



УДК 616-053.32+616.24-073.96+611.24+004.932.2+534.64+614.253.81

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА КОМПРЕССИОННОЙ ЭЛАСТОГРАФИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ НОВОРОЖДЕННЫХ

© Елена Владимировна Синельникова, Артур Ильгизович Имельбаев, Эмилия Наумовна Столова, Анна Александровна Веретенникова, Евгения Александровна Кучина, Зарифат Расимовна Исаева, Алиса Дмитриевна Перерослая

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2

Контактная информация: Елена Владимировна Синельникова — д.м.н., заведующая кафедрой лучевой диагностики и биомедицинской визуализации ФП и ДПО. E-mail: sinelnikovae@gmail.com

Поступила: 15.04.2021

Одобрена: 17.05.2021

Принята к печати: 14.06.2021

Резюме. В статье рассматривается возможность использования метода компрессионной эластографии в оценке состояния легочной ткани при патологических изменениях в легких у детей, находящихся в отделении патологии новорожденных. Выявлены достоверные различия показателей эластичности легких у детей с бронхолегочной дисплазией, респираторным дистресс-синдромом по сравнению с легкими здоровых младенцев.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование легких; эластография легких; бронхолегочная дисплазия; интерстициальные заболевания легких; новорожденные; безопасность пациентов.

LUNG STRAIN ELASTOGRAPHY IN DIAGNOSING NEONATAL PULMONARY DISEASES

© Elena V. Sinelnikova, Artur I. Imelbaev, Emiliya N. Stolova, Anna A. Veretennikova, Evgeniya A. Kuchina, Zarifat R. Isaeva, Alisa D. Pereroslaya

Saint-Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, Saint-Petersburg, Litovskaya str., 2

Contact information: Elena V. Sinelnikova — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Radiology and Biomedical Imaging. E-mail: sinelnikovae@gmail.com

Received: 15.04.2021

Revised: 17.05.2021

Accepted: 14.06.2021

Abstract. In this paper, we observe the possibility of the method of strain elastography in assessing the state of the lung tissue with changes in the lungs in infants in the department of neonatal pathology. Differences in the indicators of lung elasticity in children with bronchopulmonary dysplasia, respiratory distress syndrome compared with the lungs of healthy infants were revealed

Key words: lung ultrasound; lung strain elastography; bronchopulmonary dysplasia; infant lungs; patient safety.

ВВЕДЕНИЕ

Патология бронхолегочной системы многие годы сохраняет свои лидирующие позиции среди причин заболеваемости и смертности новорожденных [4, 13].

Бронхолегочная дисплазия (БЛД) — это полиэтиологическое хроническое заболевание морфологически незрелых легких, развивающееся у

новорожденных, главным образом, глубоко недоношенных детей, в результате интенсивной терапии респираторного дистресс-синдрома (РДС) и/или пневмонии. Протекает с преимущественным поражением бронхиол и паренхимы легких, развитием эмфиземы, фиброза и/или нарушением репликации альвеол. Проявляется зависимостью от кислорода в возрасте 28 суток жизни и старше, бронхообструктивным синдромом и симптомами

дыхательной недостаточности; характеризуется специфичными рентгенографическими изменениями в первые месяцы жизни и регрессом клинических проявлений по мере роста ребенка [2, 10, 11, 13]. Использование современных методов терапии (сурфактанта, СРАР) привело к формированию новой формы БЛД, развивающейся у детей с гестационным возрастом менее 32 недель, у которых применялись препараты сурфактанта для профилактики РДС, а респираторная поддержка была щадящей [12]. И если в структуре хронических заболеваний легких новорожденных, находившихся на ИВЛ, до 70% приходилось на классическую форму БЛД, то к 2013 году появилась тенденция к изменению соотношения форм БЛД в сторону преобладания новой формы [3].

Одной из актуальных задач современной педиатрической пульмонологии является развитие функциональных методов, направленных не только на

своевременную диагностику заболеваний легких у детей, но и качественный мониторинг эффективности проводимого лечения в целях профилактики обострений и предупреждения прогрессирования заболевания [5]. Верификация болезней респираторного тракта представляет значительные диагностические трудности, обусловленные неспецифичностью и однотипностью клинико-рентгенологических симптомов при различных заболеваниях, что свидетельствует о важности проблемы и необходимости улучшения методов диагностики, лечения и профилактики бронхолегочных заболеваний [9].

Обзорное рентгенологическое исследование органов грудной полости — один из самых распространенных диагностических методов у больных с БЛД, доступный даже в условиях реанимации. Метод рассматривают как основу рентгенодиагностики заболевания, даже несмотря на его недо-

