УДК 616.24-002.17+616-053.3+616-085-039.35+616-079

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ФЕНОМЕНОВ ЛЕГКИХ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ГАЗООБМЕНА У НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ

© Иван Иванович Акиншин, Елена Владимировна Синельникова, Вячеслав Григорьевич Часнык, Татьяна Леонидовна Корнишина

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

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

Резюме. В работе представлены результаты анализа характеристик ультразвукового исследования легких, наиболее информативных для оценки состояния легких у детей раннего возраста. Выявленная корреляция описаний легких у новорожденных и детей раннего возраста в терминах ультразвукового и рентгенографического исследований, а также оценка значимости ультразвуковых феноменов легких для взаимоотношения выраженности интерстициального синдрома с напряжением углекислого газа в крови и альвеолярно-артериальной разницей по кислороду, позволяет рассматривать ультразвуковое исследование легких возможным для использования в комплексной диагностике патологических состояний респираторной системы новорожденных детей.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование легких, интерстициальный синдром, интенсивная терапия новорожденных, диагностика патологии респираторной системы

RESEARCH OF THE RELATIONSHIP OF LUNG ULTRASOUND PHENOMENON WITH GAS EXCHANGE CHARACTERISTICS IN NEWBORN

© Ivan I. Akinshin, Elena V. Sinelnikova, Vyacheslav G. Chasnyk, Tatyana L. Kornishina

Saint-Petersburg State Pediatric Medical Universit. 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

Summary. This paper presents the results of an analysis of indicators of ultrasound examination of the lungs, the most informative for determining lung function in infants. The revealed correlation of the severity of the interstitial syndrome with the voltage of carbon dioxide in the blood and the stress gradients of alveolar arterial oxygen in newborns allows us to consider ultrasound of the lungs as possible for use in the complex diagnosis of pathological conditions of the respiratory system of newborns.

Keywords: ultrasound of the lungs, interstitial syndrome, intensive care of newborns, diagnosis of pathology of the respiratory system.

ВВЕДЕНИЕ

Патология респираторного тракта является наиболее часто встречающейся в неонатальном периоде и имеет множество различных причин [1, 2]. Смертность от патологии органов дыхания в этот период и их последствий может достигать 50% от всех неонатальных смертей [2]. Поэтому так важна своевременная диагностика патологических состояний легких у новорожденных и детей раннего возраста. Известные затруднения использования современных методов диагностики у новорожденных и, особенно, у недоношенных детей диктуют необходимость поиска новых методов диагностики состояния респираторной системы. Одним из них стал ультразвуковой метод сканирования легких. Последнее десятилетие ознаменовалось успехами в области диагностики заболеваний легких с использованием ультразвуковой

визуализации. Начало особенно интенсивной разработки этого направления было положено работами французского реаниматолога Daniel Lichtenstein [3]. Новая интерпретация ультразвуковых феноменов легких, в том числе и квалифицированных ранее как артефакты, позволила пересмотреть ограничения и перспективы использования данного метода [4]. В последние годы увеличивается и количество исследований, направленных на оценку эффективности ультразвуковой диагностики патологии легких у детей [5, 6, 7], однако до сих пор эти исследования остаются на уровне пилотных проектов [8]. Ультразвуковая визуализация способствует своевременному выявлению патологии легких в отделениях интенсивной терапии, позволяет контролировать состояние пациента, эффективность проводимого лечения [9], условий искусственной вентиляции легких [10], адекватность проводимой инфузионной терапии и гемодинамического состояния [11]. По современным представлениям, ультразвуковой метод исследования легких призван не заменить рентгенографию и компьютерную томографию органов грудной клетки, но дополнить их [12]. Эта комбинация методов визуализации, по мнению абсолютного большинства специалистов лучевой диагностики, обеспечит раннюю диагностику патологических состояний, своевременное проведение адекватных терапевтических программ и мониторинг состояния пациента при значительном снижении уровня лучевой нагрузки [13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе отделения патологии новорожденных и недоношенных детей, отделения анестезиологии-реанимации для детей с кардиохирургической патологией, отделения реанимации и интенсивной терапии новорожденных Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета. Период сбора клинических данных происходил в течение трех лет — с 2015 по 2017 годы. Всего проведено 287 исследований у 213 детей в возрасте от 1 до 298-го дня после рождения. Некоторые характеристики обследованных представлены в таблицах 1–3.

Обследование пациентов включало в себя необходимые для верификации диагноза методы физикальной, лабораторной и инструментальной (ультразвуковое, рентгеновское и КТ исследования) диагностики. Все исследования были выполнены в полном соответствии с действующими стандартами и клиническими рекомендациями, а также с соблюдением регламентов и требований, предъявляемых к научно-исследовательским работам. На основе полученной информации для каждого исследуемого ребенка был обозначен ведущий клинический синдром, а также сформирован развернутый клинический диагноз.

Распределение численности детей с патологией легких (включая сопутствующие диагнозы) представлено на рисунке 1.

Таблица 1

Общие сведения об обследованных детях

Данные	Единицы измерения	Среднее значение	Среднее отклонение	Мин. знач.	Макс. знач.
Гестационный возраст при рождении	нед.	33,4	0,3	24	42
Длина тела при рождении	см.	44,1	0,5	28	59
Масса тела при рождении	гр.	2154	64	580	4650
Апгар на 1-й минуте	балл.	6 (медиана)	–	1	9
Апгар на 5-й минуте	балл.	7 (медиана)	–	1	9
Масса тела на момент обследования	гр.	2701	40	650	8300

Таблица 2

Виды патологии легких у обследованных детей (основной диагноз)

Основной диагноз	Количество детей	Возраст на момент исследования (дни)	Количество проведенных исследований
Респираторный дистресс-синдром новорожденных	28	1–73	41
Бронхолегочная дисплазия	4	70–260	5
Врожденная пневмония	6	4–82	9
Аспирационная пневмония	2	15–71	6
Всего с патологией легких,	45	1–260	71
включая врожденный порок сердца	9	8–73	18

