



## Диагностические возможности ультразвуковой диагностики изменений легких по сравнению с компьютерной томографией при COVID-19

С.С. Петриков<sup>1,2</sup>, И.Е. Попова<sup>1,✉</sup>, В.М. Абучина<sup>1</sup>, Р.Ш. Муслимов<sup>1</sup>,  
Л.Т. Хамидова<sup>1</sup>, К.А. Попугаев<sup>1,3</sup>, Л.С. Коков<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»

Большая Сухаревская площадь, д. 3, г. Москва, 129090, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава России

ул. Десятская, д. 20, стр. 1, г. Москва, 127473, Россия

<sup>3</sup> ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России

ул. Живописная, д. 46, стр. 8, г. Москва, 123098, Россия

<sup>4</sup> ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет)

ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, г. Москва, 119991, Россия

### Аннотация

Ультразвуковое исследование (УЗИ) легких демонстрирует высокую диагностическую ценность в оценке заболеваний легких.

**Цель исследования.** Определить диагностическую точность УЗИ легких по сравнению с компьютерной томографией (КТ) грудной клетки в диагностике изменений легких при COVID-19.

**Материалы и методы.** Проведено ретроспективное исследование 45 пациентов (28 мужчин) в возрасте от 37 до 90 лет, которым проведено полипозиционное УЗИ с оценкой 14 зон. Эхограммы легких сопоставлены с данными КТ по распространенности процесса и характеру структурных изменений. Определена диагностическая точность, чувствительность и специфичность УЗИ по сравнению с результатами КТ, вычислены 95% доверительные интервалы (ДИ).

**Результаты.** У 44 пациентов (98%) при КТ патологические изменения выявлены в обоих легких и имели субплевральную локализацию; в 30 случаях воспаление было ограничено только субплевральными отделами, в 14 — изменения распространялись в центральные отделы, при этом по УЗИ изменения выявлялись на глубине поражения не более 4 см. Поражение 10–11 зон по УЗИ соответствовало КТ 1–2-й степени, поражение 13–14 зон — КТ 3–4-й степени. Чувствительность УЗИ в выявлении изменений легких различного характера составила  $\geq 92\%$ . Наибольшая чувствительность 97,9% (95% ДИ: 92,8–99,8%) определена для мелких консолидаций на фоне интерстициальных изменений (степень 1а+, 1б+), что соответствовало «бульжной мостовой» по КТ. Специфичность зависела от характера изменений и варьировала от 46,7 до 70,0%. Диагностическая точность составила  $\geq 81\%$ , максимальные показатели 90,6% (95% ДИ: 85,6–94,2%) получены для умеренных интерстициальных изменений (степень 1а), соответствующих «матовому стеклу» (первый тип) по данным КТ.

**Заключение.** Чувствительность УЗИ в выявлении изменений легких при COVID-19 составляет более 90%. Ограничениями УЗИ служат отсутствие возможности четко определять распространенность процесса и выявлять центрально расположенные зоны изменения легочной ткани.

**Ключевые слова:** компьютерная томография грудной клетки, ультразвуковое исследование легких, пневмония COVID-19, чувствительность, специфичность, диагностическая точность

### Рубрики MeSH:

ТЯЖЕЛЫЙ ОСТРЫЙ РЕСПИРАТОРНЫЙ СИНДРОМ — ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

ЛЕГКИЕ — ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

УЛЬТРАСОНОГРАФИЯ — МЕТОДЫ

ТОМОГРАФИЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ — МЕТОДЫ

**Для цитирования:** Петриков С.С., Попова И.Е., Абучина В.М., Муслимов Р.Ш., Хамидова Л.Т., Попугаев К.А., Коков Л.С. Диагностические возможности ультразвуковой диагностики изменений легких по сравнению с компьютерной томографией при COVID-19. Сеченовский вестник. 2020; 11(2): 5–18. <https://doi.org/10.47093/2218-7332.2020.11.2.5-18>

**КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:**

**Попова Ирина Евгеньевна**, канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»

**Адрес:** Большая Сухареvская площадь, д. 3, г. Москва, 129090, Россия

**Тел.:** + 7 (916) 174-60-75

**E-mail:** PopovaIE@sklif.mos.ru

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки (собственные ресурсы).

**Статья поступила в редакцию:** 13.07.2020

**Статья принята к печати:** 21.08.2020

**Дата публикации:** 15.10.2020

## Diagnostic value of lung ultrasound versus chest CT in COVID-19

Sergey S. Petrikov<sup>1,2</sup>, Irina E. Popova<sup>1,✉</sup>, Vera M. Abuchina<sup>1</sup>, Rustam Sh. Muslimov<sup>1</sup>, Layla T. Khamidova<sup>1</sup>, Konstantin A. Popugayev<sup>1,3</sup>, Leonid S. Kokov<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department  
3, Bolshaya Sukharevskaya sq., Moscow, 129090, Russia

<sup>2</sup> A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry  
20/1, Delegatskaya str., Moscow, 127473, Russia

<sup>3</sup> A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical and Biological Agency  
of Russian Federation

46/8, Zhivopisnaya str., Moscow, 123098, Russia

<sup>4</sup> Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)  
8/2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia

### Abstract

Lung ultrasound demonstrates a high diagnostic value in the assessment of lung diseases.

**Aim.** To determine the diagnostic accuracy of lung ultrasound compared to chest computed tomography (CT) in the diagnosis of lung changes in COVID-19.

**Materials and methods.** The retrospective study included 45 patients (28 men) aged 37 to 90 years who underwent positional lung ultrasound with an assessment of 14 zones. The study compared lung echograms with chest CT data in assessing the prevalence of the process and the nature of structural changes. The diagnostic accuracy, sensitivity, and specificity of lung ultrasound in comparison with CT scans were determined, 95% confidence intervals (CI) were calculated.

**Results.** In 44 patients (98%), CT revealed pathological changes with subpleural localization in both lungs. Of these, in 30 cases, the inflammation was limited only to the subpleural parts, and in 14 cases, the changes spread to the basal parts of the lungs, while ultrasound revealed changes at the depth of the lesion no more than 4 cm. The lesion of 10–11 zones according to lung ultrasound corresponds to CT 1–2 degrees, the lesion of 13–14 zones — CT 3–4 degrees. The sensitivity of ultrasound to detect lung changes of various types was  $\geq 92\%$ . The highest sensitivity of 97.9% (95% CI: 92.8–99.8%) was determined for small consolidations on the background of interstitial changes (degree 1A+, 1B+), which corresponded to “crazy-paving” pattern on CT. The specificity depended on the nature of the changes and varied from 46.7 to 70.0%. Diagnostic accuracy was  $\geq 81\%$ , the maximum values of 90.6% (95% CI: 85.6–94.2%) were obtained for moderate interstitial changes (grade 1A) corresponding to ground-glass opacity (type one) according to CT data.

**Conclusion.** The sensitivity of ultrasound to detect lung changes in COVID-19 is more than 90%. Lung ultrasound has some limitations: inability to determine the prevalence of the process clearly and identify centrally located areas of changes in the lung tissue.