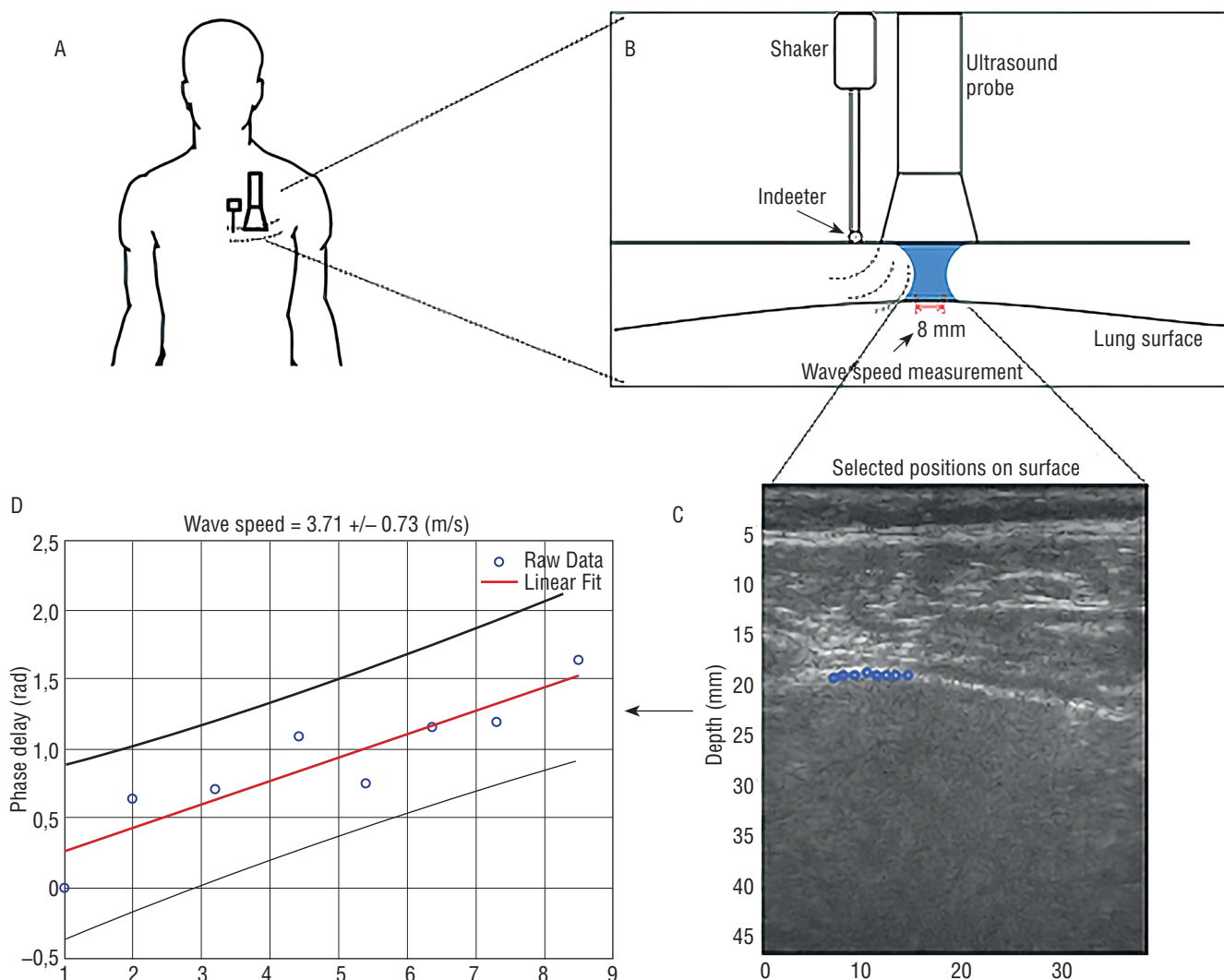


Рис. 1. Методика проведения компрессионной эластографии легких

статочную информативность [17]. «Золотым стандартом» в обследовании пациентов с БЛД является компьютерная томография (КТ) органов грудной полости с высоким разрешением [18].

Известные затруднения использования современных методов диагностики у новорожденных и, особенно, у недоношенных детей диктуют необходимость поиска новых методов диагностики состояния респираторной системы, одним из которых является ультразвуковой метод сканирования легких [1]. Ультразвуковая картина при БЛД схожа с таковой при РДС: наличие множественных вертикальных сигналов, образующих участки «белого» и «черно-белого» легкого. Однако все эти изменения более стойкие во времени, чем при РДС. Схожесть ультразвуковой картины при РДС и БЛД объясняется их одинаковой патоморфологической картиной: наличием интерстициальных изменений [7]. Современные клинические методы также не могут измерить эластические свойства легких, тогда как метод компрессионной эластографии может предоставить неинвазивный и безопасный метод измерения поверхностных тканей легких для оценки фиброза легких [16]. В последние годы проводились работы по оценке диагностической ценности ультразвуковой компрессионной эластографии и эластографии сдвиговой волны для дифференциации доброкачественных и злокачественных периферических поражений легких у взрослых, и были получены достоверные результаты, позволяющие использовать эту технологию в клинической практике [14, 16]. В исследованиях сформированы рекомендации по методике проведения компрессионной эластографии, где измерения эластических свойств легких выполнялись на границе «плевральная линия — ткань легких», представленные на рисунке 1 [14].

В плане безопасности проведения ультразвуковых исследований (УЗИ) степень повреждения легких зависит от физических факторов, в частности от мощности сигнала, продолжительности воздействия, длительности импульса и частоты повторения импульса, физиологических факторов. Более восприимчивыми к повреждению могут оказаться новорожденные, и особенно недоношенные, поэтому нужно соблюдать правила безопасности проведения ультразвукового сканирования легких [6, 8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В пилотное исследование были включены недоношенные дети с гестационным возрастом менее 28 недель, в возрасте от 2 до 3,5 месяцев на



Рис. 2. Выполнение ультразвукового исследования в межреберных промежутках по передней поверхности тела новорожденного

момент исследования, находившиеся в отделении патологии новорожденных и недоношенных клиники СПбГПМУ.

По данным рентгенографии легких было выделено две группы детей: 1-я группа с легкими интерстициальными изменениями в легких; 2-я группа детей с бронхолегочной дисплазией.

3-я группа (контроль) включала здоровых доношенных детей, пришедших на УЗ-скрининг в поликлинических условиях.

УЗИ легких проводилось по стандартной методике в межреберьях с положением датчика вдоль и поперек реберной дуги по передней, задней и боковым поверхностям легких (рисунок 2) с учетом требований, представленных в рекомендациях [15, 17].

Исследование проводилось на ультразвуковых сканерах фирмы GE Logiq S8, Logiq E9 линейными трансдьюсерами с частотными характеристиками 6–15 МГц.

Для исследования эластичности легких применялась компрессионная эластография с оценкой качественных и количественных характеристик (в кПа) по максимальному количеству точек (7–9) в одном срезе на уровне плевральной линии. Оценивалась средняя суммарная эластичность (кПа ср): в 1-й группе по 72 точкам (5 детей), во 2-й группе по 40 точкам (2 детей), в 3-й группе по 74 точкам (5 детей).

Выполнялись условия безопасности в виде снижения механического индекса до 0,4 в В-режиме и в режиме компрессионной эластографии. Для улучшения качества изображения также устанавливалась фокусировка (на уровне плевральной линии).

