© Коллектив авторов, 2016
УДК 616.748.54-018.38-089.85-06:616.748.54-018.38-003.93

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

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ ПЯТОЧНОГО СУХОЖИЛИЯ ПОСЛЕ ЕГО ПОПЕРЕЧНОЙ ТЕНОТОМИИ С ПЕРЕСЕЧЕНИЕМ ФАСЦИАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК И ПОВРЕЖДЕНИЕМ СОСУДОВ БРЫЖЕЙКИ

ФГБУ «Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Минздрава России (дир. — канд. мед. наук Н. Н. Карякин)

Ключевые слова: косолапость, метод Понсетти, регенерация пяточного сухожилия, морфология, эксперимент

Введение. За последние десять лет кардинальным образом изменились взгляды на базовые принципы лечения больных с врожденной косолапостью, что нашло отражение в разработках новых малоинвазивных хирургических вмешательств, направленных на исправление деформаций стоп и предупреждение их прогрессирования по мере роста ребенка. Широкое распространение получила методика коррекции элементов деформации стоп этапными гипсовыми повязками по И. Понсетти, которая предусматривает выполнение подкожной поперечной ахиллотомии при сохраняющемся эквинусном положении стопы [8, 11, 13]. Необходимо отметить, что это оперативное вмешательство, несмотря на свою простоту, требует от хирурга высокой точности исполнения, поскольку от того, насколько обширно при этом повреждаются околосухожильные ткани, зависят условия, в которых будет происходить регенерация пересеченного пяточного сухожилия. Появляются работы, указывающие на прямую связь между техникой выполнения тенотомии, возрастом ребенка и регенеративной способностью пяточного сухожилия [1]. При несоблюдении техники выполнения поперечной тенотомии возникает повреждение фасциальных оболочек, сосудов брыжейки сухожилия, что приводит к

значительному снижению репаративных возможностей сухожильной ткани.

Различным аспектам репаративной регенерации сухожилий посвящены исследования многих авторов [3, 4, 6, 7]. Однако вопрос о регенерации сухожильной ткани до настоящего времени является предметом обсуждения. Основные разногласия при этом возникают по поводу того, образуется ли при регенерации истинная ткань сухожилия со свойственной ей типичной структурой или же дефект замещается рубцовой тканью. Одни исследователи считают, что сухожильная ткань не имеет истинной регенерации, и исключают возможность трансформации соединительнотканного регенерата в пучковую структуру сухожилия. По их данным, концы пересеченного сухожилия срастаются между собой соединительнотканым рубцом, неполноценным в функциональном отношении [5, 12]. Другие авторы отмечают образование сухожильных пучков из клеток поврежденного сухожилия, признавая его истинную регенерацию [2, 9, 10].

При изучении репаративных процессов ахиллова сухожилия на сегодняшний день используются препараты, взятые во время операции на гистологические исследования [2]. Однако изучить все фазы репаративной регенерации пяточного сухожилия возможно лишь в эксперименте, поскольку забрать материал для морфологических исследований у детей, которым выполняли подкожную

Сведения об авторах:

Власов Максим Валерьевич (e-mail: footdoc@mail.ru), Бугров Сергей Николаевич (e-mail: ser17619822009@yandex.ru), Богосьян Александр Богосович (e-mail: al.bogos@mail.ru), Мусихина Ирина Владимировна (e-mail: i_musihina@mail.ru), Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии, 603155, Н. Новгород, Верхне-Волжская набережная, 18

тенотомию пяточного сухожилия, не представляется возможным.

Таким образом, несмотря на то, что удлинение пяточного сухожилия выполняют у подавляющего большинства детей после устранения деформации стоп этапными гипсовыми повязками по методу И. Понсетти, нет достаточной экспериментально-морфологической базы по репаративной регенерации пяточного сухожилия после поперечной тенотомии с повреждением фасциальных оболочек и брыжеечных сосудов в период активного роста. Поэтому в эксперименте на растущих кроликах нами была смоделирована ситуация, когда при выполнении поперечной ахиллотомии происходит повреждение фасциальных оболочек и брыжеечных сосудов.

Цель настоящей работы — изучение процессов регенерации пяточного сухожилия после его подкожной поперечной тенотомии с пересечением фасциальных оболочек и повреждением брыжеечных сосудов в эксперименте на растущих кроликах.

