

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РЕГЕНЕРАЦИЮ АХИЛЛОВА СУХОЖИЛИЯ ПОСЛЕ ЕГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ НА ЭТАПЕ ЛЕЧЕНИЯ ВРОЖДЕННОЙ КОЛАПОСТИ У ДЕТЕЙ ПО МЕТОДУ ПОНСЕТИ

Власов М.В.¹, Бугров С.Н.¹, Богосьян А.Б.¹, Мусихина И.В.¹, Кузнецова И.В.¹

¹*ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России, Нижний Новгород, e-mail: info@nniito.ru*

В работе представлены результаты ультрасонографического обследования 14 детей (21 стопа) с врожденной косолапостью III-IV степени, лечившихся по методу Понсети, у которых при выполнении поперечной тенотомии не было достигнуто убедительного одномоментного пересечения ахиллова сухожилия. Экспериментальная часть работы была проведена на 25 растущих кроликах породы «Шиншилла», которым при выполнении подкожной тенотомии пересекали фасциальные оболочки и брыжеечные сосуды ахиллова сухожилия. Проведенные ультрасонографические исследования у детей показали, что основными условиями, необходимыми для созревания, ремоделирования регенерата ахиллова сухожилия и повышения его прочности, являются соблюдение адекватного двигательного режима, своевременное его расширение с проведением занятий лечебной физкультурой. Гистологические исследования зоны регенерата пяточного сухожилия у животных с низкой функциональной нагрузкой на нижние конечности свидетельствовали о менее полноценном формировании регенерата, по сравнению с пациентами, которым проводились реабилитационные мероприятия. При проведении восстановительных мероприятий у детей с врожденной косолапостью при лечении их по методу Понсети необходимо учитывать характер пересечения ахиллова сухожилия, сроки, прошедшие со дня оперативного вмешательства, и особенности репаративной регенерации в зоне пересечения ахиллова сухожилия, определяемые по данным ультрасонографических исследований.

Ключевые слова: лечение врожденной косолапости, дети, метод Понсети, регенерация ахиллова сухожилия, ультрасонография, морфология.

INFLUENCE OF PHYSICAL FACTORS ON ACHILLES TENDON REGENERATION AFTER TENOTOMY ON A CONGENITAL CLUBFOOT TREATMENT STAGE BY THE PONSETI METHOD

Vlasov M.V.¹, Bugrov S.N.¹, Bogosyan A.B.¹, Musikhina I.V.¹ Кузнецова И.В.¹

¹*Federal State Budgetary Institution «Privolzhsky Federal Research Medical Centre» of the Ministry of Health of the Russian Federation, e-mail: info@nniito.ru*

This study presents results of ultrasonographic examination of 14 children (21 feet) with congenital clubfoot of the 3d-4th degrees, treated by the Ponseti method, in whom no convincing single-step Achilles tendon transection was achieved in transverse tenotomy. Experimental part of the study was performed on 25 growing Chinchilla rabbits, in which fascias and mesenteric vessels of the Achilles tendon were transected during subcutaneous tenotomy. Ultrasonographic examination performed in children showed that main conditions necessary for maturation and remodeling of the regenerated Achilles tendon and increase of its strength are compliance with adequate motion regimen and its timely expansion with kinesitherapy. Histologic examination of the regenerated zone of the heel tendon in animals with a low functional load on lower limbs showed that regenerate formation was incomplete as compared with patients for which rehabilitation activities had been performed. When performing rehabilitation measures for children with congenital clubfoot treated by the Ponseti method, it is necessary to consider the character of Achilles tendon transection, time after the surgery and particulars of reparative regeneration in the Achilles tendon transection zone, defined by ultrasonographic examination data

Keywords: treatment the congenital clubfeet, children, method of Ponseti, regeneration of calcaneal tendon, ultrasonography, morphologic.

За последние десять лет разработаны новые малоинвазивные хирургические вмешательства при лечении больных с врожденной косолапостью. Наибольший интерес представляет методика коррекции элементов деформации стоп этапными гипсовыми повязками по И. Понсети, которая предусматривает выполнение подкожной поперечной

ахиллотомии при сохраняющемся эквинусном положении стопы [8; 9; 10]. Имеются работы, указывающие на прямую связь между техникой выполнения тенотомии, возрастом ребенка и регенерационной способностью ахиллова сухожилия [4]. В ряде случаев не удается выполнить тенотомию в классическом варианте, при этом происходит излишнее повреждение фасциальных оболочек, сосудов брыжейки сухожилия, что приводит к значительному снижению репаративных возможностей сухожильной ткани. Одним из основных и неинвазивных методов изучения фаз репаративной регенерации сухожилий в клинической практике является ультрасонография [2; 3; 6]. Использование широкополосных высокочастотных датчиков с высокой плотностью элементов позволяет достоверно отобразить структуру коллагеновых волокон и изучить репаративную регенерацию ахиллова сухожилия в реальном времени [1; 7]. Несмотря на высокую разрешающую способность современных ультразвуковых аппаратов, информативность и неинвазивность метода, «золотым стандартом» при изучении репаративных процессов ахиллова сухожилия на сегодняшний день остаются гистологические методы исследования [3]. Однако изучить все фазы репаративной регенерации ахиллова сухожилия возможно лишь в эксперименте на растущих животных. В настоящее время нет работ, проводящих параллели и устанавливающих взаимосвязь между результатами ультрасонографического и гистологического исследований при изучении репаративной регенерации ахиллова сухожилия после его поперечного пересечения в период активного роста. Эти исследования могут иметь большой практический интерес для определения тактики проведения реабилитационных мероприятий, особенно у той группы больных, где потребовалось нетипичное выполнение тенотомии.

