

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СКОРОЙ ПОМОЩИ  
ИМЕНИ Н. В. СКЛИФΟΣОВСКОГО ДЕПАРТАМЕНТА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
ГОРОДА МОСКВЫ»

*На правах рукописи*

АБУЧИНА  
ВЕРА МИХАЙЛОВНА

КОМПЛЕКСНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА  
У ПАЦИЕНТОВ С НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ

3.1.25. Лучевая диагностика (медицинские науки)

3.1.12. Анестезиология и реаниматология (медицинские науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научные руководители:  
доктор медицинских наук  
Хамидова Лайла Тимарбековна,  
доктор медицинских наук,  
профессор РАН, академик РАН  
Петриков Сергей Сергеевич

Москва – 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭТИОПАТОГЕНЕЗЕ, КЛИНИКЕ И ДИАГНОСТИКЕ ИНФЕКЦИИ COVID-19 (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	13
1.1 Эпидемиология и этиология новой коронавирусной инфекции.....	13
1.2 Патогенез и патоморфология новой коронавирусной инфекции.....	14
1.3 Клиническая картина новой коронавирусной инфекции.....	16
1.3.1 Легочные проявления.....	16
1.3.2 Внелегочные проявления.....	17
1.3.3 Острый респираторный дистресс- синдром.....	18
1.3.4 Синдром полиорганной недостаточности .....	19
1.4 Лабораторная диагностика новой коронавирусной инфекции.....	21
1.5. Ультразвуковая диагностика новой коронавирусной инфекции.....	23
1.5.1 Ультразвуковые исследования легких у пациентов с COVID-19.....	23
1.5.2 Ультразвуковое исследование сердечно-сосудистой системы у пациентов с COVID-19.....	30
1.5.3 Ультразвуковое исследование органов брюшной полости у пациентов с COVID-19.....	32
1.5.4 Ультразвуковое исследование почек у пациентов с COVID-19.....	33
1.5.5 Ультразвуковое сопровождение методов экстракорпоральной мембранной оксигенации при COVID-19.....	35
1.6 Компьютерная томография и рентгенологическая диагностика.....	36
Заключение к главе.....	39
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	41
2.1 Общая характеристика групп пациентов.....	41
2.2 Методы исследования.....	46

2.2.1	Методика ультразвукового исследования легких у пациентов с COVID-19...	47
2.2.2	Методика ультразвукового исследования органов брюшной полости у пациентов с COVID-19.....	51
2.2.3	Методика ультразвукового исследования почек и забрюшинного пространства у пациентов с COVID-19.....	51
2.2.4	Методика выполнения трансторакальной эхокардиографии у пациентов с COVID-19.....	52
2.2.5	Методика проведения ультразвукового исследования вен нижних конечностей.....	53
2.3	Методика выполнения компьютерной томографии органов грудной клетки..	53
2.4	Методы лабораторной диагностики.....	54
2.5	Методы статистического анализа.....	55
ГЛАВА 3. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПРИЗНАКИ ПОРАЖЕНИЯ ЛЕГОЧНОЙ ТКАНИ, НАИБОЛЕЕ ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ ВИРУСНОЙ ПНЕВМОНИИ.....		57
3.1	Характерные ультразвуковые признаки поражения легочной ткани у пациентов с пневмонией COVID-19.....	57
3.2	Сопоставление ультразвуковых признаков поражения легочной ткани при пневмонии COVID-19 с ультразвуковыми градациями.....	68
Заключение к главе.....		72
ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ У ПАЦИЕНТОВ С НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ.....		74
4.1.	Сопоставление количества и характера пораженных областей по 14 - зонному протоколу ультразвукового исследования легких с объемом поражения по компьютерной томографии .....	74
4.1.1	Сопоставление характера пораженных областей по данным ультразвукового исследования (14 зон сканирования) с характером изменений на компьютерной томографии .....	76
4.1.2	Сопоставление характера изменений легочной ткани между компьютерной томографией и ультразвуковым исследованием вне зависимости от количества зон	

сканирования.....	82
4.1.3 Результаты сопоставления характерных ультразвуковых признаков поражения легочной ткани с данными компьютерной томографии у пациентов с коронавирусной инфекцией.....	83
4.2 Результаты сравнительного анализа ширины легочного ствола по данным компьютерной томографии с эхопризнаками легочной гипертензии по данным трансторакальной эхокардиографии.....	85
Заключение к главе.....	88
<b>ГЛАВА 5. РОЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ИСХОДА ЗАБОЛЕВАНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ.....</b>	<b>90</b>
5.1 Сопоставление клинико-anamnestических характеристик пациентов с новой коронавирусной инфекцией в зависимости от исхода госпитализации.....	90
5.2 Стратификация пациентов по степени тяжести (шкала NEWS2 и qSOFA).....	92
5.3 Анализ результатов комплексного ультразвукового исследования у пациентов с различными исходами госпитализации.....	94
5.4 Сравнительный анализ лабораторных показателей пациентов с COVID-19 в исследуемых группах.....	109
5.5 Прогнозирование вероятности развития летального исхода у пациентов с COVID-19 на основании комплексной диагностики в течение первых суток госпитализации (многофакторная модель логистической регрессии).....	114
Заключение к главе.....	118
<b>ГЛАВА 6. АЛГОРИТМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА У ПАЦИЕНТОВ С COVID-19, НАХОДЯЩИХСЯ НА ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ МЕМБРАННОЙ ОКСИГЕНАЦИИ.....</b>	<b>120</b>
6.1 Клинико-anamnestическая характеристика и стратификация степени тяжести по шкалам у группы пациентов, требующих поддержки методом экстракорпоральной мембранной оксигенации .....	120
6.2 Эхосемиотика у пациентов с коронавирусной инфекцией, требующих	