**Keywords:** chest computed tomography, ultrasound of lungs, COVID-19 pneumonia, sensitivity, specificity, diagnostic accuracy

**MeSH terms:**

SEVERE ACUTE RESPIRATORY SYNDROME — DIAGNOSTIC IMAGING

LUNG — DIAGNOSTIC IMAGING

ULTRASONOGRAPHY — METHODS

TOMOGRAPHY, X-RAY COMPUTED — METHODS

**For citation:** Petrikov S.S., Popova I.E., Abuchina V.M., Muslimov R.S., Khamidova L.T., Popugayev K.A., Kokov L.S. Diagnostic value of lung ultrasound versus chest CT in COVID-19. *Sechenov Medical Journal*. 2020; 11(2): 5–18. <https://doi.org/10.47093/2218-7332.2020.11.2.5-18>

**CONTACT INFORMATION:**

**Irina E. Popova**, MD, PhD, Senior Researcher, Department of Diagnostic Radiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department

**Address:** 3, Bolshaya Sukharevskaya sq., Moscow, 129090, Russia

**Tel.:** + 7 (916) 174-60-75

**E-mail:** PopovaIE@sklif.mos.ru

**Conflict of interests.** The authors declare that there is no conflict of interests.

**Financial support.** The study was not sponsored (own resources).

**The article received:** 13.07.2020

**The article approved for publication:** 21.08.2020

**Date of publication:** 15.10.2020

**Список сокращений:**

BLUE — Bedside Lung Ultrasound in Emergency, прикроватное ультразвуковое исследование легких в неотложных ситуациях

HU — Hounsfield unit, единица измерения по шкале Хаунсфилда

SARS-CoV-2 — Severe acute respiratory syndrome-related

coronavirus 2 (коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома — 2)

ДИ — доверительный интервал

КТ — компьютерная томография

ПЦР — полимеразная цепная реакция

УЗИ — ультразвуковое исследование

Распространение коронавируса SARS-CoV-2, вызывающего заболевание COVID-19, началось в конце декабря 2019 года. Очагом инфекции стал китайский город Ухань. За несколько месяцев болезнь охватила более 210 стран мира. 11 марта 2020 года Всемирная организация здравоохранения объявила вспышку инфекции, вызванной новым коронавирусом, пандемией [1]. Инкубационный период COVID-19 колеблется от 1 до 14 дней, у большинства людей симптомы развиваются между 3–7-м днями; самый длительный инкубационный период может достигать 24 дней. Клиническая тяжесть COVID-19 сильно варьирует, от бессимптомного течения до летального исхода [1–4].

«Золотым стандартом» диагностики SARS-CoV-2 является обнаружение в мазке из носоглотки вирусной РНК с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР).

Многими авторами неоднократно отмечалась важность лучевой диагностики в обнаружении и мониторинге поражения легких при COVID-19 [5–8]. Компьютерная томография (КТ) легких обладает высокой чувствительностью в обнаружении патологических изменений легких при новой коронавирусной инфекции, поэтому для подтверждения заболевания

COVID-19 стала основным диагностическим инструментом, который используется в комбинации с клиническими симптомами и данными эпидемиологического анамнеза [9, 10].

По данным Fang Y. и др. [11], при диагностике COVID-19 чувствительность КТ (98%) была значительно выше, чем чувствительность ПЦР (71%).

Однако этот метод визуализации нельзя использовать в больничной палате, и в некоторых клиниках Китая, Европы и России стали использовать ультразвуковое исследование (УЗИ) легких в качестве альтернативного метода визуализации [12–16].

УЗИ легких демонстрирует высокую диагностическую ценность в оценке различных заболеваний легких и по чувствительности и специфичности превосходит рентгенологическое исследование органов грудной клетки [17].

С начала пандемии опубликовано несколько рекомендаций, разъясняющих, как наилучшим образом использовать УЗИ легких, чтобы выявить изменения, характерные для COVID-19 [18–20]. Тем не менее мало доступной информации в определении диагностической ценности УЗИ при COVID-19 в сравнении с КТ грудной клетки.

**Цель исследования:** определить диагностическую точность УЗИ легких по сравнению с КТ грудной клетки в диагностике изменений легких при COVID-19.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на базе инфекционного отделения НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского. С 21 марта по 25 мая 2020 года во вновь открытом инфекционном отделении находилось на лечении 460 пациентов, КТ органов грудной клетки выполнена 397 пациентам с подозрением на COVID-19, УЗИ легких и плевральных полостей проведено 77 пациентам.

КТ грудной клетки выполнялась как стандартный метод диагностики и контроля за динамикой процесса, УЗИ легких и плевральных полостей проводили дополнительно пациентам с клиническими признаками дыхательной недостаточности, которым можно было выполнить полипозиционное исследование.

Для сравнения возможностей КТ и УЗИ в диагностике изменений легких при новой коронавирусной инфекции COVID-19 ретроспективно были проанализированы результаты исследований 45 пациентов.

Критерии включения в исследование:

- положительный результат теста на SARS-CoV-2, выполненный с использованием ПЦР;
- наличие данных КТ легких;
- наличие данных УЗИ легких с оценкой 14 зон;
- время между проведением КТ грудной клетки и УЗИ легких < 48 часов.

Среди заболевших было 28 (62%) мужчин и 17 (38%) женщин в возрасте от 37 до 90 лет; средний возраст  $58,5 \pm 16,2$  года. Временной интервал между началом заболевания и госпитализацией был от 2 до 19 дней, в среднем 7 дней. КТ и УЗИ выполняли на 2–24-е сутки от начала заболевания, в среднем на 10-е сутки.

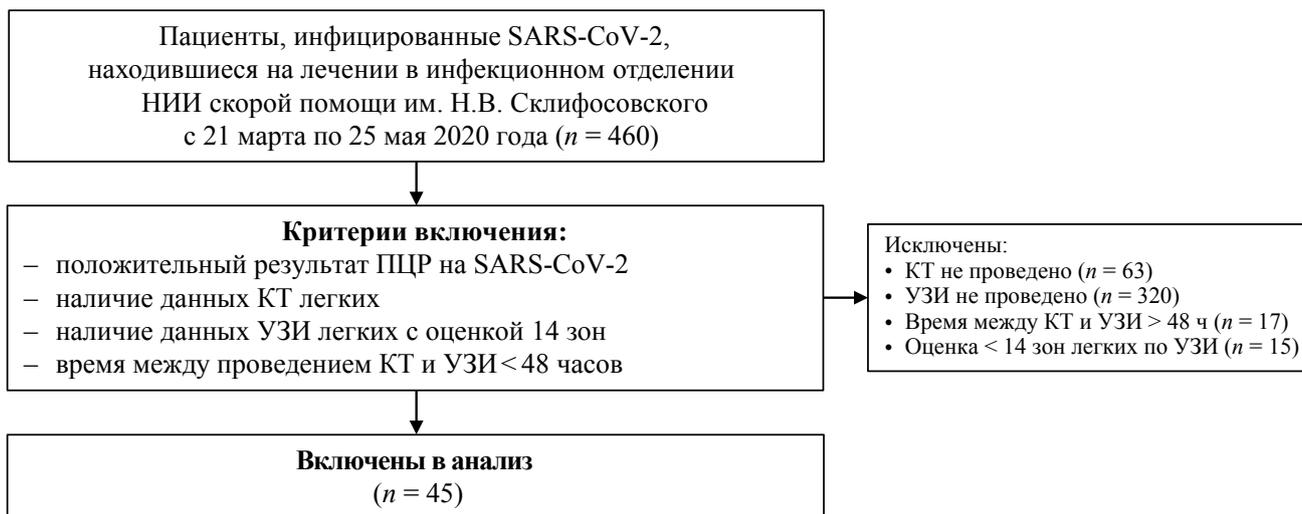
КТ грудной клетки проводилась в «красной зоне» инфекционного корпуса на томографе экспертного класса Philips Ingenuity CT (Philips, Нидерланды).

Был применен оптимальный вариант организации кабинета, когда обученный медперсонал отделения реанимации без помощи рентген-лаборанта укладывал и позиционировал пациента для исследования. В такой ситуации средний медицинский персонал и врач КТ работали в чистой, «зеленой зоне». Все КТ-исследования выполняли в любом удобном для пациента положении: на спине и лежа на животе (прон-позиция). Если у пациента лежа на спине отмечалось снижение сатурации  $O_2$  до 80–84%, частота дыхательных движений была более 20 в минуту, то КТ-исследование выполняли лежа на животе (прон-позиция).

Все УЗИ легких выполнялись в «красной зоне» инфекционного отделения, на момент исследования врач, проводивший исследование, не владел информацией о результатах КТ. Во время работы в «красной зоне» использовали средства индивидуальной защиты, рекомендованные МЗ РФ [18].

УЗИ выполняли на приборе среднего класса ESAOTE MyLab 70 (ESAOTE, Италия). Для оценки глуболежащих отделов легкого использовали конвексный (абдоминальный) датчик с высокой разрешающей способностью с частотой ультразвука 2,5–5,0 МГц, для более детального исследования субплевральных изменений легкого использовали линейный датчик с частотой 7,5–10 МГц. В зависимости от тяжести состояния пациента исследование проводили в положении лежа на спине, сидя и лежа на животе (прон-позиция), используя в качестве акустического окна межреберные промежутки.