Цель работы – сопоставить клинические (ультрасонографические) данные с экспериментальной (морфологической) картиной регенерации пяточного сухожилия после его поперечного пересечения вместе с фасциальными оболочками, брыжеечными сосудами и на основе полученных данных обосновать индивидуальную программу реабилитации детей с врожденной косолапостью при лечении их по методу Понсети.

Материалы и методы.

В работу включено 14 детей (21 стопа) с врожденной косолапостью III-IV степени, лечившихся по методу Понсети, у которых при выполнении поперечной тенотомии не было достигнуто убедительного одномоментного пересечения ахиллова сухожилия, что потребовало выполнения повторного, «контрольного» пересечения уцелевших частей сухожильной ткани. После пересечения ахиллова сухожилия осуществлялась иммобилизация оперированной стопы гипсовой циркулярной повязкой до верхней трети бедра в положении сгибания коленного сустава под прямым углом.

Всем пациентам было проведено ультразвуковое исследование ахилловых сухожилий на аппарате Acuson X 300 (Siemens, Германия), линейными датчиками 13-5 МГц с небольшой рабочей поверхностью для удобства сканирования. Сухожилие исследовалось от места прикрепления к пяточной кости до места перехода в икроножную и камбаловидную мышцы. Измерялось расстояние между концами сухожилия после его поперечного пересечения, оценивалась структура сухожилия, состояние его концов и паратенальных тканей, формирование регенерата. Ультрасонография ахиллова сухожилия проводилась на 15, 30, 50-60 и 90 сутки после оперативного вмешательства.

Учитывая, что повторные попытки пересечения ахиллова сухожилия наносят дополнительную травму сухожилию и околосухожильным тканям, изучение морфологических процессов репаративной регенерации пяточного сухожилия проводили на модели его поперечной тенотомии с пересечением фасциальных оболочек и брыжеечных сосудов в эксперименте у растущих животных. Эксперимент был поставлен на 25 кроликах породы «Шиншилла» обоего пола в возрасте одного месяца с массой $1376 \pm 124,8$ г. Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с Методическими рекомендациями «Деонтология медико-биологического эксперимента» (1987), а также с соблюдением правил гуманного обращения с животными (Report of the AVMA Panel on Euthanasia JAVMA, 2001).

В эксперименте была смоделирована ситуация, когда при выполнении подкожной тенотомии при коррекции деформации стоп пересекаются фасциальные оболочки и брыжеечные сосуды ахиллова сухожилия. Как и в случае лечения пациентов, иммобилизация оперированной конечности осуществлялась гипсовой повязкой. В этот период времени кролики содержались в клетке в условиях вивария при ограниченных функциональных нагрузках на задние конечности. После снятия гипсовой повязки кролики содержались в клетках в условиях вивария с ограниченным двигательным режимом. В дальнейшем в течение всего срока эксперимента кролики продолжали содержаться в клетке в условиях вивария при сниженных функциональных нагрузках на нижние конечности.

Экспериментальных животных выводили из опыта в сроки, аналогичные срокам изучения ультразвуковой картины у пациентов: на 15, 30, 60 и 90 сутки после операции (по 5 особей). Для гистоморфологического исследования производили забор фасциально-сухожильно-мышечного препарата трехглавой мышцы голени кроликов, выделенного у животных в определенные сроки.

Гистоморфологическому исследованию подвергалась зона регенерата, образующаяся между концами пересеченного сухожилия.

Гистологическое исследование образцов ткани проводили после предварительной фиксации материала в растворе нейтрального формалина. Декальцинацию проводили с использованием среды Biodec-R (Bio-Optica). Стандартная гистологическая проводка осуществлялась на аппарате Excelsior ES (Thermo Scientific). После проводки изготавливались парафиновые блоки с использованием заливочной станции HistoStar (Thermo Scientific). Серийные срезы толщиной 4-6 микрон получали на микротоме Microm HM 325 (Thermo Scientific). Срезы окрашивались гематоксилином и эозином и заключались в монтирующую среду.

Микроскопирование и фотодокументирование проводились с использованием морфометрического комплекса Leica DMR.

15 сутки после подкожной поперечной ахиллотомии.

На 15 сутки после подкожной тенотомии у пациентов при продольном сканировании лоцировались проксимальный и дистальный концы ахиллова сухожилия (рис. 1). Диастаз между концами сухожилия составил $19,68 \pm 1,67$ мм, увеличение передне-заднего размера проксимального конца сухожилия – до $3,3 \pm 0,25$ мм, а дистального – до $3,6 \pm 0,29$ мм. Сохраняющийся отек соединительнотканной основы сухожилия определялся умеренно сниженной эхогенностью фрагментов сухожилия, неоднородностью и неотчетливостью их структуры с размытостью контуров. Происходило замещение лизированной гематомы новообразованным регенератом, о чем свидетельствовало наличие между проксимальным и дистальными концами сухожилия зоны с неоднородной структурой, преимущественно гипозоногенной, и нечетким контуром.

