

ВЛИЯНИЕ ГИСТОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ СУХОЖИЛИЯ ЗАДНЕЙ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ МЫШЦЫ НА РЕЗУЛЬТАТ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ПРОГРЕССИРУЮЩИМ КОЛЛАПСОМ СТОПЫ 1АВ2С СТАДИИ

**Горшунов Е. Д.¹, Королёв С. Б.¹, Носов О. Б.¹, Качесов А. В.¹, Горбатов Р. О.¹,
Гришин А. С.¹, Турдакина И. Н.²**

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России,
Нижегород, Российская Федерация, e-mail: forces7@mail.ru;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»,
Казань, Российская Федерация

Дисфункция сухожилия задней большеберцовой мышцы является ведущей причиной прогрессирующего коллапса стопы и влияет на результат хирургического лечения. Цель исследования - провести комплексную аналитическую оценку результатов оперативного лечения пациентов с прогрессирующим коллапсом стопы 1АВ2С стадии в зависимости от гистоморфологических изменений сухожилия задней большеберцовой мышцы. В исследование вошли 35 пациентов (35 стоп), 19 женщин (возраст – 29,00 [22,50-32,50] лет) и 16 мужчин (возраст – 31,00 [26,00-34,00] год) с прогрессирующим коллапсом стопы 1АВ2С стадии. Пациентам выполнена хирургическая коррекция деформации путем рецессии икроножной мышцы по Страеру, подтаранного артроэреза, нового способа пластики подошвенной пяточно-ладьевидной связки и корригирующей остеотомии по Коттону. Подтаранный имплант удален всем пациентам через 12 месяцев после вмешательства. Для оценки сухожилия задней большеберцовой мышцы выполняли его ультразвуковое исследование и гистоморфологическую оценку по Bonar. Функцию стопы и болевой синдром до коррекции, а также через 24 месяца после вмешательства оценивали анкетированием пациентов по международным опросникам American Orthopedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale, Manchester-Oxford Foot Questionnaire и Visual Analogue Scale Foot and Ankle. У 25 (172%) пациентов были незначительные изменения в структуре сухожилия, у 10 (28%) – значительные. По данным ультразвукового исследования, площадь поперечного сечения сухожилия была статистически значимо больше у пациентов со значительными изменениями. Среди пациентов со значимыми изменениями наиболее часто встречающимися патологическими ультразвуковыми признаками были гипозоногенные и гетерогенные сигналы в структуре сухожилия. Улучшение функции стопы у пациентов с незначительными изменениями через 24 месяца после вмешательства - по данным всех опросников. Также было выявлено наличие прямой и обратной корреляции гистоморфологических данных с данными опросников. Таким образом, наличие значимых дегенеративных изменений в структуре сухожилия влияет на функциональный результат оперативного лечения.

Ключевые слова: прогрессирующий коллапс стопы, дисфункция сухожилия задней большеберцовой мышцы, подошвенная пяточно-ладьевидная связка, спринг-связка, Bonar.

EVALUATION OF HISTOMORPHOLOGICAL CHANGES IN THE POSTERIOR TIBIAL TENDON FOLLOWING SURGICAL TREATMENT OF PATIENT WITH PROGRESSIVE COLLAPSING FOOT DEFORMITY 1АВ2С

**Gorshunov E. D.¹, Korolev S. B.¹, Nosov O. B.¹, Kachesov A. V.¹, Gorbatov R. O.¹,
Grishin A. S.¹, Turdakina I. N.²**

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Privolzhsky Research Medical University of the
Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: forces7@mail.ru;

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Privolzhsky State University of Physical
Education, Sports and Tourism, Kazan, Russian Federation

Tendon dysfunction of the posterior tibial muscle is a leading cause of progressive foot collapse and affects the outcome of surgical treatment. The aim of the study was to conduct a comprehensive analytical evaluation of the results of surgical treatment of patients with progressive collapsing foot deformity 1АВ2С depending on histomorphological changes in the posterior tibial tendon. The study included 35 patients (35 feet), including 19

women (age 29.00 [22.50-32.50] years) and 16 men (age 31.00 [26.00-34.00] years) with progressive collapsing foot deformity 1A2C. All patients underwent surgical correction of progressive collapsing foot deformity by means of Strayer gastrocnemius muscle recession, subtalar arthroereisis, a new technique of the plantar calcaneonavicular ligament repair, and Cotton osteotomy. Subtalar implant was removed from all patients 12 months after surgery. To determine the condition of the posterior tibial tendon, we performed an ultrasound examination and histomorphological assessment according to Bonar. Foot function and pain syndrome before surgery and 24 months after the intervention were assessed by questioning all patients using American Orthopedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale, Manchester-Oxford Foot Questionnaire, and Visual Analogue Scale Foot and Ankle. 25 (72%) patients had minor histomorphological changes according to Bonar in the structure of the posterior tibial tendon, and 10 (28%) had significant changes. According to the ultrasound examination, the cross-sectional area of the tibialis posterior tendon was statistically significantly larger in patients with significant changes. Among patients with significant changes, the most common qualitative pathological ultrasound signs were hypoechoic and heterogeneous signals in the structure of the tibialis posterior tendon. According to all questionnaires, there was an improvement in foot function in patients with minor changes 24 months after surgery. Additionally, there was a direct and inverse correlation between histomorphological data and questionnaire results. Therefore, the presence of significant degenerative changes in the tendon structure affects the functional outcome of surgical treatment.

Keywords: progressive collapsing foot deformity, posterior tibial tendon dysfunction, plantar calcaneonavicular ligament, spring ligament, Bonar.