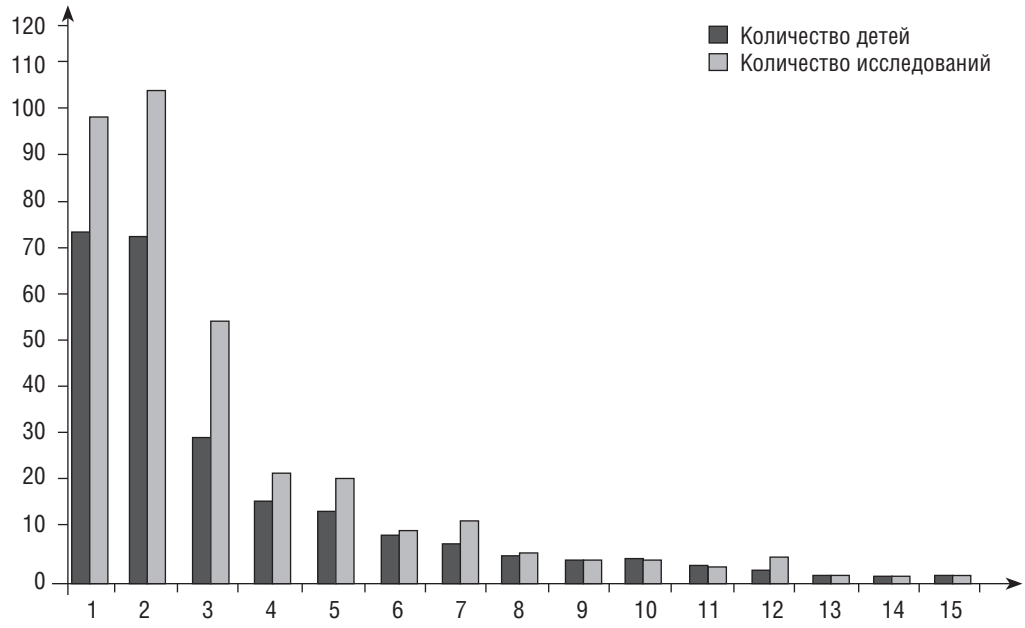


Рис. 1. Обобщенная по диагнозам численность детей и проведенных исследований. Обозначения: 1 — респираторный дистресс-синдром, 2 — сердечная недостаточность вследствие врожденного порока сердца, 3 — пневмония, 4 — нервно-мышечная патология, 5 — легочная гипертензия новорожденных, 6 — врожденная мальформация дыхательных путей, 7 — аспирация, 8 — метаболический ацидоз, 9 — транзиторное тахипноэ новорожденных, 10 — врожденная диафрагмальная грыжа, 11 — пневмоторакс, 12 — лобарная эмфизема, 13 — гидроторакс, 14 — хроническое заболевание легких, 15 — легочное кровотечение

Для исследования легких и сердца применялись ультразвуковые сканеры LOGIQ E фирмы General Electric и HD11 фирмы Philips с использованием линейного, конвексного и секторного датчиков с диапазонами частот 7–12, 3–5 и 1,7–4,0 МГц соответственно. Пациент во время исследования находился в положении лежа на спине, затем на животе, в некоторых случаях — на боку. Стандартные диагностические программы были расширены в части углубленного описания состояния легких в терминах ультразвуковой диагностики. Ультразвуковое исследование легких выполнялось по следующей схеме:

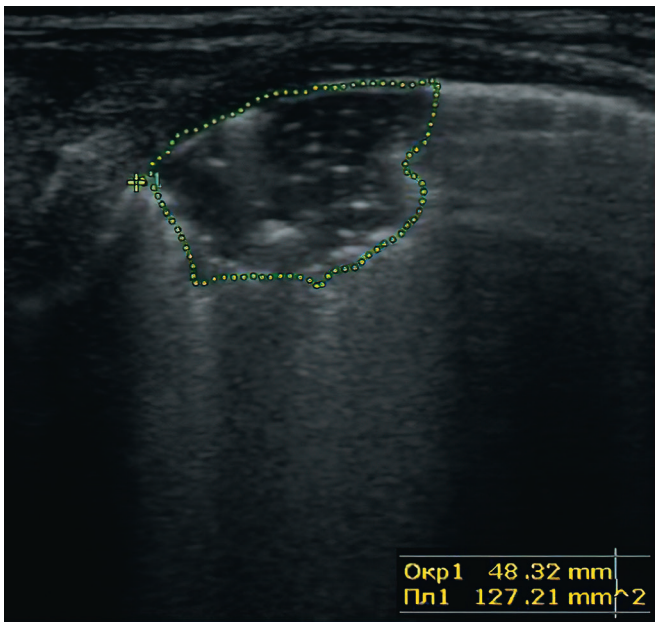


Рис. 2. Измерение участка консолидированной легочной ткани

Исследование в В-режиме.

Проводилось сканирование грудной клетки от верхушки до основания по передней, боковой и задней ее поверхностям. В случае обнаружения участка консолидированной легочной ткани (рисунок 2) выбиралось изображение с максимальными размерами очага, скан помечался номером сегмента легкого, в котором располагался очаг и стороной исследования. Номер сегмента определялся путем приблизительной его проекции на поверхность грудной клетки. Помеченные изображения сохранялись в память устройства.

Кроме того, каждое легкое было поделено на 5 зон. I зона соответствовала проекции сегментов S1-S3, II зона — сегментов S4-S5, III зона — сегментов S2-S6, IV зона — сегментов S9-S10 и V зона соответствовала проекции сегмента S8. В каждой зоне выбирался скан с максимально выраженными признаками интерстициального синдрома. Скан помечался номером зоны и стороной исследования и также сохранялся на устройство.