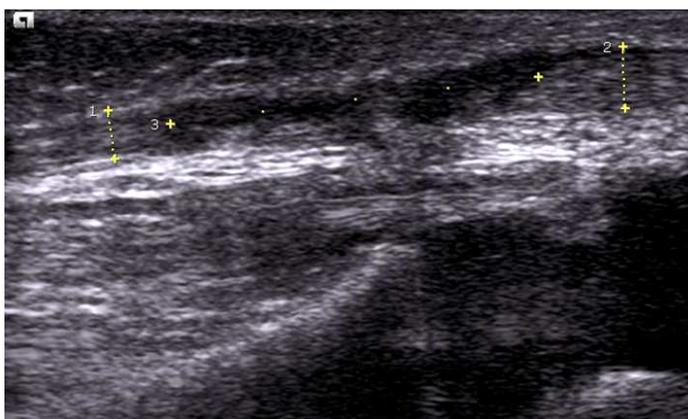


Рис. 1. Изображение ахиллова сухожилия на 15 сутки после тенотомии.

Над гипозоногенной зоной имелись единичные участки соединительнотканной оболочки ахиллова сухожилия. Подкожная клетчатка была утолщена, эхогенность ее снижена, что указывало на сохранение отека подкожной клетчатки. При использовании

энергетического доплеровского картирования (ЭДК) лоцировался перифокальный кровоток.

По данным гистологических исследований препаратов, забранных у кроликов к исходу 15 суток после тенотомии в зоне дефекта, образованного при пересечении сухожилия, формируется плотная волокнистая соединительная ткань с очаговыми включениями жировой клетчатки, а в толще соединительнотканного тяжа образуются диффузно-очаговые лимфоцитарно-клеточные инфильтраты гистиоидного состава. В участке собственно сухожильной ткани, непосредственно граничащей с зоной дефекта, сухожильные волокна выглядят набухшими и при окраске по Ван-Гизон не окрашиваются фуксином, что указывает на то, что волокна находятся в выраженном дистрофическом состоянии. Дистрофически измененные сухожильные волокна перемежаются с инфильтратами из молодых фибробластов и лимфоидных клеток (рис. 2).

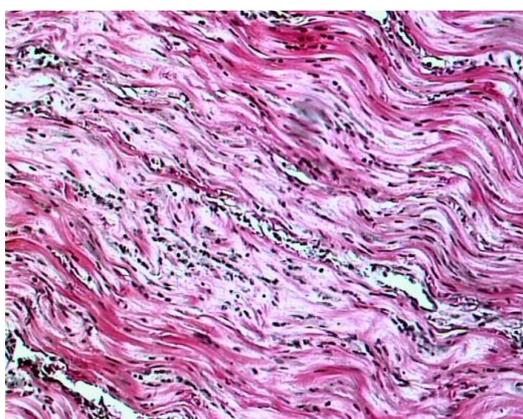


Рис. 2. Дистрофические изменения сухожильных волокон, появление круглоклеточных элементов в перифокальной зоне дефекта (окр. Ван-Гизон, увеличение×200).

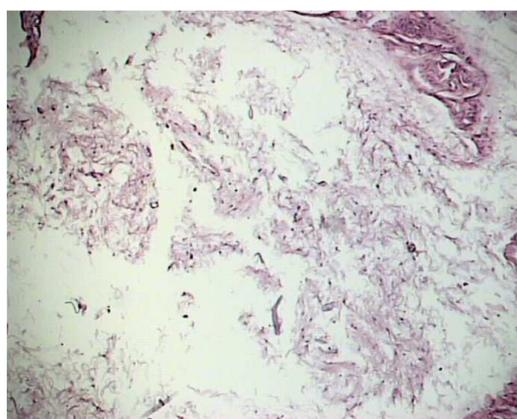


Рис. 3. Появление грануляционной ткани, гистиоцитов, фибробластов в зоне дефекта (окр. гематоксилин-эозин, увеличение×100).

Наряду с этим в отдельных участках зоны дефекта появляется молодая частью созревающая грануляционная ткань с преобладанием в клеточном составе гистиоцитов и фибробластов (рис. 3). На этом фоне определяются многочисленные сосуды, часть из которых полнокровна.

Таким образом, на 15 сутки после тенотомии, по данным ультрасонографического и гистологического исследований, в зоне поперечного пересечения ахиллового сухожилия, несмотря на сохраняющиеся выраженные дистрофические изменения в сухожильных волокнах, начинаются процессы реваскуляризации и фибриллогенеза. Основными условиями, необходимыми для репаративной регенерации в этот период, являются сохранение околосухожильных тканей и минимальная функциональная активность конечности. Надежная иммобилизация гипсовой повязкой позволяет уберечь от повреждения

новообразованные сосуды паратенона, формирующие сосудистую сеть регенерата, уменьшить тенденцию к образованию диастаза между концами сухожилия, а минимальная функциональная активность – предупредить чрезмерную дезориентированную пролиферацию грануляционной ткани, усилить кровоснабжение зоны репарации и улучшить венозный, лимфоидный отток в зоне оперативного вмешательства.