Для выявления изменений легких при COVID-19 использован специальный УЗИ-протокол с оценкой 14 зон легких [20].



**РИС. 1.** Поточковая диаграмма включения пациентов в исследование  
**FIG. 1.** Flowchart of the study inclusion

**Таблица 1. УЗИ протокол оценки 14 зон легких и соответствие зон обследования при УЗИ сегментам легких при КТ**  
**Table 1. Ultrasound protocol for assessment of 14 zones of the lung and correspondence of ultrasound zones to CT segments**

Грудная клетка			УЗИ		КТ
сторона	поверхность	обозначение	зона	соответствие отделам легких	(сегменты легких)
Правая	Передняя	R1	передняя верхняя	верхняя доля спереди	S3
		R2	передняя нижняя	средняя доля спереди	S5
	Боковая	R3	средняя верхняя	верхняя доля сбоку	S4
		R4	средняя нижняя	нижняя доля сбоку	S2 (1–2–3)
		R5	задняя верхняя	верхняя доля сзади	S6
	Задняя	R6	задняя средняя	нижние отделы верхней доли и верхние отделы нижней доли сзади	S6
		R7	задняя нижняя	нижние отделы нижней доли сзади	S9–10
Левая	Передняя	L1	передняя верхняя	верхняя доля спереди	S3
		L2	передняя нижняя	язычковые сегменты спереди	S5
	Боковая	L3	средняя верхняя	верхняя доля сбоку	S2–3
		L4	средняя нижняя	нижняя доля сбоку	S8
		L5	задняя верхняя	верхняя доля сзади	S3
	Задняя	L6	задняя средняя	нижние отделы верхней доли и верхние отделы нижней доли сзади	S6
		L7	задняя нижняя	нижние отделы нижней доли сзади	S9–10

При проведении УЗИ легких датчик располагался в соответствии с BLUE-протоколом (рис. 2).

Представленную ультразвуковую методику обследования легких — Bedside Lung Ultrasound in Emergency (BLUE protocol) — ургентная сонография легких при острой респираторной недостаточности предложили Lichtenstein D.A. и Mezière G.A. в 2008 году [17], затем использовали и другие специалисты ультразвуковой диагностики [13, 20].

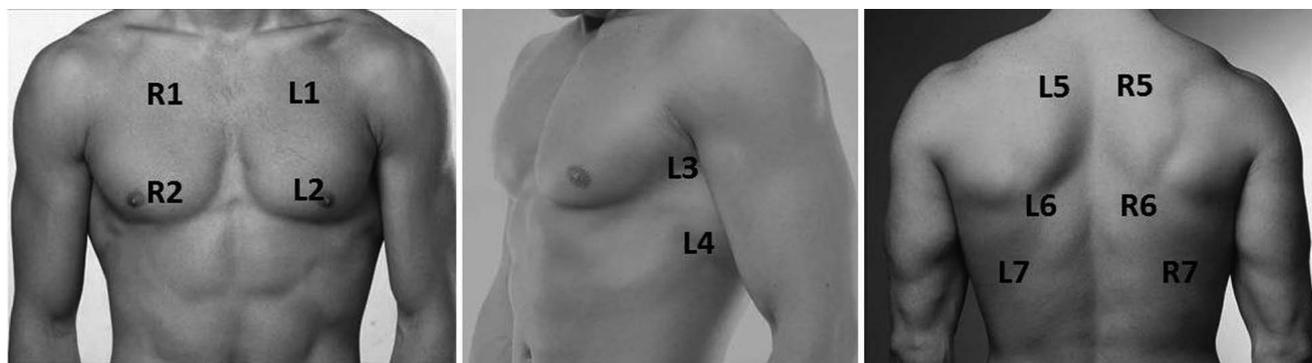
Все полученные при УЗИ результаты были проанализированы по следующим критериям:

- состояние плевральной линии;
- наличие А-линий;
- количество В-линий;
- наличие и объем консолидаций легочной ткани;
- наличие или отсутствие свободной жидкости в плевральных полостях.

Согласно консенсусному заявлению РАСУДМ (версия 2) по УЗИ легких при COVID-19 [20] полученные данные оценивали с учетом характера и степени поражения легких, где:

- 0: легочная ткань не изменена;
- 1а: умеренные интерстициальные изменения;
- 1б: выраженные интерстициальные изменения;
- 1а+ или 1б+: мелкие консолидации на фоне интерстициальных изменений;
- 2 или 2+: протяженная консолидация;
- 3: обширная консолидация (сегментарная или долевая).

Все изменения, выявленные по данным УЗИ легких, были сопоставлены с изменениями, обнаруженными по КТ, с учетом локализации воспалительного процесса и характера структурных изменений легочной ткани.



**РИС. 2.** Схема расположения датчика при ультразвуковом исследовании легких по BLUE-протоколу [20]  
**FIG. 2.** The layout of the sensor for ultrasound examination of the lungs according to BLUE protocol [20]

Примечание. При исследовании зон R3 и R4 расположение датчика идентичное L3 и L4.

Note. When investigating zones R3 and R4, the sensor location is identical to L3 and L4.

Данные КТ оценивали согласно утвержденным критериям тяжести пневмонии, где КТ 0 — нет поражения легких; КТ 1 — легкая степень (вовлечено меньше 25% паренхимы); КТ 2 — среднетяжелая (поражено от 25 до 50% паренхимы); КТ 3 — тяжелая (поражено от 50 до 75%); КТ 4 — критическая (диффузное вовлечение паренхимы легких больше 75%) [21]. Дополнительно при КТ измеряли денситометрические показатели патологических изменений в легких.

#### Статистический анализ данных

Определена диагностическая точность, чувствительность и специфичность УЗИ по сравнению с результатами КТ, вычислены 95% доверительные интервалы (ДИ) [22]. Статистический анализ данных выполнен с помощью статистического пакета MedCalc v.16.8.4.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Сопоставление количества пораженных областей по УЗИ с объемом поражения по КТ

В нашем исследовании у 1 пациента (2%) с положительной ПЦР на SARS-CoV-2 воспалительных изменений в легких не было выявлено ни по КТ, ни по УЗИ. При УЗИ у него легочная ткань была не изменена, плевральная линия была тонкая, ровная, А-линии прослеживались, В-линии были единичные. С нарастанием степени тяжести КТ, по данным УЗИ, отмечалась тенденция к увеличению числа областей поражения: с 10 областей при КТ 1 до 14 областей при КТ 4 (табл. 2).

У 44 пациентов (98%) при КТ патологические изменения были в обоих легких и имели субплевральную локализацию. Патологические изменения только в нижних долях обоих легких были в 3 случаях (7%). Изолированное поражение только верхних долей было отмечено в 1 случае (2%). При этом в 30 (68%) случаях воспаление было ограничено только субплевральными отделами, а в 14 (32%) отмечено распространение изменений и в центральные отделы легких. При УЗИ в базальных отделах легких изменения выявлены не были.

### Сопоставление характера пораженных областей по УЗИ с характером изменений на КТ

Особый интерес в исследовании представляло сопоставление характера пораженных областей по данным УЗИ с данными КТ.

Следует отметить, что у одного и того же пациента в зависимости от локализации (передняя, боковая и задняя поверхности легких) можно было наблюдать различные по структуре изменения легких как по УЗИ, так и по КТ.

При сопоставлении характера поражения легких по КТ с данными УЗИ были отмечены следующие характерные особенности. Так, уплотнение легкого по типу «матового стекла», которое на КТ определялось в виде диффузного повышения плотности легочной ткани при сохранении видимости стенок сосудов и бронхов, можно было четко разделить на два типа.

Первый тип — менее интенсивное и менее плотное «матовое стекло» — преимущественно интерстициальное поражение с незначительным альвеолярным компонентом в виде пропитывания (отека) паренхимы легкого с плотностью от –765 Hounsfield Unit (HU) до –468 HU, в среднем –655 HU — локализовался во всех отделах легких и выявлен у 28 пациентов в 179 областях анализа (рис. 3а, 3б). При УЗИ эти изменения соответствовали умеренным интерстициальным изменениям (ультразвуковая градация 1а) и характеризовались наличием в одном межреберье рассеянных В-линий, распространяющихся вертикально от плевральной линии на всю толщину визуализируемой легочной ткани, в количестве более 3, в среднем 6–8; В-линии всегда можно было посчитать (рис. 3с). Такие изменения выявлены у 28 пациентов в 168 зонах УЗИ (табл. 3).