Материал и методы. Изучение процессов репаративной регенерации пяточного сухожилия проводили на модели его поперечной тенотомии с пересечением фасциальных оболочек и брыжеечных сосудов в эксперименте у растущих кроликов. Эксперимент был поставлен на 25 кроликах породы «Шиншилла» обоего пола в возрасте 1 мес с массой $(1376 \pm 124,8)$ г. Процесс репаративной регенерации пяточного сухожилия изучался на 15-, 21-, 30-, 60-е и 90-е сутки после поперечной тенотомии у 5 кроликов на всех сроках вывода из эксперимента. Животных содержали в стандартных условиях отделения экспериментальной медицины ФГБУ «ННИИТО» Минздрава России. Условия содержания и кормления экспериментальных животных соответствовали «Санитарным правилам по устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник», утвержденным приказом МЗ СССР № 1179 от 10.10.1983 г.

Экспериментальные исследования выполняли 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 воспроизведено поперечное пересечение пяточного сухожилия с повреждением его синовиальных оболочек и брыжеечных сосудов. Была смоделирована ситуация, когда при выполнении подкожной тенотомии при коррекции деформации стоп пересекаются фасциальные оболочки и брыжеечные сосуды пяточного сухожилия. В хирургической стадии наркоза выполняли продольный прокол кожи и подлежащих тканей длиной до 0,3 см по задней поверхности голени в проекции пяточного сухожилия. Лапу животного выводили в положение тыльной флексии, осуществляя максимальное натяжение пяточного сухожилия. Скальпелем производили поперечное его пересечение на 1 см выше места его прикрепления к бугру пяточной кости изнутри снаружки и снизу вверх с повреждением его синовиальных оболочек и брыжеечных сосудов. Лапе животного придавали положение

тыльной флексии с образованием диастаза между концами сухожилия размером 0,7–0,8 см. В течение 2 нед фиксировали конечность кролика гипсовой лонгетной повязкой от верхней трети бедра со стопой в положении тыльной флексии лапы и сгибания в коленном суставе. В дальнейшем кроликов содержали в клетках в условиях вивария в обычном двигательном режиме.

Экспериментальных животных выводили из опыта на 15-, 21-, 30-, 60-е и 90-е 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. Макроскопически определяли восстановление анатомической целостности пяточного сухожилия у каждого из животных на 15-, 21-, 30-, 60-е и 90-е сутки после его пересечения. Гистоморфологическому исследованию подвергали зону регенерата, образующуюся между концами пересеченного сухожилия. Гистологическое исследование образцов ткани проводили после предварительной фиксации материала в растворе нейтрального формалина. Декальцинацию проводили с использованием среды «Biodec-R» (фирма «Bio-Optica»). Стандартную гистологическую проводку осуществляли на аппарате «Excelsior ES». После проводки изготавливали парафиновые блоки с использованием заливочной станции «HistoStar» (фирма «Thermo Scientific»). Серийные срезы толщиной 4–6 мкм получали на микротоме «Microm HM 325» («Thermo Scientific»). Срезы окрашивали гематоксилином и эозином и заключались в монтирующую среду. Микроскопирование и фотодокументирование проводили с использованием морфометрического комплекса «Leica DMR».

Результаты и обсуждение. К исходу 15-х 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-Гизону 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. 1*).

Наряду с этим, в отдельных участках зоны дефекта появляется молодая, частью созревающая грануляционная ткань с преобладанием в клеточном составе гистиоцитов и фибробластов.

На 21-е сутки от начала эксперимента в перифокальной зоне дефекта сохраняются немногочисленные взаимно параллельно ориентированные сухожильные волокна. Происходит дальнейшее постепенное замещение сухожиль-

Рис. 1. Дистрофические изменения сухожильных волокон (верхняя стрелка), появление круглоклеточных элементов в перифокальной зоне дефекта.

Окраска по Ван-Гизону. Ув. 200

Рис. 2. Замещение сухожильных волокон рыхлой волокнистой соединительной тканью (нижняя стрелка) и жировой клетчаткой (верхняя стрелка).

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 100

ных волокон рыхлой соединительной тканью и жировой клетчаткой (рис. 2). Среди рыхлой волокнистой соединительной ткани определяется большое количество сосудов капиллярного типа, гистиоцитов, макрофагов, эозинофилов, плазматических и лимфоидных клеток.

