

# Эхографическая оценка плеврального выпота у детей

Е. Б. Ольхова<sup>\*, 1, 2</sup>, Д. В. Хаспеков<sup>2</sup>, А. С. Сар<sup>2</sup>, Е. В. Кузнецова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России

<sup>2</sup> ГБУЗ «Детская городская клиническая больница Св. Владимира Департамента здравоохранения города Москвы»

## Echographic Assessment of Pleural Effusion in Children

E. B. Olkhova<sup>\*, 1, 2</sup>, D. V. Khaspekov<sup>2</sup>, A. S. Sar<sup>2</sup>, E. V. Kuznetsova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Department of Radiology, Ministry of Healthcare of Russia

<sup>2</sup> Clinical Municipal Children Hospital St. Vladimir, Moscow Healthcare Department

### Реферат

Актуальность исследования определяется частотой встречаемости плеврального выпота у детей не только с пульмонологическими заболеваниями, но и у самого разного контингента пациентов с разными полиорганными проблемами. Эхографические критерии оценки плеврального содержимого различной этиологии не всегда точны, а количественная оценка плеврального выпота в детской практике до сих пор не разработана. Схемы, принятые во взрослой практике, не могут быть применимы в детской практике, тем более у детей раннего возраста. В статье показаны варианты эхографического представительства различных видов плеврального выпота, анализируются варианты применения различных форм расчета объема плеврального выпота и предлагаются поправочные коэффициенты для детей различного веса.

**Ключевые слова:** ультразвуковая диагностика, дети, плевральный выпот.

### Abstract

The relevance of the study is determined by the frequency of pleural effusion in children not only with pulmonological diseases, but also in a wide variety of patients with different multiple organ problems.

**\* Ольхова Елена Борисовна**, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России, заведующая отделением ультразвуковой диагностики ГБУЗ «Детская городская клиническая больница Св. Владимира Департамента здравоохранения города Москвы».

Адрес: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.

Тел.: + 7(495) 611-01-77. Электронная почта: elena-olchova@bk.ru

ORCID: 0000-0003-3757-8001

**Olkhova Elena Borisovna**, M. D. Med., Professor, Professor of Department of Radiology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Department of Radiology, Ministry of Healthcare of Russia; Head of Department of the Ultrasound Diagnostic Moscow Clinical Municipal Children Hospital St. Vladimir, Moscow Healthcare Department.

Address: 9a, ul. Vucheticha, Moscow, 127206, Russia.

Phone number: +7 (495) 611-01-77. E-mail: elena-olchova@bk.ru

ORCID: 0000-0003-3757-8001

Echographic criteria for assessing pleural contents of various etiologies are not always accurate, and quantitative assessment of pleural effusion in children's practice has not yet been developed. Schemes adopted in adult practice cannot be applied in children's practice, especially in young children. The article shows options for echographic representation of various types of pleural effusion, analyzes the use of various forms of calculating the volume of pleural effusion, and suggests correction factors for children of different weights.

**Key words:** Ultrasonography, Children, Pleural Effusion.

## Актуальность

Изучение вопросов об ультразвуковой оценке количества плеврального выпота началось с 90-х годов прошлого столетия, т.е. с момента внедрения УЗИ в широкую клиническую практику и появления возможности выполнения «прикроватного» УЗИ в группах тяжелых, в том числе реанимационных, находящихся на ИВЛ пациентов [2]. Во всех случаях массивные, статистически достоверные исследования были выполнены на взрослых пациентах, преимущественно с кардиологическими проблемами.

Считается, что в норме в плевральной полости может находиться до 10 мл выпота и продукция плевральной жидкости в норме составляет около 0,01–0,02 мл на 1 кг в ч или 0,1–0,2 мл на 1 кг массы тела в сутки [5].

Всеми исследователями подчеркивается, что УЗИ несравненно более чувствительный относительно обнаружения выпота в плевральной полости метод, нежели общепринятое и общедоступное рентгеновское исследование. Признано, что начиная с 5–20 мл выпот в плевральной полости может быть определен при УЗИ со 100 %-ной чувствительностью, в то время как рентгенография в прямой позиции позволяет дифференцировать выпот начиная со 100–150 мл, при этом имеет значение рентгеновская проекция: в ла-

теральной позиции рентгенологически обнаруживается не менее 50 мл, а при стандартной рентгенографии в прямой проекции — 200–500 мл у взрослых пациентов [5, 10, 13].

Физикальными методами обнаружить плевральный выпот у взрослых пациентов в количестве менее 300 мл невозможно [10]. Из физикальных методов наиболее точна перкуссия, но перкуторные волны проникают только на глубину 6 см, соответственно метод неинформативен у тучных пациентов. Также почти никогда не определяются физикально локальные скопления выпота [10].

Показатели диагностической информативности УЗИ в плане определения наличия плеврального выпота оцениваются в 92–100 и 93–99,7 % (чувствительность и специфичность соответственно), при этом «золотым стандартом» считается КТ [7–9, 11, 13].

Самый первый, а то и единственный вопрос, на который ждут ответа клиницисты, особенно в urgentных ситуациях, — это вопрос о количестве выпота в плевральной полости. Естественно, и исследования возможностей УЗИ проводились в первую очередь с учетом таких потребностей. Необходимым условием для корректной УЗ-оценки количества выпота в плевральной полости признан нефиксированный характер выпота [2,

3, 8]. Впрочем, в ургентных ситуациях это условие выполняется естественным образом, поскольку происходит острое накопление выпота, крови и пр. В собственных исследованиях от этого принципа часто приходилось отказываться в основном у пациентов с пиотораксом.

Методом верификации эхографически предсказанного количества выпота во всех случаях являлся торакоцентез с полной эвакуацией (эхографический контроль) содержимого плевральной полости и определением его точного количества. Случаи неполной эвакуации жидкости из исследований исключались. Также исключались лица с деформацией грудной клетки, после операций на легких, с патологией диафрагмы, гемотораксом, эмпиемой плевры (т. е. с заведомо гетерогенным характером содержимого в плевральной полости) [1–3]. В собственных случаях постпункционный эхографический контроль выполнен только в 1/3 случаев, также в исследованную группу входили пациенты с деформациями грудной клетки и, как уже отмечалось, с гетерогенным плевральным содержимым.