проведения экстракорпоральной мембранной оксигенации.....	121
6.3 Алгоритм ультразвукового мониторинга у пациентов с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, которым требуется применение В-В экстракорпоральной мембранной оксигенации.....	127
Заключение к главе.....	145
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	146
ВЫВОДЫ.....	156
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	158
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	158
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Ультразвуковые градации (Консенсусное заявление РАСУМД об ультразвуковом исследовании легких в условиях пандемии COVID-19 (Версия-2)).....	181
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Протокол оценки тяжести состояния пациента (NEWS 2)....	182
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Протокол оценки тяжести состояния пациента (qSOFA).....	184

### **Актуальность проблемы**

Распространение коронавируса SARS-CoV-2, вызывающего заболевание COVID-19, началось в конце декабря 2019 года. Всемирная организация здравоохранения 11 марта 2020 года объявила вспышку инфекции, вызванной новым коронавирусом, пандемией [57, 61].

Важной особенностью COVID-19 является высокая контагиозность, в связи с чем за короткий период инфекционное заболевание получило широкое распространение по всему миру. Вирусная инфекция, вызванная SARS-CoV-2, протекала с различной степенью тяжести заболевания (от легких до тяжелых форм с развитием летальных исходов), чаще всего болело взрослое население в возрасте от 30 до 79 лет (86,6%) [45, 137].

Стремительное распространение новой коронавирусной инфекции COVID-19 поставило перед специалистами задачи, связанные с быстрой диагностикой и оказанием медицинской помощи пациентам. Во время появления первых симптомов заболевания ранняя диагностика COVID-19 имела важное значение как для лечения, так и для предотвращения распространения вируса SARS-CoV-2, в связи с чем было необходимо подтверждение диагноза с помощью лабораторной диагностики [23].

Для выявления поражения легких при новой коронавирусной инфекции основным диагностическим инструментом стала компьютерная томография (КТ) органов грудной клетки, которую использовали совместно с лабораторно-клиническими данными и изучением эпидемиологического анамнеза для подтверждения заболевания [15]. КТ предоставляла важную информацию не только для диагностики, но и для оценки прогрессирования заболевания и ответной реакции организма пациента на проводимое лечение [12, 42].

С начала пандемии было опубликовано несколько рекомендаций,

описывающих, как наилучшим образом использовать ультразвуковое исследование (УЗИ) легких, чтобы выявить изменения, характерные для COVID-19, тем не менее доступной информации в определении диагностической ценности УЗИ при COVID-19 в сравнении с данными КТ грудной клетки было недостаточно [8, 13, 133].

В условиях пандемии COVID-19 УЗИ может быть дополнительным диагностическим методом для определения тяжести поражения легких, дальнейшей тактики лечения у реанимационных пациентов с вирусной пневмонией [38, 46].

УЗИ хорошо коррелирует с КТ грудной клетки и клиническими характеристиками у пациентов с COVID-19 [3, 90, 116].

С целью раннего выявления и предотвращения полиорганной недостаточности у пациентов с тяжелым течением вирусной инфекции COVID-19, обоснованным является проведение УЗИ органов брюшной полости и забрюшинного пространства [31, 81, 116].

Метод ультразвуковой визуализации является легкодоступным, выполняется у постели больного, не подвергая его воздействию ионизирующего излучения и не требует наличия персонала, специальных знаний и времени, необходимых для проведения КТ [3, 116].

ЭКМО является одним из важных методов, используемых в лечении пациентов с COVID-19. УЗИ в режиме реального времени служит подходящим инструментом для диагностики и мониторинга пациентов, находящихся на ЭКМО, которые являются нетранспортабельными, УЗИ сосудов и сердца снижает риск осложнений, связанных с канюляцией [17, 18, 101, 126].

Однако, несмотря на большое количество работ, посвященных применению ультразвуковой диагностики в условиях пандемии COVID-19 в исследовании легких, остается ряд нерешенных вопросов. Внезапное возникновение и стремительное распространение эпидемий вирусных пневмоний, сопровождающихся тяжелым поражением легочной ткани, требует ранней и точной диагностики для обеспечения успеха лечебных мероприятий,

предотвращения тяжелых осложнений, что, в свою очередь, определяет актуальность решения данной проблемы. Таким образом, изучение опыта использования различных ультразвуковых методов в проведении комплексного обследования пациентов при COVID-19, а также создание алгоритма ультразвукового сопровождения у больных, требующих подключения к контуру ЭКМО, может быть полезно в лечении других тяжелых вирусных поражений легких.