Введение

Дисфункция сухожилия задней большеберцовой мышцы (СЗББМ) приводит к повышению нагрузки на верхнемедиальный пучок подошвенной пяточно-ладьевидной связки (ВМП-ППЛС) и последующему его повреждению [1; 2]. Ослабление ВМП-ППЛС, играющего ключевую роль в статической стабилизации заднего отдела стопы, приводит к еще большей перегрузке СЗББМ, а сформировавшийся «порочный круг» является основной причиной плоско-вальгусной деформации или прогрессирующего коллапса стопы [3; 4].

На сегодняшний день наиболее признанной теорией развития дисфункции сухожилий является механическая деформация. Согласно этой теории, чрезмерная нагрузка вызывает первичную микротравматизацию внеклеточного матрикса и клеток сухожилия, а повторяющиеся перегрузки приводят к прогрессирующему дегенеративно-дистрофическому повреждению с наличием микроразрывов и в последующем – к образованию более крупных разрывов. Особенно это характерно для участка СЗББМ дистальнее медиальной лодыжки - зоны гиповаскуляризации, описанной Фреем, Шереффом и Гриниджем [5].

Макроскопический вид сухожилия не всегда отражает его истинное патологическое состояние, а микроскопические изменения в структуре СЗББМ начинают формироваться задолго до появления клинических симптомов, значительно осложняя раннюю диагностику его дисфункции [6; 7].

Современные методы лучевой диагностики, такие как ультразвуковое исследование (УЗИ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), позволяют выявлять патологические изменения в структуре СЗББМ ещё до появления выраженной клинической симптоматики [7; 8]. Хотя МРТ остаётся широко признанным методом диагностики патологии сухожильно-связочного аппарата, современные возможности ультразвуковой визуализации во

многим с ней сопоставимы по информативности [9; 10]. Высокочастотное УЗИ является точным, доступным и эффективным инструментом оценки состояния сухожилий стопы, в особенности СЗББМ за счет его поверхностного расположения [3]. При ультразвуковой оценке сухожилия выявляются признаки дегенеративно-дистрофических изменений, проявляющиеся увеличением толщины сухожилия, неоднородностью структуры за счет гипэхогенных участков (соответствуют зонам дегенеративно-дистрофических изменений) и гиперэхогенных включений (участки кальцинации), потерей нормальной фибриллярной структуры сухожилия и наличием анэхогенных участков, соответствующих зонам разрывов. Наличие в литературе большого количества аргументов в пользу доступности и простоты данного метода исследования делает ультразвуковую диагностику патологических изменений СЗББМ одним из необходимых диагностических инструментов для хирургов, позволяя объективно оценивать состояние сухожилия перед оперативным вмешательством [10; 11].

Для получения наиболее точных данных о структуре изменённого СЗББМ необходимо гистоморфологическое исследование. В литературе описаны две универсальные шкалы для его оценки - Movin и Bonar. Из них наиболее распространённой и надёжной считается шкала Bonar для анализа микроскопических изменений [12].

Хирургическое лечение мобильного прогрессирующего коллапса стопы направлено на восстановление нормальной работы СЗББМ и ВМП-ППЛС, которые в свою очередь являются основными стабилизаторами медиального продольного свода [13]. Тактика хирургического лечения зачастую зависит от состояния СЗББМ. При наличии выраженных дегенеративных изменений СЗББМ лечение прогрессирующего коллапса стопы включает использование синтетической ленты и сухожильно-мышечной транспозиции длинного сгибателя пальцев стопы на ладьевидную кость для восстановления функции утраченного СЗББМ, при этом применение собственного СЗББМ для восстановления основных стабилизаторов медиального продольного свода также позволяет улучшить функциональные результаты хирургического лечения [14; 15].

Предоперационная оценка СЗББМ – ключевого стабилизатора медиального продольного свода – имеет решающее значение для выбора хирургической тактики при прогрессирующем коллапсе стопы 1АВ2С стадии, поскольку успех операции напрямую определяется его состоянием и качеством.

Цель исследования – провести комплексную аналитическую оценку результатов оперативного лечения пациентов с прогрессирующим коллапсом стопы 1АВ2С стадии в зависимости от гистоморфологических изменений СЗББМ.

Материал и методы исследования

На базе отделения травматологии и ортопедии № 3 Университетской клиники ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России проведено одноцентровое ретроспективное исследование, в которое было включено 35 пациентов с прогрессирующим коллапсом стопы 1АВ2С стадии, проходивших хирургическое лечение с 2020 по 2024 г. Среди них было 19 женщин (29,00 [22,50-32,50] лет) и 16 мужчин (31,00 [26,00-34,00] год). Все обследуемые дали свое согласие на участие в исследовании.

Критерием включения в исследование являлось наличие прогрессирующего коллапса стопы 1АВ2С стадии [16]. Критерии исключения из исследования: наличие костных коалиций в суставах заднего отдела стопы, наличие добавочной ладьевидной кости (*os tibiale externum*), полное повреждение СЗББМ по данным ультразвукового исследования, деформации стопы нейрогенного характера, острые воспалительные заболевания стопы.

Перед выполнением оперативного вмешательства каждому пациенту выполнялась качественная и количественная ультразвуковая диагностика СЗББМ. Функцию стопы и болевой синдром до оперативного лечения, а также через 24 месяца после операции выполняли путем анкетирования всех пациентов по международным опросникам the American Orthopedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale, the Manchester-Oxford Foot Questionnaire и шкале Visual Analogue Scale Foot and Ankle.

Всем пациентам выполнялась хирургическая коррекция прогрессирующего коллапса стопы 1АВ2С стадии с использованием рецессии икроножной мышцы по Страйеру, артроэреза подтаранного синуса, нового способа реконструкции подошвенной пяточно-ладьевидной связки при лечении пациентов с плоско-вальгусной деформацией стопы (Патент RU 2 7964 26 С1) и остеотомии по Коттону.

Для определения микроструктуры СЗББМ выполняли его гистоморфологическую оценку по Вонаг после оперативного вмешательства [17].