Наиболее эхографически просто измерить толщину слоя плеврального выпота, и всеми исследователями однозначно признается, что имеется прямая сильная корреляционная связь между этой величиной и количеством плеврального выпота, полученного при торакоцентезе. Первые исследования содержали просто сведения о толщине слоя выпота и количестве полученной жидкости у каждого конкретного пациента [12]. Так, было доказано, что при толщине слоя выпота более 45 мм количество его в плевральной полости превышает 800 мл [12, 15]. На следующем этапе

были даны ранжированные значения толщины слоя выпота и соответствующие им вероятные объемы выпота. Так, уже в 1994 г. представлены данные, при толщине слоя выпота в плевральной полости 30 мм среднее количество содержимого в ней составляет  $380 \pm 130$  мл, в при толщине 40 мм —  $1000 \pm 330$  мл с  $r = 0,8$ . Причем средняя ошибка при «малых» объемах составила 224 мл, при «больших» — 465 мл [3].

На первых этапах измерялось максимальное расстояние между листками плевры (ПП — плевра-плевра), и на корте из 70 реанимационных пациентов (92 торакоцентеза) было показано, что средняя величина сепарации листков плевры составила 35 мм, что соответствовало среднему количеству выпота в  $658 \pm 320$  мл. Авторы также подчеркивают сильную прямую корреляционную связь между эхографической величиной ПП и количеством выпота с  $r = 0,72$  [1]. Одновременно была предложена формула для оценки предполагаемого объема жидкости:  $V$  (ml) =  $20 \times \text{Sep}$  (mm), где Sep — максимальная сепарация листков плевры (ПП) при сканировании по заднеаксиллярной линии с поперечным положением датчика к поверхности тела.

Примечательно, что в данном исследовании, несмотря на реанимационный уровень тяжести пациентов, исследование проводилось не строго в горизонтальном положении больного, а с приподнятым на  $150^\circ$  головным концом [1].

В то же время стали предлагаться и другие формулы прогнозирования объема выпота в плевральной полости в зависимости от толщины слоя выпота. Закономерно обнаружился ряд отдельных обстоятельств, каждое из которых влияло на точность оценки предсказанного объема:

- положение пациента — лежа или полулежа либо в положении ортопноэ. Соответственно для реанимационных (лежащих на спине, часто на ИВЛ) пациентов и для «сидящих» пациентов удобнее разные варианты формул [5];
- латерализация процесса. В большинстве случаев количество выпота слева предсказывается более точно. Понятно, что это связано с левосторонним расположением сердца, но каким образом — никто объяснить пока не смог [5, 7]. Впрочем, такая зависимость точности предсказания объема выпота от латерализации процесса прослеживается не во всех исследованиях [8];
- количество выпота. При очень больших объемах выпота (2,5 л и более) точность эхографического предсказания объема уменьшается [5–7, 12];
- возраст пациентов. У молодых точность предсказания объема выше. Это сомнительный фактор значимости, поскольку у молодых пациентов количество выпота в среднем достоверно меньше, чем у пожилых, что, видимо, и определяет точность предсказания [5].

В большинстве случаев максимальная сепарация листков плевры измеряется на высоте вдоха [1, 5, 11, 12, 14 и др.], однако иногда предпочтение отдается состоянию выдоха [15].

Очень интересно недавнее исследование В. О. Ibitoye et al. [2018], в котором авторы на 32 пациентах от 10 до 80 лет (средний возраст —  $41,56 \pm 18,34$  года с плевральным выпотом различной этиологии [туберкулез (9), пневмония (5), онкология (11), гемоторакс (2), ХПН (1), перфорация пищевода (1), неизвестно (3)] выполнили эхографи-

ческое прогнозирование его объема 4 способами у каждого пациента и сравнили результаты всех исследований с определением прогностически значимых факторов [5]. Во всех случаях сепарация листков плевры была более 10 мм, право- и левосторонних поражений было одинаковое количество, мужчин и женщин почти поровну. Были выбраны 2 варианта методик в горизонтальном положении пациента (erect) и 2 методики в положении пациента с возвышенным головным концом (supine):

- erect 1 (Goecke 1):  $V = X \times 90$ , где  $V$  — оценочный объем выпота мл;  $X$  — краниокаудальная протяженность выпота, в см, по дорзолатеральной стенке грудной клетки при продольном положении датчика;
- erect 2 (Goecke 2):  $V = (X + LDD) \times 70$ , где  $V$  — предположительный объем, в мл;  $X$  — краниокаудальное измерение слоя выпота в дорзолатеральном отделе грудной клетки в прямом положении при продольной ориентации датчика;  $LDD$  — расстояние от диафрагмы до нижнего края легкого (толщина подлежащего слоя жидкости, в см);
- supine 1 (Eibenberger):  $V = 47,6 \times X - 837$ , где  $V$  — предположительный объем выпота, в мл;  $X$  — максимальное перпендикулярное расстояние между поверхностью легкого и грудной стенкой на максимальном вдохе, в поперечном скане, перпендикулярно к поверхности грудной стенки;
- supine 2 (Balik):  $V = 20 \times X$ , где  $V$  — предположительный объем выпота, в мл;  $X$  — максимальное перпендикулярное расстояние между поверхностью легкого и грудной стенкой на максимальном вдохе при поперечном

положении датчика перпендикулярно к поверхности грудной клетки.

**Цель:** уточнение эхографической семиотики плеврального выпота различной этиологии и разработка схемы количественной оценки плеврального содержимого.

### Материалы и методы

За период 2016–2020 гг. обследовано 498 детей в возрасте от 0 до 17 лет 11 мес 29 сут массой тела от 1 до 122 кг с плевральным выпотом различной эхографической консистенции. Основными заболеваниями у детей были:

- острое почечное повреждение — 136;
- пневмония — 124;
- состояние после операций на органах брюшной полости — 94;
- состояние после операций на органах грудной клетки — 61;
- общий отечный синдром, полиорганная недостаточность — 45;
- нефротический синдром — 22;
- травма органов грудной клетки — 6;
- лимфома средостения — 5;
- хилоторакс — 5.