Именно поэтому на 15 сутки после операции производилась смена послеоперационной (тенотомической) гипсовой повязки и накладывалась новая гипсовая циркулярная повязка от уровня межфаланговых суставов пальцев стопы до верхней трети бедра со сгибанием в коленном суставе под прямым углом и положением стопы в нормокоррекции. При таком способе наложения гипсовой повязки передний отдел стопы остается свободным для регулярных упражнений пальцами стопы в неограниченном объеме. Родителей ребенка обучали проведению лечебной физкультуры, заключающейся в многократных сгибаниях и разгибаниях пальцев стопы в полном объеме 3-4 раза в течение суток. Необходимо отметить, что после выполненной серии сгибания и разгибания пальцев стопы, как правило, происходит рефлекторное активное движение пальцев стопы ребенка. Таким образом, в этот период времени возможно осуществлять как пассивные, так и активные движения пальцев стопы при проведении реабилитационных мероприятий.

30 сутки после подкожной поперечной ахиллотомии.

Ультрасонографическое исследование зоны регенерата ахиллова сухожилия совпадает со сроком снятия гипсовой повязки с открытыми пальцами стопы у детей после поперечной ахиллотомии (вторая повязка). Гистологическое исследование зоны регенерата пяточного сухожилия совпадало со сроком снятия послеоперационной (тенотомической) повязки у растущих кроликов после выполненной ранее операции.

У пациентов при ультразвуковом исследовании ахиллова сухожилия отмечалось полное восстановление его анатомической целостности. При продольном сканировании определялись проксимальный и дистальный концы сухожилия (рис. 4) с неровными и нечеткими контурами, сниженной эхогенностью и упорядоченной эхоструктурой.

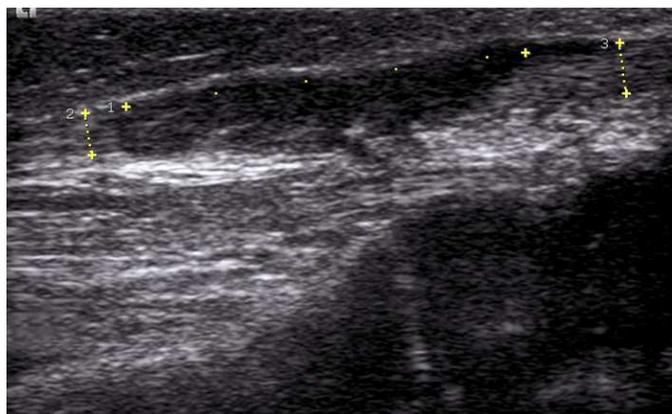


Рис. 4. Изображение ахиллова сухожилия на 30 сутки после тенотомии.

По сравнению с исследованием на 15 сутки, отмечалось уменьшение передне-заднего размера проксимального конца сухожилия до $2,9 \pm 0,24$ мм, а дистального – до $3,3 \pm 0,28$ мм ($p < 0,05$), что свидетельствует об уменьшении разрыхления и набухания соединительнотканной основы сухожильной ткани. Проксимальный и дистальный концы имели упорядочную эхоструктуру, контуры их четкие, неровные, с умеренно сниженной эхогенностью. Между концами сухожилия отчетливо определялся регенерат с неоднородной структурой (преимущественно гипоэхогенной) и нечетким контуром. Протяженность гипоэхогенной зоны регенерата уменьшилась по сравнению с 15 сутками и составила $17,46 \pm 1,48$ мм ($p < 0,001$). Соединительнотканная оболочка ахиллова сухожилия (паратенон) прослеживалась на всем его протяжении. Над зоной регенерата ахиллова сухожилия отмечается увеличение толщины паратенона до $0,4 \pm 0,03$ мм. Прилежащие ткани к ахилловому сухожилию (подкожная клетчатка) принимают картину нормальной эхогенности. При использовании ЭДК лоцировались единичные очаги васкуляризации.

При гистологическом исследовании было выявлено, что к исходу 30 суток в перифокальной зоне сухожилия дистрофические изменения захватывают и несколько удаленные от зоны дефекта участки сухожильной ткани. В этих участках волокна сухожильной ткани приобретают волнистый характер. При этом сами волокна сухожилия становятся хромофобными и выглядят набухшими, в то же время интенсивно окрашенные волокна становятся более плотными и уменьшаются в диаметре.

В зоне дефекта на фоне рыхлой неоформленной соединительной ткани появляются коллагеновые волокна с большим количеством разновозрастных фибробластов (рис. 5), что является признаком формирования рубцовой ткани (рис. 6). В этот срок наблюдения морфологическая картина свидетельствует об увеличении волокнистого субстрата и уменьшении доли рыхлой волокнистой ткани в зоне дефекта.