Для оценки эластичности выбирались те срезы, в которых корректность выполнения процедуры

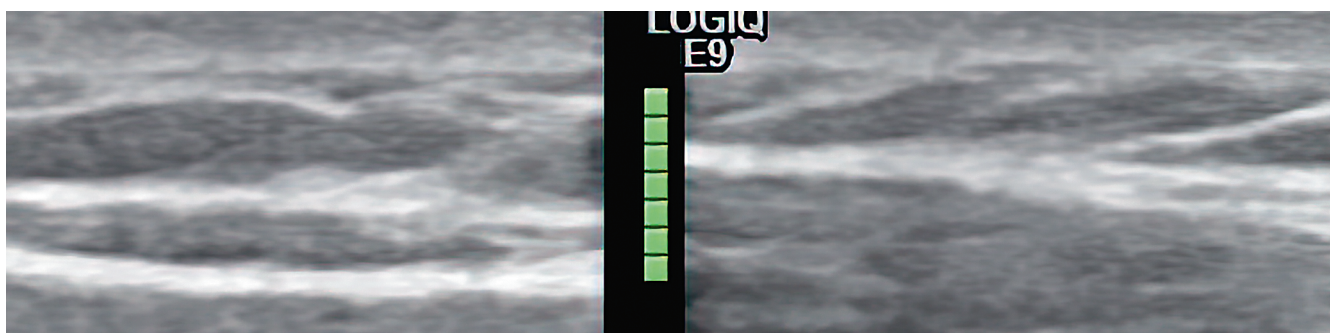


Рис. 3. Выполнение требований к стандартизации проведения метода эластографии по окрашиванию индикатора компрессии

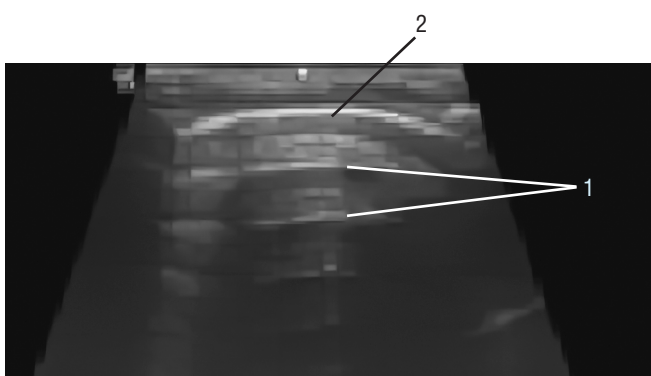


Рис. 4. Ультразвуковое изображение неизменной ткани легких здоровых новорожденных: 1 — наличие А-линий (артефактов реверберации, горизонтальных плевры); 2 — ровный контур плевральной линии (визуализируется отсутствие субплевральных изменений)

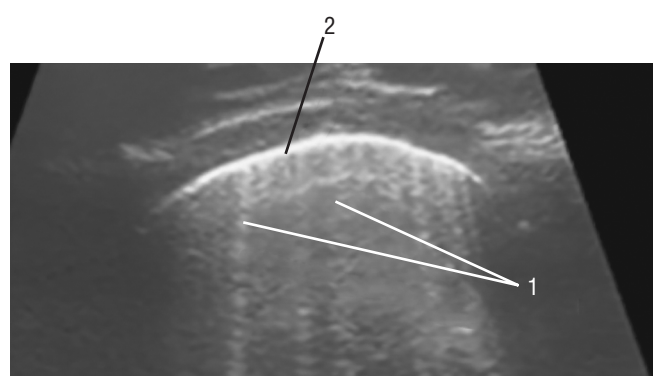


Рис. 5. Ультразвуковое изображение легких ребенка с респираторным дистресс-синдромом: 1 — множественные В-линии (вертикальные сигналы от поверхности плевры); 2 — ровный контур плевральной линии (визуализируется отсутствие субплевральных изменений)

оценивалась по наличию зеленого окрашивания индикатора компрессии, представленного на рисунке 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследования у всех детей было подтверждено соответствие ультразвуковых изменений в легких рентгенологическим данным.

При УЗИ детей контрольной группы были выявлены типичные признаки неизменной воздушной ткани легких, представленные на рисунке 4.

У детей с интерстициальными изменениями (1-я группа) по данным рентгенографии при УЗИ были выявлены типичные для данного состояния ультразвуковые признаки интерстициальных изменений от легкой до умеренной степени выраженности, проявляющиеся в появлении В-линий (более трех), но при этом контур плевральной линии был ровным и четким (рис. 5).

У детей с бронхолегочной дисплазией (3-я группа) по клинико-рентгенологическим данным при УЗИ были выявлены множественные сливающиеся А-линии, неровный контур плевральной линии, множественные анэхогенные и эхогенные мелкие структуры в субплевральном пространстве, неравномерно утолщенная плевральная линия, представленные на рисунке 6.

При изучении качественных характеристик метода компрессионной эластографии неизменно легкого на исследуемом участке без артефактов от реберных дуг во всех случаях было зарегистрировано достаточно равномерное, преимущественно сине-зеленое (рис. 7) или красно-желтое окрашивание (рис. 8) на уровне плевральной линии (в зависимости от настроек УЗ-сканеров жесткость тканей картировалась разными цветами).

При несоблюдении условий регистрации эластических свойств ткани легких, когда индикатор чувствительности окрашивался желтым цветом,