### **Цель исследования**

Определить роль ультразвуковых методов диагностики в обследовании пациентов с новой коронавирусной инфекцией.

### **Задачи исследования**

1. Выявить ультразвуковые признаки поражения легочной ткани, наиболее характерные для вирусной пневмонии, ассоциированной с коронавирусной инфекцией COVID-19 у больных, требующих лечения в реанимационном отделении.
2. Провести сравнительный анализ возможностей ультразвуковой и компьютерно-томографической диагностики у пациентов с новой коронавирусной инфекцией.
3. Разработать математическую модель, позволяющую на основании клинико-диагностических признаков прогнозировать исход заболевания у пациентов с коронавирусной инфекцией.
4. Разработать алгоритм ультразвукового мониторинга у пациентов с COVID-19, находящихся на экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО).

### **Научная новизна**

1. Впервые создана и изучена прогностическая модель, разработанная на основе комбинации клинических, лабораторных и показателей ультразвукового

исследования у пациентов с пневмонией, ассоциированной с COVID-19.

2. Впервые изучено применение методов ультразвуковой диагностики на четырех этапах использования ЭКМО у пациентов с тяжелым течением пневмонии COVID-19.

3. Впервые уточнены возможности ультразвукового сканирования легких в определении структурных изменений и объема поражения легочной ткани при сопоставлении с данными КТ органов грудной клетки.

4. Впервые проведено сопоставление данных УЗИ и КТ легких у больных COVID-19, при котором симптом «матовое стекло» по данным КТ на основании денситометрических характеристик был разделен на два типа, что позволило провести более достоверное сравнение данных КТ и УЗИ легких в определении структурных изменений.

5. Впервые проведена комплексная оценка данных УЗИ легких и плевральных полостей, органов брюшной полости и забрюшинного пространства с указанием доплерографических характеристик для определения прогноза развития полиорганной недостаточности у пациентов с новой коронавирусной инфекцией.

6. Впервые уточнены возможности эхокардиографии в оценке легочной гипертензии у пациентов с COVID-19 в сопоставлении с данными КТ.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Разработана методика использования ультразвукового метода сканирования у больных с COVID-19, которая позволила выявлять структурные изменения и провести динамический контроль за ними, что дало возможность улучшить диагностику и лечение.

Проведено сопоставление данных УЗИ и КТ легких, которое позволило рассматривать метод УЗИ как скрининговый перед направлением на КТ в условиях массового поступления пациентов в стационар, а также как альтернативный метод диагностики при невозможности выполнить КТ у беременных, пациентов с ожирением, нетранспортабельных пациентов (на искусственной вентиляции

легких (ИВЛ), на экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО)).

Разработан алгоритм использования ультразвуковой диагностики на всех этапах ЭКМО (подготовка, канюляция, мониторинг и отлучение) при тяжелом течении пневмонии, ассоциированной с COVID-19, что позволило предоставить информацию о состоянии пациента реаниматологам и избежать осложнений, связанных с подключением пациента к контуру ЭКМО.

Проведена комплексная оценка данных УЗИ, клинических и лабораторных показателей, которая позволила более точно оценивать состояние больного и прогнозировать развитие неблагоприятного исхода течения заболевания.

Предложенная прогностическая модель позволила с высокой степенью вероятности стратифицировать пациентов на момент поступления в стационар по возможности неблагоприятного исхода госпитализации с диагностической эффективностью более 90%.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Проведение ультразвукового исследования лёгких в первые сутки поступления пациента с коронавирусной инфекцией в стационар позволяет оценить характерные структурные изменения легочной ткани и проводить их динамическую оценку на фоне лечения.

2. УЗИ легких можно рассматривать как скрининговый диагностический метод перед направлением пациентов с коронавирусной инфекцией на КТ в условиях массового поступления в стационар.

3. Использование прогностической модели вероятности развития летального исхода у пациентов с COVID-19 на основании комплексной диагностики в течение первых суток госпитализации, включающей оценку клинического статуса (шкала qSOFA), УЗИ легких и плевральных полостей, а также ультразвуковую оценку доплерографических показателей печени, оценку правых камер сердца по данным эхокардиографии (ЭхоКГ) и лабораторных показателей (уровня ЛДГ в сыворотке периферической крови), позволяет выявить пациентов с неблагоприятным прогнозом течения заболевания.

4. Разработанный алгоритм комплексного ультразвукового мониторинга для пациентов с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, на всех этапах применения метода ЭКМО (подготовка, канюляция, мониторинг и отлучение) позволяет выявить противопоказания к подключению пациента к контуру ЭКМО или его отлучению от метода, а также избежать осложнений, связанных с канюляцией и подключением пациента к контуру ЭКМО.

### **Внедрение в практику**

Результаты исследования внедрены в работу отделений ультразвуковой диагностики, экстренной и общей реанимации, регионарного сосудистого центра, кардиохирургической реанимации научно-исследовательского института скорой помощи им. Н. В. Склифосовского.