В этот срок наблюдения гистоморфологическая картина свидетельствует об активации пролиферативных процессов, направленных на заполнение образовавшегося дефекта между концами пересеченного сухожилия.

К исходу 30-х 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, что является признаком формирования рубцовой ткани (рис. 3). В этот срок наблюдения морфологическая картина свидетельствует об увеличении волокнистого субстрата и уменьшении доли рыхлой волокнистой ткани в зоне дефекта.

На 60-е сутки после тенотомии в перифокальной зоне сухожильные волокна на значительном протяжении расположены волнообразно, некоторые из них значительно раз-

Рис. 3. Формирование плотной волокнистой соединительной ткани рубцового характера в зоне дефекта (стрелка).

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 100

общены, фрагментированы с наличием вокруг них рыхлой волокнистой соединительной ткани с участками жировой клетчатки.

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. 4).

В этот срок морфологическая картина свидетельствует о значительном увеличении доли плотной волокнистой соединительной ткани среди рыхлой неоформленной соединительной ткани. Таким образом, на 60-е сутки после пересечения

Рис. 4. Формирование ткани рубцового характера в зоне дефекта (стрелка).

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 200

сухожилия дефект представляет собой плотную волокнистую соединительную ткань рубцового характера.

К исходу 90 сут зона дефекта представлена рыхло расположенными коллагеновыми волокнами с умеренным количеством фибробластов со значительным количеством участков ткани жирового характера и немногочисленными сухожильными волокнами в состоянии атрофии (рис. 5).

К исходу 90 сут по сравнению с 60-ми сутками в гистоструктуре зоны дефекта обнаруживаются изменения, которые носят инволютивный характер. Рубцовая ткань, сформировавшаяся к 60-м суткам, через 1 мес трансформируется, приобретая черты ткани, наблюдаемой на 15-е сутки после пересечения пяточного сухожилия. По истечении 3 мес 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 с тем, что после пересечения пяточного сухожилия трехглавая мышца голени кролика, теряя точку прикрепления, утрачивает свою сократительную способность. Нарушение сократительной способности трехглавой мышцы на фоне поперечного пересечения сухожилия приводит к тому, что репаративные процессы, происходящие в условиях отсутствия функционального натяжения поврежденного сухожилия, замедляются. В свою очередь, пересечение синовиальных оболочек и брыжеечных сосудов при поперечной тенотомии пяточного сухожилия усугубляет неблагоприят-

Рис. 5. Немногочисленные сухожильные волокна с явлениями атрофии в зоне дефекта (стрелка).

Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 200

ное воздействие на репаративные процессы в зоне тенотомии.

Все это приводит к тому, что процесс репарации сухожильной ткани к исходу 90-х суток приобретает инволютивный характер, а 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 полагать об относительно низкой его механической прочности.

Выводы. 1. Анатомическое восстановление пересеченного сухожилия на 90-е сутки происходит за счет образования плотной волокнистой соединительной ткани с достаточно большими участками рыхлой неоформленной соединительной ткани. Это указывает на то, что при выполнении поперечной ахиллотомии с пересечением синовиального влагалища и повреждением сосудов брыжейки репаративная регенерация пяточного сухожилия происходит в неблагоприятных условиях и не завершается образованием первоисходной сухожильной ткани.

2. В клинической практике необходимо избегать повреждения синовиальных оболочек и брыжеечных сосудов при поперечном пересечении пяточного сухожилия во время коррекции элементов деформации стоп.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров В.В., Тетюшев И.В., Коченов А.Г., Постников В.И. Особенности регенерации ахиллова сухожилия после подкожной тенотомии в разных возрастных группах при лечении врожденной косолапости по методу Понсети //