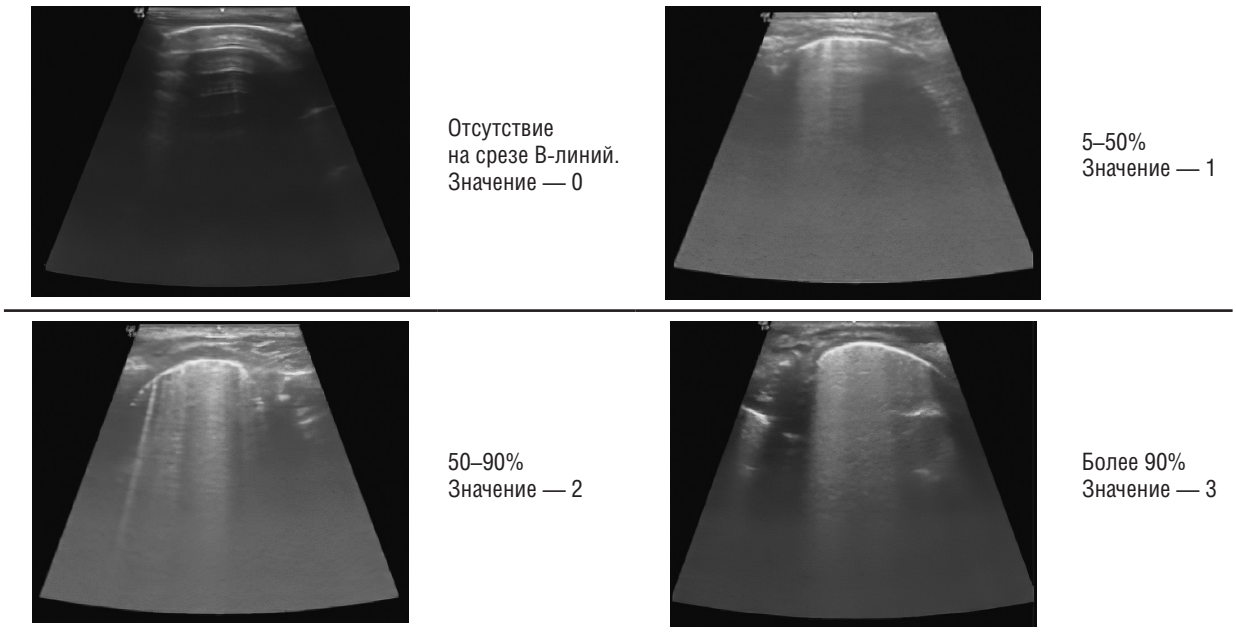


Рис. 3. Степени выраженности интерстициального синдрома

Последующая работа с полученными изображениями состояла в определении площади консолидации легочной ткани, в случае ее наличия, и вычислении в каждой отдельной зоне исследования процентного отношения площади легочного поля к суммарной площади В-линий. Наглядное представление описанных соотношений показано на рисунке 3.

В качестве классификаторов использованы диагнозы в терминах МКБ-10, определяемые в соответствии с действующими клиническими рекомендациями. Все верифицирующие клинические, лабораторные и аппаратные исследования проведены с использованием лицензированных методов в сертифицированных подразделениях клинической больницы ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» МЗ РФ.

В связи с многосвязностью исследуемых процессов при статистической обработке полученного материала использованы многофакторные математические методы анализа моделей, описываемых комплексом качественных и количественных признаков (независимые выборки). Ведение баз данных и статистическая обработка материала проведены с использованием штатных программных средств коммерческих пакетов Microsoft Excel 2010, Statistica for Windows, ver. 10. В связи с многофакторностью исследуемых явлений и с учетом наличия в выборке большого количества сложных пороков, наряду с рутинными параметрическими методами оценивания применяли множественное регрессионное моделирование с предварительным выбором факторов на уровне взаимосвязанности не выше 0.4, а также построение классификационных деревьев. Выполнялся ROC - анализ (MedCalc Statistical Software version 19.0.7 (MedCalc Software bvba, Ostend, Belgium; https://www.medcalc.org; 2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью сопоставления результатов ультразвукового и рентгенографического описаний легких у детей раннего возраста были проанализированы 292 описания легких у детей в возрасте от 1 до 298 дня жизни. В качестве характеристик использованы стандартные описания рентгенограмм органов грудной клетки в общепринятых терминах и ультразвуковые описания легких в терминах, представленных в информационной карте (приложение А диссертации). Использовано построение классификационных деревьев, непараметрическая корреляция Spearman нормализованных значений визуальных характеристик, оценка достоверности различий коэффициентов корреляции.

Некоторые результаты посегментного сопоставления результатов рентгенографического и ультразвукового исследований легких представлены в таблице 1.

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что выявляемое при рентгенографии грудной клетки снижение пневматизации легочной ткани коррелирует с аналогичным описанием в терминах ультразвукового

Таблица 1

Коэффициент корреляции Spearman для характеристик рентгенографического и ультразвукового описания сегментов легких детей в возрасте 1–298 дней: снижение пневматизации (PneuLess) и альвеолярная консолидация (AirLess)

Снижение пневматизации	Альвеолярная консолидация	r=	P=
PneuLessS1D	AirLessS1D	0.376559	<0.05
PneuLessS2D	AirLessS2D	0.273540	<0.05
PneuLessS3D	AirLessS3D	0.327464	<0.05
PneuLessS4D	AirLessS4D	-0.013447	>0.05
PneuLessS5D	AirLessS5D	-0.013889	>0.05
PneuLessS6D	AirLessS6D	0.234826	<0.05
PneuLessS8D	AirLessS8D	0.299902	<0.05
PneuLessS9D	AirLessS9D	0.279705	<0.05
PneuLessS10D	AirLessS10D	0.337571	<0.05
PneuLessS1+2S	AirLessS1+2S	0.239994	<0.05
PneuLessS3S	AirLessS3S	0.150594	<0.05
PneuLessS4S	AirLessS4S	–0.015966	>0.05
PneuLessS5S	AirLessS5S	–0.010380	>0.05
PneuLessS6S	AirLessS6S	0.182353	<0.05
PneuLessS8S	AirLessS8S	–0.030701	>0.05
PneuLessS9S	AirLessS9S	0.346416	<0.05
PneuLessS10S	AirLessS10S	0.182953	<0.05

