

# СОНОЭЛАСТОГРАФИЯ СУХОЖИЛИЙ И СВЯЗОК: ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА (обзор литературы)

А.М. Юрковский

УО «Гомельский государственный медицинский университет»

---

*По данным литературы оценены диагностические возможности соноэластографии при исследовании сухожилий и связок в норме и при патологии. Сделан вывод о необходимости дальнейшего изучения возможностей данной технологии с целью уточнения её диагностической ценности при повреждениях связок и сухожилий.*

**Ключевые слова:** соноэластография, сухожилия, связки.

---

## Введение

Данные литературы указывают на высокую инцидентность повреждений сухожильно-связочного аппарата. При этом многие аспекты этой проблемы остаются недостаточно изученными, особенно в части, касающейся ранней диагностики повреждений наиболее уязвимых сухожилий: ахиллова сухожилия, сухожилия надостной мышцы, сухожилия разгибателей предплечья, плантарной фасции. Малодоступность МРТ и неинформативность рентгеновских методов на ранних этапах развития патологического процесса в указанных структурах нацеливают на поиск удобных для применения в клинической практике способов оценки состояния сухожилий и связок. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование возможностей соноэластографии (СЭГ).

Цель работы: оценить (по данным литературы) диагностические возможности соноэластографии при повреждениях связок и сухожилий.

Материал исследования: публикации, содержащие информацию о применении соноэластографии при повреждениях связок и сухожилий, обнаруженные в англоязычных ресурсах PubMed за период с 1991 по 2011 годы.

## Результаты и обсуждение

СЭГ – технология улучшения визуализации неоднородностей мягких тканей по их сдвиговым упругим характеристикам [1, 2, 3, 6, 12, 14, 17, 11, 35]. Известно, что упругость (эластичность) биологической ткани – это свойство обратимой деформации, которое предопределяется микро- и макроструктурной организацией ткани. Эти свойства тканей могут изменяться при различных патологических процессах (например, при воспалении или же дистрофических изменениях) [11, 12, 14]. Информация об этих изменениях может быть получена как в А-режиме [16], так и в В-режиме [5, 16, 34]. Однако изменения эхогенности сухожилий или связок, обнаруженные указанными выше способами, не всегда пропорциональны изменениям их свойств, а значит, и не всегда дают возможность разграничить норму и патологию [5]. Этим и объясняется интерес к возможностям соноэластографии, потому как данный метод, в отличие от В-режима, позволяет получать диагностически важную информацию даже в тех случаях, когда сложно или даже невозможно дифференцировать (из-за одинаковой эхогенности) патологически изменённую ткань от здоровой [14, 15].

Первая публикация об измерении (in vivo) эластичности мышц у людей при помощи импульсно-волнового доплера появилась в 1987 г. [17]. Правда, тогда этот метод оценки эластичности тканей особого интереса у кли-

нистов не вызвал. Ситуация изменилась после появления иного способа оценки эластических свойств тканей, основанного на внешней компрессии ткани с последующим определением профиля деформации вдоль направления ультразвукового луча и дальнейшим его преобразованием в профиль модуля упругости [11]. Оценки эластических свойств тканей, полученные таким образом, имели хорошую корреляцию с патологическими феноменами [11, 12]. Что, собственно, и было в дальнейшем подтверждено в исследовании эластических свойств четырёхглавой мышцы у людей [17] и, несколько позже, ахилловых сухожилий (АС) кроликов (в исследовании были оценены не только эластические свойства нормальных АС, но и сухожилий, имевших смоделированные ишемические повреждения) [27].

Однако более активное изучение возможностей метода началось лишь после появления технологии «fast cross-sectional», позволявшей быстро получать поперечные сечения с одновременным измерением напряжения и смещения тканей в режиме реального времени [3]. Использование этой технологии уже на этапе экспериментальных исследований (на бычьих передних крестовидных связках) позволило выявить наличие различных уровней эластичности в одном и том же нормальном сухожилии (как до, так и после нагрузки) и продемонстрировало хорошую корреляцию между СЭГ-паттерном и механическими (эластическими) свойствами связок [13].

