

Успешный опыт применения ультразвуковой эластографии в дифференциальной диагностике измененных поверхностных лимфатических узлов при лимфоме и метастазах солидных опухолей

Е.В. Ковалева¹, Т.Ю. Данзанова¹, Г.Т. Синюкова¹, Е.А. Гудилина¹, П.И. Лепэдату¹, Г.Ф. Аллахвердиева¹,
П.А. Зейналова¹, В.Б. Ларионова¹, И.В. Колядина²

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России;
Россия, 115478 Москва, Каширское шоссе, 24;

²ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России;
Россия, 125993 Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1

Контакты: Екатерина Вячеславовна Ковалева ek.v.kovaleva@gmail.com

Цель исследования — определить возможности технологии ARFI (Acoustic Radiation Force Impulse), представленной приложениями Virtual Touch™ Tissue Imaging (VTI) и Virtual Touch™ Tissue Quantification (VTQ), в дифференциальной диагностике лимфо-пролиферативных и метастатических изменений поверхностных лимфатических узлов (ЛУ).

Материалы и методы. В проспективное исследование включены 138 пациентов с увеличенными поверхностными ЛУ. На основании ранее проведенного гистологического исследования пациенты были разделены на 2 группы: 1-я (n = 108) — пациенты с неходжкинскими лимфомами и лимфомой Ходжкина; 2-я (n = 30) — пациенты с метастазами солидных (эпителиальных) опухолей в поверхностных ЛУ. Всем пациентам выполнена ультразвуковая эластография измененных ЛУ с применением технологии ARFI. При исследовании VTI оценивали параметр Area Ratio (соотношение площадей), при VTQ — минимальные и средние значения скорости сдвиговой волны.

Результаты. По результатам исследования VTI параметры Area Ratio для измененных ЛУ при лимфоме (1-я группа) и при метастатическом поражении (2-я группа) составили $1,031 \pm 0,197$ и $0,851 \pm 0,15$ соответственно ($p = 0,00009$). Чувствительность, специфичность и точность при пороговом значении Area Ratio на уровне 0,901 составили 80,6; 70,0 и 78,8 % соответственно. Минимальные значения скорости сдвиговой волны у пациентов 1-й и 2-й групп достоверно различались: $1,980 \pm 0,557$ и $2,214 \pm 0,367$ м/с соответственно ($p = 0,032$). Пороговое значение минимальной скорости сдвиговой волны в дифференциальной диагностике лимфомы и метастазов определено на уровне 2,00 м/с с чувствительностью 70,0 %, специфичностью 59,3 % и точностью 61,6 %.

Заключение. Ультразвуковая эластография с использованием технологии ARFI продемонстрировала статистически достоверные различия в показателях параметра Area Ratio (при VTI) и минимальной скорости сдвиговой волны (при VTQ) в измененных поверхностных ЛУ при лимфоме и метастазах, что может быть использовано в качестве предварительной неинвазивной дифференциальной диагностики. При этом параметр Area Ratio имеет статистически более значимое влияние на дифференциальную диагностику лимфо-пролиферативного и метастатического поражения.

Ключевые слова: ультразвуковая эластография, технология ARFI, лимфома, лимфатические узлы, метастазы, метастатическая лимфаденопатия

Для цитирования: Ковалева Е.В., Данзанова Т.Ю., Синюкова Г.Т. и др. Успешный опыт применения ультразвуковой эластографии в дифференциальной диагностике измененных поверхностных лимфатических узлов при лимфоме и метастазах солидных опухолей. Онкогематология 2020;15(2):42–8.

DOI: 10.17650/1818-8346-2020-15-2-42-48



Successful experience in the use of ultrasound elastography in the differentiating of lymphomatous and metastatic superficial lymphadenopathy

E. V. Kovaleva¹, T. Yu. Danzanova¹, G. T. Sinyukova¹, E. A. Gudilina¹, P. I. Lepedatu¹, G. F. Allahverdieva¹, P. A. Zeynalova¹,
V. B. Larionova¹, I. V. Kolyadina²

¹N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia; 24 Kashirskoe Shosse, Moscow 115478, Russia;

²Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of Russia; Build. 1, 2/1 Barrikadnaya St.,
Moscow 125993, Russia

The objective: to evaluate the possibilities of ARFI technology (Acoustic Radiation Force Impulse), including Virtual Touch™ Tissue Imaging (VTI) and Virtual Touch™ Tissue Quantification (VTQ) for differentiation of lymphomatous and metastatic superficial lymphadenopathy.

Materials and methods. The prospective study included 138 patients with enlarged superficial lymph nodes (LN). Based on a previous histological examination, patients were divided into two groups: 1st group (n = 108) — patients with non-Hodgkin's lymphomas and Hodgkin's

lymphoma; 2nd group ($n = 30$) — patients with metastasis of solid tumors in superficial LN. All patients underwent ultrasound elastography of the enlarged LN using ARFI technology. In VTI study the Area Ratio parameter was evaluated, and the minimum and average values of the shear wave velocity were estimated in VTQ study.