### Результаты и их обсуждение

Были выделены следующие варианты эхографической консистенции плеврального выпота:

- анэхогенный;
- с мелкодисперсной взвесью;
- гетерогенное со сгустками и взвесью;
- с нитевидными структурами (фибриноторакс).

Анэхогенное содержимое в плевральной полости наблюдалось у пациентов всех исследованных групп и соответствовало серозному характеру выпота (рис. 1, *а – в*).

Плевральное содержимое с мелкодисперсной взвесью встречалось в разных ситуациях: это мог быть и геморрагический выпот, и серозно-геморрагический или серозно-гнойный. Нежная мелкодисперсная взвесь была типична для хилоторакса до начала лечения (рис. 2, *а – в*).

Гетерогенное содержимое со сгустками, взвесью, осадком было типичным для деструктивной пневмонии, гнойного характера выпота в плевральной полости. Также крупные сгустки встре-

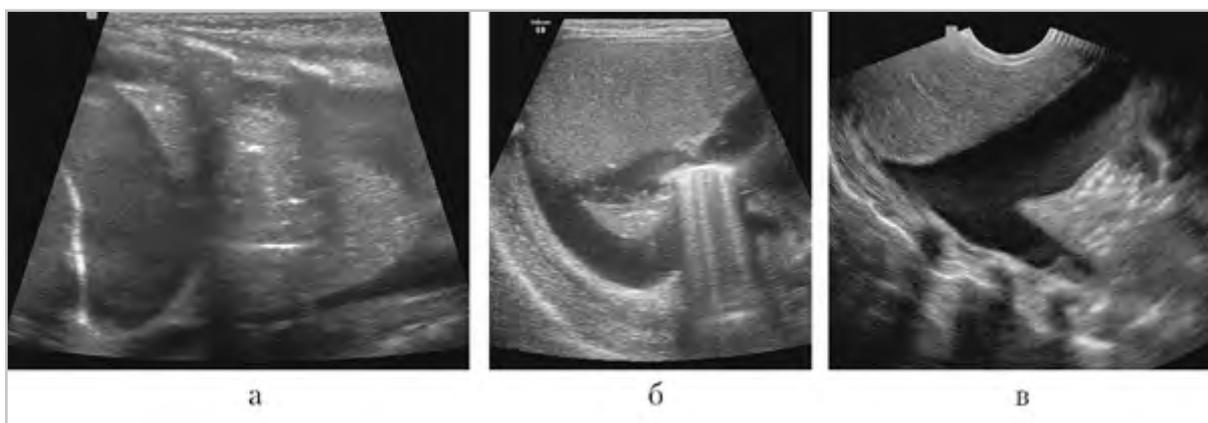


Рис. 1. УЗИ в В-режиме: анэхогенное содержимое в плевральной полости: *а* — новорожденный с острым почечным повреждением, периинтравентрикулярным кровоизлиянием, полиорганной недостаточностью, гидротораксом справа на фоне тотального ателектаза правого легкого; *б* — ребенок 2 лет с нефротическим синдромом; *в* — новорожденный с гидротораксом справа

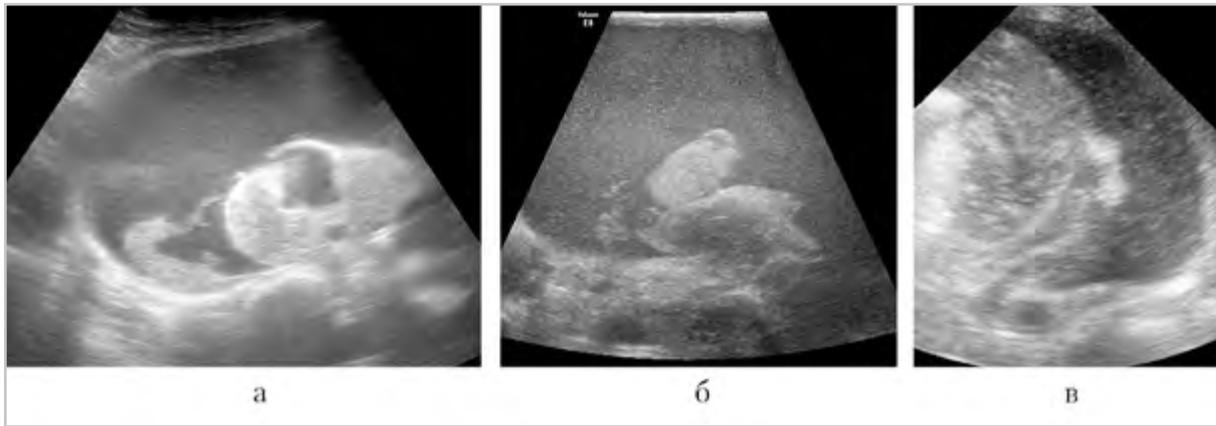


Рис. 2. УЗИ в В-режиме: плевральное содержимое в виде мелкодисперсной взвеси: *а* — кататравма, разрыв легкого, гемоторакс; *б* — лимфома средостения; *в* — хилоторакс

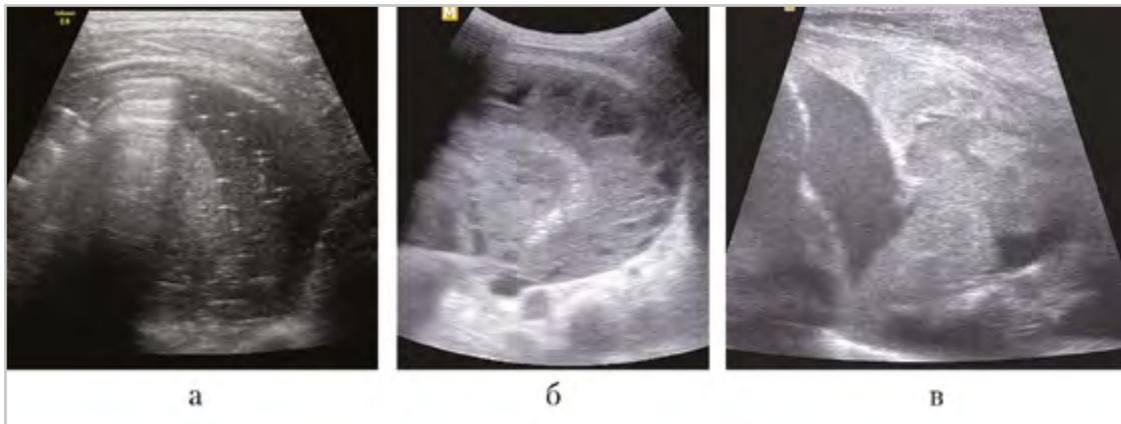


Рис. 3. УЗИ в В-режиме: гетерогенное содержимое в плевральной полости: *а* — пиопневмоторакс у ребенка с деструктивной пневмонией; *б* — пиоторакс у ребенка с деструктивной пневмонией; *в* — свернувшийся гемоторакс у новорожденного с геморрагическим синдромом