Ультразвуковой протокол обследования

Все пациенты были обследованы одним специалистом ультразвуковой диагностики с опытом работы более 15 лет. Ультразвуковое исследование выполнялось с применением высокочастотного линейного датчика 6-18 МГц GE Healthcare Venue 40 Ultrasound System.

Оценка СЗББМ производилась в продольном и поперечном сечениях с последующей интерпретацией полученных данных. При ультразвуковом исследовании пациент располагался в положении лежа на спине, с ногой, согнутой в коленном суставе под углом 70°, стопа подошвенной поверхностью устанавливалась на кушетку. Ультразвуковое исследование выполнялось в В-режиме (серошкальная визуализация) с применением доплеровского режима картирования. Поиск сухожилия осуществлялся с медиальной стороны на уровне позадилодыжечной костной борозды, датчик располагался поперечно относительно

продольной оси лодыжки. После визуализации поперечного среза СЗББМ ультразвуковым датчиком спускались на уровень подтаранного сустава, где располагается «гиповаскулярная зона» СЗББМ. Датчик располагали перпендикулярно продольной оси сухожилия ЗББМ (исследовали сухожилие в поперечной плоскости), а затем разворачивали на 90°, чтобы оценить сухожилие в продольной плоскости. Неизменное сухожилие в поперечной плоскости в В-режиме (серошкальная визуализация) имело округлую форму, мелкозернистую однородную структуру, среднюю эхогенность; синовиальный футляр сухожилия визуализировался в виде тонкого гипоэхогенного ободка толщиной не более 1 мм, в режиме доплеровского картирования сосудистые сигналы в толще сухожилия и его синовиальном футляре отсутствуют [18]. Размер поперечного сечения неизменного СЗББМ на уровне подтаранного сустава $18,4 \text{ мм}^2 (\pm 5,9 \text{ мм}^2)$. Нормальное сухожилие в В-режиме при исследовании в продольном сечении имело вид линейной структуры средней эхогенности с наличием продольной исчерченности, контуры сухожилия были ровными и четкими. Синовиальный футляр сухожилия визуализировался в виде гипоэхогенной полоски толщиной не более 1 мм. В режиме доплеровского картирования сосудистые сигналы в толще сухожилия и его синовиальном футляре отсутствуют. В норме продольный размер сухожилия описан как $3,2 \text{ мм} (\pm 0,5 \text{ мм})$ [19-20].

Патологические изменения в В-режиме проявлялись в виде его утолщения (локального или диффузного), неоднородности структуры за счет участков пониженной эхогенности, гиперэхогенных включений и анэхогенных дефектов ткани; в продольном сечении наблюдалась потеря нормальной фибриллярной структуры. В режиме доплеровского картирования в толще сухожилия (на продольном и поперечном сечениях) наблюдались сосудистые сигналы, что свидетельствовало о наличии гиперваскуляризации (неоваскуляризации) сухожилия [21]. При теносиновите в В-режиме определялась синовиальная пролиферация в виде гипоэхогенного тканевого субстрата толщиной более 1 мм, выпот в виде скопления гипо- и анэхогенной жидкости, образуя «знак цели» при сканировании по короткой оси и «признак железнодорожного пути» при сканировании по длинной оси [22; 23]. В режиме доплеровского картирования визуализировались сосудистые сигналы (гиперваскуляризация). Нарушение целостности (разрыв) сухожилия на УЗИ определялось в виде анэхогенного дефекта с четкими границами, имеющего внутрисуставную или краевую локализацию и нарушающего непрерывность сухожилия.

При проведении ультразвукового исследования СЗББМ диагностическими качественными критериями патологически измененного СЗББМ считались следующие: в **В-режиме** структурные изменения характеризовались потерей нормальной фибриллярной исчерченности на продольном сечении и развитием неоднородности за счет сочетания

гипоэхогенных участков с гиперэхогенными включениями. Критическим признаком поражения являлось нарушение целостности (разрыв) СЗББМ, визуализируемое как анэхогенный дефект с четкими границами внутриволоковой или краевой локализации, приводящий к прерыванию анатомической непрерывности структуры; утолщение сухожилия (локально или диффузно); увеличение площади поперечного сечения сухожилия больше 18,4 мм² ($\pm 5,9$ мм²), а также изменение увеличения его толщины в продольном срезе более 3,2 мм ($\pm 0,5$ мм). Патологический процесс дополнялся признаками теносиновита, проявляющегося гипоэхогенной синовиальной пролиферацией толщиной более 1 мм и наличием выпота (анэхогенной жидкости) в синовиальном пространстве. При использовании доплеровского картирования регистрировалась гиперваскуляризация в виде патологических сосудистых сигналов как в толще самого сухожилия, так и в зоне синовиальной пролиферации.

Методика выполнения оперативного вмешательства

Хирургическое вмешательство выполняли под спинномозговой анестезией. Пациент располагался на операционном столе лежа на спине, пневмотурникет накладывали на среднюю треть бедра и накачивали до 350 мм рт. ст. На первом этапе вмешательства выполняли рецессию сухожилия икроножной мышцы по Страйеру. Для этого производили продольный хирургический доступ по медиальному краю голени на границе средней и нижней ее трети, осуществляли поперечное рассечение сухожилия икроножной мышцы таким образом, чтобы получить дополнительные 10° подошвенной флексии при разогнутом коленном суставе. Интраоперационно, для оценки адекватно выполненной рецессии, выполняли тест Сильвершельда. Вторым этапом выполняли подтаранный артролиз с использованием титанового импланта Arthrex. Его установку осуществляли через кожный разрез, выполненный в проекции подтаранного синуса. Положение имплантата контролировали с использованием электронно-оптического преобразователя (ЭОП). На третьем этапе, после коррекции вальгусного отклонения заднего отдела стопы, производили восстановление основных стабилизаторов медиального продольного свода по разработанной авторами методике (Патент на изобретение RU 2 7964 26 C1). Для этого выполняли медиальный разрез на 2 см ниже верхушки внутренней лодыжки и на 1 см дистальнее бугристости ладьевидной кости. Визуализировали и продольно рассекали влагалище СЗББМ. Сухожилие разделяли Г-образно в проксимальном направлении на 5 см с сохранением дистального места прикрепления к бугристости ладьевидной кости. Проксимальный конец половины сухожилия прошивали рассасывающейся нитью размером 3-0. Затем под контролем ЭОП через sustentaculum tali с использованием канюлированного сверла формировали канал диаметром 5 мм. Через него проводили на противоположную сторону пяточной кости нити

сухожильного трансплантата с одновременной инверсией стопы. Проксимальный конец трансплантата в костном канале фиксировали интерферентным винтом 5 мм, нити обрезали.

