

# Ультразвуковые предикторы разрыва вращательной манжеты у пациентов с субакромиальным импиджмент-синдромом плечевого сустава

В.Е. Гажонова<sup>1,2</sup>, М.В. Емельяненко<sup>2</sup>, М.П. Онищенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ ДПО "Центральная государственная медицинская академия" УД Президента РФ, Москва,

<sup>2</sup>ФГБУ "Объединенная больница с поликлиникой" УД Президента РФ, Москва

## Ultrasound predictors of rotator cuff tears in patients with subacromial impingement syndrome of the shoulder

Gazhonova V.<sup>1,2</sup>, Emelianenko M.<sup>2</sup>, Onishchenko M.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia,

<sup>2</sup>FGBU "OBP", Moscow, Russia

### Аннотация

Была проведена оценка клинической значимости количественных и качественных показателей при ультразвуковом исследовании в диагностике разрывов вращательной манжеты плечевого сустава (ВМП) у 128 пациентов с субакромиальным импиджмент-синдромом в возрасте от 18 до 83 лет. У всех пациентов при УЗИ вычисляли длину клювовидно-акромиальной связки, толщину сухожилия надостной мышцы (СНМ), структуру СНМ, тип соноэластографической карты (СЭГ) в патологическом участке СНМ, коэффициент жесткости в измененном участке СНМ, коэффициент занятости надостной мышцы в надостной ямке (OR). Оценивали достоверность различий между группами пациентов с разрывами ВМП и без таковых. Сопоставлялась информативность наиболее значимых показателей в прогнозировании разрыва ВМП с расчетом площади (AUC) под ROC-кривыми. В результате проведенной работы была получена оптимальная диагностическая модель разрыва сухожилия ротаторной манжеты: толщина сухожилия более 0,50 см, структура – 2-й и 3-й типы, картирование при СЭГ сухожилия – 3-й тип, коэффициент деформации при СЭГ меньше или равный 1,16. Используя данные критерии в совокупности, удается достичь чувствительности 94%, специфичности 96% в выявлении частичного разрыва СНМ ротатора плеча. Сделан вывод о необходимости включения СЭГ при УЗИ плечевого сустава, что повышает информативность метода в выявлении частичных разрывов ротатора.

**Ключевые слова:** ультразвуковая эластография, компрессионная эластография, частичные разрывы сухожилия надостной мышцы, разрывы вращательной манжеты, МРТ, МСКТ-артрография, артроскопия плечевого сустава.

### Abstract

The clinical value of measurement of qualitative and quantitative ultrasound parameters in patients with subacromial impingement syndrome in the diagnosis of rotator cuff tears of the shoulder was evaluated in 128 patients with age range 18 - 83. In all patients the length of coraco-acromial ligament, width of the supraspinatus tendon, structure, type of sonoelastography map in pathologically colored region of the supraspinatus tendon and strain ratio value in those regions, occupational ratio of the supraspinatus muscle to supraspinatus fosse were measured. The significance of the differences between the group of patients with tears and without was evaluated. The comparance of the diagnostic informativity of the main valuable ultrasound parameters in rotator cuff tear prognosis with calculation of the AUC ROC-analysis was performed. Results of the work showed the most optimal diagnostic model of the rotator cuff tendon's tear: width of the supraspinatus tendon more then 0,50 cm; structure – 2-nd and 3-rd type; colored map type of tendon sonoelastography – 3-rd; sonoelastography strain ratio – less than or equal 1,16. Using such criteria in complex study the sensitivity was 94% and specificity was 96% in detection of partial thickness rotator cuff tear of the supraspinatus tendon of the shoulder. The resume was conducted that sonoelastography should be included in all ultrasonographic studies of the shoulder; in this connection it increases diagnostic informativity of the partial thickness rotator cuff tears.

**Key words:** Ultrasound elastography, strain elastography, supraspinatus tendon partial tears, rotator cuff tears, MRI, CT-arthrography, shoulder arthroscopy.