чались при свернувшемся гемотораксе у детей после травмы органов грудной клетки и/или после геморрагических осложнений. В этой группе пациентов полная эвакуация содержимого из плевральной полости была невозможна вследствие консистенции содержимого, и сопоставление ожидаемого и полученного количества плеврального выпота было условным (рис. 3, *а* – *в*).

Содержимое с преобладанием множественных нитевидных структур было типичным для фибриоторакса у детей на этапах лечения деструктивной пнев-

монии (рис. 4, *а* – *в*). Полная эвакуация содержимого из плевральной полости пункционным методом была технически невозможна вследствие консистенции содержимого, сопоставление ожидаемого и полученного количества плеврального выпота не проводилось. Пункции выполнялись редко при подозрении на гнойно-фибринозное содержимое и при необходимости получения лабораторных данных.

Качественная оценка количества выпота в плевральной полости может быть представлена следующим образом:

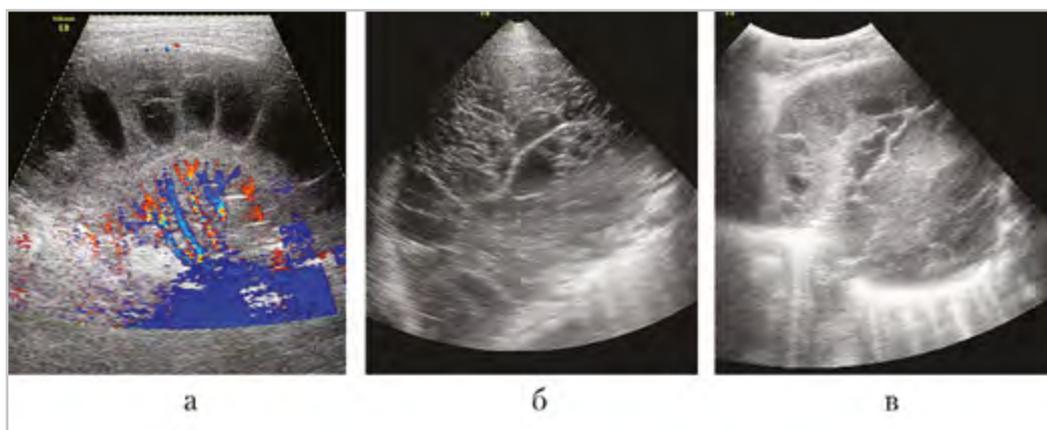


Рис. 4. УЗИ в В-режиме: фибринооторакс у детей с деструктивной пневмонией: *а* — фибринооторакс: относительно крупные включения выпота между нитями фибрина; *б* — фибринооторакс мелкоячеистой структуры; *в* — пиофибринооторакс: насыщенная взвесь между нитями фибрина

- «небольшое количество» — только в области плеврального синуса. Может сопровождаться краевым компрессионным ателектазом легкого малых размеров. Само по себе такое количество выпота не вызывает значимых вентиляционных нарушений и не является показанием к плевральной пункции и эвакуации выпота;
- «умеренное количество» — в области заднего плеврального синуса и вокруг нижних отделов легкого примерно до уровня середины лопатки. Практически всегда сопровождается краевым компрессионным ателектазом небольших размеров. Само по себе такое количество выпота не вызывает значимых вентиляционных нарушений и не является показанием к плевральной пункции и эвакуации выпота;
- «значительное количество» — выпот вокруг всего легкого по задненаружному контуру. Всегда сопровождается краевым компрессионным или (суб)тотальным ателектазом легкого, особенно у детей периода новорожденности. Такое количе-

ство выпота может само по себе вызывать значимые вентиляционные нарушения и являться показанием к плевральной пункции и эвакуации выпота. Только при таком количестве выпота целесообразна его количественная оценка.

Верификация эхографически оцененного количества выпота в плевральной полости проводилась путем сравнения с количеством выпота, полученного при плевральной пункции. Решение о необходимости плевральной пункции с целью эвакуации выпота принималось хирургами на основании всей совокупности клинических, лучевых и лабораторных данных. Наличие множественных нитей фибрина в плевральном выпоте являлось противопоказанием к пункции. Необходимость плевральной пункции с целью получения бактериологических или гистологических данных определяла выполнение манипуляции вне зависимости от предполагаемого количества выпота. Эти пациенты в исследуемую группу не вошли.

Всего выполнено 108 плевральных пункций у 88 детей перечисленных

групп: в некоторых случаях (хилоторакс, пневмония) плевральные пункции выполнялись неоднократно. Реже всего пункции при значительном количестве выпота выполнялись у детей с острым почечным повреждением и нефротическим синдромом, когда гидроторакс излечивался на фоне применения диуретиков или почечнозаместительной терапии.

УЗИ выполнялось в положении пациентов на спине. При необходимости и возможности изменения положения тела исследование также выполнялось в положении пациента на боку. У некоторых пациентов после торакопластики исследование выполнялось в положении сидя.

В большинстве случаев измерения толщины слоя плеврального выпота проводились с учетом существующих схем расчета объема плеврального выпота:

- при поперечном положении датчика (по межреберью) по боковой поверхности тела ниже соска (примерно уровень VI ребра) — от внутренней поверхности грудной стенки до поверхности легкого (толщина плеврального скопления);
- при продольном положении датчика по заднеаксиллярной линии на уровне реберной дуги — от поверхности диафрагмы до нижнего полюса легкого (легочно-диафрагмальное расстояние);
- при продольном положении датчика по заднеаксиллярной линии — от поверхности диафрагмы до верхней границы выпота (краниокаудальная протяженность плеврального скопления).