Первые сообщения об успешном применении квазистатической СЭГ у людей (in vivo) имели отношение к АС. Уже в одном из первых таких исследований сравнительный анализ данных СЭГ у пациентов с длительной односторонней болью в АС и здоровых пациентов позволил, судя по представленным материалам, разграничить патологию и норму: «симптоматические» АС оказались более твердыми, в отличие от таковых у пациентов контрольной группы ( $p < 0,0001$ ). Кстати, этот признак имел положительную корреляцию с фрагментацией ( $p=0,0089$ ), с потерей волокнистой структуры ( $p=0,0019$ ), и отрицательную – с толщиной АС ( $p < 0,0001$ ) [29, 30]. Проведенная в последующем другими авторами оценка воспроизводимости СЭГ у здоровых пациентов также дала обнадеживающие результаты (при этом воспроизводимость была выше при использовании продольного, а не поперечного сечения). Тогда же, кстати, были выделены и два типа СЭГ-паттерна нормальных АС: тип I – гомогенно зеленые/синие (38%) и тип II – зеленые с продольными красными полосами (62%) [8].

Несколько большее количество вариантов СЭГ-паттерна АС у здоровых пациентов приводится в работе других авторов [24]: твёрдый (сине-зелёное окрашивание)

структурированный СЭГ-паттерн был в 86,7% случаев; умеренно-выраженная тенотомалиция в – 12,1% случаев, зоны альтерации были выявлены в 1,3% (эти альтерации были расценены как субклиническое повреждение). Промежуточный тип (желтое прокрашивание) не был найден ни у одного здорового пациента, что дало основание считать его либо вариантом нормы, либо симптомом очень ранних доклинических повреждений. И, что важно, в 29 (36,3%) случаях СЭГ продемонстрировала изменения, не определявшиеся в В-режиме [24, 28]. Правда, авторам не удалось ответить на вопрос, являются ли эти изменения ранним признаком повреждений, не обнаруженных при исследовании в В-режиме, или же это ложноположительные изменения, природу которых, разумеется, необходимо выяснить.

Сравнение АС пациентов с тендинопатией и АС здоровых пациентов позволило выявить и другие особенности: у здоровых пациентов сухожилие было твердым в 93% случаев, в то же время были и различные варианты тенотомалиции (всего у 57% пациентов). При этом чаще всего отмечались изменения дистальных отделов (в 64%), средней трети (в 80%), и меньше – проксимальной трети (28%). Уровень чувствительности СЭГ соответствовал 94%, специфичности – 99%, а точности – 97% (при использовании клинической экспертизы в качестве стандарта). Корреляция СЭГ с В-режимом была хорошей ( $R=0,89$ ). Примечательно, что умеренно выраженная тенотомалиция была найдена не только у пациентов с симптоматикой тендинопатии, но и у части здоровых пациентов (в 7% случаев), что, по мнению некоторых авторов, даёт основание рассматривать подобные изменения как очень ранние проявления тендинопатии [25]. Впрочем, это предположение нуждается в дополнительной проверке. Хотя бы потому, что параметры, характеризующие эластичность, вариабельны и могут существенно изменяться в одном и том же нормальном сухожилии или связке – например, при приложении нагрузки [13]. Это, кстати, подтверждают и данные, приведенные в другой работе [10]: при продольном сканировании величина модуля эластичности АС при экстензии (вытяжении) соответствовала  $104 \pm 46$  кПа, в нейтральной позиции –  $464 \pm 144$  кПа, при максимальной задней флексии (сгибании) –  $410 \pm 196$  кПа. То есть колебалась в довольно широком диапазоне, с максимальными показателями при напряжении (натяжении) АС ( $p < 0,01$ ). Причём показатели были выше у физически активных субъектов ( $p < 0,05$ ). При этом отмечалась хорошая корреляция данных между правым и левым АС ( $R=0,8$ ;  $p < 0,01$ ) [10].