*Ссылка для цитирования: Гажонова В.Е., Емельяненко М.В., Онищенко М.П. Ультразвуковые предикторы разрыва вращательной манжеты у пациентов с субакромиальным импиджмент-синдромом плечевого сустава. Кремлевская медицина. Клинический вестник, 2018; 4(2): 26-31.*

Импиджмент – это болезненное дисфункциональное нарушение биомеханики плечевого сустава, возникающее при сдавлении сухожилий ротаторов плеча и/или суставных сумок между акромиально-клювовидной дугой и бугорком плечевой кости при отведении руки через сто-

рону вверх, при котором наиболее часто из ротаторов повреждается сухожилие надостной мышцы [1]. Частота разрывов сухожилий ротатора в популяции варьирует от 15 до 32%, увеличиваясь с возрастом, а при субакромиальном импиджмент-синдроме риск разрыва сухожилий ротатора плеча повышается в 2 раза [2]. В группу риска развития этого заболевания входят люди, ведущие активный образ жизни, а также те, чьи профессии связаны с нагрузкой на верхний плечевой пояс, спортсмены. Диагностика импиджмент-синдрома важна на ранней стадии, что позволяет остановить прогрессирование симптомов и полный разрыв сухожилий вращательной манжеты.

Ультразвуковое исследование (УЗИ) за счет возможности динамического исследования, быстроты проведения и высокой информативности широко применяется для исследования пациентов с болями в плечевом суставе. По данным последних публикаций, в которых использовалась УЗ-аппаратура с высокочастотными датчиками, точность УЗИ в выявлении полных разрывов вращательной манжеты плечевого сустава (ВМП) сопоставима с магнитно-резонансной томографией (МРТ), а в диагностике частичных разрывов — варьирует для УЗИ от 91,6 до 96,4% и для МРТ от 92,8 до 96,1% [3-5]. Недавние исследования показали, что ультразвуковая эластография при исследовании мышечно-скелетной системы обеспечивает новый уровень диагностики патологии ВМП, возможности дифференциальной диагностики тендинитов с дегенеративными изменениями и более точную диагностику частичных разрывов [6-15]. С учетом широкого внедрения исследований мышечно-скелетной системы в практику УЗИ актуально дальнейшее изучение новых возможностей метода.

Целью нашей работы было изучение ультразвуковых предикторов разрыва вращательной манжеты плечевого сустава при использовании новых цифровых ультразвуковых технологий.

### Материалы и методы

128 пациентов с жалобами на боли или дисфункцию в плечевом суставе и отсутствием костной травмы при стандартной рентгенографии, с положительными тестами на импиджмент-синдром при клиническом осмотре, либо положительными тестами повреждения ВМП, или с выявленными ранее изменениями сухожилий ВМП при МРТ или УЗИ, у которых короткий (5–7 дней) курс приема нестероидных противовоспалительных препаратов не привел к снижению боли или восстановлению объема движений в суставе, были включены в комплексное проспективное исследование, проходившее на базе Федерального государственного

бюджетного учреждения «Объединенная больница с поликлиникой» Управления делами Президента РФ с 2015 по 2018 г. Среди 128 больных мужчин было 67 (52%) и женщин — 61 (48%), средний возраст пациентов составил  $57,3 \pm 12,8$  года (от 18 до 83 лет). Большинство пациентов (78,6%) относились к старшей возрастной группе (от 50 до 80 лет). Острая травма плеча, приводящая к появлению болей, наблюдалась у 14 больных (10,9% случаев): бытовая травма — у 5 (4%) больных, травма при падении или ударе, не связанная со спортом, — у 4 (2,9%), травма при занятиях спортом — у 5 (4%). Застарелая травма в анамнезе была у 45 больных (35,2% случаев). У остальных 69 больных (53,9% случаев) не установлено связи между началом болей и эпизодом травмы.