Второй тип — более интенсивное и плотное «матовое стекло» — интерстициальное поражение с альвеолярным компонентом с плотностью от –358 HU до –150 HU, в среднем –267 HU; альвеолярная инфильтрация с преимущественным содержанием крупномолекулярной белковой жидкости (экссудат) — обнаружена у 23 пациентов

**Таблица 2. Распределение пациентов в зависимости от объема воспалительных изменений в легких**  
**Table 2. Distribution of patients depending on the volume of inflammatory changes in the lungs**

	КТ		УЗИ	
объем воспалительных изменений легких, % (степень тяжести КТ)	количество пациентов, <i>n</i> (% от общего числа — 45)	среднее количество областей поражения, <i>n</i> (% от числа исследованных зон — 14)	количество пациентов, <i>n</i> (% от общего числа — 45)	
0 (КТ 0)	1 (2)	-	1 (2)	
< 25 (КТ 1)	7 (15)	10 (71)	8 (18)	
25–50 (КТ 2)	12 (27)	11 (79)	8 (18)	
50–75 (КТ 3)	22 (49)	13 (93)	25 (55)	
> 75 (КТ 4)	3 (7)	14 (100)	3 (7)	

в 100 зонах КТ. При УЗИ у этих пациентов были выраженные интерстициальные изменения, характеризующиеся множественными В-линиями, которые сливались между собой, их количество посчитать было невозможно (ультразвуковая градация 1б (рис. 3d)); такие изменения выявлены у 23 пациентов в 92 зонах УЗИ (табл. 3).

Видимые на КТ уплотнения легкого по типу «матового стекла» с наличием ретикулярных изменений («бульжная мостовая»), обусловленные утолщением внутридольковых перегородок, выявлены на КТ в 15 случаях (98 точек анализа). При УЗИ эти изменения лоцировались в виде субплевральных мелких консолидаций — участков сниженной воздушности, округлой либо неправильной формы размерами до 1,0 см, в среднем 0,4–0,6 см, на фоне интерстициальных изменений и фрагментированной плевральной линии (ультразвуковая градация 1а+ или 1б+ (рис. 3е)); такие изменения были выявлены в 16 случаях во всех отделах легких в 96 зонах анализа (табл. 3).

При КТ сочетание уплотнения легкого по типу «матового стекла» и консолидации, которая определялась в виде участков более высокой плотности, чем «матовое стекло» (от –80 до +100 HU, в среднем +23 HU) с отсутствием визуализации сосудов на фоне консолидации, отмечено в 18 случаях в 88 точках. При УЗИ протяженная консолидация лоцировалась в виде гетерогенной зоны сниженной воздушности толщиной более 1,0 см, расположенной вдоль висцеральной плевры, часто наблюдалась в сочетании с интерстициальными изменениями (ультразвуковая градация 2 или 2+); такие изменения были отмечены у 21 пациента в 84 зонах.

У 11 пациентов при УЗИ было отмечено наличие обширной консолидации, занимающей сегмент или долю легкого. Легкое было пониженной эхогенности, сопоставимой с эхогенностью ткани печени. В пораженном легком отмечался симптом «воздушной бронхограммы» и наличие кровотока (УЗ-градация 3). При этом в гипоехогенной консолидации отмечены линейные гиперэхогенные сигналы различной протяженности, радиально расходящиеся к периферии и ветвящиеся под острым углом, или последовательно расположенные цепочки коротких гиперэхогенных сигналов, перемежающихся с короткими гипоехогенными участками. Эти изменения возникали при отражении УЗ-волн от воспалительного экссудата в просвете бронхиального дерева. Наиболее выраженные и более плотные (консолидированные) изменения были обнаружены в задних отделах легких как по КТ, так и по УЗИ.

Характер изменений, полученных при УЗИ, полностью соответствовал характеру изменений при КТ (обширная консолидация), но распространенность выявленных изменений легких при КТ и УЗИ у 3 пациентов не совпала: при УЗИ была отмечена глубина поражения легких до 4 см, а при КТ изменения были на расстоянии 10 см и более (рис. 4а, б).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Из-за своей высокой чувствительности КТ в настоящее время является методом визуализации, выбранным для диагностики и мониторинга пациентов с COVID-19. Тем не менее выполнение КТ грудной клетки может представлять трудности

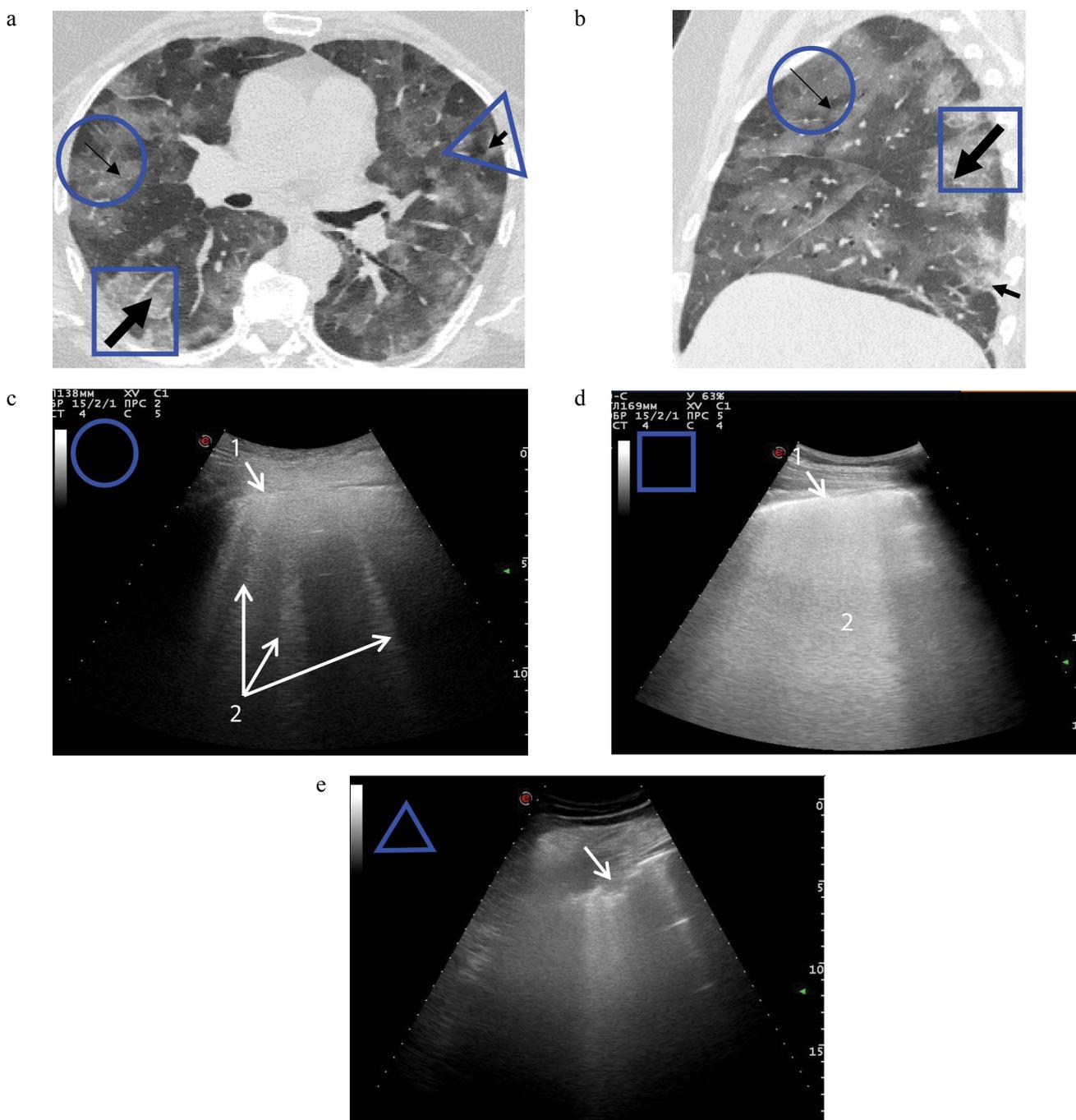
**Таблица 3. Сопоставление характера изменений легких и числа зон поражения по данным ультразвукового исследования с данными компьютерной томографии**