Учитывая, что плевральный выпот в первую очередь скапливался в плевральных синусах, исследование начиналось из эпигастрального доступа, после

чего при необходимости выполнялось сканирование из латеральных доступов.

Сначала расчеты выполнялись по всем известным формулам, предложенным в начале 2000-х гг. и комплексно использованным в исследовании В. О. Ibitoye et al. [2018]. В отличие от авторских методик, в собственном исследовании все пациенты обследовались в положении лежа:

- Goecke 1:  $V = X \times 90$ , где  $V$  — оценочный объем выпота, в мл;  $X$  — краниокаудальная протяженность выпота, в см, по дорзолатеральной стенке грудной клетки при продольном положении датчика;
- Goecke 2:  $V = (X + LDD) \times 70$ , где  $V$  — предположительный объем, в мл;  $X$  — краниокаудальное измерение слоя выпота в дорзолатеральном отделе грудной клетки в прямом положении при продольной ориентации датчика;  $LDD$  — расстояние от диафрагмы до нижнего края легкого (толщина подлегочного слоя жидкости, в см);
- Eibenberger:  $V = 47,6 \times X - 837$ , где  $V$  — предположительный объем выпота, в мл;  $X$  — максимальное перпендикулярное расстояние между поверхностью легкого и грудной стенкой на максимальном вдохе, в поперечном скане, перпендикулярно к поверхности грудной стенки;
- Balik:  $V = 20 \times X$ , где  $V$  — предположительный объем выпота, в мл;  $X$  — максимальное перпендикулярное расстояние между поверхностью легкого и грудной стенкой на максимальном вдохе при поперечном положении датчика перпендикулярно к поверхности грудной клетки.

Учитывая, что эти формулы были предложены для взрослых пациентов,

сначала были отобраны 15 детей массой тела более 40 кг (т.е. сопоставимые с массой тела взрослого). Полученный результат однозначно позволил предпочесть формулу Balik: по ней расхождения между реальным и ожидаемым количеством выпота составляли

, в среднем 16 % (11–25 %). Расчеты по другим формулам сопровождались значительно большей погрешностью (до 70 %), что, видимо, связано с учетом величины краниокаудальной протяженности выпота, которая напрямую зависит от роста пациента (формулы Goeske) или постоянного коэффициента (формула Eibenberger). Также явное предпочтение формулы Balik связано с технически более простым выполнением необходимого измерения и наиболее простым вариантом расчета, который несложно выполнить в уме, у постели больного.

Поправки к формуле Balik, учитывающие размеры пациента, были введены эмпирически. Из параметров оценки размера пациента, как самый простой и практически всегда известный, взята масса тела ребенка (в крайнем случае этот параметр всегда может быть приблизительно определен на глаз).

Итак, результат, полученный по формуле Balik, следует разделить на эмпирически найденный коэффициент  $k$ :

$$V_{\text{выпота}} = 20 \times X/k, \quad (1)$$

где  $k$  составляет:

- 1 — при массе тела ребенка 40 кг и более (т.е. используется формула Balik без поправочных коэффициентов);
- 2 — при массе тела ребенка около 30 кг (около 7–10 лет);
- 3 — при массе тела ребенка около 20 кг (около 4–7 лет);

5 — при массе тела ребенка около 10 кг (около 1 год);

8 — при массе тела ребенка около 5 кг (новорожденный — 3 мес);

10 — при массе тела ребенка около 3 кг (доношенный новорожденный);

12 — при массе тела ребенка 1–1,5 кг (недоношенный — 28–32 нед гестации).

### Пример

Ребенок 2 мес с хилотораксом, масса тела на момент осмотра 3 кг 200 г. Толщина слоя выпота вокруг легкого справа — 17 мм.

Расчет по формуле Balik:  $17 \times 20 = 340$  мл.

Поправка на массу тела ребенка составляет 10, тогда  $340 : 10 = 34$  мл. При пункции получено 30 мл жидкостного компонента (ошибка составила 13 %), что позволяет считать предложенный расчет вполне приемлемым в сравнении с величиной ошибки известных методик.

В таблице (см. с. 25) представлены данные о расчетных и реальных величинах объема плеврального содержимого. Представлены средние арифметические и предельные величины (в скобках) для каждой группы. Значительный разброс представленных цифр обусловлен крайне различным по соматическому статусу контингентом и значительными индивидуальными колебаниями количества выпота.

Исключение составляют младенцы с очень большим количеством плеврального выпота, когда внутригрудное напряжение приводит к деформации купола диафрагмы: уплощению его или даже изгибу в сторону брюшной полости. Тогда предполагаемый результат следует умножить на 2, однако точность такого расчета невелика (ошибка до 40 %, преимущественно полученное количе-

**Соотношение прогнозируемого и реального объема плеврального выпота у детей в зависимости от их массы тела**

Масса тела пациентов, кг	Число наблюдений (n = 108)	Толщина слоя выпота, мм	Расчетный объем по Balik	Расчетный объем по Balik, с коррекцией	Реальный объем
Более 40	29	38 (33–58)	760 (660–1400)	760 (660–1400)	620 (300–1200)
26–39 (около 30)	13	31 (18–44)	620 (360–880)	310 (180–440)	350 (160–400)
16–25 (около 20)	18	27 (18–42)	540 (360–840)	180 (120–280)	250 (80–350)
8–15 (около 10)	12	23 (16–25)	460 (320–500)	92 (64–100)	120 (35–200)*
4–7 (около 5)	11	18 (14–29)	360 (280–580)	45 (35–73)	55 (25–110)*
2,5–4 (около 3)	20	17 (13–26)	340 (260–520)	34 (26–52)	38 (20–65)*
1–2,5 (около 1,5)	5	13 (11–16)	260 (220–320)	22 (18–27)	25 (15–25)

*Примечание:* \* — случаи, когда полученное количество плеврального содержимого было намного больше ожидаемого.