Всем пациентам было проведено комплексное клиничко-лучевое исследование, которое включало в себя: клиничко-визуальный осмотр, оценку уровня боли и ограничения функции с помощью тестов-опросников, рентгенографию плечевого сустава, УЗИ с СЭГ, МРТ, по показаниям дополнительно выполняли МСКТ- или МР-артрографию, лечебно-диагностическую артроскопию.

УЗИ выполнялось по стандартной методике сертифицированным специалистом по УЗИ, подготовленным по тематике костно-мышечных исследований на аппаратах экспертного класса MyLabClassC (ESAOTE), Preirus (Hitachi), EPIC (Philips), оснащенных опцией компрессионной СЭГ. Для исследования применялись высокочастотные датчики (10–18 МГц). Интерпретация УЗ-изображений проводилась совместно врачом ортопедом-травматологом и специалистом по УЗ-диагностике.

Структура СНМ оценивалась по аналогии со способом, предложенным Н. Sugaya [16] для МРТ, но модифицированным для УЗИ: 0 — сухожилие достаточной толщины, однородной структуры, обычной эхогенности, сопоставимое по эхогенности с сухожилием подлопаточной или подостной мышцы (с параллельными линейно расположенными волокнами); 1 — сухожилие утолщено, без прерывистости, но в структуре имеются гипоэхогенные участки (неровные контуры, частичное исчезновение волокнистой структуры, локальные зоны снижения эхогенности, составляющие менее 25% толщины всего сухожилия); 2 — снижение эхогенности на 25% толщины сухожилия (полное исчезновение волокнистой структуры); 3 — сухожилие истончено (менее 0,4 см), как вариант частичного разрыва за счет появления зон прерывистости волокон и анэхогенных участков (признаки частичного разрыва); 4 — сухожилие отсутствует. Диагноз тендинита устанавливался при наличии 1-й

и 2-й степени структурных изменений, частичного разрыва — при наличии 3-й степени, полного разрыва — при наличии 4-й степени изменений.

Качественный анализ СЭГ-изображений СНМ контролировался шкалой качества (QF) на экране монитора. Окно опроса при СЭГ включало в зону интереса трапецевидную мышцу и часть подкожного жира. Определялся тип окрашивания СНМ при СЭГ с помощью 4-балльной цветовой шкалы плотности, где: 0 — сухожилие равномерно окрашено синим цветом; 1 — преобладающий цвет синий, зоны зеленого составляют менее 25%; 2 — преобладающий цвет зеленый; 3 — зона красного или желтого цвета; 4 — линейная полоса красного цвета. Диагноз разрыва СНМ устанавливался при 3-й степени по СЭГ, отсутствие разрыва — при 1-й и 2-й степени картирования при СЭГ, полный разрыв — при наличии 4-го типа. Количественная оценка СЭГ проводилась путем измерения коэффициента деформации (КД), который оценивался в патологически окрашенном участке СНМ по сравнению с дельтовидной мышцей.

Для оценки степени атрофии НМ рассчитывалась площадь, занимаемая брюшком мышцы, по отношению к площади самой надостной ямки (OR) на поперечных косых сканах в В-режиме и в режиме СЭГ. Выраженность атрофии НМ при УЗИ оценивалась согласно 3-балльной шкале, разработанной Н. Thomazeau (1996) [17], где степень 1 диагностировалась при значениях OR от 1 до 0,6 (норма или легкая атрофия), степень 2 — при значениях OR от 0,6 до 0,4 (умеренная атрофия), степень 3 — при значениях OR менее 0,4 (выраженная атрофия).