*Table 3. Changes in lung ultrasound — features and number of affected areas — compared to computed tomography data*

характер изменений	КТ		УЗИ			УЗИ		
	число пациентов, n*	количество зон поражения	характер изменений	число пациентов, n*	количество зон поражения	чувствительность, % (95% ДИ)	специфичность, % (95% ДИ)	диагностическая точность, % (95% ДИ)
Первый тип «матовое стекло»	28	179	1а (умеренные интерстициальные изменения)	28	168	93,9 (89,3–96,9)	63,6 (40,7–82,8)	90,6 (85,6–94,2)
Второй тип «матовое стекло»	23	100	1б (выраженные интерстициальные изменения)	23	92	92 (84,8–96,5)	70 (45,7–88,1)	88,3 (81,8–93,5)
«Бульжная мостовая»	15	98	1а+ или 1б+ (мелкие консолидации на фоне интерстициальных изменений)	16	96	97,9 (92,8–99,8)	53,9 (33,4–73,4)	88,71 (81,8–93,7)
«Матовое стекло» и консолидация	18	88	2 или 2+ (протяженная консолидация)	21	84	95,5 (88,8–98,8)	46,7 (28,3–65,7)	83,1 (75–89,3)
Обширная консолидация	11	51	3 (обширная консолидация)	11	48	94,1 (83,7–98,8)	56 (34,9–75,6)	81,6 (71–89,6)

Примечание. \* У одного пациента могли наблюдаться несколько вариантов изменений по КТ и по УЗИ.

Note. \* One patient may have had several variants of changes in CT and ultrasound.



**РИС. 3.** Компьютерные томограммы и эхограммы легких мужчины 62 лет с COVID-19

а и б: компьютерные томограммы (а — аксиальная проекция, б — реформация в сагиттальной проекции на уровне правого легкого). Двусторонняя пневмония, КТ-3. В передних отделах обоих легких определяется уплотнение по типу «матового стекла» низкой интенсивности (тонкая стрелка), в задних отделах правого легкого — уплотнение по типу «матового стекла» высокой интенсивности (толстая стрелка), в субплевральных отделах левого легкого — уплотнение по типу консолидации (короткая стрелка);

с, d, e: эхограммы

с: градация 1а (умеренные интерстициальные изменения), датчик расположен в зоне R1 (на уровне 3 м/р по передней подмышечной линии). 1 — прерывистость плевральной линии, 2 — множественные рассеянные В-линии. Изменения соответствуют КТ-картине уплотнения по типу «матового стекла» низкой интенсивности в этих же зонах.

d: градация 1б (выраженные интерстициальные изменения), датчик расположен в зоне R6 (продольно лопаточной линии на уровне 6 м/р). 1 — утолщенная неровная плевральная линия; 2 — широкие сливающиеся В-линии — «белое легкое». Изменения соответствуют КТ-картине уплотнения по типу «матового стекла» высокой интенсивности в этих же зонах.

e: градация 1а+ (кортикальная консолидация). Стрелкой обозначена локальная субплевральная консолидация; плевральная линия не прослеживается по поверхности зоны консолидации; датчик расположен в зоне L3 вдоль 5 м/р

по средней подмышечной линии. На фоне умеренных интерстициальных изменений в прилежащей легочной ткани определяется локальная консолидация с отсутствием плевральной линии по поверхности, что соответствует мелкой консолидации по КТ в той же зоне.

**FIG. 3.** Computer tomograms and lung echograms of a 62-year-old man with COVID-19

a and b: computer tomograms (a — axial projection, b — reformation in sagittal projection at the level of the right lung).

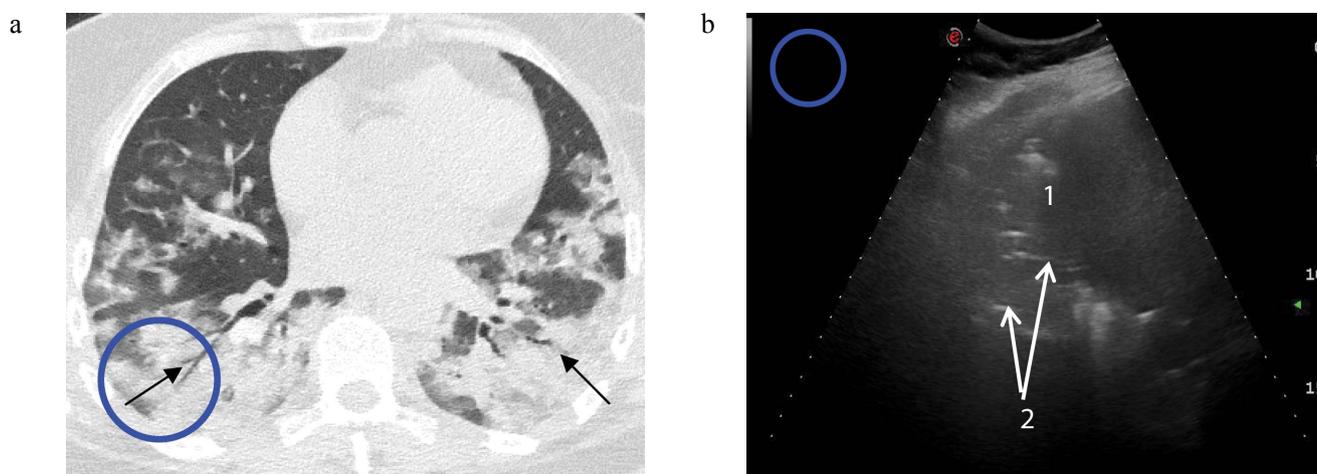
Bilateral pneumonia, CT-3. In the anterior parts of both lungs, a low — intensity ground-glass opacity (thin arrow) is determined, in the posterior parts of the right lung, a high-intensity ground-glass opacity (thick arrow) is determined, and in the subpleural parts of the left lung — air space consolidation (short arrow);

c, d, e: echogram of the lungs

c: ultrasound grade 1a (moderate interstitial changes), the sensor is located in the R1 area (the 3rd intercostal space along the anterior axillary line). 1 — discontinuity of the pleural line, 2 — multiple scattered B-lines. The changes correspond to the CT picture of low intensity ground-glass opacity in the same areas.

d: ultrasound grade 1b (severe interstitial changes), the sensor is located in the R6 area (the 6th intercostal space along the scapular line). 1 — thickened uneven pleural line; 2 — wide merging B-lines — “white lung”. The changes correspond to the CT picture of high-intensity ground-glass opacity in the same areas.

e: ultrasound grade 1a + (cortical consolidation). The arrow indicates the local subpleural consolidation; the pleural line is not traced along the surface of the consolidation zone; the sensor is located in the L3 area (the 5th intercostal space along the mid axillary line). Against the background of moderate interstitial changes in the adjacent lung tissue, local consolidation is determined with the absence of a pleural line along the surface, which corresponds to slight consolidation on CT in the same area.



**РИС. 4.** Компьютерная томограмма и эхограмма легких женщины 57 лет с COVID-19

a: компьютерная томограмма, двусторонняя пневмония — КТ-2. В задних отделах обоих легких определяется уплотнение по типу консолидации легочной ткани с визуализацией просвета бронхов — симптом «воздушной» бронхограммы (тонкие стрелки).

b: эхограмма, градация 3. Датчик расположен в зоне R3 (вдоль 7 м/р по средней подмышечной линии). 1 — обширная консолидация с воздушной эхобронхограммой, 2 — плевральная линия по поверхности консолидации не визуализируется, что соответствует изменениям КТ-консолидации легочной ткани с визуализацией просвета бронхов в той же зоне.