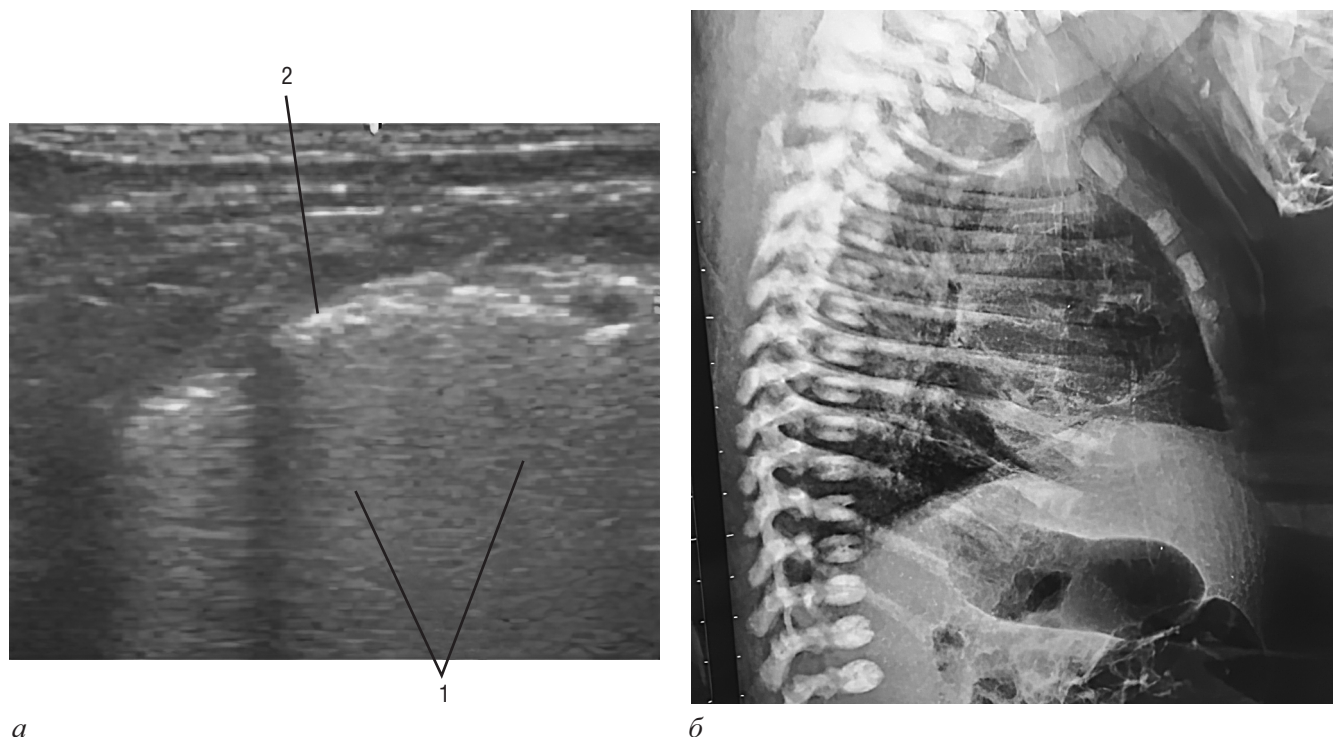


Рис. 6. Ультразвуковое (а) и рентгенологическое (б) изображение легких ребенка с бронхолегочной дисплазией: 1 — множественные сливающиеся В-линии (вертикальные сигналы от поверхности плевры; 2 — неровный контур плевральной линии (множественные анэхогенные и эхогенные мелкие структуры в субплевральном пространстве, неравномерно утолщенная плевральная линия)

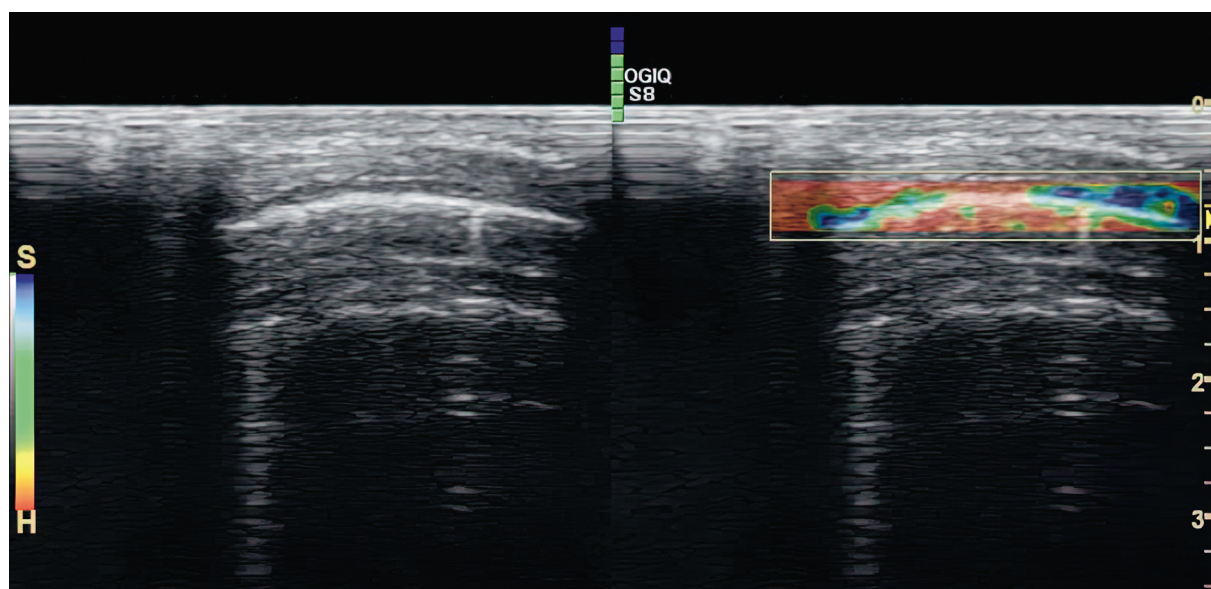


Рис. 7. Компрессионная эластография легких на сканере Logiq E8

регистрировалась большая вариабельность показателей эластичности, что делало выборку недостоверной (рис. 9).

При условии соблюдения метода компрессионной эластографии легких и выбора изображения по индикатору давления на поверхность грудной клетки в виде зеленого окрашивания для проведе-

ния последующего измерения у здоровых детей и детей с умеренно выраженными интерстициальными изменениями нами были зарегистрированы низкие показатели сопротивления тканей (рис. 10).

При условии соблюдения метода компрессионной эластографии и выбора изображения по индикатору давления на поверхность грудной клетки в

