооперированных сухожилий.

На правых лапах трубки не были обнаружены у двух крыс. Вероятной причиной потери трубок могло стать разгрызание животными шовного материала и ран. На это указывали мелкие коричневые корочки на коже по ходу вторично заживших операционных доступов. Отсутствие трубок стало тем более неожиданным, поскольку активные движения в лапах этих животных не были нарушены, а при ревизии был обнаружен только рубец, идущий от кожи и припаянный к берцовым костям. У остальных 8 крыс кожа над трубками зажила первично. После рассечения кожи трубки легко идентифицировались, фиксирующий их шовный материал был состоятельным. Трубки окружала бледно-розовая гладкая скользящая ткань (рис. 2, с), через место рассечения трубки в сухожилие вращалась рыхлая, легко кровоточащая соединительная ткань. За время нахождения в организме животных трубки приобрели желтоватый цвет из-за окрашивания в результате лизиса кровяного сгустка после хирургической травмы. Извлеченные из трубок сухожилия представляли собой тонкие тяжи с гладкой поверхностью. Их диаметр на всем протяжении был одинаков – 1,3-1,5 мм, что меньше, чем поперечный размер наиболее тонкой части здорового сухожилия (1,8-2 мм). Таким образом, закрепленная на сухожилии рассеченная трубка одновременно снаружи препятствовала врастанию рубцов в сухожилие, а внутри за счет эластичного сжатия моделировала форму и скользящую поверхность сухожилия. Очевидно, что использование трубки большего диаметра или с коническим расширением в проксимальном отделе сохранило бы естественную анатомическую конфигурацию сухожильно-мышечного перехода. При этом сохранение целостности зоны шва после удаления шовного материала и при легком растяжении образцов свидетельствовало о срастании всех сухожилий.

Пример нормальной гистоархитектоники и трехнедельные регенераты пяточного сухожилия крысы на разных увеличениях представлены на рисунке 3.

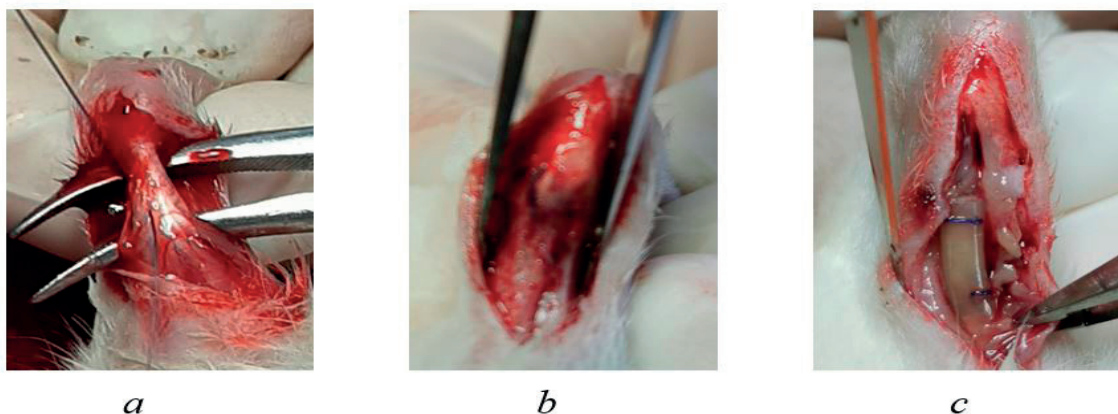


Рисунок 2. – Внешний вид пяточного сухожилия: а – до теномии; б – через 3 недели после поперечной теномии и шва без изоляции; с – через 3 недели изоляции полимерной трубкой

Figure 2. – Appearance of the Achilles tendon: a – intact; b – 3 weeks after transversal tenotomy and suturing without isolation; c – after 3 weeks of polymeric tube isolation