Results. According to the results of VTI study the Area Ratio parameter for enlarged LN in lymphoma (1st group) and for metastatic lymphadenopathy (2nd group) were 1.031 ± 0.197 and 0.851 ± 0.15 , respectively ($p = 0.000009$). The cut off value of the Area Ratio parameter was 0.901 with sensitivity, specificity and accuracy 80.6, 70.0 and 78.8 %, respectively. Minimum values of shear wave velocities for 1st and 2nd groups were 1.980 ± 0.557 and 2.214 ± 0.367 m/s, respectively ($p = 0.032$). The cut off values of the average shear wave velocity in the differentiating of lymphomatous and metastatic lymphadenopathy are determined at the level of 2.00 m/s, with sensitivity of 70.0 %, specificity of 59.3 %, and accuracy of 61.6 %.

Conclusion. Ultrasound elastography with ARFI technology demonstrated statistically significant differences in the Area Ratio parameter and in the minimum shear wave velocity in the enlarged superficial LN in lymphoma and with metastasis that can be used as a preliminary non-invasive differential diagnosis of enlarged superficial LN in these conditions. Moreover, the Area Ratio parameter has a statistically more significant effect on differentiating of lymphomatous and metastatic lymphadenopathy.

Key words: ultrasound elastography, ARFI technology, lymphoma, lymph nodes, metastasis, metastatic lymphadenopathy

For citation: Kovaleva E. V., Danzanova T. Yu., Sinyukova G. T. et al. Successful experience in the use of ultrasound elastography in the differentiating of lymphomatous and metastatic superficial lymphadenopathy. *Onkogematologiya = Oncohematology* 2020;15(2):42–8. (In Russ.).

Введение

Неинвазивная дифференциальная диагностика доброкачественных и злокачественных поражений лимфатических узлов (ЛУ) имеет важное значение в своевременном определении тактики ведения пациентов. [1]. В данном вопросе, согласно международным публикациям, ультразвуковая эластография обладает лучшими диагностическими характеристиками, чем ультразвуковое исследование с контрастным усилением [2, 3]. Согласно рекомендациям Европейского общества специалистов по ультразвуковой диагностике в медицине и биологии (EFSUMB) ультразвуковую эластографию целесообразно использовать при исследовании поверхностно расположенных ЛУ [1].

Ультразвуковая эластография сдвиговой волной — метод количественной оценки жесткости тканей путем использования специальных усиленных ультразвуковых импульсов (группы импульсов), которые вызывают в тканях вторичные сдвиговые волны, имеющие поперечное направление по отношению к первичным импульсам [4]. Скорость распространения сдвиговых волн прямо пропорциональна жесткости тканей [5, 6]. Выделяют точечную и двумерную эластографию сдвиговой волной.

Точечная эластография сдвиговой волной позволяет оценивать скорость сдвиговой волны в зоне интереса, которую под контролем серошкальной эхографии мы можем установить в интересующий нас участок органа, ткани или образования [7]. Технология ARFI (Acoustic Radiation Force Impulse) — один из видов точечной ультразвуковой эластографии, который может количественно и качественно оценить жесткость тканей без их внешней компрессии [8]. Технология ARFI представлена 2 приложениями: методом качественной оценки ткани — Virtual Touch™ Tissue Imaging (VTI); методом количественного анализа ткани — Virtual Touch™ Tissue Quantification (VTQ) [9].

Суть метода VTQ заключается в том, что ультразвуковой датчик генерирует сфокусированные вы-

сокоинтенсивные кратковременные акустические импульсы и отслеживает распространение их для вычисления значения скорости сдвиговой волны, выраженного в м/с [8]. Изображение, полученное с помощью приложения VTI, представляет собой качественное серошкальное изображение относительной жесткости ткани (эластограмму) в выбранной зоне интереса [9]. Это изображение генерируется путем измерения относительных смещений структур ткани под воздействием акустического импульса [9].

В мире насчитываются единичные публикации, посвященные оценке возможностей технологии ARFI в дифференциальной диагностике лимфопролиферативных и метастатических изменений поверхностных ЛУ. В большинстве работ данные нозологические формы были включены в единую группу злокачественных поражений ЛУ в целях их дальнейшей дифференцировки с доброкачественными изменениями ЛУ.

Цель исследования — оценить возможности точечной ультразвуковой эластографии, представленной технологией ARFI (VTI и VTQ), в дифференциальной диагностике лимфопролиферативных и метастатических изменений поверхностных ЛУ.

Материалы и методы

В проспективное исследование на базе НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина были включены 138 пациентов с увеличенными поверхностными ЛУ. На основании результатов ранее проведенного гистологического исследования пациенты были разделены на 2 группы: 1-я ($n = 108$) — пациенты с неходжкинскими лимфомами и лимфомой Ходжкина; 2-я ($n = 30$) — пациенты с метастазами солидных опухолей в поверхностных ЛУ. Средний возраст пациентов 1-й группы составил $38,3 \pm 14,0$ года, 2-й — $49,4 \pm 12,9$ года ($p = 0,0001$).

В 1-ю группу включены 72 (66,7 %) пациента с лимфомой Ходжкина и 36 (33,3 %) — с неходжкинской лимфомой (диффузная В-крупноклеточная лимфома ($n = 14$), фолликулярная лимфома ($n = 7$),

лимфома из клеток маргинальной зоны ($n = 5$), В-клеточная лимфома из малых лимфоцитов ($n = 4$), лимфома Беркитта ($n = 4$), Т-клеточная лимфома ($n = 4$)). У пациентов 2-й группы были выявлены метастазы эпителиальных опухолей следующих гистологических видов: аденокарциномы (50,0 %), плоскоклеточного рака (36,7 %), мелкоклеточного рака (13,3 %).