На заключительном этапе оперативного вмешательства через хирургический доступ на тыле стопы длиной 3 см в проекции медиальной клиновидной кости проводили открытоугольную остеотомию по Коттону под контролем электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с последующим остеосинтезом безголовчатым компрессирующим винтом размером 2,4 мм. После выполнения интраоперационного контроля коррекции деформации производили послойное ушивание ран с последующей гипсовой иммобилизацией в течение 6 недель. Все пациенты в послеоперационном периоде носили ортопедические стельки. Удаление подтаранного импланта осуществили всем 35 пациентам через 12 месяцев после операции.

Гистологическое обследование

Интраоперационно у всех пациентов был взят участок СЗББМ в гиповаскулярной зоне на 3 см проксимальнее места прикрепления к бугристости ладьевидной кости, биоптат размером 0,5x0,2 мм отправлялся в гистоморфологическую лабораторию для дальнейшего исследования состояния СЗББМ.

Гистоморфологическая оценка состояния СЗББМ производилась с использованием шкалы Bonar, предназначенной для оценки характеристики тендинопатии. Подготовка препаратов выполнялась на базе отделения патологической анатомии Университетской клиники ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России.

Врачом отделения патологической анатомии с опытом работы более 8 лет производилась обработка и оценка полученного участка сухожилия. Образцы тканей фиксировались в растворе 10% формальдегида от 24 до 48 часов. Объём фиксатора не менее чем в 20 раз превышал объём образца. После фиксации элементы тканей промывались водой. Далее производилась их вырезка и размещение полученных фрагментов в гистологических кассетах. Все препараты подвергались обезвоживанию спиртами восходящей концентрации, начиная с 70°, обрабатывались ксилолом. Проводка осуществлялась на аппарате Excelsior ES (Thermo Scientific, США). Далее материал заливался в парафин с использованием заливочной станции HistoStar (Thermo Scientific, США). Приготовление срезов (толщина 1-2 микрометра) с парафинового блока осуществлялось при помощи микротомы Microm HM 325 (Thermo Scientific, США). На каждый образец ткани приходилось не менее трёх срезов. Перед окрашиванием гематоксилином и эозином гистологические препараты дополнительно обрабатывались ксилолом. Окрашивание осуществлялось в соответствии с протоколом, рекомендуемым производителем. Для оценки содержания гликозаминогликанов использовалась дополнительная окраска альциановым синим в сочетании с ШИК-реакцией.

Для дополнительной оценки элементов коллагена применялась окраска по Ван Гизону. Полученные гистологические препараты обезвоживались спиртами, помещались на предметное стекло и заключались под покровное стекло с применением бальзама. Для анализа гистологических препаратов применялась световая микроскопия с использованием аппаратуры Nikon eclipse E400, окуляр 10х, объективы 5х, 10х, 20х, 40х. Электронный архив полученного материала выполнен с применением автоматического сканера 3DHISTECH PANNORAMIC Midi с увеличениями 43х и 86х, разрешением 0,087 мкм/пиксель, с программным обеспечением PANNORAMIC Scanner Software for Research. Для морфометрической обработки сканированных изображений использовалось приложение SlideViewer 2.7. Цифровая фотофиксация гистологических препаратов выполнялась на увеличениях 5х, 10х, 20х, 40х. Выраженность дегенеративных изменений в сухожилиях измерялась при помощи системы оценки Bonag. Для системы Bonag использовались 4 параметра: Т – теноциты, М – матрикс, К – коллаген, В – васкуляризация. Каждый параметр оценивался по четырёхбалльной шкале от 0 до 3, где 0 – это отсутствие значимых изменений, 1 – слабовыраженные изменения, 2 – умеренно выраженные изменения, 3 – выраженные изменения. По системе Bonag итоговый балл мог варьироваться от 0 до 12, где значения от 1 до 4 – незначительные дегенеративно-дистрофические изменения, от 5 до 8 – значимые дегенеративно-дистрофические изменения, от 9 до 12 – резко выраженные дегенеративно-дистрофические изменения (рис. 1).