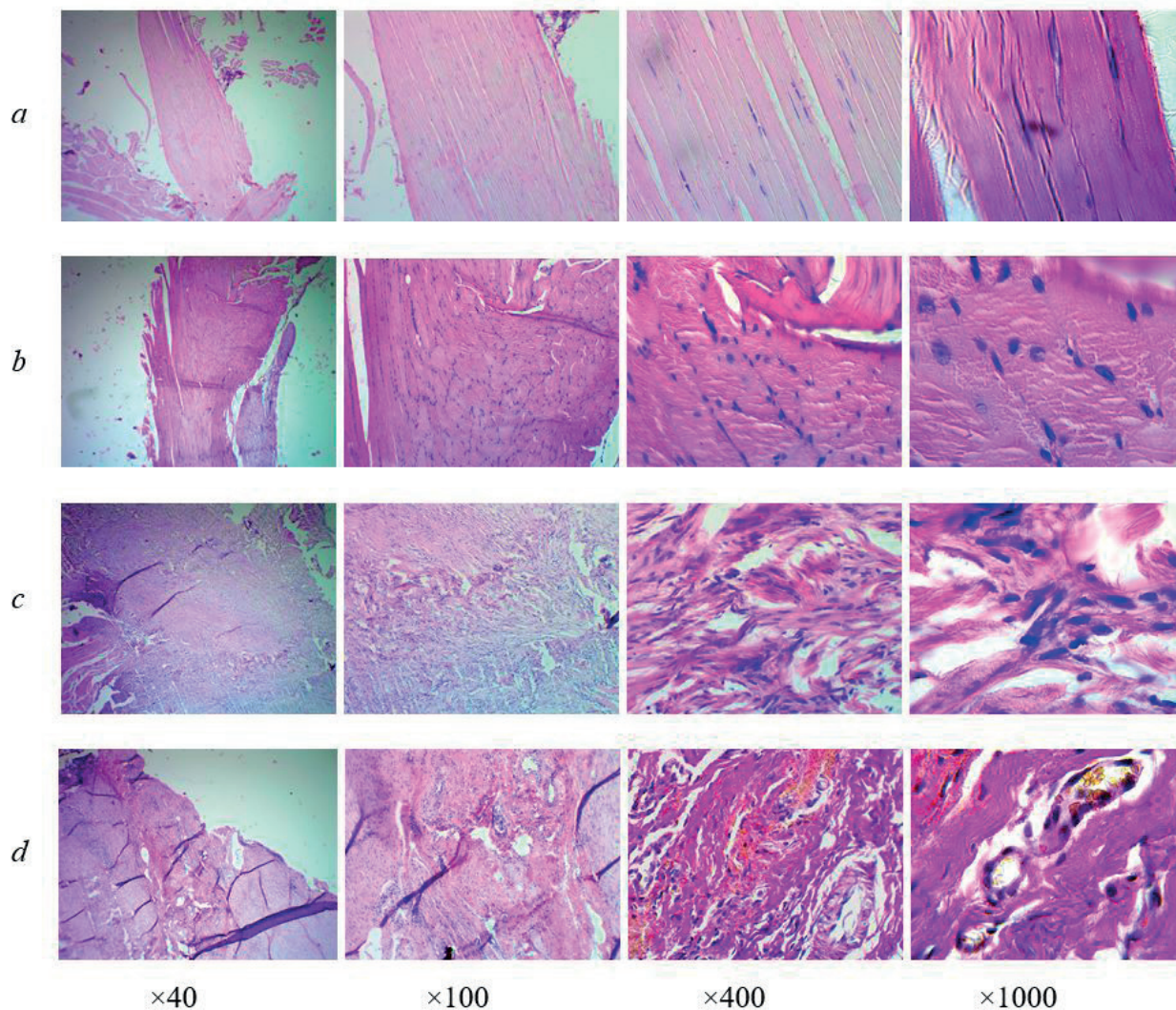


Рисунок 3. – Цифровые снимки препаратов сухожилий: а – неповрежденного; б – сшитого конец-в-конец; с – с деформацией зоны шва; d – после изоляции продольно рассеченной трубкой. Окраска препаратов выполнена гематоксилином и эозином, кроме двух последних в ряду «d», окрашенных по Ван Гизону

Figure 3. – Digital images of tendon preparations: a – intact; b – sutured end-to-end; c – with suture site deformation; d – after longitudinally dissected tube isolation. Preparations are stained with hematoxylin and eosin, except for the last two in row "d", stained according to Van Gieson

Во всех прооперированных сухожилиях достигнуто срастание за счет формирования в зоне шва сухожилиеподобных регенератов разной степени зрелости.