Ультразвуковые исследования выполняли на аппарате Siemens Acuson S2000, оснащенный технологией ARFI, представленной приложениями VTI и VTQ, с использованием высокочастотных линейных датчиков с частотой 4–9 МГц. При проведении эластографии периферических ЛУ использовали укладку, соответствующую расположению зоны интереса [10]. Для стандартизации методики рекомендуется выполнять исследование при положении пациента на твердой ровной поверхности, желательно в положении лежа [10]. Для проведения ультразвуковой эластографии в В-режиме и при цветовом доплеровском картировании были определены те измененные поверхностные ЛУ, которые соответствовали одному или нескольким признакам:

- увеличение размеров;
- форма (овальная/круглая/неправильная);
- гипоехогенная структура без гиперэхогенного синуса;
- неравномерное утолщение коркового вещества с деформированным гиперэхогенным синусом;
- усиление кровотока в структуре ЛУ;
- расположение на расстоянии не менее 1 см от сосудистых структур.

Техника VTI осуществляется следующим образом. Ультразвуковой датчик устанавливают перпендикулярно исследуемому ЛУ и окружающим его тканям с минимальным давлением. Затем после нажатия кнопки

“update” генерируется серошкала эластограмма справа от изображения в В-режиме. С помощью специализированного инструмента Area Ratio (соотношение площадей) на ультразвуковом аппарате определяется контур ЛУ на изображении в В-режиме и на эластограмме с последующим получением числового значения, соответствующего отношению площади ЛУ в В-режиме к его площади на эластограмме.

При измерении скорости сдвиговой волны с помощью приложения VTQ датчик устанавливали перпендикулярно исследуемой области, окно интереса – в зону измененного ЛУ. Для получения достоверного среднего значения скорости сдвиговой волны проводили не менее 10 измерений. Среди спектра полученных числовых значений скорости сдвиговой волны выбирали минимальный показатель.

Результаты

У пациентов 1-й группы целевые измененные ЛУ располагались в следующих областях: надключичных (54,5 %), подмышечных (23,1 %), в области шеи (10,2 %), подключичных (4,6 %), подчелюстных (3,8 %), паховых (3,8 %). Исследуемые целевые ЛУ у пациентов из 2-й группы визуализировались в подмышечных (33,4 %), подчелюстных (30,0 %), надключичных (20,0 %), паховых (10,0 %), подключичных (3,3 %) областях, в подбородочной области (3,3 %).

При проведении VTI были определены средние значения параметра Area Ratio для измененных ЛУ у пациентов 1-й и 2-й групп, которые составили $1,031 \pm 0,197$ и $0,851 \pm 0,15$ соответственно ($p = 0,000009$) (рис. 1, 2).

Для определения критического значения параметра Area Ratio в целях дифференциальной диагностики лимфомы и метастазов мы провели анализ ROC-кривой (рис. 3).

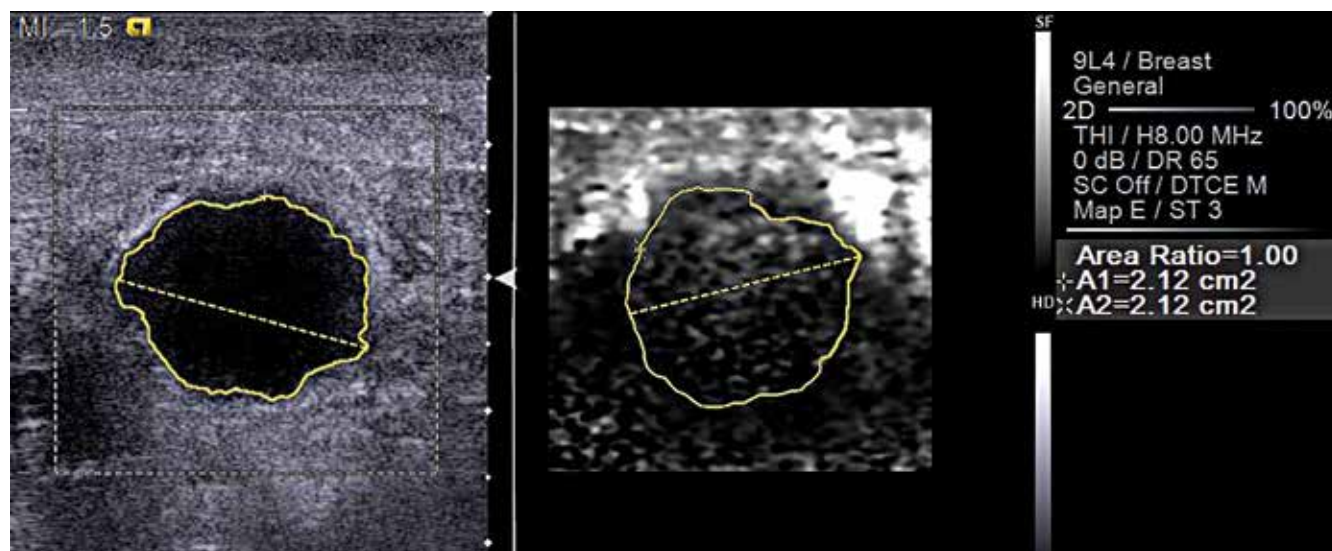


Рис. 1. Исследование VTI (Virtual Touch™ Tissue Imaging) пахового лимфатического узла с лимфопролиферативным поражением с определением параметра Area Ratio