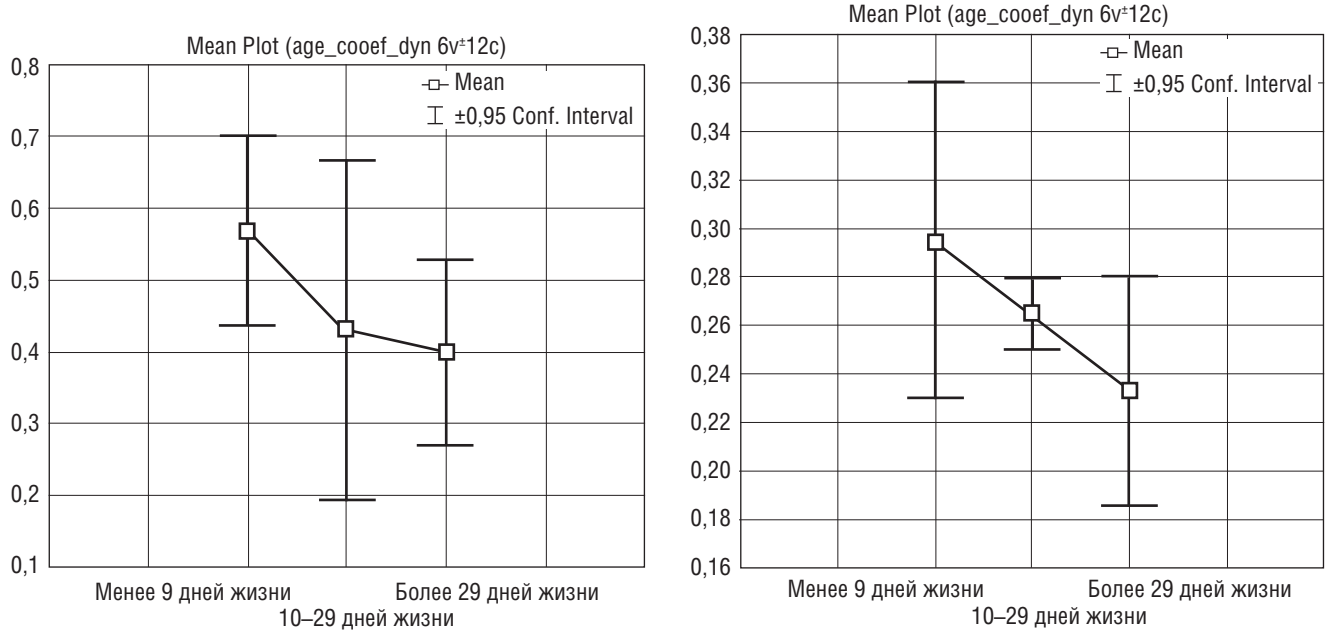


Рис. 4. Возрастная динамика модуля коэффициента корреляции рентгенологического и ультразвукового описаний легких. А) альвеолярная консолидация Б) интерстициальный синдром

исследования легких для 12 из 17 сравниваемых позиций. Надежной связи установить не удалось только для 4-го и 5-го сегментов билатерально и для 8-го сегмента левого легкого. Учитывая априорную ненадежность идентификации номера сегмента, обусловливающую высокую вероятность несовпадений, полученные результаты расценены как вполне удовлетворительные.

Корреляция снижения пневматизации сегментов легких, описываемых в терминах рентгенографии грудной клетки и в ультразвуковых терминах интерстициального синдрома, была выявлена в 16 позициях из 17.

Кроме того были проанализированы 5 случаев описания легких в терминах компьютерной томографии и ультразвуковой диагностики. Полу-

Таблица 2

Корреляция значений характеристик SD_total* и AirLess_total со сроком гестации, массой и длиной тела при рождении**

Характеристики	m	L	Gest	AirLess total	SD-total
m	1.00, p>0.05	0.92, p<0.05	0.86, p<0.05	–0.13, p>0.05	–0.35, p<0.05
L	0.92, p<0.05	1.00, p>0.05	0.86, p<0.05	0.09, p>0.05	–0.30, p<0.05
Gest	0.86, p<0.05	0.86, p<0.05	1.00, p>0.05	–0.11,p>0.05	–0.43, p<0.05
AirLess_total	–0.13, p>0.05	–0.09, p>0.05	–0.11, p>0.05	1.00, p>0.05	0.45, p<0.05
SD_total	–0.35, p<0.05	–0.30, p<0.05	–0.43, p<0.05	0.45, p<0.05	1.00, p>0.05

* суммарное значение SD_total по всем сегментам легких, ** суммарное значение AirLess по всем сегментам легких.