Через 3 недели после шва конец-в-конец (ряд «b») соединение сухожилий представлено наиболее зрелым и однородно организованным рубцом. В его толще определяется увеличение числа клеток, преимущественно теноцитов с округлыми, реже – с вытянутыми ядрами без видимой цитоплазмы, единичные фибробласты, редкие макрофаги и лейкоциты. В центральной части регенерата волокна коллагена короткие, располагаются под углом или перпендикулярно основной оси сухожилия, при этом плотно прилегают друг к другу. Ближе к поверхности сухожилия и в переходных зонах волокна вытянуты и ориентированы продольно, по направлению тянущих сил. Васкуляризация регенерата скудная, представлена 1-2 капиллярами на 10 полей зрения при большом увеличении. В структуре

рубца обнаружены единичные островки гиалинизации, причиной которых могло стать недостаточное питание клеток в глубине регенерата в сочетании с избыточной ранней нагрузкой на сухожилие и его блокированием спайками [1]. В условиях активации внешних источников регенерации скользящая поверхность сухожилия (эпителин) в препаратах не идентифицируется. Вместо нее сухожилие окружено соединительнотканными спайками, которые были механически разрушены в ходе тенолиза. Представленная гистологическая картина демонстрирует признаки завершения репарации и начало фазы ремоделирования [2], за исключением восстановления скользящей поверхности сухожилия.

В ряду «с», несмотря на первичную деформацию соединения, также отмечено срастание концов сухожилия. Зона шва определяется по небольшому утолщению, образованному вновь сформированными коллагеновыми волокнами, лежащими в плоскости теномии. В централь-

ной части регенерата располагается преимущественно плотная волокнистая соединительная ткань. Переходные зоны регенерата визуализируются как прослойки рыхлой неоформленной волокнистой ткани с небольшим количеством сосудов капиллярного типа и значительным числом разновозрастных фибробластов, в том числе с округлыми ядрами и ярко окрашенной цитоплазмой, что свидетельствует о продолжении формирования сухожилиеподобного рубца. Как и в предыдущем случае, поверхность сухожилия утратила скользящий слой эпитенона. Различия в структуре центральной части и переходных зон регенерата отражают завершение фазы репарации сухожилия.

Ряд «d» представляет срезы регенерата, образовавшегося в условиях трехнедельной изоляции сшитого сухожилия рассеченной полимерной трубкой. Трубка применялась как механический барьер против врастания рубцовой ткани, исключала влияние внешних источников регенерации. На просмотренных срезах отмечено, что незрелый регенерат соединяет оба конца сухожилия по всей площади контакта. Его рыхлая структура представлена богато васкуляризованной тканью, типичной для пика фазы репарации. Метаболическая активность формирующегося регенерата проявляется пролиферацией фибробластов, присутствием гистиоцитов, макрофагов, эозинофилов, плазматических и лимфоидных клеток, а также появлением сосудистых капилляров вокруг контактирующих в зоне шва сухожильных волокон и сухожильных пучков. Эти клетки и сосуды образуют грануляционную ткань, которая постепенно заполняет собой дефект и с течением времени перестраивается в рубцовую ткань. Соприкасавшаяся с трубкой поверхность сухожилия покрыта тонким слоем рыхлой соединительной ткани (эпитеноном), нарастающим на регенерат. В препаратах, окрашенных по Ван Гизону, видны первые признаки продукции коллагена и его отложение в виде относительно редких разнонаправленных извитых коротких волокон и пучков по ходу сосудов и у поверхности сухожилия.