ство плеврального содержимого было больше ожидаемого). Интересно, что и все исследователи приходят к выводу о максимальной погрешности расчетного объема выпота при его максимальных количествах (у взрослых пациентов — от 2,5 л). Малое количество подобных наблюдений (n = 4) не позволяет пока предложить других вариантов оценки количества выпота (рис. 5, a – г).

Анализ всей совокупности данных выявил максимальную достоверность формулы erect 2 (Goeske 2) с коэффициентом корреляции  $r = 0,81$ ;  $P < 0,001$ . Формула хороша для нефиксированного выпота, локализованного преимущественно в нижних отделах плевральных полостей. Методика Goeske 1 показала  $r = 0,75$ ; [ $P < 0,001$ , остальные методики] (supine 1 (Eibenberger) и supine 2 (Balik)

продемонстрировали более низкие показатели корреляции — 0,62 и 0,63 соответственно. Все варианты расчетов занижали реальное количество выпота, что было особенно заметно для методик supine 2 и erect 2 при большом количестве выпота.

У пациентов до 20 лет при расчете по erect 2 (Goeske 2) была выявлена наибольшая корреляция с реальным количеством выпота —  $r = 0,97$ ;  $P = 0,03$ . У более пожилых пациентов обе позиции: erect 1 (Goeske 1) и erect 2 (Goeske 2) — дали более высокие корреляции, чем позиции супинации (0,71 и 0,77 по сравнению с 0,57 и 0,57 соответственно). В то же время у молодых пациентов количество выпота было достоверно меньше, чем у более пожилых ( $1,327 \pm 900$  и  $3037 \pm 1855$  соответственно), что,

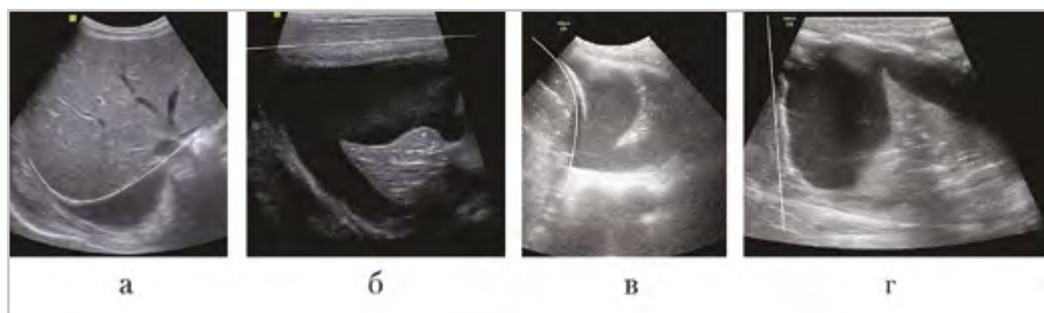


Рис. 5. УЗИ в В-режиме: деформация контура диафрагмы у младенцев с очень большим количеством плеврального выпота: *а* — нормальная конфигурация контура диафрагмы при поперечном сканировании из правого подреберья; *б* — уплощение контура диафрагмы при поперечном сканировании из правого подреберья; *в* — нормальная конфигурация контура диафрагмы при продольном сканировании по заднеаксиллярной линии справа; *г* — уплощение контура диафрагмы при продольном сканировании по заднеаксиллярной линии справа

вероятно, и определило полученные данные. Интересно, что количество выпота слева формулы прогнозируют в количественном отношении хуже (г от 0,49 до 0,76 по разным методикам), чем справа (0,82–0,84).

Вообще расчет объема плеврального выпота на основании плевродиафрагмального расстояния используется редко. Например, N. J. Soni et al. (2015) предлагают следующую формулу:  $V = 16 \times X$ , где  $V$  — предполагаемый объем, в мл;  $X$  — расстояние от висцеральной плевры до середины диафрагмы (вышей точки), измеренное в продольном скане [10].

Авторы приводят высокие показатели корреляции между предполагаемым и реальным объемами выпота —  $r = 0,79$ . Рекомендуется выполнять УЗИ при положении пациента на спине немного повернувшись на противоположный бок, датчик ориентировать продольно, меткой к голове, по заднеаксиллярной линии. Необходимо идентифицировать 5 структур: печень/селезенка, диафрагма, плевральный выпот, легкое и грудная стенка. Большое ко-

личество выпота вызывает компрессионный ателектаз легкого, который по эхогенности схож с печенью и в структуре которого обычно прослеживается воздушная бронхограмма [10]. При цветовом доплеровском исследовании можно видеть окрашивание свободно перемещающегося выпота. Отсутствие окрашивания поможет дифференцировать гипозоногенный выпот от гипозоногенных плевральных масс (сгустки инфильтраты, метастазы и пр.) [10].

Предпринимались попытки вычисления предполагаемого объема выпота и по формуле типа трехосного эллипсоида: паравертебрально проводилось измерение длины скопления и его площадь, измеренная на половине расстояния между краниальной и каудальной границами скопления [11]. Примечательно, что в этом исследовании определение объема выпота проводилось и методом УЗИ, и методом КТ, при этом коэффициент корреляции предполагаемого и реального объема выпота на УЗИ составил 0,84, а для КТ — 0,90. Средняя ошибка УЗИ по сравнению с результатами пункции составляла от

–292 до +227 мл, для КТ — от –303 до +198 мл [11].