Fig. 1. VTI (Virtual Touch™ Tissue Imaging) of inguinal lymph node with lymphoma using Area Ratio parameter

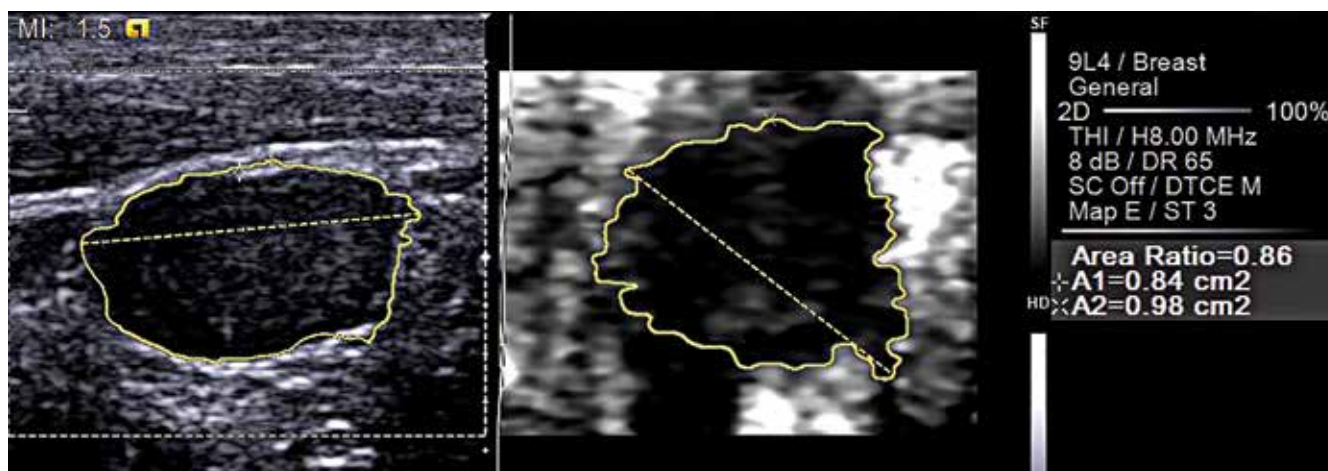


Рис. 2. Исследование VTI (Virtual Touch™ Tissue Imaging) надключичного лимфатического узла с метастатическим поражением при раке легкого (аденокарцинома) с определением параметра Area Ratio

Fig. 2. VTI (Virtual Touch™ Tissue Imaging) of metastatic supraclavicular lymph node in patient with lung cancer (adenocarcinoma) using Area Ratio parameter

Пороговое значение параметра Area Ratio оказалось равным 0,901, выше которого вероятность лимфопролиферативного поражения измененного поверхностного ЛУ увеличивалась. Чувствительность, специфичность и точность составили 80,6; 70,0 и 78,8 % соответственно; площадь под кривой – 0,793 ($p = 0,0001$).

Средние и минимальные показатели скорости сдвиговой волны, измеренные с помощью технологии ARFI, в исследуемых ЛУ у пациентов 1-й и 2-й групп представлены в таблице.

Средние и минимальные показатели скорости сдвиговой волны в исследуемых поверхностных лимфатических узлах у пациентов 1-й и 2-й групп

The average and minimum shear wave velocity in superficial lymph nodes in 1st and 2nd groups of patients

Скорость сдвиговой волны Shear wave velocity	1-я группа (n = 108) 1 st group (n = 108)	2-я группа (n = 30) 2 nd group (n = 30)	p
Средняя, м/с Average, m/s	2,616 ± 0,684	2,809 ± 0,654	0,169
Минимальная, м/с Minimum, m/s	1,980 ± 0,557	2,214 ± 0,367	0,032

Из таблицы видно, что показатели минимальной скорости сдвиговой волны в ЛУ при лимфопролиферативном и метастатическом поражении достоверно различаются ($p = 0,032$), в отличие от показателей средней скорости сдвиговой волны (рис. 4, 5).