В обычных условиях у экспериментальных животных зона шва реваскуляризуется приблизительно через 17 дней после шва, когда вновь формирующиеся сосуды прорастают из окружающих тканей вдоль поверхности сухожилия и проникают в зону шва через аваскулярные (в норме) области [26]. В нашем эксперименте при изоляции срастание сухожилия значительно замедлилось, поскольку с самого начала происходило только благодаря синтетической активности теноцитов и тенобластов самого сухожилия. При этом в фазе воспаления и в начале фазы репарации питание сухожилия было возможно только благодаря активным движениям и диффузии нутриентов через щелевидное пространство в изолирующей трубке, подобно тому, как в норме происходит питание аваскулярных сегментов сухожилий [2, 10]. В дальнейшем в это пространство врастала рыхлая соединительная ткань с кровеносными сосудами, в результате

чего на третьей неделе отмечены неоваскуляризация зоны шва и образование псевдобрыжейки. Положительным эффектом от трубки стало раннее формирование скользящих поверхностей сухожилия и оболочки сухожильного влагалища, необходимых для свободной экскурсии сухожилия и восстановления полного объема движений. После удаления трубки естественное биологическое окружение и активные перемещения достаточно прочного регенерата будут стимулировать дальнейшую перестройку и созревание зоны шва.

Очевидно, что в отличие от заживления после обычных реконструкций, сухожилия человека, восстановленные с использованием рассеченных изолирующих полимерных трубок, срастаются подобно сухожилиям лабораторных животных за счет внутренних источников регенерации. В послеоперационном периоде при двигательной реабилитации таких пациентов следует учитывать удлинение срока формирования регенерата.

Выводы

1. После экспериментальных операций томии и шва у лабораторных животных наступило срастание пяточных сухожилий. Через 3 недели в зависимости от направления тенотомии, качества соединения концов, оставления или выключения источников питания регенераты сухожилий различались своей зрелостью и тканевой организацией.

2. Наиболее качественная сухожилиеподобная перестройка зоны шва отмечена после поперечной тенотомии и соединения конец-в-конец. Наличие плотно лежащих коллагеновых волокон и зрелых теноцитов между ними свидетельствовало об окончании фазы репарации. Одновременно короткие и разнонаправленные волокна в толще регенерата демонстрировали неполноценную перестройку зоны шва. Мобилизация конечности с первых дней после операции не привела к формированию скользящих поверхностей сухожилия и его влагалища.

3. После косой тенотомии и деформации зоны шва регенераты были незрелыми, а их гистологическая картина соответствовала структуре сухожильного рубца в завершении фазы репарации. Несмотря на раннюю мобилизацию, скользящая поверхность пяточного сухожилия в наблюдаемый срок также не восстановилась.

4. Благодаря барьеру в виде рассеченной трубки удалось избежать блокирующих спаек на поверхности пяточного сухожилия и раньше прочих случаев восстановить его скользящую поверхность. Несмотря на замедление срастания зоны шва, трубка не препятствовала образованию хорошо васкуляризованного регенерата, соединяющего концы сухожилия и демонстрирующего на третьей неделе разгар фазы репарации. Частичная изоляция изменила механизм обычной репарации в пользу механизма собственного восстановления сухожилия.

5. Клиническая значимость исследования состоит в том, что результаты эксперимента на животных могут быть использованы в работе с

пациентами, перенесшими травмы сухожилий разной локализации. Так, начало двигательной реабилитации после операции можно планировать, исходя из знания особенностей регенера-

ции и влияния на нее таких условий, как характер первичной травмы, качество выполненного шва, а также сохранение или торможение источников регенерации.