Столь же широкий разброс данных был получен и в другом исследовании, в котором применялась менее (в отличие от квазистатического) операторозависимая технология ShearWave (метод сдвиговой волны) [21]. При СЭГ-обследовании 127 здоровых пациентов (средний возраст  $37,7 \pm 9,11$  лет), величина модуля эластичности АС у мужчин составила  $98,8 \pm 47,1$  кПа (диапазон 8–242 кПа) при продольном и  $51,1 \pm 23,8$  кПа (диапазон 15–98 кПа) – при поперечном сечении, у женщин –  $62,5 \pm 40,1$  кПа (диапазон 6–176 кПа) и  $51,7 \pm 25,7$  кПа (диапазон 10–111 кПа), соответственно. Интересно, что значимой зависимости параметров эластичности АС от возраста данные авторы не отметили [21]. Хотя другие исследователи (правда, применявшие квазистатический метод), всё же отметили наличие различий при сравнении СЭГ-паттерна здоровых молодых и пожилых людей: преобладание синего цвета (то есть слабая способность к деформации) – у молодых, преобладание зеленого цвета, с примесью (следами) синего – у пожилых. При наличии же тендинопатии

таких различий не было: и у тех, и у других преобладал красный цвет [18, 33]. К слову, красным цветом прокрашивались и зоны разрывов (не исключено, что вследствие отека и/или кровотока), при этом интактные участки сохраняли однородное сине-зелёное прокрашивание [18].

Менее обнадеживающие результаты получены при исследовании ротаторной манжеты плеча и, в частности, сухожилия надостной мышцы (СНМ). Что оказалось вполне ожидаемым, так как СНМ и расположено глубже, и его пространственная ориентация куда сложнее, чем у АС. Кроме того, существует риск искажения СЭГ-паттерна вследствие сокращения или же расслабления мышц [31]. Однако, несмотря на имеющиеся сложности, использование метода сдвиговой волны всё же позволяет произвести оценку эластичности СНМ. Величина модуля эластичности, определённая данным способом, соответствовала: у мужчин –  $36,0 \pm 13,0$  кПа (диапазон 1–77 кПа), у женщин –  $29,1 \pm 12,4$  кПа (диапазон 6–90 кПа) [21]. При этом так же, как и в случае с АС, не было отмечено статистически значимой взаимосвязи параметров эластичности с возрастом. Что же касается качественной оценки, то по данным, приведенным в одной из публикаций [18], СЭГ-паттерн СНМ здоровых пациентов был с преобладанием синего цвета, в отличие от повреждённых, в которых внутрисухожильные альтерации окрашивались в зеленый, желтый и красный цвет (кстати, в В-режиме эти участки выглядели гипоехогенными). Были существенные различия и в эластических свойствах СНМ в обеих группах ( $p < 0,0001$ ). Но, что особенно важно, отмечена хорошая корреляция между результатами СЭГ и МРТ [18]. Однако с большим успехом СЭГ может быть использована для оценки выраженности жировой инфильтрации надостной и подостной мышц у пациентов с разрывами сухожилий, так как данные СЭГ, как выяснилось, вполне сопоставимы с данными МРТ ( $R=0,74$ ,  $p=0,001$ ) [18].

Изменения, выявляемые при гистологическом исследовании СНМ, подобны изменениям, выявляемым при латеральном эпикондилите (ЛЭ) [22]. И это подтверждается работами ряда авторов. Так, по некоторым данным, СЭГ-паттерн у бессимптомных пациентов в 96% демонстрировал высокую плотность сухожилий, и только в 4% случаях – умеренную альтерацию, в отличие от группы с ЛЭ, в которой высокая плотность сухожилий была отмечена лишь в 33% случаев, а её снижение (т.е. появление различных вариантов размягчения) – в 67% ( $p < 0,001$ ). При этом уровень чувствительности соответствовал 100%, специфичность – 89%, точность – 94% (в сравнении с клинической экспертизой). Положительная прогнозирующая ценность составила 88%, отрицательная – 100%. При исследовании в В-режиме чувствительность была 95%, специфичность – 89%, точность – 91%, положительная прогнозирующая ценность – 88%, отрицательная – 95% [24]. Правда, по другим данным чувствительность и специфичность В-режима всё же ниже (72–88% и 36–48,5%, соответственно) [19]. Не исключено, что такая разница в оценках возможностей В-режима связана с тем, что исследователи, получившие более высокие показатели чувствительности и специфичности, использовали в качестве критерия такой признак, как повышенная сжимаемость сухожилия при ЛЭ [16], демонстрирующий, как полагают, наличие тенотомалиции сухожилий мышц, участвующих в разгибании кисти (длинного и короткого лучевых разгибателей запястья и плечелучевой мышцы) [16, 24]. И предположения эти, можно сказать, отчасти уже подтверждены результатами другого исследования