Статистический анализ проводился с использованием программы MEDCALC. Количественные результаты представлялись в виде среднего арифметического ( $M$ ) и среднеквадратичного отклонения ( $SD$ ), в ряде случаев — медианы и среднеквадратичного отклонения медианы. В исследовании использовались следующие методы обработки данных: ROC-анализ — для поиска порогового значения количественного показателя, при котором наблюдаются наибольшие значения чувствительности и специфичности в рамках рассматриваемой модели; проводилось построение диаграмм рассеивания; однофакторный регрессионный анализ, по результатам которого показатели с уровнем значимости ( $p$ ) меньше или равным 0,2 включались в многофакторный логистический регрессионный анализ — для определения предикторов диагностики разрыва СНМ. Параметры финальной модели определялись с использованием метода исключения («backward»). Выявленные результаты считались статистически значимыми при значении

$p < 0,05$ . Расчет чувствительности и специфичности проводился по формулам: чувствительность (%) = истинно положительный результат / (истинно положительный результат + ложноотрицательный результат)  $\times 100\%$ ; специфичность (%) = истинно отрицательный результат / (истинно отрицательный результат + ложноположительный результат)  $\times 100\%$ .

### Результаты и обсуждение

Разрывы ВМП были выявлены у 69 больных (53,9%): полные — у 13, частичные — у 56 пациентов, из них внутрисуставной тип — у 29, внутрисуставный — у 9, внесуставной — у 8, полнослойный — у 10, хронический тендинит обнаружен у 59 (46,1%), из них кальцифицирующий тендинит — у 9.

Толщина СНМ у 57 пациентов с частичными разрывами составила от 0,43 до 0,86 см (причем у 50 пациентов более 0,54 см). Структура сухожилия при УЗИ в В-режиме у 31 пациента относилась к 3-му типу, у 20 — ко 2-му типу и у 6 — к 1-му типу. Тип картирования при СЭГ у 44 пациентов с разрывами соответствовал 3-му типу, у 12 — 2-му типу и у одного — 1-му типу. У 51 пациента с разрывами КД в патологически окрашенном участке был меньше или равным 1,16, а у 57 больных — меньше или равен 1,9.

Результаты анализа средних значений и стандартного отклонения УЗ-показателей и значимость различий в группах сравнения у пациентов с разрывами ВМП и без разрыва представлена в табл. 1.

Таблица 1

Значения ультразвуковых показателей в группах сравнения

УЗ-показатели	Разрыв СНМ (n = 67)	Нет разрыва (n = 61)	Уровень значимости P
Толщина СНМ, см	0,58 $\pm$ 0,14	0,49 $\pm$ 0,12	P = 0,0002
Структура СНМ (от 0 до 3)	2,50 $\pm$ 0,65	1,29 $\pm$ 0,78	P < 0,0001
Тип СЭГ-картирования в участке СНМ (0-3)	2,79 $\pm$ 0,44	1,29 $\pm$ 0,69	P < 0,0001
Значения КД в патологическом участке СНМ	0,78 $\pm$ 0,41	2,50 $\pm$ 1,43	P < 0,0001
Длина клювовидно-акромиальной связки, см	2,75 $\pm$ 0,29	2,85 $\pm$ 0,28	P = 0,0498

Для оценки информативности каждого из УЗ-параметров в диагностике частичных разрывов и их отсутствия проведена оценка занимаемой площади AUC под ROC-кривыми с определением наиболее значимых предикторов для создания оптимальной диагностической модели выявления разрыва СНМ при УЗИ (табл. 2).

Таблица 2

Значимость ультразвуковых параметров в диагностике частичного разрыва сухожилия надостной мышцы

Показатели (n = 118)	Толщина СНМ	Структура СНМ	Тип СЭГ	Значения КД	Длина КАС
AUC	0,73	0,85	0,93	0,97	0,57
95% ДИ	0,63–0,80	0,77–0,91	0,87–0,97	0,92–0,99	0,47–0,66
Уровень значимости P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,1912
Точность (индекс Юдена)	0,37	0,50	0,75	0,83	0,13
Порог отсечения	≥ 0,50	> 1	> 2	≤ 1,16	≤ 2,7
Чувствительность	75,7	89,29	78,57	91,07	58,93
Специфичность	62,5	61,02	96,61	91,53	54,24

Таблица 3

Информативность УЗ-предикторов диагностики частичного разрыва сухожилия надостной мышцы, в %