Литература

1. Strickland, J. W. Flexor Tendon Injuries: I. Foundation of Treatment / J. W. Strickland // *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. – 1995. – Vol. 3, iss. 1. – P. 44-54. – doi: 10.5435/00124635-199501000-00006.
2. Seiler, J. G. Flexor tendon repair / J. G. Seiler // *The Journal of American Society for Surgery of the Hand*. – 2001. – Vol. 1 (3). – P. 177-191. – doi:10.1053/jssh.2001.26283.
3. Beredjikian, P. K. Biologic aspects of flexor tendon laceration and repair / P. K. Beredjikian // *The Journal of Bone and Joint Surgery*. – 2003. – Vol. 85 (3). – P. 539-550. – doi: 10.2106/00004623-200303000-00025.
4. The early stages of flexor tendon healing: a morphologic study of the first fourteen days / R. H. Gelberman [et al.] // *The Journal of Hand Surgery*. – 1985. – Vol. 10. – P. 776-784. – doi: 10.1016/s0363-5023(85)80151-9.
5. Морфологические особенности регенерации пяточного сухожилия после его поперечной тенотомии с пересечением фасциальных оболочек и повреждением сосудов брыжейки / М. В. Власов [и др.] // *Вестник хирургии им. И. И. Грекова*. – 2016. – Т. 175, № 1. – С. 59-63. – doi: 10.24884/0042-4625-2016-175-1-59-63.
6. Иванов, А. В. Современные представления о механизмах репаративной регенерации ахиллова сухожилия после его разрыва / А. В. Иванов, Д. В. Козлов // *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. – 2015. – Т. 14, № 4. – С. 74-79.
7. Lundborg, G. Experimental flexor tendon healing without adhesion formation – a new concept of tendon nutrition and intrinsic healing mechanisms / G. Lundborg // *The Hand*. – 1976. – Vol. 8 (3). – P. 235-238. – doi: 10.1016/0072-968X_76_90007-3.
8. Lundborg, G. Experimental intrinsic healing of flexor tendons based upon synovial fluid nutrition / G. Lundborg, F. Rank // *The Journal of Hand Surgery*. – 1978. – Vol. 3 (1). – P. 21-31. – doi: 10.1016/S0363-5023(78)80114-2.
9. Flexor Tendon Repair and Rehabilitation / M. I. Boyer [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery*. – 2002. – Vol. 84-A (9). – P. 1683-1706.
10. Gelberman, R. H. The revascularization of healing flexor tendons in digital sheath: A vascular injection study in dogs / R. H. Gelberman, V. Khabie, C. J. Cahill // *The Journal of Bone and Joint Surgery*. – 1991. – Vol. 73 (6). – P. 868-881.
11. Strickland, J. W. Biologic rationale, clinical application, and results of early motion following flexor tendon repair / J. W. Strickland // *Journal of Hand Therapy*. – 1989. – Vol. 2, iss. 2. – P. 71-83. – doi: 10.1016/S0894-1130(89)80045-6.
12. Strickland J. W. Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress / J. W. Strickland // *The Journal of Hand Surgery*. – 2000. – Vol. 25, iss. 2. – P. 214-235. – doi: 10.1053/jhsu.2000.jhsu25a0214.
13. Effect of immobilization, immediate mobilization, and delayed mobilization on the resistance to digital flexion using a tendon injury model / M. N Halikis [et al.] // *The Journal of Hand Surgery*. – 1997. – Vol. 22 (3). – P. 464-472. – doi: 10.1016/S0363-5023(97)80014-7.
14. Овсянникова, А. Д. Реабилитация и тактика ведения пациентов после хирургического восстановления сухожилий сгибателей пальцев кисти / А. Д. Овсянникова // *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 62-73. – doi: 10.17223/1814147/65/08.
15. Бойчев, Б. Хирургия кисти и пальцев / Б. Бойчев, Я. Холевич. – София: Медицина и физкультура, 1971. – 280 с.
16. Ломая, М. П. Причины формирования теногенных сгибательных контрактур пальцев кисти и их устранение с помощью тенолиза (обзор литературы) / М. П. Ломая, З. Т Шихзагиров // *Травматология и ортопедия России*. – 2005. – № 1. – С. 60-67.
17. Применение современных противоспаечных препаратов в хирургии / О. А. Мешкова [и др.] // *Эндоскопическая хирургия*. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 37-42. – doi: 10.17116/endoskop201521337-42.
18. Способ восстановления сухожилия глубокого сгибателя пальца кисти : пат. ВУ 22429 / Ю. М. Чернякова, А. В. Зенченко, К. В. Слепченко. – Оpubл. 28.02.19.
19. Зенченко, А. В. Технология временной изоляции сухожилия глубокого сгибателя пальца кисти и ведение пациентов при отсроченном шве во второй зоне / А. В. Зенченко, Ю. М. Чернякова // *Гений ортопедии*. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 290-296. – doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-290-296.
20. Руководство по работе с лабораторными животными для сотрудников ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, занятых проведением доклинических испытаний / Российский Национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова. – Москва : ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, 2015. – 42 с.
21. Institutional Animal Care and Use Committee Guidebook / National Institutes of Health (US) ; Applied Research Ethics National Association. – 2nd ed. – Boston : Applied Research Ethics National Association, 2002. – 210 p.
22. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals / National Research Council ; Committee to Revise the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. – 8th ed. – Washington : National Academy Press. – 2011. – 220 p. – doi: 10.17226/12910.
23. Abnormal tenocyte morphology is more prevalent than collagen disruption in asymptomatic athletes' patellar tendons / J. Cook [et al.] // *Journal of Orthopaedic Research*. – 2004. – Vol. 22, iss. 2. – P. 334-338. – doi: 10.1016/j.orthres.2003.08.005.
24. The Bonar score revisited: Region of evaluation significantly influences the standardized assessment of tendon degeneration / A. Fearon [et al.] // *Journal of Science and Medicine in Sport*. – 2014. – Vol. 17 (4). – P. 346-350. – doi: 10.1016/j.jsams.2013.07.008.
25. The excursion and deformation of repaired flexor tendons treated with protected early motion / R. H. Gelberman [et al.] // *The Journal of Hand Surgery*. – 1986. – Vol. 11 (1). – P. 106-110. – doi: 10.1016/S0363-5023(86)80115-0.
26. Gelberman, R. H. The revascularization of healing flexor tendons in the digital sheath. A vascular injection study in dogs / R. H. Gelberman, V. Khabie, C. J. Cahill // *The Journal of Bone and Joint Surgery*. – 1991. – Vol. 73 (6). – P. 868-881.