**FIG. 4.** Chest computer tomogram and lung echogram of a 57-year-old woman with COVID-19

a: Chest computer tomogram. Bilateral pneumonia, CT-2. In the posterior parts of both lungs, the consolidation of lung tissue is determined with visualization of the lumen of the bronchi — an air bronchogram sign (thin arrows).

b: echogram, ultrasound grade 3. The sensor is located in the R3 area (the 7th intercostal space along the mid axillary line). 1 — extensive consolidation with an air echobronchogram, 2 — the pleural line along the consolidation surface is not visualized. The changes correspond to the CT data of the consolidation of the lung tissue with air bronchogram sign in the same areas.

для реанимационных пациентов с дыхательной и гемодинамической недостаточностью.

Все чаще УЗИ используется для оценки поражения легких у тяжелых пациентов в условиях реанимационного отделения [23]. В таких ситуациях УЗИ может быть оптимальным выбором для пациентов, находящихся в критическом состоянии.

УЗИ легких имеет большое значение для диагностики COVID-19 благодаря своей безопасности, доступности, отсутствию лучевой нагрузки, низкой

стоимости и возможности использования у постели пациента в отделении интенсивной терапии. Отсутствие воздействия ионизирующего излучения дает преимущество в использовании УЗИ при лечении пневмонии COVID-19 у беременных [21].

Несмотря на теоретическую возможность проникновения УЗ-волн на большую глубину, существуют факторы, влияющие на проведение УЗИ легких.

1. Воздушность легочной ткани. Патологические изменения в легких, не прилежащие к висцеральной

плевре, в условиях сохраненной воздушности легочной ткани сложно оценить с помощью УЗИ, так как происходит отражение УЗ-волн от воздуха в субплевральных альвеолах. Вместе с этим в фазе консолидации при COVID-19 происходит уплотнение содержимого альвеол за счет большого содержания фибрина, клеточного детрита, что снижает воздушность легочной ткани [24]. В этом случае появляется возможность УЗ-сканирования глубоких базальных отделов легкого.

2. Костные структуры (грудина, ребра). Высокая эхоплотность костных структур и их смещение при дыхании затрудняют визуализацию подлежащих участков.
3. Эмфизема мягких тканей либо пневмоторакс. При эмфиземе происходит полное рассеивание УЗ-волн от пузырьков воздуха на уровне подкожно-жировой клетчатки, появляется сплошной фон неинформативных шумовых сигналов; при пневмотораксе — из-за воздушной среды визуализируются множественные реверберации эхосигнала, исходящие от поверхности легкого.
4. Конституциональные особенности пациента (толщина и структура подкожно-жировой клетчатки). У тучных пациентов происходит рассеивание и поглощение УЗ-волн, что приводит к их затуханию в мягких тканях грудной стенки и не позволяет достоверно осмотреть глубокие отделы.

По данным УЗИ можно выявить следующий признак, указывающий на наличие интерстициальных изменений, которые в условиях пандемии COVID-19 могут быть расценены в пользу коронавирусной пневмонии: появление артефактов в виде рассеянных или сливающихся В-линий в сочетании с утолщенной прерывистой плевральной линией.

Отсутствие масштабных исследований применения УЗИ при COVID-19 и у других авторов [25] в настоящее время не позволяет достоверно определить диагностическую значимость метода, что требует продолжения исследования по этой теме.

В представленном исследовании мы впервые проводили сравнение структурных изменений легких при УЗИ с данными КТ. При УЗ-исследовании легкие оценивали полипозиционно с учетом 14 зон.

По нашим данным, воспалительные изменения в легких при COVID-19 имеют периферическое субплевральное расположение, что совпадает с данными литературы [8, 9], при этом в 68% случаев воспаление было ограничено только этими отделами.

Отмечена тенденция к увеличению числа областей поражения по данным УЗИ с нарастанием объема поражения по КТ. Однако отчетливую

стадийность по данным УЗИ проследить не удалось. Так, поражение от 10 до 11 зон по УЗИ соответствовало двум степеням тяжести по КТ — 1-й и 2-й, а поражение от 13 до 14 зон по УЗИ — 3-й и 4-й степени тяжести по КТ.

Чувствительность в выявлении изменений легких различного характера составила 92% и более. Наибольшая чувствительность — 97,9% (95% ДИ: 92,8–99,8%) определена для мелких консолидаций на фоне интерстициальных изменений (степень 1a+ или 1b+), что соответствовало «булыжной мостовой» по данным КТ.

Специфичность УЗИ зависела от характера изменений и варьировала от 46,7 до 70,0%. Диагностическая точность была более 81%, максимальные показатели точности составили 90,6% для умеренных интерстициальных изменений (степень 1a), соответствующих «матовому стеклу» (первый тип) по данным КТ.

Следует отметить, что в 32% случаев отмечено распространение изменений в центральные отделы легких. При этом по УЗИ выявлялась обширная консолидация, но распространенность изменений не совпадала с данными КТ и определялась на глубине поражения не более 4 см.

Ограничениями представленного исследования являются ретроспективный дизайн и отсутствие достаточного числа пациентов без исходных изменений в легких, что привело к низкой специфичности. В то же время чувствительность УЗИ оказалась на высоком уровне, что более значимо в условиях массового поступления больных с COVID-19.

Для точного определения диагностической значимости УЗИ в выявлении изменений легких при COVID-19 необходимы масштабные проспективные исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Субплевральная локализация изменений при COVID-19 и чувствительность УЗИ более 90% в выявлении этих изменений позволяют рассматривать УЗИ как скрининговый метод перед направлением на КТ в условиях массового поступления пациентов. Отсутствие ионизирующего излучения и возможность проведения исследования в «красной зоне» дает УЗИ ряд преимуществ перед КТ, в частности в обследовании нетранспортабельных реанимационных пациентов, беременных.

Вместе с этим УЗИ не позволяет четко разделять стадии заболевания по распространенности процесса и выявлять центрально расположенные зоны изменения легочной ткани, для визуализации которых необходимо проведение КТ.

**ВКЛАД АВТОРОВ**

С.С. Петриков, К.А. Попугаев и Л.С. Коков внесли основной вклад в организацию и разработку дизайна исследования. Л.Т. Хамидова внесла существенный вклад в разработку дизайна исследования, анализировала результаты УЗИ. И.Е. Попова выполнила и анализировала КТ-исследования, написала значительную часть текста статьи, подготовила иллюстрации, провела статистический анализ данных, утвердила окончательную версию статьи. В.М. Абучина выполнила и анализировала УЗИ легких, написала часть текста, подготовила иллюстрации. Р.Ш. Муслимов выполнил и анализировал КТ-данные, подготовил иллюстрации, написал часть текста статьи.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Sergey S. Petrikov, Konstantin A. Popugaev and Leonid S. Kokov made the major contribution to the organization and design of the study. Laila T. Khamidova made the significant contribution to the development of the study design, analyzed the results of the ultrasound. Irina E. Popova performed and analyzed the CT studies, wrote a significant part of the text of the article, prepared illustrations, conducted statistical analysis of the data, approved the final version of the article. Vera M. Abuchina performed and analyzed ultrasound of the lungs, wrote the text, prepared the illustrations. Rustam Sh. Muslimov performed and analyzed CT data, prepared illustrations, and wrote part of the article text.

**ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES**

- 1 WHO World Health Organization: Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 — 11 March 2020. URL: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19—11-march-2020> (accessed 14.06.2020).
- 2 Zhu N., Zhang D., Wang W., et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med.* 2020; 382(8): 727–33. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017> PMID: 31978945
- 3 Huang C., Wang Y., Li X., et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet.* 2020; 395(10223): 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5) PMID: 31986264
- 4 Li Q., Guan X., Wu P., et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med.* 2020; 382(13): 1199–207. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316> PMID: 31995857
- 5 Rubin G.D., Ryerson C.J., Haramati L.B., et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: a multinational consensus statement from the Fleischner Society. *Chest.* 2020; 158(1): 106–16. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.04.003> PMID: 32275978
- 6 Diagnosis and treatment protocol for novel coronavirus pneumonia (Trial Version 7). *Chin Med J (Engl).* 2020; 133(9): 1087–95. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000819> PMID: 32358325
- 7 Revel M.P., Parkar A.P., Prosch H., et al. COVID-19 patients and the Radiology department — advice from the European Society of Radiology (ESR) and the European Society of Thoracic Imaging (ESTI). *Eur Radiol.* 2020; 30(9): 4903–9. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06865-y> PMID: 32314058
- 8 Терновой С.К., Серова Н.С., Беляев А.С., Беляева К.А. COVID19: первые результаты лучевой диагностики в ответе на новый вызов. *REJR.* 2020; 10(1): 8–15. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-1-8-15>
- 9 Петриков С.С., Попова И.Е., Муслимов Р.Ш. и др. Возможности компьютерной томографии в оценке степени поражения легких у больных COVID-19 в условиях динамического наблюдения. *REJR.* 2020; 10(2): 14–26. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-2-14-26>
- 10 Fang Y., Zhang H., Xie J., et al. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR. *Radiology.* 2020 Aug; 296(2): E115–7. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200432> PMID: 32073353
- 1 WHO World Health Organization: Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 — 11 March 2020. URL: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19—11-march-2020> (accessed 14.06.2020).
- 2 Zhu N., Zhang D., Wang W., et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med.* 2020; 382(8): 727–33. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017> PMID: 31978945
- 3 Huang C., Wang Y., Li X., et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet.* 2020; 395(10223): 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5) PMID: 31986264
- 4 Li Q., Guan X., Wu P., et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med.* 2020; 382(13): 1199–207. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316> PMID: 31995857
- 5 Rubin G.D., Ryerson C.J., Haramati L.B., et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: a multinational consensus statement from the Fleischner Society. *Chest.* 2020; 158(1): 106–16. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.04.003> PMID: 32275978
- 6 Diagnosis and treatment protocol for novel coronavirus pneumonia (Trial Version 7). *Chin Med J (Engl).* 2020; 133(9): 1087–95. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000819> PMID: 32358325
- 7 Revel M.P., Parkar A.P., Prosch H., et al. COVID-19 patients and the Radiology department — advice from the European Society of Radiology (ESR) and the European Society of Thoracic Imaging (ESTI). *Eur Radiol.* 2020; 30(9): 4903–9. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06865-y> PMID: 32314058
- 8 Ternovoi S.K., Serova N.S., Belyaev A.S., Belyaeva K.A. COVID19: pervye rezul'taty luchevoi diagnostiki v otvete na novyi vyzov [COVID-19: first results of radiology in response to a new challenge]. *REJR.* 2020; 10(1): 8–15 (In Russian). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-1-8-15>
- 9 Petrikov S.S., Popova I.E., Muslimov R.Sh., et al. Vozmozhnosti komp'yuternoj tomografii v otsenke stepeni porazheniya legkikh u bol'nykh COVID-19 v usloviyakh dinamicheskogo nablyudeniya. [Computer tomography in assessing and monitoring the degree of lung injury due to COVID-19]. *REJR.* 2020; 10(2):14–26 (In Russian). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-2-14-26>
- 10 Fang Y., Zhang H., Xie J., et al. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR. *Radiology.* 2020 Aug; 296(2): E115–E117 <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200432> PMID: 32073353

- 11 Кармазановский Г.Г., Замятина К.А., Сташкив В.И. и др. Компьютерно-томографическая диагностика и мониторинг течения вирусной пневмонии, обусловленной вирусом SARS-CoV-2, при работе «Госпиталя COVID-19» на базе Федерального специализированного медицинского научно-го центра. Медицинская визуализация. 2020; 24(2): 11–36. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-11-36>
- 12 Yasukawa K., Minami T. Point-of-Care Lung Ultrasound Findings in Patients with Novel Coronavirus Disease (COVID-19) Pneumonia. *Am J Trop Med Hyg.* 2020; 102(6): 1198–202. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0280> PMID: 32333544
- 13 Петриков С.С., Попугаев К.А., Хамидова Л.Т. и др. Первый опыт применения ультразвукового исследования легких у пациентов с острой вирусной инфекцией, вызванной SARS-CoV-2. Медицинская визуализация. 2020; 24(2): 50–62. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-50-62>
- 14 Smith M.J., Hayward S.A., Innes S.M., Miller A. Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 — a narrative review. *Anaesthesia.* 2020; 75(8): 1096–104. <https://doi.org/10.1111/anae.15082> PMID: 32275766
- 15 Kalafat E., Yaprak E., Cinar G., et al. Lung ultrasound and computed tomographic findings in pregnant woman with COVID-19. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2020; 55(6): 835–37. <https://doi.org/10.1002/uog.22034> PMID: 32249471
- 16 Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R., et al. Proposal for international standardization of the use of lung ultrasound for COVID-19 patients; a simple, quantitative, reproducible method. *J Ultrasound Med.* 2020; 39(7): 1413–19. <https://doi.org/10.1002/jum.15285> PMID: 32227492
- 17 Lichtenstein D.A., Mezière G.A. Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure: The BLUE Protocol. *Chest* 2008 Jul; 134(1): 117–25. <https://doi.org/10.1378/chest.07-2800> PMID: 18403664
- 18 Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Временные методические рекомендации. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Версия 6. (28.04.2020). М.; 2020:164. URL: [https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/116/original/28042020\\_%D0%9CR\\_COVID-19\\_v6.pdf](https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/116/original/28042020_%D0%9CR_COVID-19_v6.pdf) (дата обращения: 28.05.2020).
- 19 Синицын В.Е., Тюрин И.Е., Митьков В.В. Российское общество рентгенологов и радиологов (РОПР), Российская ассоциация специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ). Временные согласительные методические рекомендации Российского общества рентгенологов и радиологов (РОПР) и Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ) «Методы лучевой диагностики пневмонии при новой коронавирусной инфекции COVID-19» (версия 1). URL: <http://www.rasudm.org/files/RSR-RASUDM-2020-v1-appendix1&2.pdf> (дата обращения: 10.07.2020).
- 11 Karmazanovskii G.G., Zamyatina K.A., Stashkiv V.I., et al. Komp'yuterno-tomograficheskaya diagnostika i monitoring tehneniya virusnoi pnevmonii, obuslovennoi virusom SARS-COV-2, pri rabote "Gospitalya COVID-19" na baze Federal'nogo spetsializirovannogo meditsinskogo nauchnogo tsentra. [CT diagnostics and monitoring of the course of viral pneumonia caused by the SARS-CoV-2 virus during the work of the "COVID-19 Hospital", based on the Federal Specialized Medical Scientific Center]. *Medical Visualization.* 2020; 24(2): 11–36 (In Russian). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-11-36>
- 12 Yasukawa K., Minami T. Point-of-Care Lung Ultrasound Findings in Patients with Novel Coronavirus Disease (COVID-19) Pneumonia. *Am J Trop Med Hyg.* 2020; 102(6): 1198–202. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0280> PMID: 32333544
- 13 Petrikov S.S., Popugaev K.A., Khamidova L.T., et al. Pervyi opyt primeneniya ul'trazvukovogo issledovaniya legkikh u patsientov s ostroi virusnoi infektsiei, vyzvannoi SARS-CoV-2. [First experience of lung ultrasound application in patients with acute viral infection caused by SARS-CoV-2]. *Medical Visualization.* 2020; 24(2): 50–62 (In Russian). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-50-62>
- 14 Smith M.J., Hayward S.A., Innes S.M., Miller A. Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 — a narrative review. *Anaesthesia.* 2020; 75(8): 1096–104. <https://doi.org/10.1111/anae.15082> PMID: 32275766
- 15 Kalafat E., Yaprak E., Cinar G., et al. Lung ultrasound and computed tomographic findings in pregnant woman with COVID-19. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2020; 55(6): 835–37. <https://doi.org/10.1002/uog.22034> PMID: 32249471
- 16 Soldati G., Smargiassi A., Inchingolo R., et al. Proposal for international standardization of the use of lung ultrasound for COVID-19 patients; a simple, quantitative, reproducible method. *J Ultrasound Med.* 2020; 39(7): 1413–19. <https://doi.org/10.1002/jum.15285> PMID: 32227492
- 17 Lichtenstein D.A., Mezière G.A. Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure: The BLUE Protocol. *Chest* 2008 Jul; 134(1): 117–25. <https://doi.org/10.1378/chest.07-2800> PMID: 18403664
- 18 Profilaktika, diagnostika i lechenie novoi koronavirusnoi infektsii (COVID-19). Vremennyye metodicheskie rekomendatsii. Ministerstvo zdavoookhraneniya Rossiiskoi Federatsii. Versiya 6. [Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). The provisional guidelines. Ministry of health of the Russian Federation. Version 6. (28.04.2020)]. Moscow; 2020:164 (In Russian). URL: [https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/116/original/28042020\\_%D0%9CR\\_COVID-19\\_v6.pdf](https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/116/original/28042020_%D0%9CR_COVID-19_v6.pdf) (accessed 28.05.20).
- 19 Sinitsyn V.E., Tyurin I.E., Mit'kov V.V. Rossiiskoe obshchestvo rentgenologov i radiologov (RORR), Rossiiskaya assotsiatsiya spetsialistov ul'trazvukovoi diagnostiki v meditsine (RASUDM). Vremennyye soglasitel'nyye metodicheskie rekomendatsii Rossiiskogo obshchestva rentgenologov i radiologov (RORR) i Rossiiskoi assotsiatsii spetsialistov ul'trazvukovoi diagnostiki v meditsine (RASUDM) "Metody luchevoi diagnostiki pnevmonii pri novoi koronavirusnoi infektsii COVID-19" (versiya 1). [Russian society of roentgenologists and radiologists (of RSR), Russian Association of specialists in ultrasound diagnostics in medicine (RASUDM). Temporary consensual guidelines of the Russian society of radiologists and radiologists (RORR) and the Russian Association of specialists in ultrasound diagnostics in medicine (RASUDM) "Methods of radiation diagnosis of pneumonia in new coronavirus infection COVID-19" (version 1)] (In Russian). URL: <http://www.rasudm.org/files/RSR-RASUDM-2020-v1-appendix1&2.pdf> (accessed 10.07.20).