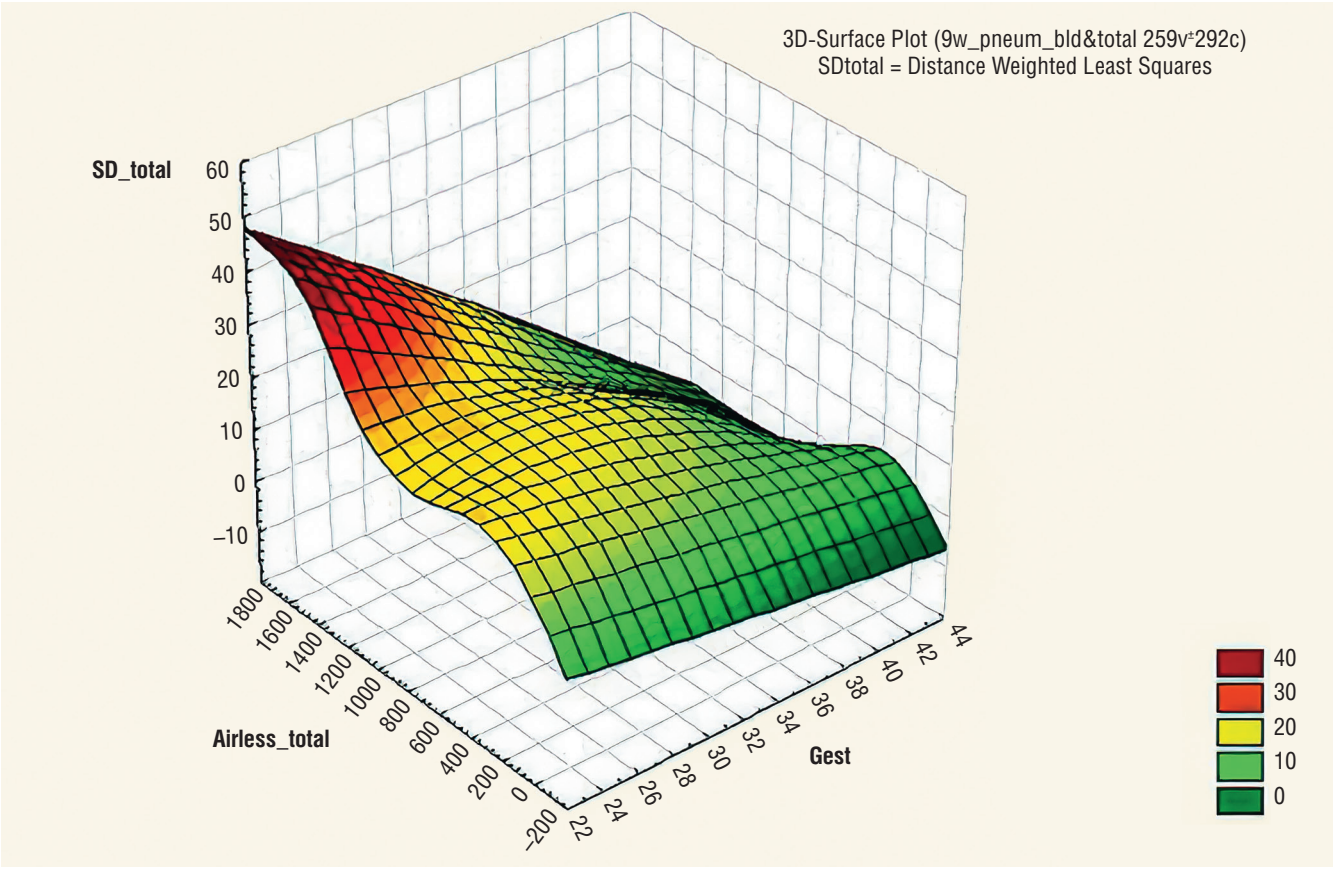


Рис. 5. Поверхность отклика в координатах «SD_total», «Airless_total», «Gest» у детей с легкими, не имеющими патологии по данным физикального, лабораторного и рентгенографического исследования

ченные данные свидетельствуют о практически полном соответствии локализации и вариантов патологии, описанных в терминах компьютерной томографии и ультразвукового исследования.

Анализ возрастной динамики надежности посегментного описания легких в терминах ультразвуковой диагностики выявил ее сохранение на приемлемом уровне при тенденции к уменьшению в исследованном возрастном диапазоне (рис. 4).

С целью оценки связи ультразвукового описания «здоровых» легких и срока гестации, массы и длины тела при рождении у детей, не имеющих патологии легких по физикальным, лабораторным данным и данным рентгенографии, проведен корреляционный анализ данных 116 наблюдений и построены поверхности отклика в координатах этих характеристик. Результаты представлены в таблице 2 и на рисунках 5 и 6.

Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют о наличии достоверных связей ультразвуковой характеристики «интерстициальный синдром» со сроком гестации, массой тела и длиной тела при рождении.

Как видно на рисунке 5, в области малых значений сроков гестации при рождении отмечает-

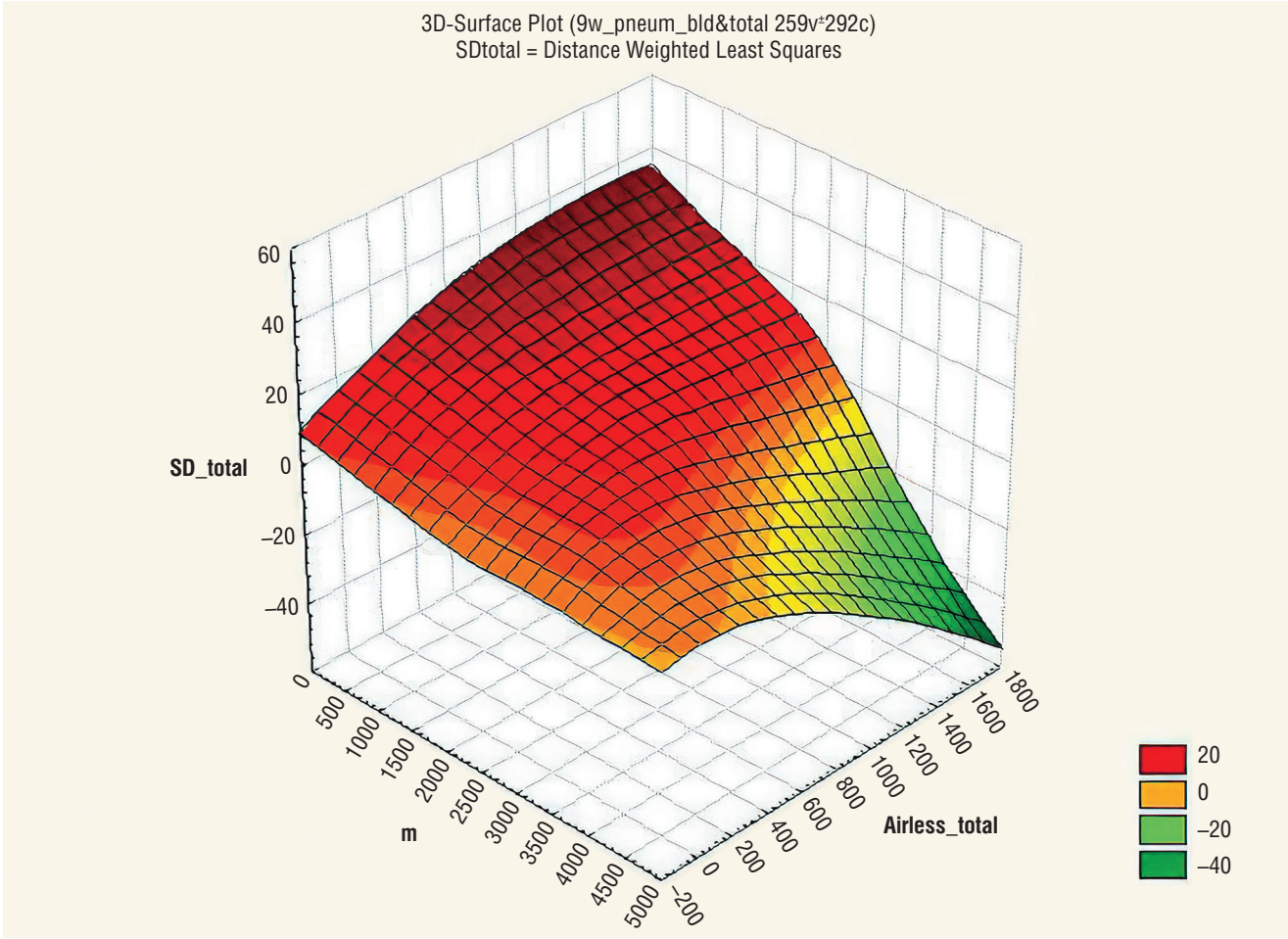


Рис. 6. Поверхность отклика в координатах «SD_total», «Airless_total», «m» у детей с легкими, не имеющими патологии по данным физикального, лабораторного и рентгенографического исследования