Показатели	Толщина СНМ больше или равна 0,50 см	Структура СНМ 2, 3	СЭГ тип 3	Значения КД меньше или равны 1,16
Чувствительность	75,7	89,4	78,3	91,4
Специфичность	62,5	61,2	96,7	91,8
Площадь AUC	0,73	0,86	0,93	0,97
Вероятность наличия	1,6	2,3	22,0	10,9
Вероятность отсутствия	0,2	0,2	0,2	0,1
Предсказуемость положительного теста	60,9	68,9	94,4	91,0
Предсказуемость отрицательного теста	80,5	86,3	81,9	90,3

На основании выявленных закономерностей была составлена модель вероятности диагности-

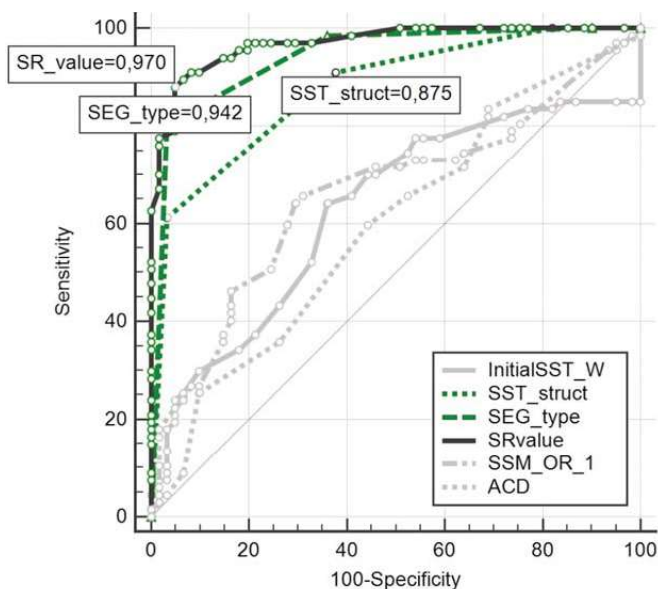


Рисунок. Сопоставление ROC-кривых различных ультразвуковых параметров.

Примечание: SST\_W – толщина СНМ в см, SST\_struct – структура СНМ (от 0 до 3), SEG\_type – тип СЭГ-картирования в участке СНМ (0-3), SR-value – значения КД в патологическом участке СНМ, SSM\_OR\_1 – коэффициент занятости НМ, ACD – длина клювовидно-акромиальной связки в см.

ки частичного разрыва СНМ, включавшая 4 параметра: толщину СНМ более 0,50 см, структуру СНМ – 2-го и 3-го типа, картирование при СЭГ СНМ – 3-й тип, коэффициент деформации при СЭГ ≤ 1,16.

Сравнительный анализ ROC-кривых показал, что информативность комплексного использования данных предикторов разрыва СНМ высокая, площадь AUC под ROC-кривой – 0,99 (95% ДИ 0,95–1,00), уровень значимости P < 0,0001. Точность (индекс Юдена J) – 0,91, чувствительность 94%, специфичность 96%. Сопоставление ROC-кривых различных УЗ-параметров представлено на рисунке.

Благодаря использованию комплекса предикторов и последовательному применению каждого из параметров достигалась информативная диагностика частичного разрыва (табл. 3). Улучшению диагностики частичного разрыва способствовала методика соноэластографии.

Размер разрыва ВМП имеет большое значение при выборе соответствующего лечения, данные о размерах важны также в отношении исхода и дальнейшего прогноза. УЗ-метод имеет информативность, сопоставимую с МРТ, для диагностики пол-