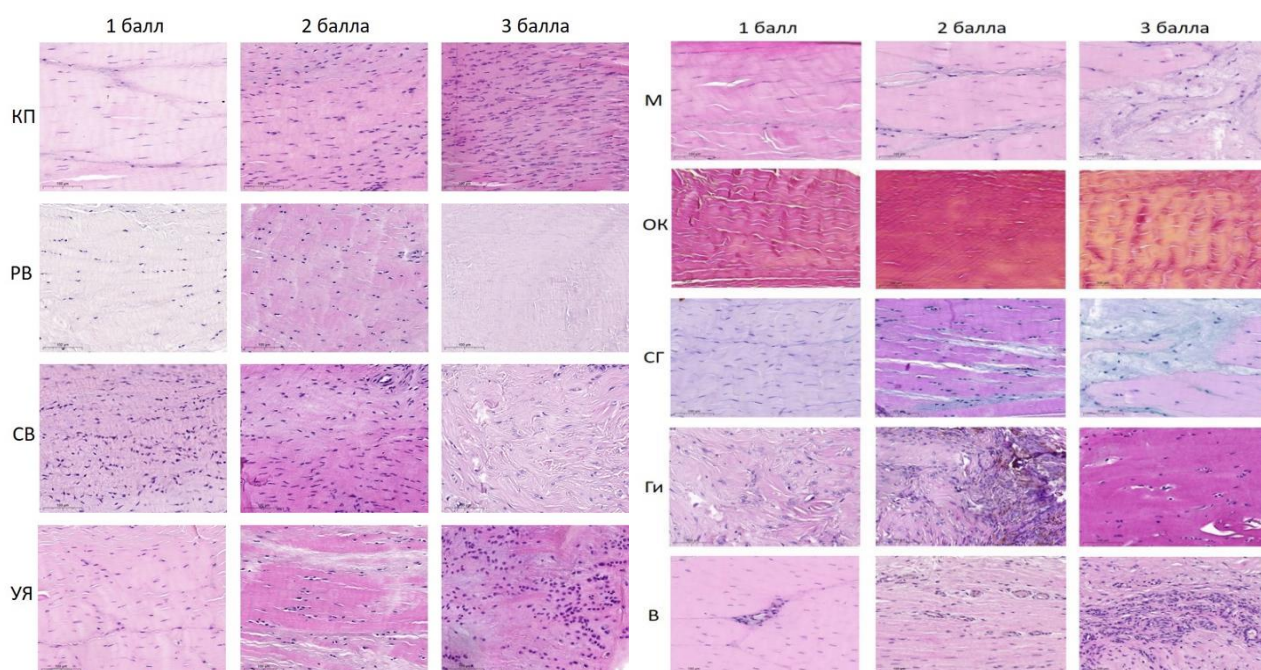


Рис. 1. Гистологическая «палитра» патологических изменений в структуре СЗБМ: М – матрикс, В – васкуляризация, СВ – структура волокон, РВ – расположение волокон, УЯ – укрупнение ядер, ОК – окрашивание коллагена, КП – клеточная плотность, Ва – васкуляризация, Ги – гиалиноз, СГ – содержание гликозаминогликанов

Статистический анализ

Обработку полученных данных выполнили с использованием программы SPSS Statistics 2020. Распределение данных отличалось от нормального. Описательные статистики представлены в виде Me [25p;75p]. Для определения статистической значимости применяли критерии Манна - Уитни, Уилкоксона, сравнение номинальных данных проводилось при использовании критерия χ^2 Пирсона и точного критерия Фишера, различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. При сравнении относительных показателей в качестве количественной меры мы использовали показатель отношения шансов (Odds Ratio, (OR)), определяемый как отношение вероятности (шансов) наступления события в группе, подвергнутой воздействию фактора риска, к вероятности наступления события в контрольной группе. В связи с наличием распределения, отличного от нормального, использовался коэффициент корреляции Спирмена (ρ Спирмена). Теснота корреляционной связи оценивалась по шкале Чеддока.

Все пациенты подписывали информированное согласие на участие в исследовании.

Ограничение исследования

Методологические ограничения включают небольшой размер выборки ($n = 35$), отсутствие рандомизации контрольной и сравнительной группы, что ограничивает достоверность выводов, а одноцентровый характер и наблюдение в течение 24 месяцев сужают возможности экстраполяции полученных результатов на долгосрочную перспективу и другие клинические условия и варианты течения заболевания.

Все пациенты ($n = 35$) были разделены на две группы в зависимости от изменений в структуре СЗБМ (рис. 2).

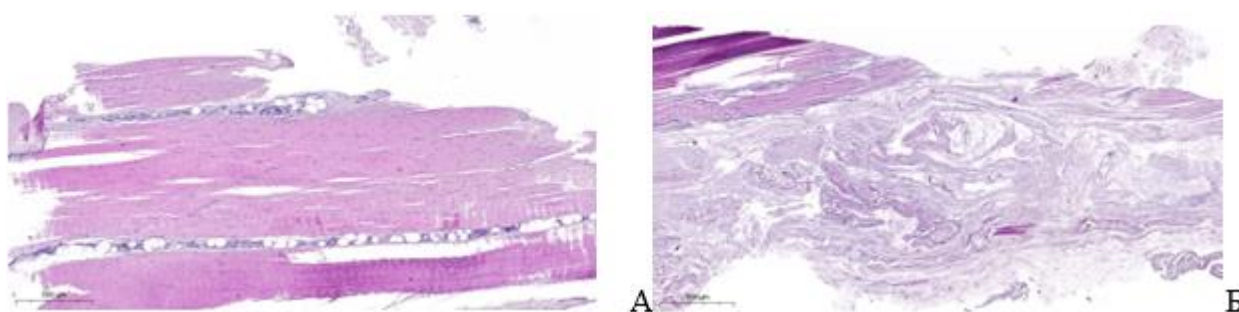


Рис. 2. Гистологическая картина пациентов с дегенеративными изменениями СЗБМ:

А – пациент К. 26 лет, Bonar – 2 балла; Б – пациент Л. 30 лет, Bonar – 8 баллов.

Примечание: изображения получены авторами в ходе исследования

По данным гистоморфологического анализа с оценкой по Bonar: 1-я группа ($n = 25$) – незначительные изменения, 2-я группа ($n = 10$) – значимые (табл. 1).

Таблица 1

Выраженность дегенеративных изменений в структуре СЗББМ по Bonar

Гистологические изменения по Bonar в баллах	Пациенты (N=35)
Незначительные изменения (1-4)	25 (72%)
Значимые изменения (5-8)	10 (28%)

Примечание: таблица составлена авторами на основании полученных данных в ходе исследования.

У всех пациентов определены качественные и количественные ультразвуковые параметры сухожилия задней большеберцовой мышцы (табл. 2, 3).