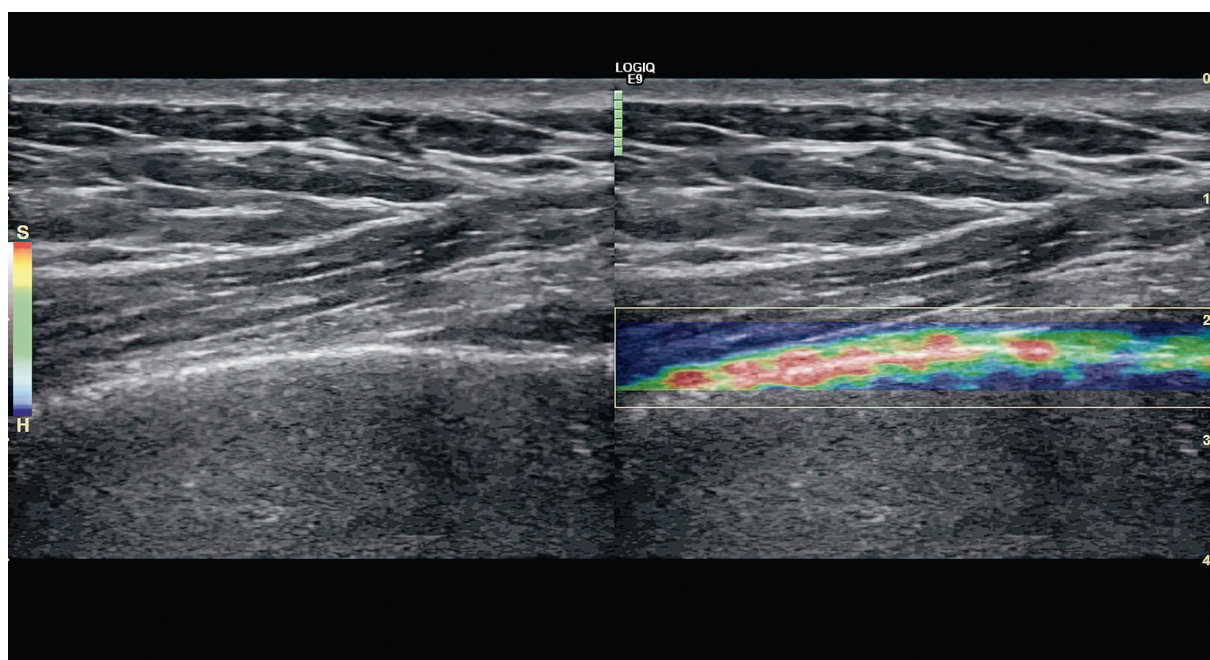


Рис. 8. Компрессионная эластография легких на сканере Logiq E9

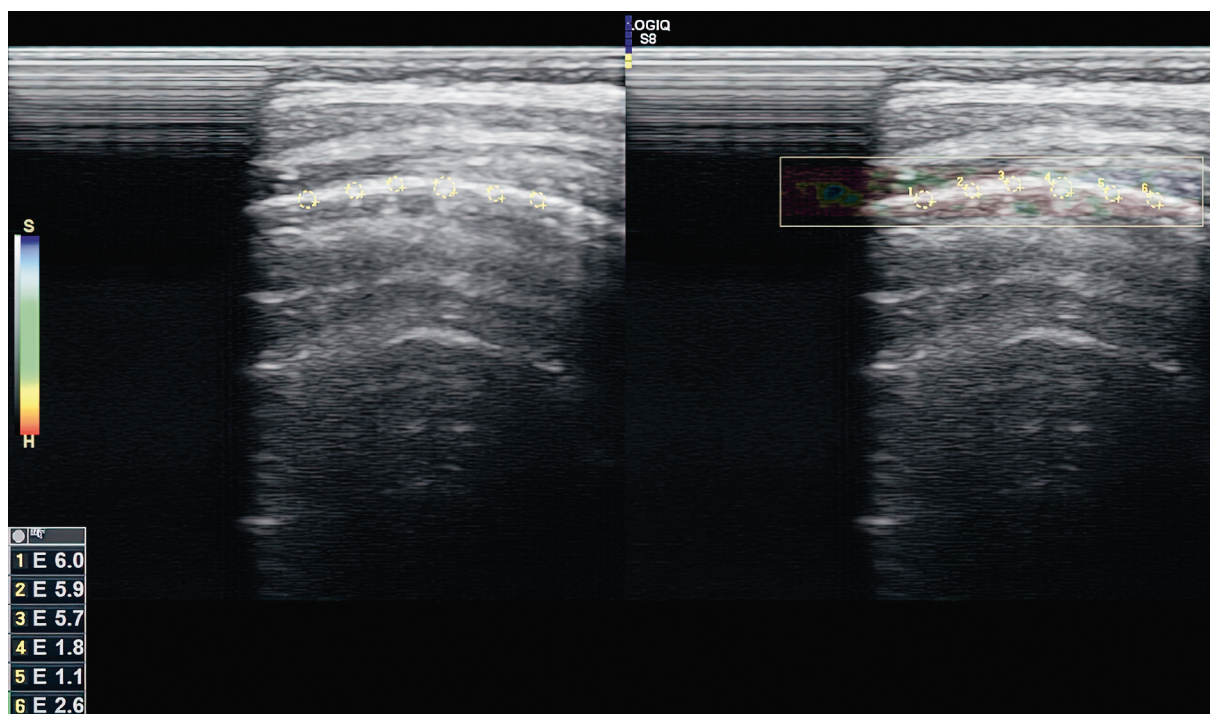


Рис. 9. Результаты оценки эластичности ткани легких при некорректной регистрации показателей

виде зеленого окрашивания для проведения последующего измерения у детей с бронхолегочной дисплазией по данным УЗИ и клинико-рентгенологическим данным показатели жесткости и Еср были выше (рис. 11).

По результатам математической обработки было выявлено статистически достоверное повы-

шение показателей жесткости легочной ткани, измеренное по 74 точкам у здоровых детей 3-й группы, и 40 точкам у детей 2-й группы (с бронхолегочной дисплазией легких), $p=0,00$, а также более низкие показатели эластичности легочной ткани в 1-й группе детей с респираторным дистресс-синдромом (72 точки) по сравнению с показателями