ся близкая к линейной зависимость SD_total от Airless_total: при увеличении значения Airless_total увеличивается и значение SD-total. В области больших значений срока гестации при рождении, начиная со срока гестации 36–38 недель, характеристики Airless_total и SD_total практически не связаны друг с другом: при увеличении значения Airless_total значение SD_total колеблется около 0. Необходимо отметить уменьшение значения SD_total с 50 до 0 при увеличении срока гестации с 22 до 44 недель, наиболее значимое для больших значений Airless_total. Выявленные закономерности фактически свидетельствуют в пользу наличия более тесной связи интерстициального синдрома и альвеолярной консолидации у недоношенных детей и большей вероятности выявления этих синдромов раздельно у доношенных детей.

Как видно на рис. 6, в области малых значений массы тела при рождении отмечается близкая к линейной положительная зависимость SD_total от Airless_total: при увеличении значения Airless_total увеличивается и значение SD-total. В области больших значений массы тела при рождении значение характеристики SD_total имеет тенденцию к уменьшению по мере увеличения значения характеристики Airless_total. Наиболее выражена динамика увеличения значения характеристики SD_total (диапазон: ~0–35) по мере уменьшения массы тела при рождении (диапазон: ~3500–500) в области больших значений характеристики Airless_total (диапазон: 1400–1800). Выявленная закономерность подтверждает выводы, сделанные при анализе поверхности отклика в координатах «SD_total», «Airless_total», «Gest».

В ходе исследования выявлены показатели, подтверждающие возможность связи ультразвуковых феноменов легких со стандартными лабораторными показателями газообмена в легких. Попарный корреляционный анализ значений ультразвуковых характеристик интерстициального синдрома и альвеолярной консолидации с параметрами, характеризующими обмен кислородом и углекислым газом в легких (178 наблюдений) выявил наличие достоверной связи, подтвердив-

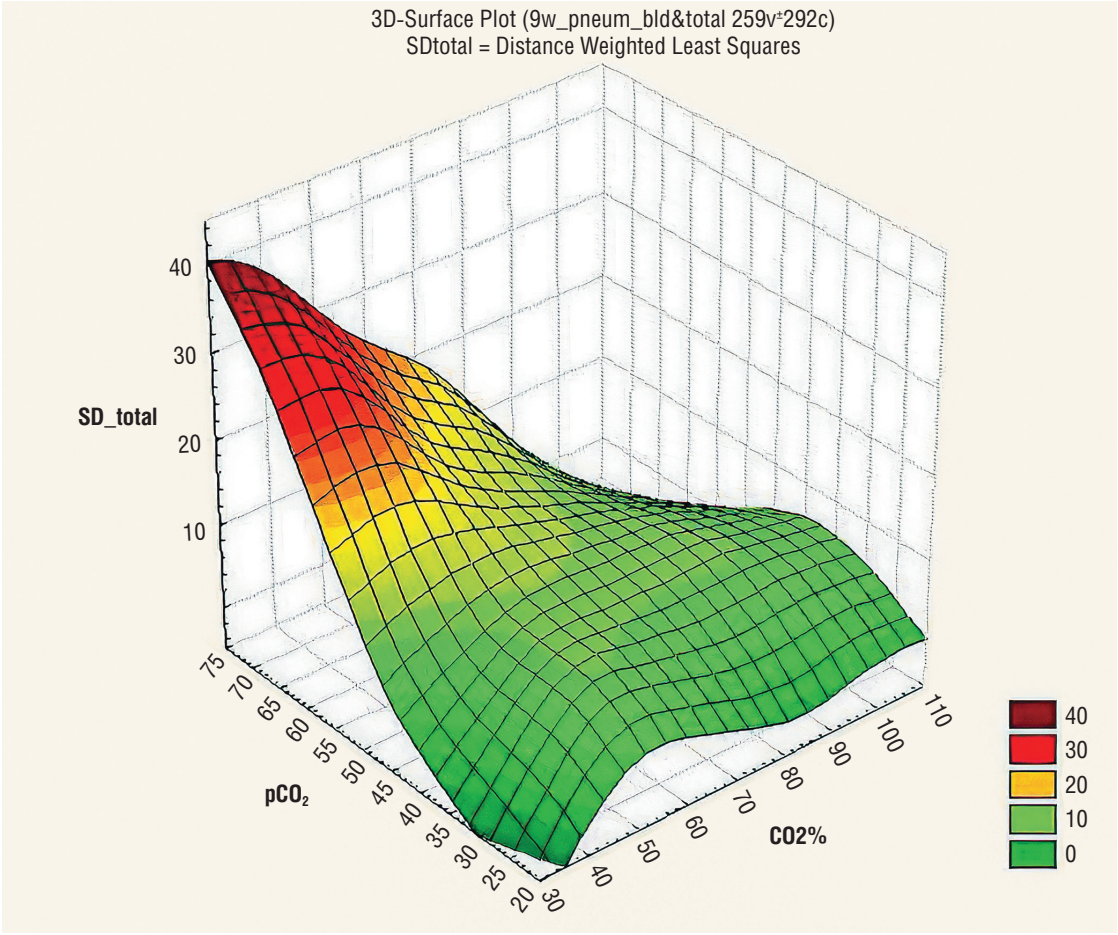


Рис. 7. Поверхность отклика в осях «выраженность интерстициального синдрома», «насыщение крови кислородом» и «напряжение углекислого газа в крови»

шей высокую информативность ультразвуковых описаний легких.

Множественная корреляция, включающая в себя одновременно показатели обмена кислородом и углекислым газом, оказалась значительно более информативной (см. рис. 7, 8) в части глубины описания характеристиками ультразвукового исследования обмена газами в легких.

Представленная на рисунке 7 поверхность отклика иллюстрирует взаимоотношения выраженности интерстициального синдрома, описываемого в терминах ультразвуковой диагностики, с напряжением углекислого газа в крови и насыщенностью крови кислородом.