Таблица 2

Количественные УЗИ-данные пациентов в зависимости от гистологических изменений в СЗББМ по Bonar (Me[25p;75p])

Гистологические изменения по Bonar Показатель	Незначительные изменения (n=25)	Значимые изменения (n=10)	p
Площадь поперечного сечения (мм ²)	25,30 [23,30-29,00]	74,60 [63,60-106,35]	0,001
Продольный размер сухожилия (D2) (мм)	4,50 [4,00-4,80]	4,00 [3,40-6,10]	0,685

Примечание: p – значимость различий (критерий Уилкоксона); таблица составлена авторами на основании полученных данных в ходе исследования.

Таблица 3

Качественные УЗИ-данные пациентов в зависимости от гистологических изменений в структуре СЗББМ по Bonar

Гистологические изменения по Bonar Показатель	Незначительные (n=25)	Значимые (n=10)	p
Сухожилие ЗББМ до (циркулярный синовит)	1 (4,0%)	2 (20%)	0,216
Сухожилие ЗББМ до (синовит)	7 (28,0%)	10 (100%)	0,001 OR=25,714

			(2,756-39,939)
Сухожилие ЗББМ до (гиперваскуляризация)	0	5 (50%)	0,001 OR=0,194 (0,094-0,397)
Сухожилие ЗББМ до (гетерогенные сигналы)	1 (4,0%)	8 (80%)	0,001 OR=64,00 (5,803-105,805)
Сухожилие ЗББМ до (гипоэхогенность)	4 (16,0%)	10 (100%)	0,001 OR=52,500 (5,174-62,669)

Примечание: p - значимость различий (χ^2 Пирсона/точный критерий Фишера); OR-рассчитан для отсутствия признаков групп; таблица составлена авторами на основании полученных данных в ходе исследования.

Статистически значимо площадь поперечного сечения была больше у пациентов во 2-й группе (p=0,001). Среди больных со значимыми гистологическими изменениями по Bonar в структуре СЗББМ отмечалось преобладание патологических гипоэхогенных и гетерогенных ультразвуковых сигналов (p <0,05).

На контрольном осмотре через 24 месяца после операции у всех пациентов выполнили сравнение результатов анкетирования по опросникам до и после оперативного лечения (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение функции стопы по данным опросника AOFAS-AHS через 24 месяца после оперативного лечения у пациентов с незначительными и значимыми изменениями в структуре СЗББМ по Bonar (Me[25p;75p])

Гистологические изменения по Bonar Показатель	Незначительные изменения (n=25)	Значимые изменения (n=10)	p
AOFAS-AHS до операции	70,00 [67,00-78,00]	67,00 [67,00-68,50]	0,43
AOFAS-AHS через 24 месяца	95,00 [90,00-95,00]	64,00 [52,50-80,00]	0,001
MOXFQ до операции	57,00 [48,00-64,00]	57,00 [49,50-61,00]	0,866
MOXFQ через 24 месяцев	12,00 [10,00-15,00]	50,00 [32,50-63,00]	0,001
VAS-FA до операции	56,00 [50,00-62,00]	54,00 [42,00-61,00]	0,261
VAS-FA через 24 месяца	92,00 [88,00-96,00]	57,00 [50,50-68,50]	0,001

Парные сравнения			
АOFAS-AHS («До операции» – «Через 24 месяца»)	P <0,01	P> 0,05	
МОXFQ («До операции» – «Через 24 месяца»)	P <0,01	P> 0,05	
VAS-FA («До операции» – «Через 24 месяца»)	P <0,01	P> 0,05	

Примечание: p – значимость различий (критерий Уилкоксона); таблица составлена авторами на основании полученных данных в ходе исследования.

Через 24 месяца после операции у всех пациентов с незначительными гистоморфологическими изменениями по Bonar отмечалось статистически значимое улучшение функции стопы и снижение болевого синдрома по данным опросников АOFAS-AHS, МОXFQ и VAS-FA ($p < 0,05$) по сравнению с пациентами со значимыми изменениями.

При проведении корреляционного анализа выявлено наличие прямой корреляции средней силы между гистологическими изменениями сухожилия по Bonar и результатами анкетирования пациентов по МОXFQ через 24 месяца после операции ($p = 0,001$, $\rho = 0,515$). Кроме того, выявлена **обратная корреляция** средней силы между гистологическими изменениями сухожилия по Bonar и результатами анкетирования пациентов по АOFAS через 24 месяца после оперативного вмешательства ($p = 0,001$, $\rho = -0,511$), средней силы между Bonar и VAS-FA ($p = 0,001$, $\rho = -0,521$).

Обсуждение

В различных зарубежных научных публикациях представлены результаты сравнения ультразвукового и гистоморфологического обследований сухожилий [23; 24]. Однако лишь в ограниченном числе исследований сравнивались клинические данные с гистопатологическими изменениями СЗБМ [25-27]. В работе Sethi P. M. с соавторами, как и в проведенном исследовании, проводился сравнительный анализ результатов ультразвуковой диагностики и гистологических изменений. Однако исследовалось сухожилие длинной головки двуглавой мышцы плеча. При ее ультразвуковой диагностике были продемонстрированы выраженные гистопатологические и сонографические изменения, такие как гипэхогенность и увеличение диаметра сухожилия, что также было продемонстрировано в проведенном исследовании. Однако статистически значимой корреляции между этими показателями не было обнаружено [25]. Имеются опубликованные данные о сравнении и выявлении корреляции между магнитно-резонансной томографией и гистологической оценкой СЗБМ. При дисфункции задней большеберцовой мышцы наблюдается высокая

корреляция между тестом с подъемом на носки, результатами теста Губшера - Джека и гистологической оценкой, проведенной с использованием шкалы Movin ($r = 0.581$; $P = 0.009$ и $r = 0.538$; $P = 0.018$), в то время как для шкалы Bonar корреляция не наблюдалась ($r = 0.424$; $P = 0.070$). Дисфункция задней большеберцовой мышцы по данным МРТ коррелирует только с результатами теста Губшера - Джека, а не с гистологической оценкой ($r = 0.424$; $P = 0.070$). ($p > 0.264$) [28].