ных или частичных разрывов ВМП. С учетом низкой стоимости УЗИ и доступности метода его можно использовать для скрининга разрывов ВМП. Чувствительность и специфичность базового УЗИ в режиме серой шкалы не превышают 76%. Это связано с тем, что при давнем повреждении сухожилия дефект может быть заполнен соединительной тканью, имеющей пониженную эхогенность в В-режиме, сходную с низкой эхогенностью при дегенеративных процессах или тендинитах. Чувствительность и специфичность УЗИ при полных разрывах в работе D.M. Cullen и соавт. (2007) составили 89 и 100% и 79 и 94% — при частичных [18]. В работе S.A. Teefey и соавт. (2004) было проведено такое сопоставление, и совокупная точность УЗИ составила 87% [19]. По данным A.N. Fotiadou и соавт. (2008), точность составила 98% для полных и 87% для частичных разрывов при УЗИ [20]. Доказано, что если УЗ-исследование проводит опытный ортопед-травматолог во время своего приема, то чувствительность выявления разрыва ВМП сопоставима с чувствительностью МРТ в выявлении разрывов при проведении такого же исследования радиологом [21]. В Европе и США наблюдается тенденция к проведению УЗИ травматологами во время приема, так как это сокращает время обследования пациентов с разрывами ВМП и время выбора соответствующего лечения [22].

Определенный успех и прорыв в ультразвуковой диагностике произошел с появлением методики компрессионной эластографии, использующей принцип сопоставления сжимаемости тканей под влиянием незначительной компрессии, впервые описанный J. Ophir и соавт. (1999) [23]. В основе заложен принцип различного цвета: более плотные участки картируются одним цветом, а мягкие или эластичные — другим цветом. Плотность тканей оценивается в сравнении с референтной тканью (например, жировой). Для исследования плечевого сустава данный метод применим в связи с поверхностной локализацией, доступностью компрессии сухожилий вращательной манжеты и наличием вышележащей мышечной ткани (дельтовидная мышца) для сопоставления сжимаемости. Внедрение ультразвуковой эластографии при исследовании мышечно-скелетной системы обеспечивает новый уровень диагностики патологии ВМП, возможности дифференциальной диагностики тендинитов с дегенеративными изменениями и более точную диагностику частичных разрывов.

Известно, что воспаление и дегенеративные изменения в сухожилии приводят к уменьшению коллагеновых волокон в сухожилии, это проявляется локальным увеличением его плотности и сни-

жением способности к растяжению, что в итоге приводит к разрывам [11,14,24]. Эхогенность сухожилия с наличием дегенеративных изменений практически неотличима от неизменной ткани. Именно этот гистопатологический процесс обуславливает повышение сжимаемости и соответственно более низкие характеристики плотности тканей при тендинозе в режиме СЭГ [11, 14, 25].

В более ранних наших работах и в работах других исследователей отмечалось, что «здоровое» СНМ при СЭГ значительно плотнее мышцы, поэтому окрашивается синим цветом либо синим с включениями зеленого до 25%, «зоны размягчения или разрыва при СЭГ окрашиваются зеленым или красным» [11-15]. СЭГ в отличие от МРТ и стандартного УЗИ в режиме серой шкалы позволяет выявлять зоны частичных разрывов на фоне дегенеративных изменений сухожилия при выявлении 3-го типа картирования СЭГ и значениях КД менее 1,1 с 85% точностью ( $p < 0,05$ ), о чем уже упоминалось в нашей предыдущей работе [14]. Применяя МСКТ-артрографию и артроскопию в качестве референсных методик, положительную корреляцию данных УЗИ, УЗИ с СЭГ и МРТ с результатами референсного метода отмечали в 62,3; 82,9 и 78% случаев соответственно [14].

В настоящей работе дополнительно осуществляли регрессионный анализ УЗ-предикторов разрыва СНМ с учетом данных СЭГ и, используя данную диагностическую модель, проводили анализ информативности УЗ-метода в выявлении разрывов СНМ. Нами был сделан вывод, что при наличии признаков утолщения СНМ при УЗИ более 0,5 см в обязательный алгоритм диагностики включают СЭГ, что повышает выявляемость частичных разрывов СНМ. Статистически значимые различия между всеми изучаемыми УЗ-показателями в исследуемых подгруппах с наличием разрыва СНМ и без него определяют важность оценки параметров толщины СНМ, структуры СНМ, качественных и количественных параметров при СЭГ, а также состояния НМ при СИС и при разрывах ВМП. Использование диагностической модели — толщина СНМ более 0,50 см; структура СНМ — 2-й и 3-й типы; картирование при СЭГ СНМ — 3-й тип; коэффициент деформации при СЭГ меньше или равный 1,16 — позволяет достичь чувствительности 94%, специфичности 96% в выявлении частичного разрыва СНМ.