[28], в соответствии с которым у большинства здоровых пациентов сухожилия имеют высокую плотность, и только в 3% случаев – умеренно выраженные альтерации (тип 1). В отличие от «бессимптомных», у пациентов с ЛЭ удельный вес тех, у кого выявляется тенотомалиция, достаточно значителен: в 34% – тип 1, в 21% – тип 2, в 11% – тип 3 [28] (получается, что в целом у 66%). Чаще всего в В-режиме при ЛЭ выявляется область низкой эхогенности, соответствующая участкам дегенерации коллагеновых волокон и их разрывам, которые могут заполняться грануляционной тканью [26]. Выявление таких участков – важный пункт в диагностическом алгоритме, и СЭГ может оказаться весьма кстати – с учётом того, что её диагностические возможности (чувствительность) у «симптоматических» пациентов всё же лучше: 95% при СЭГ и 90% в В-режиме (при экспертизе средней части сухожилия); 26,3% и 21,1% (при оценке вовлечённости в процесс коллатеральной связки); 28,9% и 13,2% (при поиске окологасиальных изменений). Причём СЭГ требует, помимо прочего, выявлять изменения коллатеральной связки и прилегающей фасции, не встречающиеся, кстати, у «бессимптомных» пациентов [7, 28].

Есть ещё одна, судя по первым результатам, весьма достойная внимания область применения СЭГ – диагностика плантарной фасциопатии (ПФП) [4, 7, 32]. До сих пор единственным надёжным сонографическим критерием ПФП считалось утолщение (> 4-5 мм) плантарной фасции (ПФ) в области энтеза [9, 20, 23]. К слову, этот параметр может быть использован и для оценки эффективности лечения (уменьшение толщины ПФ при уменьшении боли отмечено у 74,4% пациентов) [20]. Однако проблема в том, что он непригоден для раннего выявления дистрофических изменений и связанных с ними изменений эластических свойств ПФ. Непригоден для этой цели и признак «локального понижения эхогенности», потому как воспроизводимость его как в норме, так и при патологии низка (критерий каппа у «бессимптомных» пациентов – 0,27-0,69, у пациентов с ПФП – 0,34-0,35) [23]. Сложно сказать, в какой мере СЭГ сможет решить эту проблему, но примеры успешного применения метода при ПФП уже есть. Так, например, в литературе есть описание случая ПФП у 30-летней пациентки, имевшей клинические проявления ПФП, но не имевшей изменений эхо-структуры и толщины ПФ (фасция была < 2,8 мм). Ситуация прояснилась лишь после СЭГ-картирования, позволившего выявить на «симптоматической» стороне меньшую, чем на интактной, плотность ПФ [7]. Но такие примеры пока единичны. И причина тому – отсутствие согласованной (унифицированной) методики проведения СЭГ [4]. Поэтому публикация, в которой анализировались данные, полученные при применении В-режима и квазистатической СЭГ у пациентов без каких-либо клинических проявлений и пациентов с клиническими проявлениями ПФП, привлекла к себе повышенное внимание [32]. Анализ данных, полученных авторами при продольном сканировании в стандартизированной зоне длиной 10 мм и глубиной 2 мм, прилегающей к энтезу (то есть в том месте, где обычно возникают изменения), позволил выявить ряд особенностей. В частности, было отмечено уменьшение упругости (эластичности) ПФ с возрастом (сравнивались две группы: 18-50 лет и старше 50 лет), причём при отсутствии статистически значимых различий по толщине (2,4±0,3 мм и 2,7±0,5 мм, соответственно). Уменьшение эластичности ПФ было отмечено и у пациентов с клиникой ПФП, но уже в сочетании с утолщением ПФ (3,7±0,9 мм, против 2,7±0,5 мм у здоровых) и изменениями количественных параметров

цветовых гистограмм, которые имели статистически значимые отличия от таковых у пожилых «бессимптомных» пациентов) [32].