- Материалы 3-й междунар. конф. «Лечение врожденных деформаций стоп у детей». Ярославль, 2009. С. 1.
2. Демичев Н.П., Путилин А.А. Криоконсервирование и аллотрансплантация сухожильной ткани // Ортопед., травматол. и протезирование. 1990. № 4. С. 22–27.
 3. Демичев Н.П., Филимонов Э.П. Повреждение и регенерация ахиллова сухожилия. Астрахань, 2003. 145 с.
 4. Лаврищева Г.И., Оноприенко Г.А. Морфологические и клинические аспекты репаративной регенерации опорных органов и тканей. М.: Медицина, 1996. 236 с.
 5. Chow S.P., Hooper G., Chon C.W. The healing of freeze – dried rabbit flexor tendon in synovial fluid environment // Hand. 1983. Vol. 15, № 2. P. 136–142.
 6. Conway A.M., Dorner R.W., Zuckner J. Regeneration of resected calcaneal tendon of the rabbit // Anat. Rec. 1967. Vol. 158, № 1. P. 43–49.
 7. Enwemeka C.S., Spielholz N.I., Nelson A.J. The effect of early functional activities on experimentally tenotomized in rats // Am. J. Phys. Med. Rehabil. 1988. Vol. 67, № 6. P. 264–269.
 8. Herzenberg J.E., Radler C., Born N. Ponseti versus traditional methods of casting for idiopathic clubfoot // J. Pediatr. Orthop. 2002. Vol. 22, № 4. P. 517–521.
 9. Lundborg G., Rank F. Experimental studies on cellular mechanisms involved in healing of animal and human flexor tendon in synovial environment // Hand. 1980. Vol. 12, № 1. P. 3–11.
 10. Matthews C., Richards H. Factors in the adherence of flexor tendon after repair. An experimental study in the rabbit // J. Bone Jt Surg. 1976. Vol. 58-B, № 2. P. 230–236.
 11. Morrissy R.T., Weinstein S.L. Atlas of pediatric orthopaedic surgery. 4th ed. LWW, 2006. 710 p.
 12. Peacock E.E. Jr. Biological principles in the healing of long tendons // Surg. Clin. N. Am. 1965. Vol. 45, № 2. P. 461–476.
 13. Ponseti I.V. Treatment of congenital clubfoot // J. Bone Jt. Surg. 1992. Vol. 74-A, № 3. P. 448–454.

Поступила в редакцию 20.05.2015 г.

M. V. Vlasov, S. N. Bugrov, A. B. Bogos'yan,
I. V. Musikhina

MORPHOLOGICAL FEATURES OF REGENERATION OF THE ACHILLES TENDON AFTER ITS CROSS TENOTOMY WITH INTERSECTION OF FASCIAL SHEATHS AND DAMAGE OF MESENTERIC VESSELS

Nizhny Novgorod Research institute of traumatology and orthopedics

The article is aimed to study morphological features of regeneration process of the Achilles tendon after its cross tenotomy with intersection of fascial sheaths and damage of mesenteric vessels in experiment on growing rabbits. The experiment was made on 25 rabbits of «Shinshilla» breed of both sexes in the age of one month with the mass of 1376±124,8 g. The processes of reparative regeneration of heel tendon were investigated. There was used a rabbit's output from the experiment on 15, 21, 30, 60 and 90 days after cross tenotomy in number of five animal units. According to results of carried out researches, the considerable part of defect was completed by dense connective tissue obtaining scarry character on 60 days. There was observed an opposite development of defect zone, a focal substitution of dense fibrous tissue by loose connective tissue with histiocytic, lymphoid cells and inclusions of foci of fatty tissue on 90 days. The authors didn't noted the complete recovery of tendinous tissues «retitucica ad integrum» in the zone of tenotomy, because of circulatory disturbance in this area due to damage of fascial sheaths and mesenteric vessels. Thereby, the reparative regeneration of heel tendon was originated in unfavorable conditions, because of cross tenotomy performance with intersection of synovial sheath and damage of mesenteric vessels. The results obtained indicated that it is necessary to avoid the damage of synovial sheaths and mesenteric vessels in cross intersection of heel tendon during correction of foot element deformations.

Key words: *clubfoot, method Ponsetti, regeneration of heel tendon, morphology, experiment*

Комментарий редакции

Авторы статьи обосновывают необходимость и ценность полученных ими морфологических результатов при поперечном пересечении пяточного сухожилия с повреждением сосудов брыжейки. С этим мнением авторов можно согласиться, так как это может служить назиданием и предупреждением ортопедам о возможных осложнениях методики поперечной тенотомии. Эти осложнения можно минимизировать, выполняя Z-образную тенотомию в лечении больных с деформациями стоп этапными гипсовыми повязками по методике Понсетти.