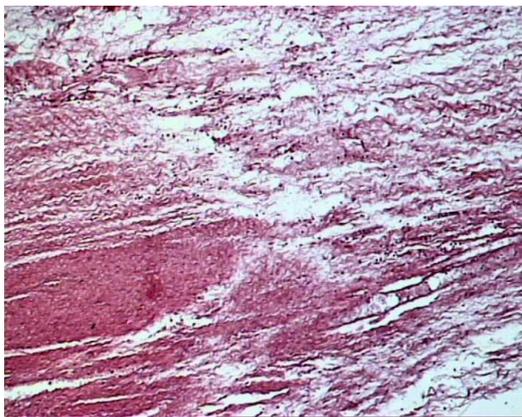


Рис. 5. Замещение рыхлой неоформленной соединительной ткани волокнистой соединительной тканью в зоне дефекта (окр. гематоксилин-эозин, увеличение×100).

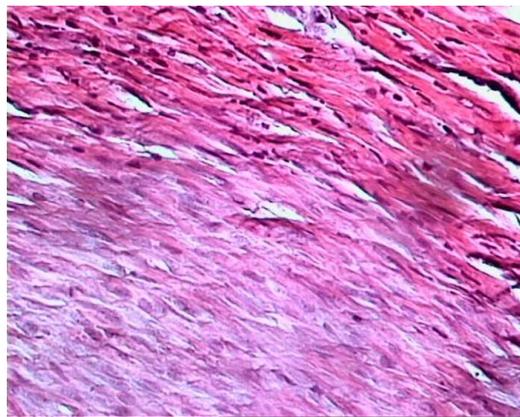


Рис. 6. Формирование плотной волокнистой соединительной ткани рубцового характера в зоне дефекта (окр. гематоксилин-эозин, увеличение×100).

Полученные данные ультрасонографического и гистологического обследования свидетельствуют о том, что на 30 сутки после поперечного пересечения ахиллова сухожилия с повреждением околосухожильных тканей отмечается снижение темпов репаративной регенерации ахиллова сухожилия и как результат – формирование неполноценного регенерата с низкой механической прочностью. В отличие от классической методики Понсети, которая предусматривает прекращение гипсовой иммобилизации на 21-е сутки с фиксацией стоп брейсами, с целью создания оптимальных условий для процессов репаративной регенерации, профилактики повреждения неполноценного регенерата с низкой механической прочностью, мы продолжали иммобилизацию конечности гипсовой лонгетной повязкой от межфаланговых суставов пальцев стопы до верхней трети голени сроком до трех недель. В этот период времени увеличивали функциональную нагрузку в зоне репарации ахиллова сухожилия для стимуляции клеточной активности и полимеризации фибрилл коллагена, которые ориентируются параллельно силам нагрузки, и поддерживали активность мышц голени в максимально облегченных условиях.

Родителям рекомендовали продолжать выполнять с детьми многократно в течение дня упражнения для пальцев стопы, а также движения в коленном и тазобедренном суставах, осуществляя их сгибание и разгибание. В эти сроки разрешалось снимать гипсовую лонгету для проведения реабилитационных мероприятий. При снятии гипсовой повязки родители производили небольшое число безболезненных движений стопой ребенка (сгибание и разгибание), не стараясь увеличивать их амплитуду. Эти движения выполняли при положении ребенка лежа на спине и максимальном сгибании нижней конечности в коленном и тазобедренном суставах. Никакой опасности для ахиллова сухожилия легкие тракционные нагрузки, возникающие при таких упражнениях в этот период времени, не представляют.

В этот период времени кролики содержались в условиях вивария без иммобилизации оперированной конечности и при ограниченных функциональных нагрузках из-за нахождения в клетке.

50-60 сутки после подкожной поперечной ахиллотомии.

На 50-60 сутки после операции у пациентов на фоне проводимых реабилитационных мероприятий по ультразвунографической картине наблюдались процессы созревания сухожильного регенерата с полным восстановлением анатомической целостности ахиллова сухожилия (рис. 7). При этом концы ахиллова сухожилия не дифференцировались, а зона дефекта была полностью заполнена регенератом.



Рис. 7. Изображение ахиллова сухожилия на 50 сутки после тенотомии.

По сравнению с 30 сутками, после тенотомии отмечалось уменьшение передне-заднего размера проксимальной и дистальной частей ахиллова сухожилия до $2,9 \pm 0,26$ мм, дистального – $3,1 \pm 0,29$ мм на фоне увеличения передне-заднего размера в области регенерата до $3,3 \pm 0,31$ мм ($p > 0,05$). Проксимальная и дистальная части ахиллова сухожилия имели четкие, ровные контуры, обычную эхогенность с упорядочной эхоструктурой. Эхоструктура регенерата имела сниженную эхогенность, четкие и ровные контуры. Отчетливо прослеживалась хорошо выраженная соединительнотканная оболочка ахиллова сухожилия (паратенон) на всем его протяжении и составляла $0,42 \pm 0,03$ мм. При ЭДК лоцировались единичные очаги васкуляризации. Прилежащие ткани к ахилловому сухожилию (подкожная клетчатка) имели картину нормальной эхогенности.