### Заключение

СЭГ позволяет получать дополнительную информацию относительно эластических свойств сухожилий и связок. В частности, СЭГ позволяет дифференцировать острый воспалительный процесс в сухожилиях и связках (большая сжимаемость изменённой ткани) от хронического (большая жесткость ткани), а также воспалительные изменения от опухолевых (отмечена большая сжимаемость тканей при воспалительных изменениях и, наоборот, меньшая – при опухолевой инфильтрации). Однако диагностическая ценность информации, получаемой при помощи СЭГ, в значительной мере зависит от использованной для её получения методики. А это означает, что работа по изучению возможностей метода должна продолжаться.

### Список использованной литературы

1. Ультразвуковая эластография как новая ступень в дифференциальной диагностике узловых образований щитовидной железы: обзор литературы и предварительные клинические данные / А.Р. Зубарев [и др.] // Медицинская визуализация. – 2010. – №1. – С.11–16.
2. Возможности эластографии в комплексной ультразвуковой диагностике рака предстательной железы / А.В. Зубарев [и др.] // Медицинская визуализация. – 2011. – №2. – С. 95–103.
3. A time efficient and accurate strain estimation concept for ultrasonic elastography using iterative phase zero estimation / A. Pesavento [et al.] // IEEE Trans Ultrason Ferroelectr. Freq. Control. – 1999. – Vol.46, № 5. – P. 1057–1067.
4. A few considerations on “Sonoelastography of the plantar fascia” / L.M. Sconfienza [et al.] // Radiology. – 2011. – Vol. 261. – P. 995–996.
5. Correlations between mean echogenicity and material properties of normal and diseased equine superficial digital flexor tendons: an in vitro segmental approach / N. Crevier-Denoix [et al.] // J. Biomechanics. – 2005. – Vol. 38. – P. 2212–2220.
6. Caritas-Krankenhaus. Elastizität, die neue dimension der sonographie / Caritas-Krankenhaus, B. Mergentheim, C.F. Dietrich // Praxis. – 2011. – Vol.100, №25. – P. 1533–1542.
7. Can sonoelastography detect plantar fasciitis earlier than traditional B-mode ultrasonography? / Ch.-H. Wu [et al.] // Am. J. Phys. Med. Rehabil. – 2012. – Vol. 91, Issue 2. – P.185.
8. Drakonaki, E.E. Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description / E.E. Drakonaki, G.M. Allen, D.J. Wilson // Clin. Radiol. – 2009. – Vol. 64, № 12. – P. 1196–1202.
9. Diagnostic imaging for chronic plantar heel pain: a systematic and meta-analysis / M. McMillan [et al.] // J. Foot Ankle Res. – 2011. – Vol. 4, Suppl. 1. – P. 40.
10. Elastographie transitoire du tendon calcaire: résultats préliminaires et perspectives / S. Aubry [et al.] // J. De Radiologie. – 2011. – Vol. 92, №5. – P. 421–427.
11. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues / J. Ophir [et al.] // Ultrasonic Imaging. – 1991. – Vol. 13, № 2. – P. 111–134.
12. Elastography: imaging the elastic properties of soft tissues with ultrasound / J. Ophir [et al.] // J. Med. Ultrason. – 2002. – Vol. 29. – P.155–171.
13. Elastographic imaging of strain distribution in the anterior cruciate ligament and at the ligament-bone insertions / J.P. Spalazzi [et al.] // J. Orthop. Res. – 2006. – Vol. 24, № 10. – P. 2001–2010.
14. Frey, H. Realtime-Elastographie: ein neues sonographisches verfahren für die darstellung der gewebeelastizität / H. Frey // Der Radioologe. – 2003. – Vol. 43. – P. 850–855.
15. Klauser, A.S. Is sonoelastography of value in assessing tendons? / A.S. Klauser, R. Faschingbauer, W.R. Jaschke // Semin Musculoskelet Radiol. – 2010. – Vol. 14, №3. – P. 323–233.