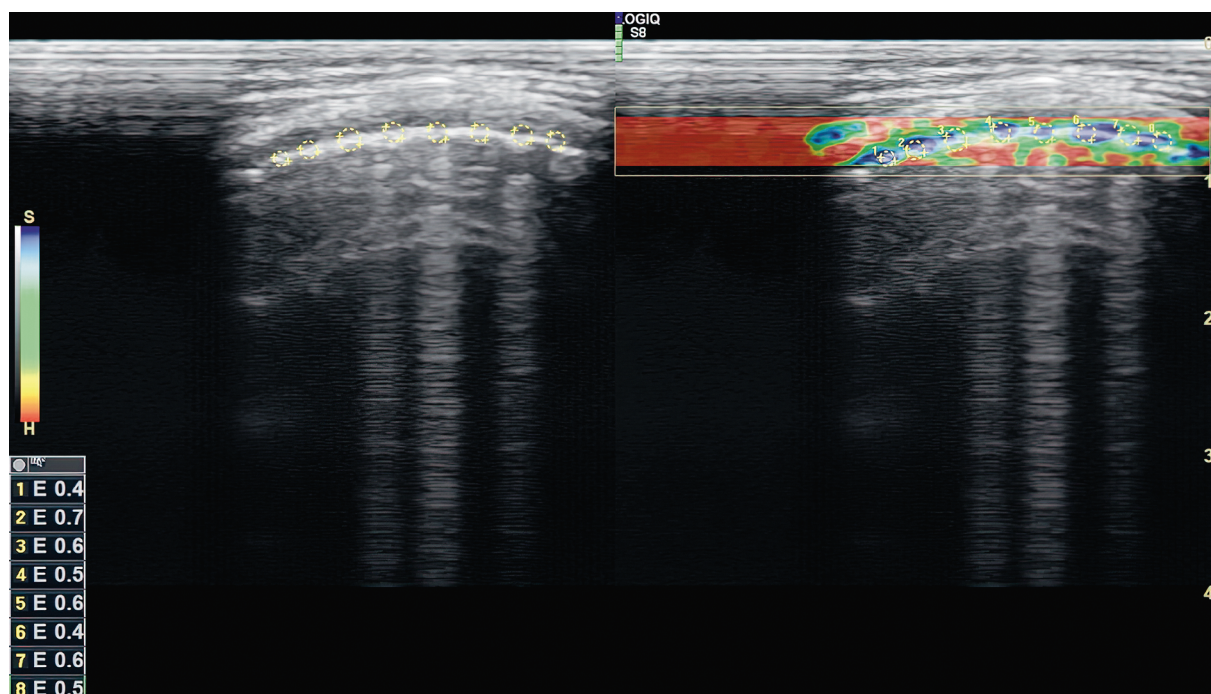


Рис. 10. Количественная оценка показателей эластичности у ребенка с незначительно выраженными интерстициальными изменениями легких ($E_{sp}=0,53$)

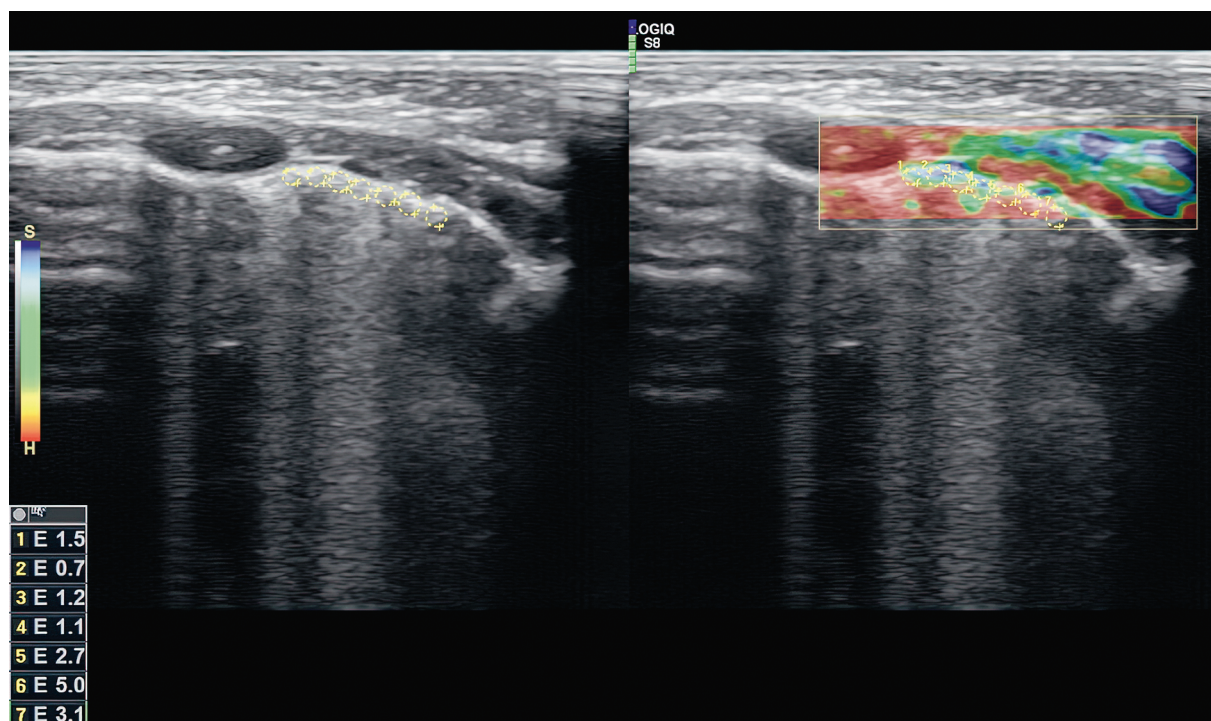


Рис. 11. Количественная оценка показателей эластичности легких у ребенка с бронхолегочной дисплазией ($E_{sp}=2,18$)

эластичности в 3-й группе здоровых детей, $p=0,00$ (табл. 1).

При сравнении показателей эластичности легочной ткани в группе детей с респираторным

дистресс-синдромом и бронхолегочной дисплазией, выявлены достоверно более высокие показатели жесткости во 2 группе детей, $p=0,00$ (табл. 2).

Таблица 1

Сравнение эластических свойств легких (кПа ср) в группах здоровых детей и с заболеваниями легких (t-критерий Фишера-Стьюдента)

Group 1 vs Group 2	T-test for Independent Samples (welasto) Note: Variables were treated as independent samples										
	Mean Group 1	Mean Group 2	t-value	df	p	Valid N Group 1	Valid N Group 2	Std. Dev. Group 1	Std. Dev. Group 2	F-ratio Variances	p Variances
int vs nor	1.462500	0.927027	4.31263	144	0.000030	72	74	0.967709	0.446078	4.70618	0.000000
bpd vs nor	3.220000	0.927027	10.44491	112	0.000000	40	74	1.794750	0.446078	16.18775	0.000000

Таблица 2

Сравнение эластических свойств легких (кПа ср) в группах здоровых детей и с заболеваниями легких (t-критерий Фишера-Стьюдента)

Group 1 vs Group 2	T-test for Independent Samples (welasto) Note: Variables were treated as independent samples										
	Mean Group 1	Mean Group 2	t-value	df	p	Valid N Group 1	Valid N Group 2	Std. Dev. Group 1	Std. Dev. Group 2	F-ratio Variances	p Variances
int vs bpd	1.462500	3.220000	-6.74374	110	0.000000	72	40	0.967709	1.794750	3.43981	0.000006