References

1. Strickland JW. Flexor Tendon Injuries: I. Foundation of Treatment. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 1995;3(1):44-54. doi: 10.5435/00124635-199501000-00006.
2. Seiler JG. Flexor tendon repair. *The Journal of American Society for Surgery of the Hand*. 2001;1(3):177-191. doi:10.1053/jssh.2001.26283.
3. Beredjikian PK. Biologic aspects of flexor tendon laceration and repair. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2003;85(3):539-550. doi: 10.2106/00004623-200303000-00025.
4. Gelberman RH, Vandeberg JS, Manske PR, Akeson WH. The early stages of flexor tendon healing: a morphologic study of the first fourteen days. *The Journal of Hand Surgery*. 1985;10:776-784. doi: 10.1016/s0363-5023(85)80151-9.
5. Vlasov MV, Bugrov SN, Bogosyan AB, Musikhina IV. Morfologicheskie osobennosti regeneracii pyatochnogo suhozhiya posle ego poperechnoj tenotomii s peresecheniem fascialnyh obolochek i povrezhdeniem sosudov bryzhejki [Morphological features of regeneration of the Achilles tendon after its cross tenotomy with intersection of fascial sheaths and damage of mesenteric vessels]. *Vestnik hirurgii im. I. I. Grekova [Grekov's Bulletin of Surgery]*. 2016;175(1):59-63. doi: 10.24884/0042-4625-2016-175-1-59-63. (Russian).
6. Ivanov AV, Kozlov DV. Sovremennye predstavleniya o mekhanizmah reparativnoj regeneracii ahillova suhozhiya posle ego razryva [Modern concepts of the mechanisms of reparative regeneration of the Achilles tendon after its rupture]. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii [Vestnik of the Smolensk State Medical Academy]*. 2015;14(4):74-79. (Russian).
7. Lundborg G. Experimental flexor tendon healing without adhesion formation – a new concept of tendon nutrition and intrinsic healing mechanisms. *The Hand*. 1976;8(3):235-238. doi: 10.1016/0072-968X_76_90007-3.
8. Lundborg G, Rank F. Experimental intrinsic healing of flexor tendons based upon synovial fluid nutrition. *The Journal of Hand Surgery*. 1978;3(1):21-31. doi: 10.1016/S0363-5023(78)80114-2.
9. Boyer MI, Strickland JW, Engles DR, Sachar K, Leversedge FJ. Flexor Tendon Repair and rehabilitation. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2002;84-A(9):1683-1706.
10. Gelberman RH, Khabie V, Cahill CJ. The revascularization of healing flexor tendons in digital sheath: A vascular injection study in dogs. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1991;73(6):868-881.
11. Strickland JW. Biologic rationale, clinical application, and results of early motion following flexor tendon repair. *Journal of Hand Therapy*. 1989;2(2):71-83. doi: 10.1016/S0894-1130(89)80045-6.
12. Strickland JW. Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress *The Journal of Hand Surgery*. 2000;25(2):214-235. doi: 10.1053/jhsu.2000.jhsu25a0214.
13. Halikis MN, Manske PR, Kubota H, Aoki M. Effect of immobilization, immediate mobilization, and delayed mobilization on the resistance to digital flexion using a tendon injury model. *Journal of Hand Surgery*. 1997;22(3):464-472. doi: 10.1016/S0363-5023(97)80014-7.
14. Ovsyannikova AD. Reabilitacija i taktika vedenija pacientov posle hirurgicheskogo vosstanovlenija suhozhiij sgibatelej palcev kisti [Rehabilitation and postoperative management after flexor tendon repair]. *Voprosy rekonstruktivnoj i plasticheskoj hirurgii [Issues of reconstructive and plastic surgery]*. 2018;21(2):62-73. doi: 10.17223/1814147/65/08. (Russian).