В данном исследовании авторами впервые продемонстрирована ультразвуковая и гистоморфологическая картина СЗБМ у пациентов с прогрессирующим коллапсом стопы 1A2BC, представлены клинические результаты после его хирургической коррекции в зависимости от гистоморфологических изменений в структуре сухожилия задней большеберцовой мышцы по Bonar, определены корреляционные отношения между гистологической картиной и данными функциональных опросников AOFAS-AHS и MOXFA.

Заключение

Использование высокочастотной ультразвуковой диагностики во время предоперационного планирования позволяет определить значимые качественные УЗ-изменения в структуре сухожилия ЗБМ. Наличие гетерогенных и гипоэхогенных сигналов может свидетельствовать о наличии значимых патоморфологических дегенеративных изменений по Bonar.

При хирургическом лечении прогрессирующего коллапса стопы 1A2BC наличие незначительных гистоморфологических изменений по Bonar в структуре СЗБМ ассоциировано с лучшими функциональными результатами после вмешательства в сравнении с пациентами со значимыми изменениями.

Функциональный результат по MOXFQ после хирургического лечения прогрессирующего коллапса стопы 1A2BC предложенным способом коррелирует с гистоморфологическими изменениями в структуре СЗБМ по Bonar.

Список литературы

1. Martínez-Sañudo B, Lopezosa-Reca E, Vallejo-Márquez M, Fornell S, Martínez-Franco A, Tejero S. Ultrasound assessment of the spring ligament and posterior tibial tendon in healthy subjects: A descriptive study. *J Tissue Viability*. 2024 Aug;33(3):481-486. DOI: 10.1016/j.jtv.2024.05.005. PMID: 38806377.
2. Soliman SB, Spicer PJ, van Holsbeeck MT. Sonographic and radiographic findings of posterior tibial tendon dysfunction: a practical step forward. *Skeletal Radiol*. 2019 Jan;48(1):11-27. DOI: 10.1007/s00256-018-2976-7. PMID: 29802532.

3. Workman M, Saragas N, Ferrao P. Assessment of imaging, pathoanatomy and terminology in posterior tibial tendon dysfunction. *Journal of the Foot and Ankle*. 2020;14(2):126–131. DOI: 10.30795/jfootankle.2020.v14.1181.
4. Lin YC, Mhuirheartaigh JN, Lamb J, Kung JW, Yablon CM, Wu JS. Imaging of adult flatfoot: correlation of radiographic measurements with MRI. *AJR Am J Roentgenol*. 2015 Feb;204(2):354-9. DOI: 10.2214/AJR.14.12645. PMID: 25615758.
5. Danilkowicz RM, Parekh SG, Tainter DM, Allen N, O'Donnell J, Hanselman A, Adams SB. Histologic grading correlates with inflammatory biomarkers in tibialis posterior tendon dysfunction. *Foot Ankle Surg*. 2022 Dec;28(8):1266-1271. DOI: 10.1016/j.fas.2022.05.004. PMID: 35667952.
6. Guelfi M, Pantalone A, Mirapeix RM, Vanni D, Usuelli FG, Guelfi M, Salini V. Anatomy, pathophysiology and classification of posterior tibial tendon dysfunction. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2017;21(1):13-19. PMID: 28121362.
7. Arnoldner MA, Gruber M, Syré S, Kristen KH, Trnka HJ, Kainberger F, Bodner G. Imaging of posterior tibial tendon dysfunction--Comparison of high-resolution ultrasound and 3T MRI. *Eur J Radiol*. 2015;84(9):1777-81. DOI: 10.1016/j.ejrad.2015.05.021. PMID: 26037267.
8. Soliman SB, Spicer PJ, van Holsbeeck MT. Sonographic and radiographic findings of posterior tibial tendon dysfunction: a practical step forward. *Skeletal Radiol*. 2019 Jan;48(1):11-27. DOI: 10.1007/s00256-018-2976-7. PMID: 29802532.
9. Chhabra A, Soldatos T, Chalian M, Faridian-Aragh N, Fritz J, Fayad LM, Carrino JA, Schon L. 3-Tesla magnetic resonance imaging evaluation of posterior tibial tendon dysfunction with relevance to clinical staging. *J Foot Ankle Surg*. 2011 May-Jun;50(3):320-8. DOI: 10.1053/j.jfas.2011.02.004. PMID: 21459628.
10. Холин А. В., Пугачева Е. Н., Корышков Н. А., Корышкова Л. В., Корсун А. А. Возможности ультразвуковой диагностики патологии стопы и голеностопного сустава // *Травматология и ортопедия России*. 2009. № 4. С. 65-72. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ultrazvukovoy-diagnostiki-patologii-stop-y-i-golenostopnogo-sustava> (дата обращения: 01.03.2026).
11. Donovan A, Rosenberg ZS, Bencardino JT, Velez ZR, Blonder DB, Ciavarra GA, Adler RS. Plantar tendons of the foot: MR imaging and US. *Radiographics*. 2013. Nov-Dec;33(7):2065-85. DOI: 10.1148/rg.337125167. PMID: 24224599.
12. Zabrzyński J, Paczesny Ł, Zabrzyńska A, Grzanka D, Łapaj Ł. Sonography in the instability of the long head of the biceps tendon confronted with histopathologic and arthroscopic findings. *Folia Morphol (Warsz)*. 2018;77(3):583-590. DOI: 10.5603/FM.a2018.0012. PMID: 29399753.
13. Hattori S, Saggarr R, Mullen J, Olawin A, Heidinger E, Austin W, Williams A, Reeves G, Hogan MV. Role of Ultrasound in Evaluating Ligament Injuries Around the Ankle: A Narrative

Review. *Diagnostics (Basel)*. 2025 Feb 6;15(3):392. DOI: 10.3390/diagnostics15030392. PMID: 39941321; PMCID: PMC11817055.