#### Литература

1. Neer CS. Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1972; 54:41-50.

2. Yamamoto A., Takagishi K., Osawa T. et al. Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. *J. Shoulder Elb. Surg.* 2010; 19(1): 116–20. doi: 10.1016/j.jse.2009.04.006.
3. Rutten M.J., Spaargaren G.J., van Loon T. et al. Detection of rotator cuff tears: the value of MRI following ultrasound. *Eur. Radiol.* 2010; 2: 450–57. doi: 10.1007/s00330-009-1561-9.
4. Bashir S., Firdose S.R., Kamal Y. et al. Correlation between high resolution ultrasonography and MRI in rotator cuff tear diagnosis. *IJHSR.* 2014; 4(8): 103–12.
5. Elnour EFA, Abdalla E.A., Malik B.A., Ayad C.E. Diagnostic value of Sonography and MR Imaging in rotator cuff for patients with shoulder pain. *IOSR J. Dent. Med. Sci.* 2017; 16(9): 65–71.
6. Frey H. Realtime elastography. A new ultrasound procedure for the reconstruction of tissue elasticity. *Radiologe.* 2003; 43: 850–855.
7. Monetti G., Minafra P. The Musculoskeletal Elastography. *MEDIX Suppl.* 2007. Available from: [http://www.hitachi.co.jp/products/healthcare/products-support/contents/medix/pdf/supple/sup\\_12.pdf](http://www.hitachi.co.jp/products/healthcare/products-support/contents/medix/pdf/supple/sup_12.pdf).
8. В.Г. Салтыкова, Г.М. Бурмакова, В.В. Мутьков. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной в диагностике кальцифицирующего тендинита плечевого сустава. Медицинская визуализация. 2013; 6: 78–92 [Saltikova VG, Burmakova GM, Mitkov VV. Ultrasound strain elastography in diagnosis of calcific tendinitis of the shoulder. *Medical visualization* 2013; 6: 8–92. In Russian].
9. BotarJid C., Vasilescu D., Dudea S.M. et al. Ultrasound elastography in musculoskeletal disorders. *Ultraschallin Med;* 2008. Available from: [http://www.hitachimedicalsystems.eu/fileadmin/hitachi\\_en/downloads/hi-rte-publicationsand-communications-clinical-abstracts--musculoskeletalapplications-11-06-10.pdf](http://www.hitachimedicalsystems.eu/fileadmin/hitachi_en/downloads/hi-rte-publicationsand-communications-clinical-abstracts--musculoskeletalapplications-11-06-10.pdf).
10. Lalitha P., Reddy M.Ch., Reddy K.J. Musculoskeletal applications of elastography: a pictorial essay of our initial experience. *Korean J. Radiol.* 2011; 12: 365–375.
11. Seo J-B., Yoo J-S., Ryu J-W. The accuracy of sonoelastography in fatty degeneration of the supraspinatus: a comparison of magnetic resonance imaging and conventional ultrasonography. *J. Ultrasound.* 2014; 17: 279–285. doi:10.1007/s40477-014-0148-8.
12. Brage K., Juul-Kristensen B. Reliability of Sonoelastography to determine stiffness of the supraspinatus tendon in a healthy population—a pilot study. *Dansk Selskab for Skulder og Albue kirurgi;* 2015. Available from: [http://findresearcher.sdu.dk/portal/en/publications/reliability-of-sonoelastography-to-determine-stiffness-of-the-supraspinatus-tendon-in-a-healthy-population-a-pilot-study\(2ef81cba-1780-4e40-8d3c-5e31f6c72b02\)](http://findresearcher.sdu.dk/portal/en/publications/reliability-of-sonoelastography-to-determine-stiffness-of-the-supraspinatus-tendon-in-a-healthy-population-a-pilot-study(2ef81cba-1780-4e40-8d3c-5e31f6c72b02)).