- 20 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. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-46-77>
- 21 Приказ Департамента здравоохранения г. Москвы от 08.04.2020 № 373 «Об утверждении алгоритма действий врача при поступлении в стационар пациента с подозрением на внебольничную пневмонию, коронавирусную инфекцию (COVID-19), порядка выписки из стационара пациентов с внебольничной пневмонией, коронавирусной инфекцией (COVID-19), для продолжения лечения в амбулаторных условиях (на дому)». М.; 2020. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564644474> (дата обращения: 14.06.2020).
- 22 Власов В.В. Эффективность диагностических исследований. М.: Медицина; 1998:256.
- 23 Lichtenstein D.A. Lung Ultrasound in the Critically Ill. The BLUE Protocol. Cham: Springer; 2016:376. <https://doi.org/10.1186/2110-5820-4-1>
- 24 Забозлаев Ф.Г., Кравченко Э.В., Галлямова А.Р., Летуновский Н.Н. Патологическая анатомия легких при новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Предварительный анализ аутопсийных исследований. Клиническая практика 2020; 11(2): 21–37. <https://doi.org/10.17816/clinpract34849>
- 25 Yang, Y., Huang, Y., Gao, F., et al. Lung ultrasonography versus chest CT in COVID-19 pneumonia: a two-centered retrospective comparison study from China. Intensive Care Med. 2020; 46(9): 1761–3. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06096-1> PMID: 32451581
- 20 Mit'kov V.V., Safonov D.V., Mit'kova M.D., et al. Konsensusnoe zayavlenie RASUDM ob ul'trazvukovom issledovanii legkikh v usloviyakh pandemii COVID-19 (versiya 2). [RASUDM consensus statement on lung ultrasound in the context of the COVID-19 pandemic (version 2)] Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika. 2020; 1: 46–77 (In Russian). <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-1-46-77>
- 21 Prikaz Departamenta zdoravookhraneniya g. Moskvy ot 08.04.2020 No 373 "Ob utverzhdenii algoritma deistvii vracha pri postuplenii v statsionar patsienta s podozreniem na vnebol'nichnyuyu pnevmoniyu, koronavirusnyuyu infektsiyu (COVID-19), poryadka vypiski iz statsionara patsientov s vnebol'nichnoi pnevmoniei, koronavirusnoi infektsiei (COVID-19), dlya prodolzheniya lecheniya v ambulatornykh usloviyakh (na domu)". [The order of Department of health of Moscow from 08.04.2020 No 373 "On approval of the actions of the physician in the admission to hospital of a patient with suspected community-acquired pneumonia, coronavirus infection (COVID-19), about the discharge from hospital of patients with community-acquired pneumonia, coronavirus infection (COVID-19), to continue treatment as an outpatient (at home)". Moscow; 2020 (In Russian). URL: <http://docs.cntd.ru/document/564644474> (accessed 14.06.20).
- 22 Vlasov V.V. Ehhfektivnost' diagnosticheskikh issledovaniy [Effectiveness of diagnostic studies]. Moscow: Meditsina; 1998:256 (In Russian).
- 23 Lichtenstein D.A. Lung Ultrasound in the Critically Ill. The BLUE Protocol. Cham: Springer; 2016:376. <https://doi.org/10.1186/2110-5820-4-1>
- 24 Zabozaev F.G., Kravchenko E.V., Gallyamova A.R., Letunovskiy N.N. Patologicheskaya anatomiya legkikh pri novoi koronavirusnoi infektsii (COVID-19). Predvaritel'nyi analiz autopsiinykh issledovaniy. [Pulmonary Pathology of the New Coronavirus Disease (COVID-19). The preliminary analysis of post-mortem findings]. Journal of Clinical Practice. 2020; 11(2): 21–37 (In Russian). <https://doi.org/10.17816/clinpract34849>
- 25 Yang, Y., Huang, Y., Gao, F., et al. Lung ultrasonography versus chest CT in COVID-19 pneumonia: a two-centered retrospective comparison study from China. Intensive Care Med. 2020; 46(9): 1761–3. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06096-1> PMID: 32451581

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Петриков Сергей Сергеевич**, д-р. мед. наук, профессор, член-корр. РАН, директор ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; профессор кафедры нейрохирургии и нейрореанимации ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава России.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3292-8789>

**Попова Ирина Евгеньевна** , канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы».  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-1407>

**Sergey S. Petrikov**, MD, PhD, DMSc, Professor, Corresponding Member of RAS, Director of N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department; Professor, Department of Neurosurgery and Neuroresuscitation, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3292-8789>

**Irina E. Popova** , MD, PhD, Senior Researcher, Department of Diagnostic Radiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-1407>

**Абучина Вера Михайловна**, врач отделения ультразвуковых и функциональных методов исследований ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5207-3194>

**Муслимов Рустам Шахизмолович**, канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5430-8524>

**Хамидова Лайла Тимарбековна**, канд. мед. наук, руководитель научного отделения ультразвуковых и функциональных методов исследований ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6299-4077>

**Попугаев Константин Александрович**, д-р. мед. наук, заместитель директора, руководитель регионального сосудистого центра ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; заведующий кафедрой анестезиологии-реаниматологии и интенсивной терапии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6240-820X>

**Кокков Леонид Сергеевич**, д-р. мед. наук, профессор, академик РАН, заведующий отделением лучевой диагностики ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; заведующий кафедрой лучевой диагностики ФGAOY BO «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3167-3692>

**Vera M. Abuchina**, Physician, Department of Ultrasound and Functional Methods of Examination, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5207-3194>

**Rustam Sh. Muslimov**, MD, PhD, Leading Researcher, Department of Diagnostic Radiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5430-8524>

**Laila T. Khamidova**, MD, PhD, Head of the Department of Ultrasound and Functional Diagnostics N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6299-4077>

**Konstantin A. Popugayev**, MD, PhD, DMSc, Deputy Director, Head of the regional vascular center of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department; Head of the Department of Anesthesiology, Resuscitation Intensive Care, A.I. Burnazyan Medical and Biological University of Innovations and Continuing Education Federal Medical Biophysical Center.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6240-820X>

**Leonid S. Kokov**, MD, PhD, DMSc, Professor, Academician of the RAS, Head of the Department of Diagnostic Radiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department; Head of the Department of Diagnostic Radiology, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3167-3692>

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author