Как видно на представленном рисунке, для малых значений напряжения углекислого газа в крови (до ~ 35 мм рт. ст.) выраженность интерстициального синдрома практически не связана с насыщением крови кислородом. При значениях pCO_2 выше ~35 мм рт. ст. и значениях SO_2% ниже 80% выявлена положительная корреляция значения SD_total с pCO_2 и отрицательная корреляция — с SO_2%.

Полученная поверхность отклика удивительно точно отражает существующие фундаментальные представления о диффузии кислорода и углекислого газа между альвеолой и капилляром при ухудшении свойств интерстициальной ткани:

1. большие значения насыщенности крови кислородом могут быть достигнуты лишь при малой выраженности интерстициального синдрома, описываемого в терминах ультразвуковой диагностики,
2. малые значения напряжения углекислого газа в крови ассоциируются как с большими, так и с малыми значениями насыщенности крови кислородом; наличие общей зоны малых значений напряженности углекислого газа в крови и малых значений насыщенности крови кислородом свидетельствует о бóльшей диффузионной способности углекислого газа,
3. бóльшая выраженность интерстициального синдрома ассоциируется с бóльшим напряжением углекислого газа в крови и меньшей насыщенностью крови кислородом.

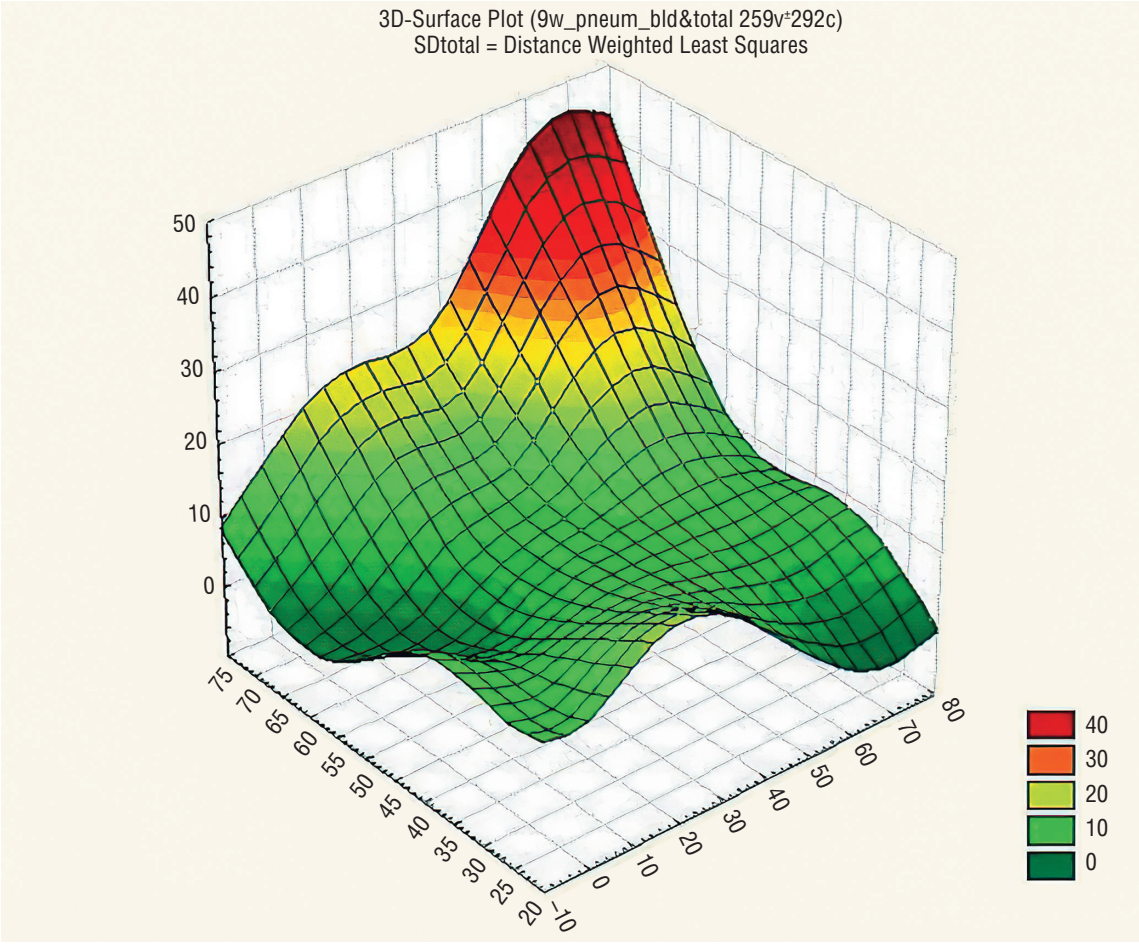


Рис. 8. Поверхность отклика в осях «интерстициальный синдром», «альвеолярно-артериальная разница по кислороду» и «напряжение углекислого газа в крови»

Представленная на рисунке 8 поверхность отклика иллюстрирует взаимоотношения выраженности интерстициального синдрома, описываемого в терминах ультразвуковой диагностики, с напряжением углекислого газа в крови и альвеолярно-артериальной разницей по кислороду.

Как видно на рисунке 8, бóльшие значения альвеолярно-артериальной разницы по кислороду и бóльшие значения напряжения углекислого газа в крови ассоциируются с бóльшей выраженностью интерстициального синдрома. Необходимо подчеркнуть, что наличие общей зоны больших значений альвеолярно-артериальной разницы по кислороду и малых значений напряжения углекислого газа в крови подтверждает вывод, фактически, сделанный при анализе поверхности отклика, представленной на рисунке 8: выраженность ультразвукового феномена «интерстициальный синдром» достаточно детально отражает состояния интерстициальной ткани легкого, поскольку позволяет подтвердить даже бóльшую диффузионную способность углекислого газа.

ВЫВОДЫ

1. Ультразвуковые характеристики легких у детей в возрасте от рождения до 9 месяцев, статистически достоверно коррелируют на уровне, достаточном для использования ультразвукового исследования с диагностическими целями для всех сегментов, за исключением сегментов 4,5 билатерально.

2. С целью оптимизации динамического отслеживания изменений объема и локализации очаговых изменений легких целесообразно использовать в качестве координат общепринятую анатомическую проекцию сегментов легких на поверхность грудной клетки, а для оценки выраженности интерстициального синдрома — зонирование легких.