13. Seo J.B., Yoo J.S., Ryu J.W. Sonoelastography findings of supraspinatus tendon in rotator cuff tendinopathy without tear: comparison with magnetic resonance images and conventional ultrasonography. *J. Ultrasound.* 2015; 18: 143–149. doi: 10.1007/s40477-014-0148-8.
14. Гажонова В.Е., Емельяненко М.В., Онищенко М.П., Соина Т.А., Абельцев В.П. Оптимизация лучевого алгоритма при патологии сухожилия надостной мышцы плечевого сустава. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2017; 3: 35–44 [Gazhonova V., Emelianenko M., Onischenko M., Abelcev V. Optimization of diagnostic algorithm of evaluation of supraspinatus tendon pathology. *Kremlin medicine Journal.* 2017; 3: 35–44. In Russian].
15. Гажонова В.Е., Емельяненко М.В., Онищенко М.П. Гибридная технология фьюжн МРТ/УЗИ и эластография в диагностике атрофии и жировой дегенерации надостной мышцы плечевого сустава. Медицинская визуализация. 2017; 5: 112–123. doi:10.24835/1607-0763-2017-5-112-123. [Gazhonova V.E., Emelianenko M.V., Onischenko M.P. Hybrid technology Fusion MRI/US and elastography in Evaluation of muscle atrophy and fatty degeneration of the supraspinatus muscle of the shoulder. *Medical Visualization.* 2017; 5: 112–123. doi:10.24835/1607-0763-2017-5-112-123. In Russian].
16. Sugaya H., Maeda K., Matsuki K., Moriishi J. Repair integrity and functional outcome after arthroscopic double-row rotator cuff repair. A prospective outcome study. *J. Bone Joint. Surg. Am.* 2007; 89: 953–960.
17. Thomazeau H., Rolland Y., Lucas C. et al. Atrophy of the supraspinatus belly: assessment by MRI in 55 patients with rotator cuff pathology. *Acta Orthop. Scand.* 1996; 67: 264–268.
18. Cullen D.M., Bredahl W.H., Janes G.C. Diagnostic accuracy of shoulder ultrasound performed by a single operator. *Australas Radiol.* 2007; 51(3): 226–29.
19. Teefey S.A., Hasan S.A., Middleton W.D. et al. Ultrasonography of the rotator cuff. A comparison of ultrasonographic and arthroscopic findings in one hundred consecutive cases. *J. Bone Joint. Surg. Am.* 2000; 82: 498–504.
20. Kobayashi T., Yamamoto A., Shitara H. et al. Surgeon-Operated In-Office Ultrasonography for the Diagnosis of Rotator Cuff Tears: A Comparison with Magnetic Resonance. *Imaging Surgical Science.* 2013; 4: 6–14.
21. Chiu C.H., Chen P., Chen A.C. et al. Shoulder ultrasonography performed by orthopedic surgeons increases efficiency in diagnosis of rotator cuff tears. *J. Orthoped. Surg. Res.* 2017; 12: 63.
22. Ophir J., Alam S.K., Garra B. et al. Elastography: ultrasonic estimation and imaging of the elastic properties of tissues. *Proc. Inst. Mech. Eng. H.* 1999; 213: 203–33.
23. Parameswaran K., Willems-Widyastuti A., Alagappan V.K. et al. Role of extracellular matrix and its regulators in human airway smooth muscle biology. *Cell. Biochem. Biophys.* 2006; 44: 139–146.
24. Houry V., Cardinal E., Brassard P. Sonography Versus MRI of the Shoulder. *AJR.* 2008; 190: 1105–1111 doi:10.2214/AJR.07.2835

## Для корреспонденции/Corresponding author

Гажонова Вероника Евгеньевна/ Gazhonova Veronika vx969@yandex.ru

Конфликт интересов отсутствует