Для определения порогового значения минимальной скорости сдвиговой волны, больше которого вероятность метастатического поражения поверхностного ЛУ была выше, и для оценки информативности выявленного значения была построена ROC-кривая

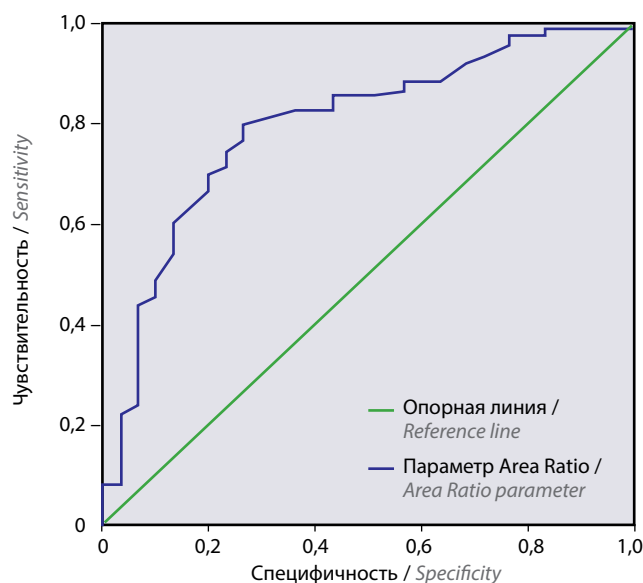


Рис. 3. ROC-кривая информативности параметра Area Ratio в определении лимфопролиферативного поражения поверхностных лимфатических узлов по отношению к метастатическому

Fig. 3. ROC curve of Area Ratio parameter informativeness in the differentiation of lymphoproliferative and metastatic changes of superficial lymph nodes

(рис. 6). Характеристика ROC-кривой для диагностики метастазов в поверхностных ЛУ: площадь под кривой – 0,666 ($p = 0,005$). Точка отсечения минимального значения скорости сдвиговой волны составила 2,00 м/с с чувствительностью 70,0 %, специфичностью 59,3 % и точностью 61,6 %.

Таким образом, для минимальной скорости сдвиговой волны и параметра Area Ratio, имеющих статистически значимое влияние на дифференциальную диагностику лимфопролиферативного и метастатического поражения, выбраны пороговые значения, соответствующие оптимальному соотношению чувствительности и специфичности. Показатель параметра Area Ratio оказался более информативным.

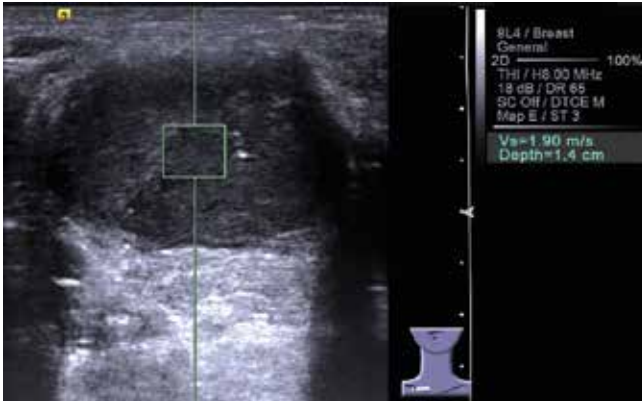


Рис. 4. Исследование VTQ (Virtual Touch™ Tissue Quantification) измененного надключичного лимфатического узла при лимфоме Ходжкина
Fig. 4. VTQ (Virtual Touch™ Tissue Quantification) of affected supraclavicular lymph node in patient with Hodgkin's lymphoma

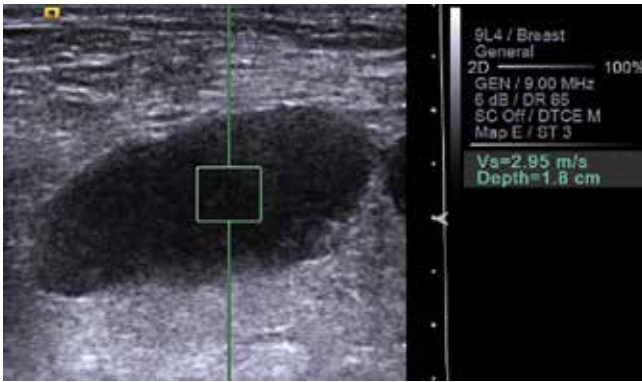


Рис. 5. Исследование VTQ (Virtual Touch™ Tissue Quantification) подмышечного лимфатического узла с метастатическим поражением при раке желудка (аденокарцинома)
Fig. 5. VTQ (Virtual Touch™ Tissue Quantification) of metastatic axillary lymph node in patient with stomach cancer (adenocarcinoma)

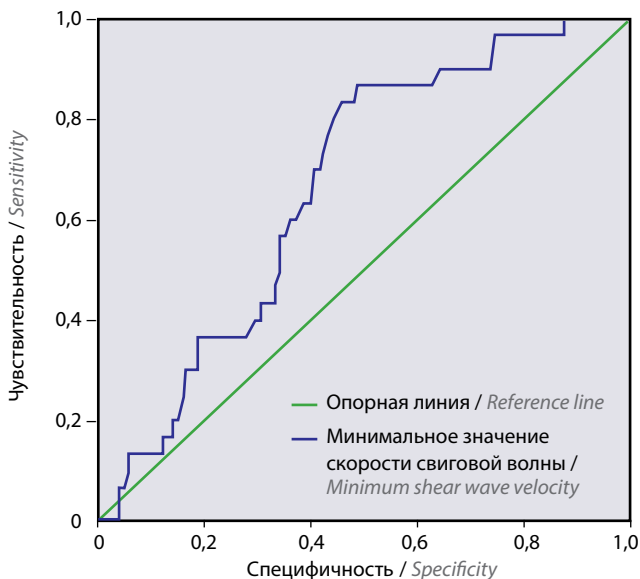


Рис. 6. ROC-кривая информативности минимальной скорости сдвиговой волны в определении метастатического поражения поверхностных лимфатических узлов по отношению к лимфопролиферативному
Fig. 6. ROC curve of minimum shear wave velocity informativeness in the differentiation of metastatic and lymphoproliferative changes of superficial lymph nodes