На 60 сутки после тенотомии гистологические исследования зоны регенерата пяточного сухожилия у кроликов при ограниченной функциональной нагрузке на нижние конечности показали, что в перифокальной зоне сухожильные волокна на значительном протяжении расположены волнообразно, некоторые из них значительно разобщены, фрагментированы с наличием вокруг них рыхлой волокнистой соединительной ткани с участками жировой клетчатки (рис. 8).

Среди участков плотной волокнистой соединительной ткани сохраняются мелкие очаги рыхлой волокнистой ткани с наличием повышенного количества сосудов капиллярного типа и значительного числа фибробластов. В зоне дефекта происходит избыточное образование плотной волокнистой соединительной ткани рубцового характера (рис. 9).

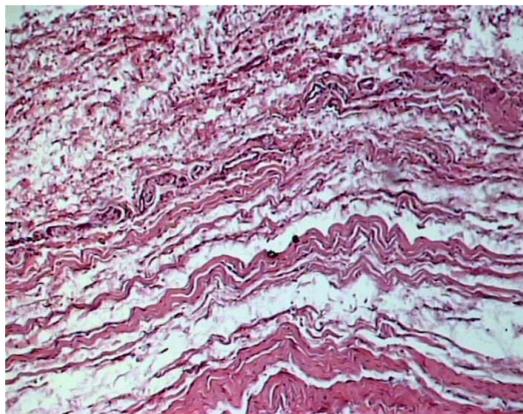


Рис. 8. Рыхлое расположение сухожильных волокон (окр. гематоксилин-эозин, увеличение×100).

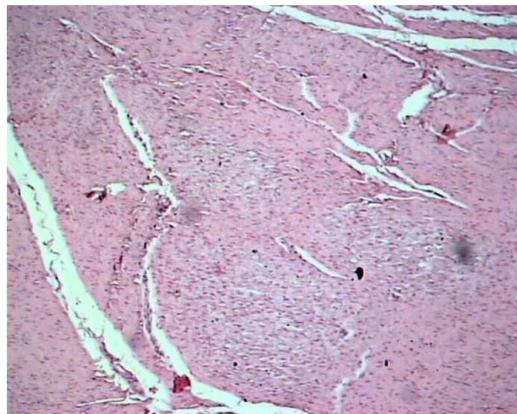


Рис. 9. Мелкие островки рыхлой волокнистой ткани, сосуды капиллярного типа среди формирующейся рубцовой ткани со значительным количеством фибробластов (окр. гематоксилин-эозин, увеличение×100).

Ультрасонографические данные восстановления пересеченного сухожилия, полученные на фоне проводимых реабилитационных мероприятий, отличаются от результатов гистологического исследования зоны регенерата пяточного сухожилия у животных с низкой функциональной нагрузкой на нижние конечности. Выявлены отличия формирования регенерата в зоне дефекта ахиллова сухожилия на структурном уровне.

По данным ультрасонографического обследования на 50-60 сутки после операции у пациентов на фоне проводимых реабилитационных мероприятий установлено восстановление ахиллова сухожилия в виде регенерата со сниженной экоструктурой, четкими, ровными контурами и с хорошо выраженной соединительнотканной оболочкой ахиллова сухожилия на всем его протяжении. По результатам гистологических исследований в эти сроки после тенотомии пяточного сухожилия у растущих кроликов на фоне сниженной функциональной нагрузки на нижние конечности установлено, что восстановление пересеченного сухожилия происходит за счет заполнения зоны дефекта плотной волокнистой соединительной тканью рубцового характера.

Как указывает А.Н. Шимбарецкий (2014) [5], основными условиями, необходимыми для созревания и ремоделирования регенерата ахиллова сухожилия после его пересечения, повышения его прочности являются восстановление физиологического натяжения

сухожилия, мышечные сокращения и активные движения в голеностопном суставе. При ношении брейсов появляется возможность активных движений в голеностопных, коленных и тазобедренных суставах, поэтому после снятия заключительной гипсовой повязки стопы ребенка в корригированном положении фиксируются брейсами. У детей до начала ходьбы (осевой нагрузки на нижние конечности) стопы удерживали брейсами 23 часа в сутки в течение 3 месяцев, а после начала ходьбы рекомендовали ношение брейсов 16-18 часов в сутки в течение 2 месяцев.

В этот период необходимо рекомендовать родителям увеличение интенсивности ежедневных занятий. При снятии брейсов родители должны производить несколько серий безболезненных движений стопой ребенка (сгибание и разгибание) в течение 5-10 минут с полной амплитудой в положении ребенка лежа на спине и максимальном сгибании нижней конечности в коленном и тазобедренном суставах. Активные перемещения ахиллова сухожилия за счет сокращений трехглавой мышцы голени способствуют нарастанию прочностных характеристик созревающего регенерата, предупреждают атрофию мышц голени, образование контрактур и грубых спаек с окружающими тканями.

90 суток после подкожной поперечной ахиллотомии.

Через 90 суток после тенотомии у пациентов на фоне проводимых реабилитационных мероприятий наблюдались дальнейшие процессы созревания сухожильного регенерата. На ультрасонограммах ахиллова сухожилия при продольном сканировании визуализировалась неоднородная структура с эхогенными непрерывными границами на всем протяжении от мышечной части до прикрепления к пяточной кости (рис. 10).