### **Личное участие автора в получении научных результатов**

Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии на всех этапах подготовки диссертационной работы. Автором были сформулированы цель и задачи, исходя из них составлен дизайн исследования, разработан алгоритм комплексного ультразвукового мониторинга на этапах применения метода ЭКМО у пациентов с COVID-19. Проведен поиск и анализ научной литературы по изучаемой проблеме. В ходе реализации исследования диссертант лично участвовал в обследовании пациентов, проводил статистический анализ полученных материалов, разработку прогностических моделей исходов заболевания. Автором лично произведена формулировка основных положений, выносимых на защиту, выводов и практических рекомендаций. Диссертантом в соавторстве подготовлены к печати публикации по теме работы.

### **Апробация работы**

Основные положения диссертации доложены на:

- Вебинаре «Ультразвуковая диагностика у пациентов с COVID-19» (Москва, 22 мая 2020 г.);

- 4-й научно-практической конференции молодых ученых ДЗМ «Актуальные вопросы неотложной медицины» (Москва, 16 апреля 2021 г.);

- VIII Международном конгрессе и школе для врачей «Кардиоторакальная радиология» (Санкт-Петербург, 26-27 марта 2021 г.);

- Конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов (Москва, 08-10 ноября 2021 г.).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, из которых 3 статьи в научных рецензируемых изданиях, соответствующих критериям и перечню рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 4 тезиса в сборниках работ съездов и конференций, 7 глав в монографиях, 2 патента на изобретения.

### **Объем и структура диссертации**

Текст диссертации изложен на 184 страницах машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций и приложения. Текст иллюстрирован 56 рисунками и 21 таблицей. Список литературы содержит 155 источников, из которых 26 отечественных и 129 зарубежных публикаций.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭТИОПАТОГЕНЕЗЕ,  
КЛИНИКЕ И ДИАГНОСТИКЕ ИНФЕКЦИИ COVID-19  
(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

### 1.1 Эпидемиология и этиология новой коронавирусной инфекции

В 2019 г. мир столкнулся с новой коронавирусной инфекцией - SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus) [149]. Сообщения о первых случаях заболевания новой коронавирусной инфекцией появились в конце декабря 2019 года в городе Ухани провинции Хубэй (Китайская Народная Республика) [108].

11 марта 2020 года ВОЗ объявила пандемией стремительно распространяющуюся инфекцию по всей территории Китая, к концу апреля 2020 г. коронавирусная инфекция была зарегистрирована более чем в 212 странах мира [57, 61].

В 1966 году D. A. Tyrell и M. L. Вуное впервые описали коронавирусы как возбудители острых респираторных инфекций [112]<sup>1</sup>. SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2) - коронавирус второго типа, вызывающий тяжелый острый респираторный синдром - одноцепочечный РНК-содержащий вирус, который является этиологическим агентом тяжелой острой респираторной инфекции COVID-19 (англ. Coronavirus Disease 2019). Внешне эти образования напоминают корону, за что семейство и получило свое название [63].

Коронавирусы человека могут оставаться жизнеспособными на поверхностях при комфортных условиях до 9 дней, но при воздействии дезинфицирующих средств (гипохлорит натрия, перекись водорода и др.)

---

<sup>1</sup> Цит. по: Xu Z., Shi L., Wang Y. [et al.] Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome // The Lancet Respiratory Medicine. 2020. Vol. 8, N. 4. P. 420–422.

разрушаются в течение одной минуты [115]. Заражение может происходить не только от лиц с клиническими проявлениями заболевания, но и от бессимптомных носителей, основной путь передачи вируса воздушно-капельный от человека к человеку [135].

Инкубационный период COVID-19 может варьировать от 2 до 9 и 14-16 сут. [60, 76]. Вирусной инфекцией, вызванной SARS-CoV-2, с различной степенью тяжести заболевания (от легких до тяжелых форм с развитием летальных исходов) чаще всего болеет взрослое население в возрасте от 30 до 79 лет (86,6%) [45, 137]. Новая коронавирусная инфекция COVID-19, вызванная вариантом Омикрон, характеризуется более коротким инкубационным периодом (2-7 суток, в среднем 3-4- суток) [23].

Следует отметить важную роль коморбидности у пациентов с COVID-19, приводящей к тяжелому течению заболевания у 80% пациентов [47]. Сопутствующие заболевания дыхательной, сердечно-сосудистой, выделительной, а также эндокринной систем увеличивают риск развития неблагоприятных исходов.

Особое место среди сопутствующих сердечно-сосудистых заболеваний занимает гипертоническая болезнь. Некоторыми специалистами было высказано предположение, что такая высокая частота данного заболевания среди больных COVID-19, в том числе в тяжелой форме, объясняется нередкой встречаемостью артериальной гипертензии в популяции в целом [10].

Таким образом, стремительное распространение коронавирусной инфекции с поражением большинства систем организма, потребовало определения групп риска среди населения, подверженных заболеванию и тяжелому его течению, а также разработки методов быстрой и эффективной диагностики COVID-19.

## **1.2 Патогенез и патоморфология новой коронавирусной инфекции**

Органом, который наиболее подвержен воздействию COVID-19, являются лёгкие [56].