Обсуждение

В зарубежных и отечественных публикациях, посвященных ультразвуковой эластографии, особое внимание уделяется применению данной методики в дифференциальной диагностике злокачественных и доброкачественных изменений поверхностных ЛУ. В большинстве международных источников ЛУ с лимфопротрофическими изменениями всегда включались в группу злокачественных поражений совместно с метастазами. Так, в исследование J. Helman и соавт. были включены 99 пациентов с увеличенными шейными ЛУ при злокачественном поражении (лимфома ($n = 20$), метастазы ($n = 36$)) и при доброкачественном процессе ($n = 43$). При оценке эластических свойств исследуемых ЛУ было выявлено, что показатели жесткости в группе злокачественных поражений достоверно выше, чем в группе доброкачественных изменений ($p < 0,0001$). Следует отметить, что лимфомы нарушали структуру группы со злокачественными новообразованиями [11].

Аналогично D.K. Teng и соавт. в своей работе объединили измененные шейные ЛУ при лимфоме ($n = 5$) и метастазах ($n = 10$) в одну группу для дальнейшего сравнения коэффициента жесткости с таковым в группе доброкачественных изменений поверхностных ЛУ в области шеи. Пороговое значение коэффициента жесткости составило 1,78, выше которого увеличивалась вероятность злокачественного поражения ЛУ. Были выявлены высокие показатели чувствительности и специфичности для ассоциированной точки отсечения (98,1 и 84,3 % соответственно), но низкая специфичность (64,9 %) в связи с неоднородностью исследуемых групп [12].

Возможности технологии ARFI в дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных поражений ЛУ были оценены P. Zhang и соавт. с помощью метаанализа 9 работ, посвященных данной тематике. В исследование были включены 1084 увеличенных ЛУ у 929 пациентов. Общие чувствительность и специфичность технологии ARFI в выявлении злокачественных поражений поверхностных ЛУ составили 0,87 (95 % доверительный интервал (ДИ) 0,83–0,91) и 0,88 (95 % ДИ 0,82–0,92) соответственно; площадь под кривой – 0,93 (95 % ДИ 0,90–0,95) [13]. Точка отсечения для средней скорости сдвиговой волны, выше которой увеличивался риск злокачественной природы ЛУ, варьировалась от 1,9 м/с в исследованиях T. Fujiwara и соавт. [14] и L.J. Liu и соавт. [15] до 4,645 м/с в работе S. Chen и соавт. [16]. В исследовании G. Azizi и соавт. [17] помимо средней скорости сдвиговой волны оценивалась максимальная скорость, пороговое значение которой составило 2,93 м/с с высокими показателями чувствительности и специфичности (92,59 и 75,46 % соответственно).

В единичных работах все же проводился сравнительный анализ между лимфопротрофическими и метастатическими изменениями ЛУ. В работе F. Zhang

и соавт. сравнивались средние значения скорости сдвиговой волны в 97 поверхностных ЛУ со злокачественным поражением (метастазы (38 ЛУ), лимфома (36 ЛУ)) и доброкачественными изменениями (23 ЛУ). В результате было выявлено, что в ЛУ с метастатическими изменениями средняя скорость сдвиговой волны была значительно выше (2,90 м/с), чем при лимфопротиферативных (2,52 м/с) ($p < 0,05$) [18]. Пороговое значение средней скорости сдвиговой волны составило 3,44 м/с между метастазами и лимфомой с высокой специфичностью 94,44 %, но с низкими чувствительностью и точностью (39,47 и 66,22 % соответственно) [18].

В исследовании S. Chen и соавт. было выявлено, что скорость средней сдвиговой волны при метастатическом поражении ЛУ была достоверно выше, чем при лимфоме ($7,970 \pm 0,639$ и $6,148 \pm 1,411$ м/с соответственно; $p < 0,001$), с наиболее оптимальным пороговым значением скорости сдвиговой волны 7,302 м/с (чувствительность 88,5 %, специфичность 81,5 %) [16]. В работе S.Y. Chae и соавт. средние значения скорости сдвиговой волны для измененных ЛУ при лимфоме и метастазах достоверно различались и составили 3,49 и 5,63 м/с ($p < 0,001$). Ассоциированное пороговое значение средней скорости сдвиговой волны в дифференциальной диагностике лимфопротиферативных и метастатических изменений ЛУ было зафиксировано на показателе 1,915 м/с с точностью, чувствительностью, специфичностью, положительным и отрицательным прогностическими значениями 83,33; 84,0; 81,25; 88,0 и 76,47 % соответственно ($p < 0,001$) [19].