Рис. 10. Изображение ахиллова сухожилия через 90 дней после тенотомии.

Сохранялась веретенообразная форма ахиллова сухожилия. Толщина в проксимальной части сухожилия составила $3,7 \pm 0,36$ мм, а в дистальной – $4,1 \pm 0,39$ мм. Максимальное значение передне-заднего размера определялось в средней части ахиллова сухожилия (зона сухожильного регенерата) и составило $4,5 \pm 0,44$ мм. Это указывало на

относительно неполное восстановление структуры ахиллова сухожилия в зоне регенерата. Толщина соединительнотканной оболочки определялась на всем протяжении сухожилия и составляла $0,33\pm 0,03$ мм. При использовании ЭДК усиленной васкуляризации не выявлено. Окружающие мягкие ткани без особенностей.

К исходу 90 суток при изучении гистологического строения регенерата пяточного сухожилия у кроликов при сниженной функциональной нагрузке на нижние конечности было выявлено, что в перифокальной зоне сухожилия имеются выраженные дистрофические изменения в виде волн разной степени окраски (рис. 11). Зона дефекта представлена рыхло расположенными коллагеновыми волокнами с умеренным количеством фибробластов со значительным количеством участков ткани жирового характера и с немногочисленными сухожильными волокнами в состоянии атрофии (рис. 12).

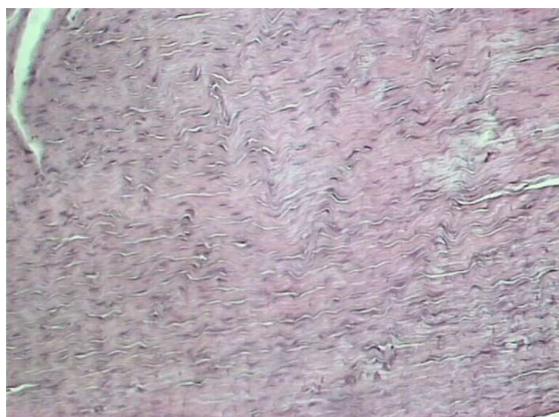


Рис. 11. Сухожильная ткань с выраженными дистрофическими изменениями (окр. гематоксилин-эозин, увеличение $\times 100$).

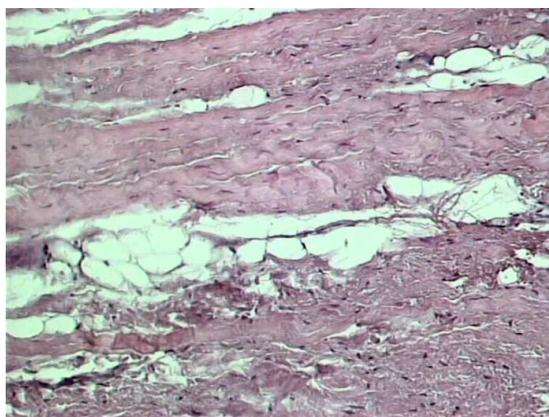


Рис. 12. Немногочисленные сухожильные волокна с явлениями атрофии в зоне дефекта (окр. гематоксилин-эозин, увеличение $\times 200$).

К исходу 90 суток по сравнению с 60 сутками в гистоструктуре зоны дефекта обнаруживаются изменения, которые носят инволютивный характер. Складывается впечатление, что сформировавшаяся к 60 суткам рубцовая ткань через месяц снова приобретает характер той ткани, которая сформировалась через 15 суток после пересечения пяточного сухожилия. По истечению трех месяцев после операции происходит очаговое замещение плотной волокнистой ткани рыхлой неоформленной соединительной тканью с гистиоцитарными, лимфоидными клетками и включениями очагов жировой клетчатки. Можно предположить, что это связано в первую очередь с функциональными нарушениями в икроножной мышце кролика, возникающими в это время. Нарушения сократительной способности икроножной мышцы приводят к тому, что сухожильная ткань не выполняет присущую ей функцию. В результате этого зона дефекта пяточного сухожилия перестраивается в плотную волокнистую соединительную ткань с достаточно большими

участками рыхлой неоформленной соединительной ткани. Гистологическое строение такого неполноценного регенерата в этот срок позволяет сделать предположение об относительно низкой его механической прочности.

Таким образом, ультрасонографические данные о степени восстановления пересеченного сухожилия, полученные на фоне проводимых реабилитационных мероприятий у пациентов, кардинально отличаются от данных гистологического исследования зоны регенерата пяточного сухожилия у животных, функциональная нагрузка на нижние конечности у которых была низкой.

По данным ультрасонографического обследования на 90 сутки после операции у пациентов на фоне проводимых реабилитационных мероприятий восстановление ахиллова сухожилия является более полноценным. При этом полученный регенерат характеризуется сниженной эхоструктурой, четкими, ровными контурами и хорошо выраженной соединительнотканной оболочкой ахиллова сухожилия на всем его протяжении.