15. Bojchev, B. Holevich J. *Hirurgija kisti i palcev*. Sofija: Medicina i fizkultura; 1971. 280 p. (Russian).
16. Lomaja MP, Shishzagirov ZT. Prichiny formirovanija tenogenynyh sgibatelnyh kontraktur palcev kisti i ih ustranenie s pomoshhju tenoliza (obzor literatury) [Causes of finger flexion contracture formation and its elimination by means of tenolysis (literature review)]. *Travmatologija i ortopedija Rossii. [Traumatology and Orthopedics of Russia]*. 2005;1:60-67. (Russian).
17. Meshkova OA, Bogdanov DYU, Matveev NL, Kurganov IA. Primenenie sovremennyh protivospaechnyh preparatov v hirurgii [Application of modern antiadhesive agents in surgery]. *Endoskopicheskaya hirurgiya [Endoscopic surgery]*. 2015;21(3):37-42. doi: 10.17116/endo-skop201521337-42. (Russian).
18. Cherniakova JuM, Zenchenko AV, Slepchenko KV, inventors. Method of deep finger flexor reconstruction. BY patent 22429. 2019 Febr 28. (Russian).
19. Zenchenko AV, Cherniakova YuM. Tekhnologiya vremennoj izoljacii suhozhiya glubokogo sgibatelya palca kisti i vedenie pacientov pri otsrochennom shve vo vtoroj zone [Technology of temporary isolation of the deep digital flexor tendon and management of patients in zone II delayed repair]. *Genij Ortopedii [Genius of orthopedics]*. 2019;25(3):290-296. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-290-296. (Russian).
20. Rossijskij Nacionalnyj issledovatel'skij medicinskij universitet imeni N.I. Pirogova. *Rukovodstvo po rabote s laboratornymi zhivotnymi dlja sotrudnikov GBOU VPO RNIMU im. N.I. Pirogova Minzdrava Rossii, zanjatyh provedeniem doklinicheskikh ispytanij*. Moskva: GBOU VPO RNIMU im. N.I. Pirogova Minzdrava Rossii; 2015. 42 p. (Russian).
21. National Institutes of Health (US); Applied Research Ethics National Association. *Institutional Animal Care and Use Committee Guidebook*. 2nd ed. Boston: Applied Research Ethics National Association; 2002. 210 p.
22. National Research Council (US); Committee to Revise the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals*. 8th ed. Washington: National Academy Press; 2011. 220 p. doi: 10.17226/12910.
23. Cook J, Feller J, Bonar S, Khan K. Abnormal tenocyte morphology is more prevalent than collagen disruption in asymptomatic athletes' patellar tendons. *Journal of Orthopaedic Research*. 2004;22(2):334-338. doi: 10.1016/j.orthres.2003.08.005.
24. Fearon A, Dahlstrom JE, Twin J, Cook J, Scott A. The Bonar score revisited: Region of evaluation significantly influences the standardized assessment of tendon degeneration. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2014;17(4):346-350. doi: 10.1016/j.jsams.2013.07.008.
25. Gelberman RH, Botte MJ, Spiegelman JJ, Akeson WH. The excursion and deformation of repaired flexor tendons treated with protected early motion. *The Journal of Hand Surgery*. 1986;11(1):106-110. doi: 10.1016/S0363-5023(86)80115-0.
26. Gelberman RH, Khabie V, Cahill CJ. The revascularization of healing flexor tendons in the digital sheath. A vascular injection study in dogs. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1991;73(6):868-881.