D. Che и соавт. в своем предварительном исследовании впервые оценили возможности параметра Area Ratio в дифференциальной диагностике метастатичес-

кого и доброкачественного поражения ЛУ шеи. В отличие от нашего исследования параметр Area Ratio был определен как отношение площади контура ЛУ на эластограмме к площади контура ЛУ в В-режиме (в нашем исследовании, наоборот, площадь в В-режиме/площадь на эластограмме). Средние значения параметра Area Ratio для метастазов и доброкачественных процессов достоверно различались и составили $1,39 \pm 0,20$ и $1,05 \pm 0,15$ ($p < 0,001$) [20]. Чувствительность и специфичность оказались равными 91,1 и 83,3 % соответственно при оптимальной точке отсечения 1,16, выше которой вероятность метастатического поражения увеличивалась [20].

Заключение

Обобщенные результаты вышеописанных исследований совпадают с полученными нами данными, свидетельствующими о более жесткой структуре ЛУ с метастатическими изменениями, в отличие от ЛУ с лимфопротиферативными изменениями. Использование минимального значения скорости сдвиговой волны в качестве диагностического критерия данных нозологий не упоминалось ни в одной из публикаций. Параметр Area Ratio также не применялся для дифференциальной диагностики измененных ЛУ при лимфоме и метастазах, что свидетельствует о пилотном характере нашего исследования. Таким образом, технология ARFI, представленная приложениями VT1 и VTQ, с оценкой таких параметров, как Area Ratio и минимальная скорость сдвиговой волны, является многообещающей в дифференциальной диагностике различных состояний, вызывающих увеличение поверхностных ЛУ.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Săftoiu A., Gilja O.H., Sidhu P.S. et al. The EFSUMB Guidelines and recommendations for the clinical practice of elastography in non-hepatic applications: update 2018. *Ultraschall Med* 2019;40(4):425–53. DOI: 10.1055/a-0838-9937.
2. Sidhu P.S. Ultrasound collaboration across Europe: an EFSUMB success story in politically troubled times? *Ultraschall Med* 2016;37(5):451–2. DOI: 10.1055/s-0042-116210.
3. Tan S., Miao L.Y., Cui L.G. et al. Value of shear wave elastography versus contrast-enhanced sonography for differentiating benign and malignant superficial lymphadenopathy unexplained by conventional sonography. *J Ultrasound Med* 2017;36(1):189–99. DOI: 10.7863/ultra.16.01014.
4. Ковалева Е.В., Данзанова Т.Ю., Синюкова Г.Т. и др. Успешный опыт применения ультразвуковой эластографии в подходе к предварительной промежуточной оценке эффективности лечения больных лимфомой Ходжкина. *Онкогематология* 2019;14(4):40–6. DOI: 10.17650/1818-8346-2019-14-4-40-46. [Kovaleva E.V., Danzanova T.Yu., Sinyukova G.T. et al. Successful use of ultrasound elastography in the preliminary intermediate evaluation of therapeutic response in patients with Hodgkin's lymphoma. *Onkogematologiya = Oncohematology* 2019;14(4):40–6. (In Russ.)].
5. Алымов Ю.В., Шолохов В.Н., Подвызников С.О. и др. Новые возможности ультразвуковой оценки состояния лимфатических узлов шеи при раке слизистой оболочки полости рта. *Опухоли головы и шеи* 2016;1(6):33–8. DOI: 10.17650/2222-1468-2016-6-1-33-38. [Alymov Yu.V., Sholokhov V.N., Podvyaznikov S.O. et al. Up-to-date opportunities of cervical lymph nodes ultrasound investigation in patients, suffering from oral cavity cancer. *Opukholy golovy i shei = Head and Neck Tumors* 2016;1(6):33–8. (In Russ.)].
6. Ковалева Е.В., Данзанова Т.Ю., Синюкова Г.Т. и др. Мультипараметрическая ультразвуковая диагностика измененных лимфатических узлов при первично-множественных злокачественных опухолях, включающих рак молочной железы и лимфому. *Злокачественные опухоли* 2018;8(4):37–44. DOI: 10.18027/2224-5057-2018-8-4-37-44. [Kovaleva E.V., Danzanova T.Yu. et al. Multiparametric ultrasound diagnosis of metastatic and lymphoproliferative changes in lymph nodes in primary multiple malignant tumors, including breast cancer and lymphoma. *Zlokachestvennyye opukholy = Malignant Tumours* 2018;8(4):37–44. (In Russ.)].
7. Митков В.В., Митькова М.Д. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной. *Ультразвуковая и функциональная*