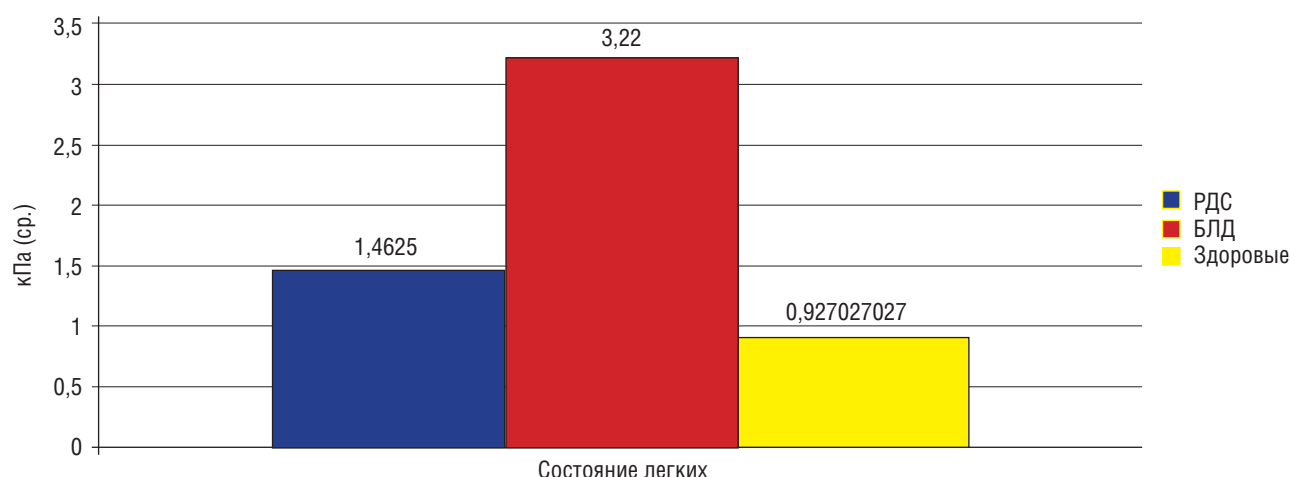


Рис. 12. Сравнение показателей эластичности легких у новорожденных детей в норме и с патологией легочной ткани

На рисунке 12 представлены результаты статистического исследования эластичности легких во всех трех группах.

ВЫВОДЫ

Метод компрессионной эластографии может быть использован для определения жесткости (фиброза) субплеврально расположенной легочной ткани у детей раннего возраста с заболеваниями легких, но только при соблюдении ряда условий:

- 1) выбора корректного акустического окна и отсутствия артефактов от реберных дуг в зоне исследования;
- 2) строго перпендикулярного положения трансдюсера на поверхности грудной клетки ребенка;

- 3) обязательного снижения механического индекса менее 0,7 как для исследования в В-режиме, так при проведении компрессионной эластографии;
- 4) выбора для оценки жесткости сонограмм с зеленым окрашиванием индикатора давления;
- 5) измерение эластичности тканей по контуру плевральной линии.

Компрессионная эластография может быть неинвазивным и безопасным методом измерения и оценки эластичности субплеврально расположенных отделов легочной ткани для выявления фиброза при заболеваниях легких у детей раннего возраста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акиншин И.И., Синельникова Е.В., Мохаммад Ахлам Ахмад и др. Сравнительный анализ информативности

- ультразвукового и рентгенологического методов исследования в диагностике патологии легких у детей раннего возраста. *Педиатр.* 2016; 7(4): 37–44.
2. Бойцова Е.В., Овсянников Д.Ю. К вопросу об интерстициальных заболеваниях легких у детей: диффузные нарушения роста и развития легких. *Педиатр.* 2016; 7(2): 104–112. DOI: 10.17816/PED72104-112.
 3. Давыдова И.В., Фисенко А.П., Пожарищенская В.К. и др. Новая форма бронхолегочной дисплазии: реалии сегодняшнего дня. *Доктор.Ру.* 2020; 19(10): 6–9.
 4. Ключихина Ю.Б., Желенина Л.А., Иванов Д.О. Пульмонологический катамнез детей, находившихся на искусственной вентиляции легких в периоде новорожденности. *Педиатр.* 2014; 5(3): 16–22.
 5. Мизерницкий Ю.Л. Пульмонология детского возраста: достижения, задачи и перспективы. *Российский вестник перинатологии и педиатрии.* 2014; 2: 4–12.
 6. Митьков В.В., Сафонов Д.В., Митькова М.Д. и др. Консенсусное заявление РАСУДМ об ультразвуковом исследовании легких в условиях пандемии COVID-19 (версия 2). *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2020; 1: 46–77. DOI: 10.24835/1607-0771-2020-1-46-77.
 7. Мохаммад А., Акиншин И.И., Синельникова Е.В. Интерстициальный синдром и альвеолярная консолидация как сонографические маркеры гемодинамического отека легких у детей раннего возраста. *Педиатр.* 2017; 8(3): 32–40. DOI: 10.17816/PED8332-40.
 8. Мязин А.А. К вопросу о безопасности ультразвуковой диагностики легких у новорожденных (обзор литературы). *Визуализация в медицине.* 2020; 2(2): 3–7.
 9. Овсянников Д.Ю., Беяшова М.А., Бойцова Е.В. и др. Структура интерстициальных заболеваний легких у детей первых двух лет жизни. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского.* 2016; 95(1): 72–81.
 10. Прометной Д.В., Александрович Ю.С., Вороненко И.И. Факторы риска, предикторы и современная диагностика бронхолегочной дисплазии. *Педиатр.* 2017; 8(3): 142–150. DOI: 10.17816/PED83142-150.
 11. Современные подходы к профилактике, диагностике и лечению бронхолегочной дисплазии. Под ред. А.А. Баранова, Л.С. Намазовой-Барановой, И.В. Давыдовой. М.: ПедиатрЪ; 2013.
 12. Союз педиатров России. Федеральные клинические рекомендации по ведению детей с бронхолегочной дисплазией. Российская ассоциация специалистов перинатальной медицины. М.: Педиатр; 2014.
 13. Шабалов Н.П., Иванов Д.О., Цыбульский Э.К. и др. Неонатология: в 2 т. М.: МЕДпресс-информ, 2004.
 14. Boran Zhou, Brian J. Bartholmai, Sanjay Kalra et al. US Surface Wave Elastography in Interstitial Lung Disease Staging. *Radiology.* 2019; 291(2): 479–84.
 15. Daniel A. Lichtenstein. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol. Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically Ill. 2015; 147(6): 1659–70.
 16. Hong Wei, Yuchan Lu, Qiao Ji et al. The application of conventional us and transthoracic ultrasound elastography in evaluating peripheral pulmonary lesions. *Exp Ther Med.* 2018; 16(2): 1203–08.
 17. Mahut B., De Blic J., Emond S. Chest computed tomography findings in bronchopulmonary dysplasia and correlation with lung function. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonat. Ed.* 2007; 92(6): 459–64.
 18. Shin S.M., Kim W.S., Cheon J.E. et al. Bronchopulmonary dysplasia: New High Resolution Computed Tomography Scoring Sistem and Correlation between the High Resolution Computed Tomography Score and Clinical Severity. *Korean J. Radiol.* 2013; 14(2): 350–60.