3. У недоношенных детей, не имеющих патологии легких, в первые 14–16 часов жизни регистрируется «интерстициальный синдром». Выраженность его линейно уменьшается по мере увеличения гестационного возраста с 50 баллов (максимальная расчетная величина, соответствует УЗ-признаку «белое легкое») в возрасте 22 недели до 0 в возрасте 36–38 недель.

4. Выраженность интерстициального синдрома выше 20 баллов и суммарной по сегментам площади альвеолярной консолидации больше 100 мм^2 ассоциируются с увеличением альвеолярно-артериального градиента по кислороду более 20–30 мм рт. ст., что позволяет рассматривать метод ультразвукового исследования легких при оценке необходимости детального исследования альвеолярно-артериального градиента по кислороду в качестве скрининг-метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вельтищев Ю.М., Дементьева Г.М. Синдром дыхательных расстройств (респираторный дистресс-синдром) у новорожденных. Вестник АМН СССР. 1990; 7: 51–5.
2. Шабалов Н. П. Неонатология. Учебное пособие: в 2 т. 3-е, испр. и доп. М.: МЕД пресс-информ. 2004; 1.
3. Lichtenstein D., Mauriat P. Lung ultrasound in the critically ill neonate. Current pediatric reviews. 2012; 8(3): 217–23.
4. Volpicelli G. Lung sonography. Journal of Ultrasound in Medicine. 2013; 32(1): 165–171.
5. Ianniello S., et al. First-line diagnosis of pediatric pneumonia in emergency: lung ultrasound (LUS) in addition to chest-X-ray (CXR) and its role in follow-up. The British journal of radiology. 2016; 89(1061): 1–19.
6. Guerra M., et al. Ultrasound detection of pneumonia in febrile children with respiratory distress: a prospective study. European journal of pediatrics. 2016; 175(2): 163–170.
7. Ho M.-C., et al. Usefulness of lung ultrasound in the diagnosis of community-acquired pneumonia in children. Pediatrics & Neonatology. 2015; 56(1): 40–5.
8. Raimondi F., et al. Lung ultrasound for diagnosing pneumothorax in the critically ill neonate. The Journal of pediatrics. 2016; 175: 74–8.
9. Lobo V., et al. Thoracic ultrasonography. Critical care clinics. 2014; 30(1): 93–117.
10. Via G., et al. Lung ultrasound in th eICU: from diagnostic instrument to respiratory monitoring tool. Minerva Anestesiologica. 2012; 78(11): 1282–96.
11. Mongodi S., et al. Use fullness of combined bedside lung ultrasound and echocardiography to assess weaning failure from mechanical ventilation: a suggestive case. Critical care medicine. 2013; 41(8): e182–5.
12. Lichtenstein D., Karakitsos D. Integrating lung ultrasound in the hemodynamic evaluation of acute circulatory failure (the fluid administration limited by lung sonography protocol). Journal of critical care. 2012; 27(5): 533.e11–533.e19.
13. Акиншин И.И., Ахлам А.А., Синельникова Е.В., Часнык В.Г. и др. Сравнительный анализ информативности ультразвукового и рентгенологического методов исследования в диагностике патологии легких у детей раннего возраста. Педиатр. 2016; 7(4): 37–44.
14. Cattarossi L., Copetti R., Poskurica B. Radiation exposure early in life can be reduced by lung ultrasound. CHEST Journal. 2011; 139(3): 730–1.

REFERENCE

1. Vel'tishchev Yu.M., Dement'yeva G.M. Sindrom dykhatel'nykh rasstroystv (re-spiratornyy distress-sindrom) u novorozhdonnykh. [Respiratory distress syndrome (re-spiral distress syndrome) in newborns]. Vestnik AMN SSSR. 1990; 7: 51–5. (in Russian).
2. Shabalov N. P. Neonatologiya. [Neonatology]. Uchebnoye posobiye: v 2 t. 3-ye, ispr. i dop. M.: MED press-inform. 2004; 1. (in Russian)
3. Lichtenstein D., Mauriat P. Lung ultrasound in the critically ill neonate. Current pediatric reviews. 2012; 8(3): 217–23.
4. Volpicelli G. Lung sonography. Journal of Ultrasound in Medicine. 2013; 32(1): 165–171.
5. Ianniello S., et al. First-line diagnosis of pediatric pneumonia in emergency: lung ultrasound (LUS) in addition to chest-X-ray (CXR) and its role in follow-up. The British journal of radiology. 2016; 89(1061): 1–19.
6. Guerra M., et al. Ultrasound detection of pneumonia in febrile children with respiratory distress: a prospective study. European journal of pediatrics. 2016; 175(2): 163–170.
7. Ho M.-C., et al. Usefulness of lung ultrasound in the diagnosis of community-acquired pneumonia in children. Pediatrics & Neonatology. 2015; 56(1): 40–5.
8. Raimondi F., et al. Lung ultrasound for diagnosing pneumothorax in the critically ill neonate. The Journal of pediatrics. 2016; 175: 74–8.
9. Lobo V., et al. Thoracic ultrasonography. Critical care clinics. 2014; 30(1): 93–117.
10. Via G., et al. Lung ultrasound in th eICU: from diagnostic instrument to respiratory monitoring tool. Minerva Anestesiologica. 2012; 78(11): 1282–96.
11. Mongodi S., et al. Use fullness of combined bedside lung ultrasound and echocardiography to assess weaning failure from mechanical ventilation: a suggestive case. Critical care medicine. 2013; 41(8): e182–5.
12. Lichtenstein D., Karakitsos D. Integrating lung ultrasound in the hemodynamic evaluation of acute circulatory failure (the fluid administration limited by lung sonography protocol). Journal of critical care. 2012; 27(5): 533.e11–533.e19.
13. Akinshin I.I., Akhlam A.A., Sinel'nikova Ye.V., Chasnyk V.G. i dr. Sravnitel'nyy analiz informativnosti ul'trazvukovogo i rentgenologicheskogo metodov issledovaniya v diagnostike patologii legkikh u detey rannego vozrasta. [A comparative analysis of the informative value of ultrasound and radiological research methods in the diagnosis of lung pathology in young children]. Pediatr. 2016; 7(4): 37–44. (in Russian).
14. Cattarossi L., Copetti R., Poskurica B. Radiation exposure early in life can be reduced by lung ultrasound. CHEST Journal. 2011; 139(3): 730–1.