Мишенью для вируса SARS-CoV-2 служат рецепторы к ферменту АПФ2 (hACE2) или трансмембранный гликопротеин CD147, которые широко представлены на эпителиальных клетках верхних дыхательных путей, альвеолярных клетках 2-го типа, в эндотелии почек, кишечника, сердца [51, 54, 131].

Повреждения легких приводят к развитию гипоксемии, что вызывает увеличение дыхательного объема и частоты дыхания. Однако в течение пандемии COVID-19 все чаще стали появляться сообщения о пациентах, у которых не наблюдалось данной компенсаторной реакции, несмотря на критически низкие уровни сатурации. В англоязычной литературе такой феномен получил название *Happy Hypoxemia* [139].

У пациентов с SARS-CoV-2 на аутопсии определяются патологические изменения почти во всех органах и тканях, это связано с выраженной экспрессией АПФ 2 [21].

Развившаяся эндотелиальная дисфункция вызывает нарушения свертывания крови [74]. Гистопатологические исследования подтвердили прямую вирусную инфекцию эндотелиальных клеток, эндотелиит (воспаление стенки кровеносных сосудов), а также микро- и макрососудистый тромбоз как в венозном, так и в артериальном русле [143].

Lindner D. и соавт. (2020) провели вскрытие 39 пациентов, погибших от COVID-19 (средний возраст - 85 лет), по результатам аутопсии с анализом сердечной ткани, было обнаружено, что SARS-CoV-2 выявлялся в 62% образцов, что указывает на высокую частоту вирусного присутствия в миокарде [38].

Santoriello D. и соавт. (2020) провели исследование почек 42 пациентов, умерших от COVID-19. Наиболее значимые результаты включали острое повреждение канальцев легкой степени, а также отсутствие классической вирусной нефропатии, диффузной тромботической микроангиопатии или острого гломерулонефрита [118].

Повреждение почек может возникать и в результате непосредственного внедрения вируса SARSCoV-2 в ренин-ангиотензин-альдостероновую систему

(РААС), при развитии цитокинового шторма, при гипоперфузии (ишемии) из-за дисфункции миокарда, гиперкоагуляции, рабдомиолиза [127]. Пациенты с возникшей почечной недостаточностью и хронической болезнью почек являются группой высокой летальности при развитии у них COVID-19.

Патогенез заболевания COVID-19 дает важную информацию об органах-мишенях, что необходимо учитывать для проведения комплексной диагностики и лечения пациента.

### **1.3 Клиническая картина новой коронавирусной инфекции**

#### **1.3.1 Легочные проявления**

Симптоматика при COVID-19 может варьировать от бессимптомного течения заболевания до выраженной клинической картины. Одним из проявлений новой коронавирусной инфекции COVID-19 являлась пневмония, которая чаще всего становилась причиной летальных исходов [27, 66].

Клиническое течение инфекции, вызванной SARS-CoV-2, в основном характеризуется симптомами со стороны дыхательных путей, включая лихорадку, кашель, боль в горле, усталость и осложнения, связанные с пневмонией и острым респираторным дистресс-синдромом. Сходство симптоматики, характерной для ОРВИ и COVID-19, связано с вовлечением в патологический процесс нижних дыхательных путей/респираторных отделов легких [23, 56, 75].

На фоне новой коронавирусной инфекции во время госпитализации может присоединиться бактериальная инфекция (особенно пневмония, связанная с ИВЛ). По современным представлениям пневмония относится к наиболее частым инфекционным заболеваниям. В случае продленной ИВЛ к вирусному поражению легких может присоединиться бактериальная пневмония [5, 26].

### 1.3.2 Внелегочные проявления

Хотя коронавирусная болезнь 2019 (COVID-19) в основном считается инфекцией нижних дыхательных путей, это заболевание может вызывать дисфункцию во многих органах, включая почки, сердце, печень, кишечник и поджелудочную железу.

По данным С. Н. Yan и соавт. (2020) у больных COVID-19 описаны нарушение обоняния (68%) вплоть до аносмии (25%), а дебют заболевания с появления симптомов гастроэнтерита наблюдался у 23% пациентов [39]. Особое внимание в условиях пандемии COVID-19 занимают беременные, заболевание у них протекает без существенных особенностей, чаще всего отмечались гипертермия (78%), миалгия (33%) и кашель (11%) [49].

Кобелев Е. и соавт. (2021) в своей работе сообщают, что гемодинамические нарушения у пациентов с COVID-19 часто приводят к различным тромбоэмболическим осложнениям и легочной гипертензии во время и после пневмонии. Коронавирус SARS-CoV-2 повреждает эндотелий сосудов с формированием ОРДС, что вызывает нарушение в системе гемостаза, провоцирует тромбообразование и приводит к развитию ТЭЛА [1].

Вентиляционные нарушения, возникающие на фоне гипоксии при новой коронавирусной инфекции вызывают повреждение миокарда и питающих его сосудов [65], что является причиной нарушения сократительной способности сердца, развития аритмий и экссудативных перикардитов. По данным С. Huang и соавт. (2020) поражение миокарда диагностировали в 12% случаев, поскольку сердце вовлечено в единый патологический процесс при коронавирусной инфекции [56].