REFERENCES

1. Akinshin I.I., Sinelnikova E.V., Mohammad Ahlam Ahmad i dr. Sravnitel'nyj analiz informativnosti ul'trazvukovogo i rentgenologicheskogo metodov issledovaniya v diagnostike patologii legkih u detej rannego vozrasta. [Comparative analysis of the information content of ultrasound and X-ray research methods in the diagnosis of lung pathology in young children]. *Pediatr.* 2016; 7(4): 37–44. (in Russian).
2. Bojcov E.V., Ovsyannikov D.Yu. K voprosu ob interstitsial'nyh zabolevaniyah legkih u detej: diffuznye narusheniya rosta i razvitiya legkih. [On the question of interstitial lung diseases in children: diffuse disorders of the growth and development of the lungs]. *Pediatr.* 2016; 7(2): 104–112. DOI: 10.17816/PED72104-112. (in Russian)
3. Davydova I.V., Fisenko A.P., Pozharishchenskaya V.K. i dr. Novaya forma bronkhologochnoy displazii: realii segodnyashnego dnya. [A new form of bronchopulmonary dysplasia: today's realities]. *Doktor.Ru.* 2020; 19(10): 6–9. (in Russian).
4. Klyuhina Yu.B., Zhelenina L.A., Ivanov D.O. Pul'monologicheskij katamnez detej, nahodivshihsy na iskusstvennoj ventilyacii legkih v periode novorozhdenosti. [Pulmonary follow-up of children on artificial lung ventilation during the neonatal period]. *Pediatr.* 2014; 5(3): 16–22. (in Russian).
5. Mizernickij Yu.L. Pul'monologiya detskogo vozrasta: dostizheniya, zadachi i perspektivy. [Childhood Pulmonology: Achievements, Challenges and Prospects]. *Rossiiskij vestnik perinatologii i pediatrii.* 2014; 2: 4–12. (in Russian).
6. Mit'kov V.V., Safonov D.V., Mit'kova M.D. i dr. Konsensusnoye zayavleniye RASUDM ob ul'trazvukovom issledovanii legkikh v usloviyakh pandemii COVID-19 [RASUDM Consensus Statement on Pulmonary Ultrasound in the Context of the COVID-19 Pandemic] (versiya 2). *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika.* 2020; 1: 46–77. DOI: 10.24835/1607-0771-2020-1-46-77. (in Russian).
7. Mokhammad A., Akinshin I.I., Sinel'nikova Ye.V. Interstitsial'nyy sindrom i al'veolyarnaya konsolidatsiya kak sonograficheskiye markery gemodinamicheskogo oteka legkikh u detej rannego vozrasta. [Interstitial syndrome and alveolar

- consolidation as sonographic markers of hemodynamic pulmonary edema in young children]. *Pediatr.* 2017; 8(3): 32–40. DOI: 10.17816/PED8332-40. DOI: 10.17816/PED8332-40 (in Russian).
8. Myazin A.A. K voprosu o bezopasnosti ul'trazvukovoj diagnostiki legkih u novorozhdennykh [On the issue of the safety of ultrasound diagnostics of the lungs in newborns] (obzor literatury). *Vizualizatsiya v medicine.* 2020; 2(2): 3–7. (in Russian).
 9. Ovsyannikov D.Yu., Belyashova M.A., Bojcova E.V. i dr. Struktura interstitsial'nykh zabolevaniy legkikh u detey pervykh dvukh let zhizni [The structure of interstitial lung diseases in children in the first two years of life]. *Pediatrics. Zhurnal im. G.N. Speranskogo.* 2016; 95(1): 72–81. (in Russian).
 10. Prometnoj D.V., Aleksandrovich Yu.S., Voronenko I.I. Faktory riska, prediktory i sovremennaya diagnostika bronholegochnoj displazii. [Risk factors, predictors and modern diagnostics of bronchopulmonary dysplasia] *Pediatr.* 2017; 8(3): 142–150. DOI: 10.17816/PED83142-150. (in Russian)
 11. Sovremennye podhody k profilaktike, diagnostike i lecheniyu bronholegochnoj displazii. [Modern approaches to the prevention, diagnosis and treatment of bronchopulmonary dysplasia]. Pod red. A.A. Baranova, L.S. Namazovoj-Baranovoj, I.V. Davydovoj. M.: *Pediatr*; 2013. (in Russian).
 12. Soyuz pediatrov Rossii. Federal'nye klinicheskie rekomendatsii po vedeniyu detej s bronholegochnoj displaziej. [Federal clinical guidelines for the management of children with bronchopulmonary dysplasia]. Rossijskaya asociatsiya specialistov perinatal'noj mediciny. M.: *Pediatr*; 2014. (in Russian).
 13. Shabalov N. P., Ivanov D. O., Cybul'kin E. K. i dr. Neonatologiya: v 2 t. [Neonatology: v 2 t.]. M.: MEDpress-inform, 2004.
 14. Boran Zhou, Brian J. Bartholmai, Sanjay Kalra et al. US Surface Wave Elastography in Interstitial Lung Disease Staging. *Radiology.* 2019; 291(2): 479–84.
 15. Daniel A. Lichtenstein. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol. Two Applications of Lung Ultrasound in the Critically Ill. 2015; 147(6): 1659–70.
 16. Hong Wei, Yuchan Lu, Qiao Ji et al. The application of conventional us and transthoracic ultrasound elastography in evaluating peripheral pulmonary lesions. *Exp Ther Med.* 2018; 16(2): 1203–08.
 17. Mahut B., De Blic J., Emond S. Chest computed tomography findings in bronchopulmonary dysplasia and correlation with lung function. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonat. Ed.* 2007; 92(6): 459–64.
 18. Shin S. M., Kim W. S., Cheon J. E. et al. Bronchopulmonary dysplasia: New High Resolution Computed Tomography Scoring Sistem and Correlation between the High Resolution Computed Tomography Score and Clinical Severity. *Korean J. Radiol.* 2013; 14(2): 350–60.