16. Khoury, V. "Tenomalacia": a new sonographic sign of tendinopathy? / V. Khoury, E. Cardinal // Eur. Radiol. – 2008. – Vol. 19. – P. 144–146.
17. Krouskop T.A. A pulsed Doppler ultrasonic system for making noninvasive measurements of the mechanical properties of soft tissue / T. A. Krouskop, D.R. Dougherty, F.S. Vinson // J. Rehabil. Research Develop. – 1987. ? Vol. 24, № 2. – P. 1–8.
18. Lalitha P. Musculoskeletal applications of elastography: a pictorial essay of our initial experience / P. Lalitha, M. Reddy, K.J. Reddy // Korean J. Radiol. – 2011. – Vol. 12. – P. 365–375.
19. Lateral epicondylitis of the elbow: US findings / D. Levin [et al.] // Radiology. – 2005. – Vol. 237. – P. 230–234.
20. Mahowald, S. The correlation between plantar fascia thickness and of plantar fasciitis / S. Mahowald // Am. Podiatr. Med. Assoc. – 2011. – Vol. 101, № 5. – P. 385–389.
21. Quantitative assessment of normal soft-tissue elasticity using shear-wave / K. Arda [et al.] // AJR. – 2011. – Vol. 197. – P. 532–536.
22. Rotator cuff degeneration and lateral epicondylitis: a comparative histological study / M.D. Chard [et al.] // Ann. Rheum. Dis. – 1994. – Vol. 53. – P. 30–34.
23. Reproducibility of sonographic measurement of thickness and echogenicity of the plantar fascia / J-W. Cheng [et al.] // J. Clin. Ultrasound. – 2012. – Vol. 40, №1. – P. 14–19.
24. Real-time sonoelastography findings in healthy achilles tendons / T. Zordo [et al.] // AJR. – 2009. – Vol. 193. – P. 134–138.
25. Real-time sonoelastography: findings in patients with symptomatic achilles tendons and comparison to healthy volunteers / T. De Zordo [et al.] // Ultraschall Med. – 2010. – Vol. 31, № 4. – P. 394–400.
26. Sonographic examination of lateral epicondylitis / D. Connell [et al.] // AJR. – 2001. – Vol. 176. – P. 777–782.
27. Strain measurements of rabbit Achilles tendons by ultrasound / P.L. Kuo [et al.] // Ultrasound Med. Biol. – 1999. – Vol. 25. – P. 1241–1250.
28. Sonoelastography displays promise in tendon injuries / A. Klausner, T. Zordo, R. Faschingbauer // Diagn. imaging. – 2009. – Vol. 25. – № 4. – P. 16–18.
29. Sonoelastography in the evaluation of Achilles tendon damage / L. M. Sconfienza [et al.] // Skeletal Radiol. – 2008. – Vol. 37. – P. 591.
30. Sconfienza, L.M. Sonoelastography in the evaluation of painful Achilles tendon in a amateur athletes/ L.M. Sconfienza, E. Silvestri, M.A. Cimmino // Clin. Exp. Rheumatol. – 2010. – Vol. 28, № 3. – P. 373–378.
31. Srinivasan, S. Letter to the editor: musculoskeletal applications of elastography: a pictorial essay of our initial experience / S. Srinivasan, N. Dubey // Korean J Radiol. – 2011. – Vol. 12, № 5. – P. 646–647.
32. Sonoelastography of the plantar fascia / Ch.-H. Wu [et al.] // Radiology. – 2011. – Vol. 259, Issue 2. – P. 502–507.
33. Technical note: Real-time sonoelastography evaluation of achilles tendon / P. Lalitha [et al.] // Indian J. Radiol. Imaging. – 2011. – Vol. 21, № 4. – P. 267–269.
34. Ultrasound echo is related to stress, strain in tendon / S. Duenwald [et al.] // J. Biomech. – 2011. – Vol. 44, №3. – P. 424–429.
35. Wells, P. Medical ultrasound: imaging of soft tissue strain and elasticity / P. Wells, H.D. Liang // J. R. Soc. Interface. – 2011. – Vol. 8, № 64. – P. 1521–1549.

## Sonoelastography of the tendons and ligaments: diagnostic potential of the method (literature review)

A.M. Yurkovskiy

EE «Gomel State Medical University»

*According to the literature data the diagnostic possibilities of sonoelastographic study of tendons and ligaments in normal and pathological states are evaluated. The conclusion about the need for further investigation of this technology potential is made in order to define its diagnostic value in ligament and tendon injuries.*

**Key words:** sonoelastography, tendons, ligaments.

Поступила 10.01.2012