- диагностика 2015;(2):94–108.
[Mitkov V.V., Mitkova M.D. Ultrasound shear wave elastography. Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika = Ultrasound and Functional Diagnostics 2015;(2):94–108. (In Russ.)].
8. D'Onofrio M., Crosara S., De Robertis R. et al. Acoustic radiation force impulse of the liver. *World J Gastroenterol* 2013;19(30): 4841–9. DOI: 10.3748/wjg.v19.i30.4841.
 9. Вишленкова Е.А. Эластометрия и эластография в комплексной оценке эффективности химиотерапии метастазов колоректального рака в печени. Дис. ... канд. мед. наук. М., 2014. 111 с. [Vishlenkova E.A. Elastometry and elastography of colorectal liver metastasis in complex assessment of chemotherapy effect. Thesis ... candidate of medical sciences. Moscow, 2014. 111 p. (In Russ.)].
 10. Борсуков А.В., Амосов В.И., Бусько Е.А. и др. Рекомендации по стандартизированной методике компрессионной эластографии молочной железы, щитовидной железы, регионарных лимфатических узлов, внеорганных образований и при эндосонографии. Смоленск: ПНИЛ СГМУ, 2015. С. 36. [Borsukov A.V., Amosov V.I., Bus'ko E.A. et al. Recommendations on the standardized technique of strain elastography of the breast, thyroid, regional lymph nodes, extraorgan lesions and endosonography. Smolensk: PNIЛ SGMU, 2015. P. 36. (In Russ.)].
 11. Helman J., Sedláčková Z., Fürst T. et al. The role of ultrasound and shear-wave elastography in evaluation of cervical lymph nodes. *Hindawi BioMed Res Int* 2019;4318251. DOI: 10.1155/2019/4318251.
 12. Teng D.K., Wang H., Lin Y.Q. et al. Value of ultrasound elastography in assessment of enlarged cervical lymph nodes. *Asian Pac J Cancer Prev* 2012;13(5):2081–5. DOI: 10.7314/APJCP.2012.13.5.2081.
 13. Zhang P., Zhang L., Zheng S. et al. Acoustic radiation force impulse imaging for the differentiation of benign and malignant lymph nodes: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2016;11(11):e0166716. DOI: 10.1371/journal.pone.0166716.
 14. Fujiwara T., Tomokuni J., Iwanaga K. et al. Acoustic radiation force impulse imaging for reactive and malignant/metastatic cervical lymph nodes. *Ultrasound Med Biol* 2013;39(7):1178–83. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2013.02.001.
 15. Liu L.J., Xu X.H., Yang Y.G. et al. Value of virtual touch tissue quantification of acoustic radiation force impulse elastography in differential diagnosis of cervical lymph nodes. *J Clin Ultrasound Med* 2015;17:379–81.
 16. Chen S., Lin X., Chen X. et al. Noninvasive evaluation of benign and malignant superficial lymph nodes by virtual touch tissue quantification: a pilot study. *J Ultrasound Med* 2016;35(3):571–5. DOI: 10.7863/ultra.15.05053.
 17. Azizi G., Keller J.M., Mayo M.L. et al. Shear wave elastography and cervical lymph nodes: predicting malignancy. *Ultrasound Med Biol* 2016;42:1273–81. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.01.012.
 18. Zhang F., Zhao X., Ji X. et al. Diagnostic value of acoustic radiation force impulse imaging for assessing superficial lymph nodes. *Medicine* 2017;96(43):e8125. DOI: 10.1097/MD.00000000000008125.
 19. Chae S.Y., Jung H.N., Ryoo I. et al. Differentiating cervical metastatic lymphadenopathy and lymphoma by shear wave elastography. *Sci Rep* 2019;9(1):12396. DOI: 10.1038/s41598-019-48705-0.
 20. Che D., Zhou X., Sun M.L. et al. Differentiation of metastatic cervical lymph nodes with ultrasound elastography by virtual touch tissue quantification. *J Ultrasound Med* 2015;34(1):37–42. DOI: 10.7863/ultra.34.1.37.

Вклад авторов

Е.В. Ковалева: разработка дизайна исследования, написание текста рукописи, анализ данных, обзор публикаций по теме статьи;
Т.Ю. Данзанова: разработка дизайна исследования, редактирование рукописи;
Г.Т. Синюкова, Е.А. Гудилина: разработка дизайна исследования;
П.И. Лепедату, Г.Ф. Аллахвердиева, П.А. Зейналова, И.В. Колядина: получение данных для анализа;
В.Б. Ларионова: редактирование рукописи, получение данных для анализа.

Authors' contributions

E.V. Kovaleva: study design development, article writing, data analysis, review of publications on the article topic;
T.Yu. Danzanova: study design development, article editing;
G.T. Sinyukova, E.A. Gudilina: study design development;
P.I. Lepedatu, G.F. Allahverdieva, P.A. Zeynalova, I.V. Kolyadina: data collection;
V.B. Larionova: article editing, data collection.

ORCID авторов / ORCID of authors

Е.В. Ковалева / E.V. Kovaleva: <https://orcid.org/0000-0003-4567-9160>
Т.Ю. Данзанова / T.Yu. Danzanova: <https://orcid.org/0000-0002-6171-6796>
Г.Т. Синюкова / G.T. Sinyukova: <https://orcid.org/0000-0002-5697-9268>
Е.А. Гудилина / E.A. Gudilina: <https://orcid.org/0000-0003-0653-3820>
П.И. Лепедату / P.I. Lepedatu: <https://orcid.org/0000-0001-7846-1788>
Г.Ф. Аллахвердиева / G.F. Allahverdieva: <https://orcid.org/0000-0001-5910-5892>
П.А. Зейналова / P.A. Zeinalova: <https://orcid.org/0000-0003-1564-424X>
В.Б. Ларионова / V.B. Larionova: <https://orcid.org/0000-0002-4614-606X>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики

Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.

Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Compliance with patient rights and principles of bioethics

The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia. All patients gave written informed consent to participate in the study.

Статья поступила: 15.01.2020. Принята к публикации: 23.02.2020.

Article submitted: 15.01.2020. Accepted for publication: 23.02.2020.