По результатам гистологических исследований на 90 сутки после тенотомии пяточного сухожилия у растущих кроликов на фоне сниженной функциональной нагрузки на нижние конечности наблюдается обратное развитие зоны дефекта, происходит очаговое замещение плотной волокнистой ткани рыхлой неоформленной соединительной тканью с гистиоцитарными, лимфоидными клетками и включениями очагов жировой клетчатки.

Заключение.

Результаты ультрасонографического исследования показали, что у детей первых месяцев жизни после поперечной ахиллотомии с повреждением околосохожильных тканей, выполненной при лечении косопялости по методу Понсети, на фоне проводимого курса восстановительного лечения происходит полное восстановление анатомической целостности ахиллова сухожилия уже к 30 суткам. При этом в зоне диастаза, образующегося между концами пересеченного сухожилия, происходит постепенное формирование регенерата, через 90 суток после оперативного вмешательства образуется веретенообразной формы регенерат, имеющий неоднородную структуру.

Результаты гистоморфологических исследований ахиллова сухожилия у кроликов свидетельствуют о том, что после поперечной тенотомии пяточного сухожилия с повреждением его синовиальных оболочек и брыжеечных сосудов на 15, 21 и 30 сутки происходит замещение зоны дефекта рыхлой волокнистой богатоклеточной постепенно созревающей соединительной тканью. К исходу 60 суток значительная часть дефекта выполняется плотной волокнистой соединительной тканью, приобретающей рубцовый характер. На 90 сутки после тенотомии у растущих кроликов наблюдается обратное развитие зоны дефекта, происходит очаговое замещение плотной волокнистой ткани рыхлой

неоформленной соединительной тканью с гистиоцитарными, лимфоидными клетками и включениями очагов жировой клетчатки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в клинической практике необходимо избегать повреждения синовиальных оболочек и брыжеечных сосудов при поперечном пересечении ахиллова сухожилия во время коррекции элементов деформации стоп. При выполнении поперечной ахиллотомии с пересечением синовиального влагалища и повреждением сосудов брыжейки репаративная регенерация пяточного сухожилия происходит в неблагоприятных условиях и не завершается образованием исходной сухожильной ткани как по клиническим (ультрасонография), так и по экспериментальным данным (морфология).

Проведенные исследования показали, что основными условиями, необходимыми для созревания, ремоделирования регенерата ахиллова сухожилия и повышения его прочности являются соблюдение адекватного двигательного режима, своевременное его расширение с проведением занятий лечебной физкультурой. Гистологические исследования зоны регенерата пяточного сухожилия у животных с низкой функциональной нагрузкой на нижние конечности отличались от результатов ультрасонографии пересеченного сухожилия, полученных на фоне проводимых реабилитационных мероприятий у пациентов, и свидетельствовали о более полноценном формировании регенерата у последних.

При проведении восстановительных мероприятий у детей с врожденной косолапостью при лечении их по методу Понсети необходимо учитывать характер пересечения ахиллова сухожилия, сроки, прошедшие со дня оперативного вмешательства, и особенности репаративной регенерации в зоне пересечения ахиллова сухожилия, определяемые по данным ультрасонографических исследований. На основании этих данных необходимо составлять индивидуальные программы реабилитации, отличающиеся от общепринятых (сроки иммобилизации, особенности проведения занятий ЛФК).

Список литературы

1. Возможности ультразвуковой диагностики патологии стопы и голеностопного сустава / Холин А.В. [и др.] //Травматология и ортопедия России. 2009. №4(54). С. 65-72.
2. Зубарев А.Р. Диагностический ультразвук. Костно-мышечная система. М.: Стром, 2002. 136 с.
3. Зубарев А.Р., Неменова Н.А. Ультразвуковое исследование опорно-двигательного аппарата у взрослых и детей: пособие для врачей. М.: ВИДАР-М, 2006. 136 с.

4. Особенности регенерации ахиллова сухожилия после подкожной тенотомии в разных возрастных группах при лечении врожденной косолапости по методу Понсети/ В.В.Александров [и др.] //Материалы 3 междунар. конф. «Лечение врожденных деформаций стоп у детей». Ярославль, 2009. С. 1.
5. Шимбарецкий А.Н. Оперативное лечение разрывов ахиллова сухожилия с применением чрескостной блокирующей стяжки. Н.Новгород: ООО «Издательство «Деком», 2014. 104 с.
6. Analysis of echotexture of tendons with US/ Martinoli C. [et al], //Radiology. 1993. Vol. 186. – P. 839-843.
7. Ericson S.J. High-resolution imaging of the musculoskeletal system //Radiology. 1997. Vol. 205. P. 593-618.
8. Herzenberg J.E., Radler C., Born N. Ponseti versus traditional methods of casting for idiopathic clubfoot //J. Pediatr. Orthop. 2002. Vol. 22, N 4. P. 517-521.
9. Morrissy R.T., Weinstein S.L. Atlas of pediatric orthopaedic surgery. Fourth edition. 2006. P. 710.
10. Ponseti I.V. Treatment of congenital clubfoot //J. Bone Jt. Surg. 1992. Vol. 74-A, N 3. P. 448-454.

Рецензенты:

Тенилин Н.А., д.м.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России, г. Нижний Новгород;

Ежов М.Ю., д.м.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России, Нижний Новгород.