Инфекция COVID-19 также может проявляться изменениями со стороны органов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), которые встречаются примерно у 25% пациентов [16]. Гастроинтестинальные проявления могут возникать одновременно с респираторными или предшествовать им, а также могут занимать лидирующее положение в клинической картине заболевания, а в ряде случаев

ассоциироваться с неблагоприятным прогнозом.

В некоторых работах отмечено влияние гиперкоагуляции и микроваскулярного тромбоза кишечника на возникновение ишемического колита, которое является редким проявлением COVID-19 и может варьировать от легкой до тяжелой степени. Так, С. Yang и соавт. (2020) провели ретроспективное когортное исследование пациентов с тяжелой формой COVID-19, в котором 20 пациентам (10,5%) из 190 потребовалась колэктомия вследствие тромбоза/тромбоэмболии сосудов кишечника. Критерием прогноза тяжелого ишемического поражения кишечника явилось значительное повышение уровня D-димера [59]. В многоцентровом итальянском ретроспективном исследовании у 2929 пациентов с COVID-19 продемонстрировано наличие ишемического поражения кишечника у 21 (0,7%) пациента [89].

Чучалин А. Г. и соавт. (2014) считают, что клиническая картина при тяжелом течении пневмонии может дополняться септическим шоком, острой дыхательной недостаточностью и/или другой органной дисфункцией [11].

### **1.3.3 Острый респираторный дистресс- синдром**

В соответствии с Берлинским определением острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС) характеризуется рефрактерной гипоксией, респираторной недостаточностью при отсутствии значимой сердечной патологии или перегрузкой жидкостью и двусторонним поражением легких по данным лучевых методов диагностики, которые развиваются в течении первой недели от дебюта клинических проявлений или ухудшения клинических симптомов [37].

Острая респираторная гипоксемическая недостаточность – одна из наиболее частых причин для госпитализации пациента в ОРИТ, требующая эндотрахеальной интубации и ИВЛ, развивается у 20% пациентов с двусторонней интерстициальной пневмонией [84].

ОРДС в большинстве случаев является наиболее серьезным осложнением COVID-19 и встречается в 20-41% у пациентов с острой респираторной

гипоксемической недостаточности [50].

Yang X. и соавт. (2020) в своем исследовании отмечают, что ОРДС с использованием респираторной поддержки у пациентов с COVID-19 имеет более тяжелое течение и неблагоприятный прогноз, чем у пациентов без коронавирусной инфекции [53].

Критерии диагностики пневмонии COVID-19 были предложены несколькими крупными учреждениями здравоохранения и включают в себя одышку, снижение сатурации кислорода менее 93%, индекс оксигенации ( $P_{aO_2}/F_{iO_2}$ )  $<300$  mm Hg, и/или билатеральные консолидации, вовлекающие более 50% паренхимы легких [130, 153].

Во время пандемии COVID-19 были определены и описаны некоторые специфические патофизиологические признаки поражения легких. К ним относятся: тяжелое эндотелиальное повреждение, гипоксемия, альвеолярно-капиллярные микротромбозы, венозные тромбозы, системный воспалительный ответ [106].

### **1.3.4 Синдром полиорганной недостаточности**

Тяжелое течение коронавирусной инфекции связано не только с поражением легких, но и с вовлечением в патологический процесс печени, почек, сердца, желудочно-кишечного тракта, гематологической и нервной системы, с высоким уровнем смертности и развитием синдрома полиорганной недостаточности (СПОН) у инфицированных пациентов [68].

В настоящее время ПОН рассматривается как недостаточность двух и более функциональных систем, универсальное поражение всех органов и тканей агрессивными медиаторами критического состояния с временным преобладанием той или иной органной недостаточности [9].

Внезапное и резкое ухудшение состояния пациентов с COVID-19 чаще происходит к 7-10 суткам от начала заболевания в результате формирования ОРДС, что связано с «цитокиновым штормом», который приводит к повреждению ткани

легких, почек, эндотелия сосудов, миокарда, клеток центральной нервной системы. В результате формируется, помимо дыхательной недостаточности, целый комплекс жизнеугрожающих клинических проявлений [54, 104, 131].

Острая почечная недостаточность – типичный признак поражения почек, встречается у 5-15% пациентов с SARS- и MERS-CoV инфекцией и ассоциируется с высокой частотой летальности [34].

Установлено, что инфекция SARS-CoV2 приводит к повреждению и дисфункции ткани печени. После легких печень является вторым по значимости органом мишенью, тем самым нарушение функции печени может быть расценено как маркер прогрессирования заболевания и тяжелом течении инфекции COVID-19 [112].

Для пациентов в критическом состоянии характерны не только гипоксия и гипервоспалительная реакция, но и развитие таких тромботических осложнений, как легочная эмболия (20-30%), тромбоз глубоких вен (30%), катетер-ассоциированный тромбоз, а также артериальный тромбоз (3,7%) и ишемический инсульт (2,5 %) [83, 86, 148].

В исследовании F. A. Клок и соавт. (2020) из 184 реанимационных больных с подтвержденной коронавирусной инфекцией и тяжелой двусторонней пневмонией, венозные тромбоэмболические осложнения, а также артериальные тромбозы были выявлены более чем в 30% смертельных случаях [86].