Использование метода КТ для определения объема жидкости в плевральной полости предпринималось неоднократно. Невозможность прикроватного исследования и определенная лучевая нагрузка компенсируются возможностью трехмерной реконструкции изображения с программной обработкой [8, 9]. Полученные величины очень близки к результатам торакоцентеза с  $r = 0,908$  для правостороннего и  $0,849$  для левостороннего скопления выпота [8]. После исключения случаев фиксированного выпота  $r$  повысились: справа до  $0,969$ , слева  $0,949$ . Интересно, что расчетные данные превосходили реальные на 300–500 мл, в то время как расчетные данные УЗИ в большинстве случаев меньше реальных [5, 8, 11]. Это очень четко показано в исследовании К. Karwat et al. (2014), когда расчет предполагаемого объема выпота был выполнен каждому пациенту 2 способами по Goecke' and Schwerk' (GS) or Padyku a (P). Средний объем реально полученного выпота составил 950 мл, предсказанный объем по GS составил 539 мл, а по P — 648 ml [6]. В крупном исследовании В. О. Ibitoye et al. (2018) результаты УЗ-оценки объема плеврального выпота также были преимущественно ниже реального объема [5]. В целом необходимо отметить, что погрешность величины предсказанного объема достаточно велика и составляет, по данным разных авторов, около 30 % [1, 5, 6, 11, 13, 15]. Интересно, что в собственных наблюдениях в большинстве групп реально полученное количество выпота в среднем превышало расчетное на 11–39 %. Исключение составила группа пациентов массой тела свыше

40 кг, у которых формула Balik применялась без поправочного коэффициента. В этой группе пациентов расчетный объем превосходил реальный в среднем на 23 %. Скорее всего, это связано с тем, что во взрослых исследованиях средняя масса тела пациентов составляет около 70–80 кг, что и приводит к завышению расчетного объема выпота у пациентов массой тела 40–50 кг. Целесообразность введения поправочного коэффициента, равного 1,5 для группы 40–50-килограммовых детей, сейчас изучается.

Интересно, что во многих группах минимальный реально полученный объем содержимого плевральной полости был меньше минимального расчетного объема (группы 10–20-килограммовых детей). Скорее всего, это связано с преобладанием в этих групп пациентов с деструктивной пневмонией, когда густой гнойный выпот было невозможно одномоментно эвакуировать при плевральной пункции.

Несмотря на достаточно объемные и методологически выверенные исследования прогностической ценности УЗИ в определении объема плеврального выпота, исследования на эту тему продолжают, в том числе и поиски новых вариантов формул. Так, в 2018 г. опубликована работа U. K. Teichgräber et al., в которой предлагается несколько иная формула (по сравнению с формулой Balik), результаты использования которой показали высокую корреляцию с данными КТ [13]:  $V = 13,33 \cdot ICS^6$ , где ICS 6 — эхографическое измерение толщины слоя жидкости в 6-м межреберном промежутке. Также авторы ссылаются на используемую формулу Schmidt et al., предложив следующий вариант расчета: в положении  $300^\circ$  наклона тела

пациента измерялся слой жидкости над диафрагмой:  $V = LDD \times 70$ , где LDD — расстояние от диафрагмы до нижнего края легкого (максимальная толщина подлегочного слоя жидкости, в см).

Эту же величину (максимальную толщину подлегочного слоя жидкости) использовали и E. Usta et al. (2010) в работе с пациентами после кардиохирургических вмешательств, причем показаниями к плевральной пункции считали величину, превышающую 30 мм при сатурации менее 92 % [14]. Расчет объема жидкости выполнялся по формуле:  $V = LDD \times 16$ , где LDD — расстояние от диафрагмы до нижнего края легкого (максимальная толщина подлегочного слоя жидкости, в мм). Авторы считают точность этой формулы удовлетворительной, притом, что средний объем полученной жидкости составлял около 500 мл, что совсем немного по сравнению с другими исследованиями [14]. Вероятно, такая формула применима именно при небольших объемах выпота.

Многообразие предложенных формул само по себе доказывает необходимость продолжения поисков. Арифметическое несоответствие между формулами (сравните формулу E. Usta et al. и O. Schmidt et al. или формулы U. K. Teichgräber et al. и M. Balik et al.) определяет несовершенство каждой и высокую погрешность при применении любой из них.

Фундаментальных исследований количественного определения объема плеврального выпота в детской практике в литературе не найдено. Собственный опыт показал преимущества формулы Balik как наиболее простой и в выполнении измерений, и в математическом аппарате. Предложенные поправочные коэффициенты получены эмпирическим путем, что связано с крайним

разнообразием размеров тела пациентов в детской практике. Разница между расчетным и реальным количеством плеврального содержимого в собственных наблюдениях, так же как и у большинства исследователей, составляла в среднем 26 % (до 45 % в отдельных случаях, когда плеврального содержимого было «очень много»), при этом абсолютная погрешность малоинформативна в связи с разными размерами (массой) тела пациентов: разница в 10 мл принципиальна для недоношенного младенца и ничего не значит для подростка.

## Выводы

1. В неотложной детской практике количественная оценка плеврального выпота может быть предпринята у пациентов любого возраста и массы тела независимо от эхографической консистенции плеврального содержимого.
2. Наиболее удобна в неотложной практике базовая формула Balik (толщина слоя плеврального содержимого, измеренная в положении пациента лежа на спине, вокруг легкого на уровне 6-го ребра, в мм, умноженная на 20).
3. Предложены поправочные коэффициенты в формулу Balik в зависимости от массы тела пациентов, на которые следует разделить полученный результат:
  - для детей массой тела более 40 кг формула может быть использована в базовом варианте;
  - для детей массой тела около 30 кг поправочный коэффициент составляет 2;
  - для детей массой тела около 20 кг поправочный коэффициент составляет 3;

- для детей массой тела около 10 кг поправочный коэффициент составляет 5;
  - для детей массой тела около 5 кг поправочный коэффициент составляет 8;
  - для детей массой тела около 3 кг поправочный коэффициент составляет 10;
  - для детей массой тела около 1,5 кг поправочный коэффициент составляет 12.
4. Если при УЗИ выявлено значительное количество содержимого в плевральной полости с деформацией диафрагмы (уплощение ее контура или изгиб в сторону брюшной полости), то полученный результат следует умножить на 2.
  5. У детей с пиотораксом количество реально полученного содержимого может быть меньше расчетного вследствие высокой вязкости содержимого.