COMPARISON OF 3-WEEK CALCANEAL TENDON REGENERATES AFTER TENOTOMY AND SUTURING IN EXPERIMENT IN VIVO

A. V. Zenchenko, Yu. M. Cherniakova

Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

Background. Modern knowledge about tendon healing as well as possibilities of hand surgery does not solve the problem of tenogenic contractures. For the prevention of cicatricial process, the separation of the sliding surfaces of the tendon and its sheath with polymeric materials is used. However, regeneration of tendons in condition of isolation has not been proven.

Aim of the research. In a laboratory animal model to perform a tenotomy and a calcaneal tendon suture, study 3-week regenerates formed in the mobilization regime and evaluate the regenerative capacity of the tendon isolated with a dissected polymer tube.

Material and methods. On both paws of laboratory rats tenotomy and suturing of the calcaneal tendons were performed. The tendons on the right paws were isolated with dissected polymeric tubes. The appearance and the histological structure of the suture site were assessed after 3 weeks.

Results. Tendon regenerates were distinguished by their maturity and tissue organization. Tendons without isolation healed faster, but lost their sliding surface. As a result of isolation, a sliding surface of the tendon and its sheath was formed, but the formation of the regenerate slowed down.

Conclusions. Tendon healing in dissected tube is possible and occurs due to intrinsic repair. The fusion of the tendon demonstrates a well-vascularized regenerate in the suture site.

Keywords: tenotomy, tendon suturing, isolation of tendon, regeneration of tendon.

For citation: Zenchenko AV, Cherniakova YuM. Comparison of 3-week calcaneal tendon regenerates after tenotomy and suturing in experiment in vivo. *Journal of the Grodno State Medical University.* 2021;19(1):77-84. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2021-19-1-77-84>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Соответствие принципам этики. Исследование одобрено локальным этическим комитетом.

Conformity with the principles of ethics. The study was approved by the local ethics committee.

Об авторах / About the authors

*Зенченко Александр Викторович / Zenchenko Aleksandr, e-mail: aleksandr-zenchenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7008-1833

Чернякова Юлия Михайловна / Cherniakova Yuliya, e-mail: ychernyakova72@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7691-1781

* – автор, ответственный за переписку / corresponding author

Поступила / Received: 30.10.2020

Принята к публикации / Accepted for publication: 21.01.2021