14. Горшунов Е.Д., Королев С.Б., Носов О.Б., Качесов А.В., Горбатов Р.О., Турдакина И.Н. Результаты хирургического лечения мобильной плоско-вальгусной деформации стопы с использованием нового анатомического способа восстановления подошвенной пяточно-ладьевидной связки (spring ligament) // *Современные проблемы науки и образования*. 2024. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33846> (дата обращения: 24.01.2026). DOI: 10.17513/spno.33846.

15. Горшунов Е.Д., Королев С.Б., Носов О.Б., Качесов А.В., Горбатов Р.О., Турдакина И.Н. Анализ результатов хирургического лечения прогрессирующего коллапса стопы у взрослых пациентов // *Современные проблемы науки и образования*. 2025. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=34052> (дата обращения: 24.03.2026). DOI: 10.17513/spno.34052.

16. Голубев В. Г., Зейналов В. Т., Чернышов С. И., Нечаева М. И., Арапова И. А., Шкуро К. В. Прогрессирующий коллапс стопы взрослых - новый взгляд на старую проблему // *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2024. № 3 (57). С. 64-73. URL: <https://sciup.org/142243247> (дата обращения: 24.03.2026). DOI: 10.17238/2226-2016-2024-3-64-73.

17. Maffulli N, Longo UG, Franceschi F, Rabitti C, Denaro V. Movin and Bonar scores assess the same characteristics of tendon histology. *Clin Orthop Relat Res*. 2008 Jul;466(7):1605-11. DOI: 10.1007/s11999-008-0261-0. PMID: 18437501; PMCID: PMC2505245.

18. Walther M. Degeneration der Tibialis-posterior-Sehne : Bewährtes und Neues [Degeneration of the posterior tibial tendon : Established and new concepts]. *Unfallchirurg*. 2017 Dec;120(12):1031-1037. German. DOI: 10.1007/s00113-017-0390-6. PMID: 28755303.

19. Seybold D, Hamel J. Standardisierte sonographische Diagnostik (13 MHz) der Sehne des M. tibialis posterior--Normalbefunde an Fussgesunden [Standardized ultrasound diagnosis (13 MHz) of the tendon of the posterior tibial muscle--normal findings in probands with healthy feet]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 2000 May-Jun;138(3):269-77. German. DOI: 10.1055/s-2000-10148. PMID: 10929621.

20. Rhim HC, Dhawan R, Gureck AE, Lieberman DE, Nolan DC, Elshafey R, Tenforde AS. Characteristics and Future Direction of Tibialis Posterior Tendinopathy Research: A Scoping Review. *Medicina (Kaunas)*. 2022 Dec 16;58(12):1858. DOI: 10.3390/medicina58121858. PMID: 36557060; PMCID: PMC9781788.

21. Robinson P. Sonography of common tendon injuries. *AJR Am J Roentgenol*. 2009 Sep;193(3):607-18. DOI: 10.2214/AJR.09.2808. PMID: 19696272.

22. Park JW, Lee SJ, Choo HJ, Kim SK, Gwak HC, Lee SM. Ultrasonography of the ankle joint. *Ultrasonography*. 2017 Oct;36(4):321-335. DOI: 10.14366/usg.17008. PMID: 28535605; PMCID: PMC5621804.
23. Polichetti C, Borruto MI, Lauriero F, Caravelli S, Mosca M, Maccauro G, Greco T, Perisano C. Adult Acquired Flatfoot Deformity: A Narrative Review about Imaging Findings. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Jan 7;13(2):225. DOI: 10.3390/diagnostics13020225. PMID: 36673035; PMCID: PMC9857373.
24. Zabrzyńska M, Grzanka D, Zielińska W, Jaworski Ł, Pękala P, Gagat M. The Bonar Score in the Histopathological Assessment of Tendinopathy and Its Clinical Relevance-A Systematic Review. *Medicina (Kaunas)*. 2021 Apr 9;57(4):367. DOI: 10.3390/medicina57040367. PMID: 33918645; PMCID: PMC8069001.
25. Sethi PM, Sheth CD, Pauzenberger L, McCarthy MBR, Cote MP, Soneson E, Miller S, Mazzocca AD. Macroscopic Rotator Cuff Tendinopathy and Histopathology Do Not Predict Repair Outcomes of Rotator Cuff Tears. *Am J Sports Med*. 2018 Mar;46(4):779-785. DOI: 10.1177/0363546517746986. PMID: 29328887.
26. Hefferan SA, Blaker CL, Ashton DM, Little CB, Clarke EC. Structural Variations of Tendons: A Systematic Search and Narrative Review of Histological Differences Between Tendons, Tendon Regions, Sex, and Age. *J Orthop Res*. 2025 May;43(5):994-1011. DOI: 10.1002/jor.26060. PMID: 40012190; PMCID: PMC11982604.
27. Docking SI, Cook J, Chen S, Scarvell J, Cormick W, Smith P, Fearon A. Identification and differentiation of gluteus medius tendon pathology using ultrasound and magnetic resonance imaging. *Musculoskelet Sci Pract*. 2019 Jun;41:1-5. DOI: 10.1016/j.msksp.2019.01.011. PMID: 30763889.
28. Albano D, Martinelli N, Bianchi A, Romeo G, Bulfamante G, Galia M, Sconfienza LM. Posterior tibial tendon dysfunction: Clinical and magnetic resonance imaging findings having histology as reference standard. *Eur J Radiol*. 2018 Feb;99:55-61. DOI: 10.1016/j.ejrad.2017.12.005. PMID: 29362151.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.