## Список литературы / References

1. *Balik M., Plasil P., Waldauf P. et al.* Ultrasound estimation of volume of pleural fluid in mechanically ventilated patients // *Intensive Care Med.* 2006. V. 32. № 2. P. 318.
2. *Begot E., Grumann A., Duvoid T. et al.* Ultrasonographic identification and semiquantitative assessment of unculcated pleural effusions in critically ill patients by residents after a focused training // *Intensive Care Med.* 2014. V. 40. № 10. P. 1475–1480.
3. *Eibenberger K. L., Dock W. I., Ammann M. E. et al.* Quantification of pleural effusions: sonography versus radiography // *Radiol.* 1994. V. 191. № 3. P. 681–684.
4. *Hazlinger M., Ctvrtlik F., Langova K., Herman M.* Quantification of pleural effusion on CT by simple measurement // *Biomed. Pap. Med. Fac. Univ. Palacky Olomouc. Czech. Repub.* 2014. V. 158. № 1. P. 107–111.
5. *Ibitoye B. O., Idowu B. M., Ogunrombi A. B., Afolabi B. I.* Ultrasonographic quantification of pleural effusion: comparison of four formulae // *Ultrasonography.* 2018. V. 37. № 3. P. 254–260.
6. *Karwat K., Przybyowski T., Bielicki P. et al.* Estimation of volume of pleural fluid and its impact on spirometrical parameters // *Pol. Merkur. Lekarski.* 2014. V. 36. № 213. P. 186–190.
7. *Lichtenstein D. A.* Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit // *Pediatr. Crit. Care Med.* 2009. V. 10. № 6. P. 693–698.
8. *Mergo P. J., Helmberger T., Didovic J. et al.* New formula for quantification of pleural effusions from computed tomography // *J. Thorac. Imaging.* 1999. V. 14. № 2. P. 122–125.
9. *Song L., Gao J., Wang S. et al.* A quantitative evaluation of pleural effusion on computed tomography scans using B-spline and local clustering level set // *X-ray Sci. Technol.* 2017. V. 25. № 6. P. 887–905.
10. *Soni N. J., Franco R., Velez M. I. et al.* Ultrasound in the diagnosis and management of pleural effusions // *J. Hosp. Med.* 2015. V. 10. № 12. P. 811–816.
11. *Remérand F., Dellamonica J., Mao Z. et al.* Multiplane ultrasound approach to quantify pleural effusion at the bedside // *Intensive Care Med.* 2010. V. 36. № 4. P. 656–664.
12. *Schmidt O., Simon S., Schmitt R. et al.* Volumetry of pleural effusion in multimorbidity, postoperative patients of a surgical intensive care unit. Comparison of ultrasound diagnosis and thoracic bedside image // *Zentralbl Chir.* 2000. V. 125. № 4. P. 375–379.

13. *Teichgräber U. K., Hackbarth J.* Sonographic bedside compared to computed tomography volumetry in ICU patients // *Ultrasound Int. Open.* 2018. V. 4. № 4. P. E131–E135.
14. *Usta E., Mustafi M., Ziemer G.* Ultrasound estimation of volume of postoperative pleural effusion in cardiac surgery patients // *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2010. V. 10. № 2. P. 204–207.
15. *Vignon P., Chastagner C., Berkane V. et al.* Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography // *Crit. Care Med.* 2005. V. 33. № 8. P. 1757–1763.

### Сведения об авторах

**Ольхова Елена Борисовна**, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России; заведующая отделением ультразвуковой диагностики ГБУЗ «Детская городская клиническая больница Св. Владимира Департамента здравоохранения города Москвы».

Адрес: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.  
Тел.: + 7(495) 611-01-77. Электронная почта: elena-olchova@bk.ru  
ORCID: 0000-0003-3757-8001

**Olkhova Elena Borisovna**, M. D. Med., Professor, Professor of Department of Radiology, Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Department of Radiology, Ministry of Healthcare of Russia; the Head of Department of the Ultrasound Diagnostic Moscow Clinical Municipal Children Hospital St. Vladimir, Moscow Healthcare Department.

Address: 9a, ul. Vucheticha, Moscow, 127206, Russia.  
Phone number: +7 (495) 611-01-77. E-mail: elena-olchova@bk.ru  
ORCID: 0000-0003-3757-8001

**Хаспеков Дмитрий Викторович**, заведующий отделением торакальной хирургии ГБУЗ «Детская городская клиническая больница Св. Владимира Департамента здравоохранения города Москвы».

Адрес: 107014, г. Москва, ул. Рубцовско-Дворцовая, д. 1/3.  
Тел.: +7 (499) 268-34-00. Электронная почта: khaspekov@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-6808-7670

**Khaspekov Dmitrii Viktorovich**, Head, Department of Thoracic Surgery, Moscow Clinical Municipal Children Hospital St. Vladimir, Moscow Healthcare Department.

Address: 1/3, ul. Rubtsovsko-Dvortsovaya, Moscow, 107014, Russia.  
Phone number: +7 (499) 268-34-00. E-mail: khaspekov@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-6808-7670

**Сар Артур Саратович**, врач-хирург отделения торакальной хирургии ГБУЗ «Детская городская клиническая больница Св. Владимира Департамента здравоохранения города Москвы». Адрес: 107014, г. Москва, ул. Рубцовско-Дворцовая, д. 1/3.

Тел.: +7 (499) 268-34-00.  
ORCID: 0000-0002-8959-2457

**Sar Atrpur Saratovich**, Surgeon, Department of Thoracic Surgery, Moscow Clinical Municipal Children Hospital St. Vladimir, Moscow Healthcare Department.

Address: 1/3, ul. Rubtsovsko-Dvortsovaya, Moscow, 107014, Russia.  
Phone number: +7 (499) 268-34-00.  
ORCID: 0000-0002-8959-2457

**Кузнецова Евгения Владимировна**, врач-хирург отделения торакальной хирургии ГБУЗ «Детская городская клиническая больница Св. Владимира Департамента здравоохранения города Москвы».

Адрес: 107014, г. Москва, ул. Рубцовско-Дворцовая, д. 1/3.  
Тел.: +7 (499) 268-34-00.  
ORCID: 0000-0003-0818-6260

**Kuznetsova Evgeniia Vladimirovna**, Surgeon, Department of Thoracic Surgery, Moscow Clinical Municipal Children Hospital St. Vladimir, Moscow Healthcare Department.

Address: 1/3, ul. Rubtsovsko-Dvortsovaya, Moscow, 107014, Russia.  
Phone number: +7 (499) 268-34-00.  
ORCID: 0000-0003-0818-6260

### Финансирование исследования и конфликт интересов.

*Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*