На сегодняшний день остается вопрос, является ли COVID-19 непосредственным этиологическим фактором развития тромбозов или они развиваются по мере прогрессирования инфекционного процесса [20].

Однако в доступной литературе имеются лишь общие сведения о симптомах, проявлениях и осложнениях заболевания, но до настоящего момента не существует точной информации о специфических признаках, характерных только для COVID-19.

#### 1.4 Лабораторная диагностика новой коронавирусной инфекции

Ранняя диагностика COVID-19 имеет важное значение как для лечения, так и для предотвращения распространения вируса SARS-CoV-2, наибольшую ценность в условиях быстрого распространения COVID-19 приобретает метод лабораторной диагностики – полимеразная цепная реакция [23, 129].

К особенностям инфекционного процесса, даже при слабых клинических проявлениях, относят формирование лейкопении, стойкой лимфопении и подавление продукции эндогенного интерферона [38, 78, 106].

В исследовании W. J. Guan и соавт. (2020) проанализировали 1099 случаев COVID-19 с лабораторным подтверждением и определили, что при поступлении у подавляющего большинства пациентов наблюдалась лимфоцитопения у 83,2%, у 36,2 % – тромбоцитопения, а у 33,7% – лейкопения, выявленные отклонения различались между пациентами с тяжелым и нетяжелым течением заболевания [52].

Во время ухудшения клинического состояния пациента отмечается рост маркеров воспаления, таких как С-реактивный белок, ферритин, прокальцитонин.

По результатам анализа данных лабораторных исследований пациентов с COVID-19, которые проходили лечение в инфекционном корпусе НИИ СП им. Н. В. Склифосовского было установлено, что высокие уровни прокальцитонина у пациентов с COVID-19 указывали на высокий риск развития сепсиса [6].

Отмечено, что изменение биохимических показателей сыворотки крови у больных COVID-19 зависит от тяжести состояния пациентов, а также выраженности ПОН. У пациентов с неблагоприятным исходом активность ферментов АЛТ, АСТ, ЛДГ, креатинфосфокиназы, щелочной фосфатазы,  $\alpha$ -амилазы, уровень мочевины, креатинина, глюкозы, триглицеридов значительно выше, чем в группе пациентов с благоприятным исходом заболевания [86].

Острое повреждение почек (ОПП) было выделено как независимый самостоятельный фактор риска высокой летальности у пациентов с коронавирусной инфекцией. В своей работе Y. Cheng и соавт. (2020) указывают на

повышение уровня креатинина в 15,5 % и мочевины в 14,1% у госпитализированных пациентов с COVID-19 [92].

Особое внимание исследователи уделяли определению активности ЛДГ в сыворотке крови. Так, М. Y. Wu и соавт. (2020) провели исследование, в которое вошли 87 пациентов, показатель ЛДГ использовали в качестве маркера для оценки тяжести течения заболевания и мониторинга лечения при пневмонии COVID-19. Повышение ЛДГ на 62,5 Ед/л имело приемлемую чувствительность и высокую специфичность для прогноза ухудшения состояния пациента, что подтверждалось также исследованиями КТ грудной клетки, а нормализация уровня ЛДГ сыворотки крови в течение всего периода наблюдения была достоверным маркером в прогнозировании благоприятного исхода лечения у пациентов [55].

Также значимым маркером является ферритин. В своем ретроспективном многоцентровом когортном исследовании F. Zhou и соавт. (2020) показали, что у пациентов, умерших от COVID-19, уровни ферритина были высокими как при поступлении, так и на протяжении всего пребывания в стационаре [54]. Таким образом, был сделан вывод, что уровни ферритина в сыворотке крови тесно связаны с тяжестью COVID-19.

Оценка состояния пациентов с коронавирусной инфекцией позволила выявить нарушения в системе гемостаза. Во многих исследованиях наиболее значимые изменения в показателях системы гемостаза, особенно с тяжелой формой COVID-19, – это высокий уровень D-димера и фибриногена [54, 56, 96].

Еще одно нарушение в системе гемостаза, которое наблюдается у наиболее тяжелых пациентов с COVID-19 –это тромбоцитопения. N. Tang и соавт. (2020) сделали вывод, что умеренная тромбоцитопения является распространённым явлением, количество тромбоцитов менее  $100 \times 10^9$  /л должно рассматриваться как признак имеющейся или развивающейся коагулопатии [36].

Таким образом, лабораторная диагностика является информативным методом исследования, который применяется на всех этапах развития заболевания. По ряду специфических показателей можно оценить прогрессирование заболевания и определить своевременную тактику лечения пациентов с COVID-19.

## **1.5 Ультразвуковая диагностика новой коронавирусной инфекции**

### **1.5.1 Ультразвуковые исследования легких у пациентов с COVID-19**

Лечение пациентов в критических состояниях, поступающих в ОРИТ, требует применения методов экстренной визуализации, которые необходимы для оптимизации диагностических и терапевтических процедур. Для диагностики и дренирования локализованного пневмоторакса и эмпиемы, оценки рекрутирования легких после применения рекрутмент-маневра, избыточной инсуффляции легких, потери аэрации и ее распределения необходимы методы прямой визуализации легких [128].

Долгое время инструментальное исследование грудной клетки основывалось только на прикроватной рентгенографии и КТ легких [72].

Основой проведения УЗИ легких является BLUE- протокол, который был создан Daniel Lichtenstein в 2008 году и представляет алгоритмический подход к исследованию легких при острой респираторной патологии [95] (рисунок 1).

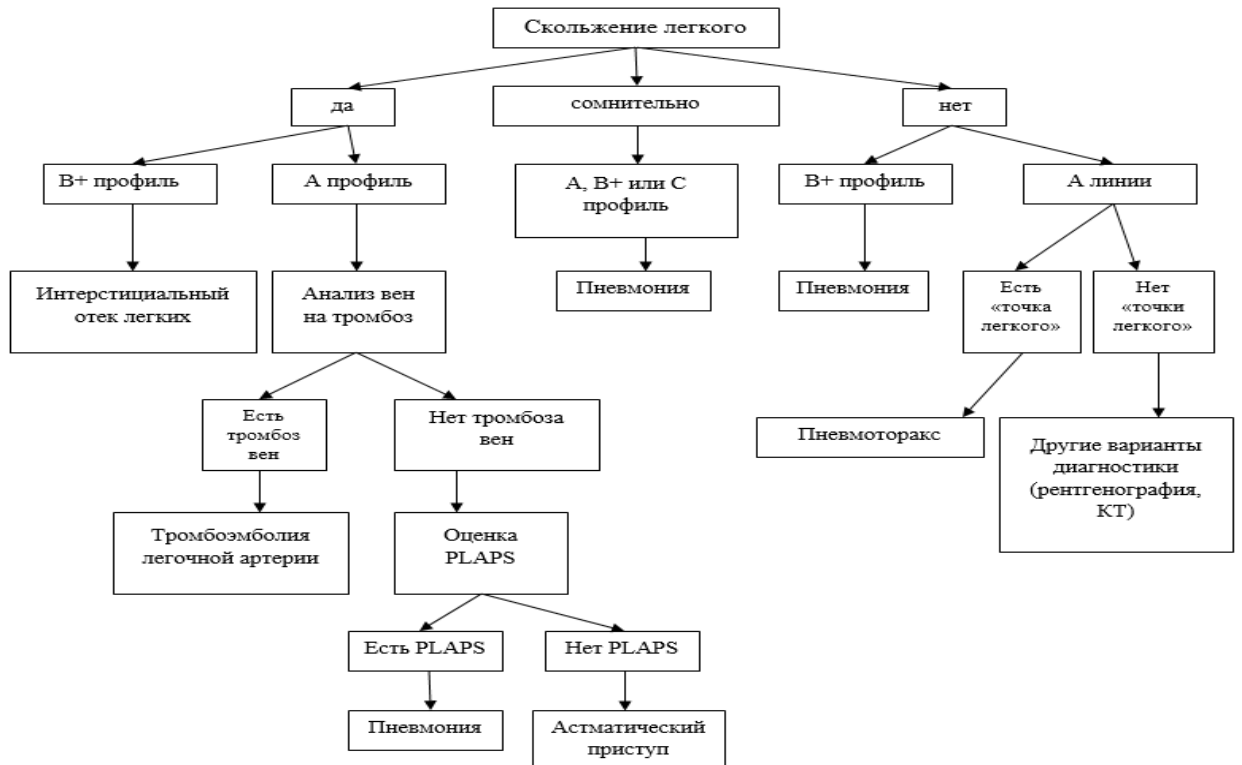
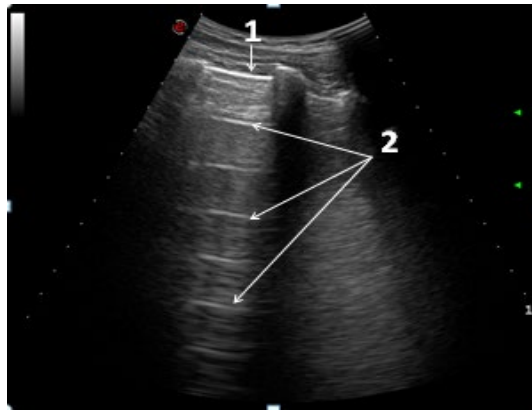


Рисунок 1 – Алгоритм исследования по BLUE – протоколу [95]

В соответствии с выявленными изменениями выделяют 7 ультразвуковых профилей легкого:

1. Профиль нормального легкого (А - профиль) (рисунок 2);
2. Профиль при пневмотораксе (А\* - профиль);
3. Профиль при интерстициальном синдроме (отеке легких) –В -профиль;
4. Профиль при ТЭЛА (А- профиль в сочетании с тромбозом вен нижних конечностей);
5. Профиль при пневмонии (А/В-, В\* или С- профиль, PLAPS);
6. Профиль при плевральном выпоте;
7. Профиль при ХОБЛ или астме (А- профиль при отсутствии PLAPS).



(1) – плевральная линия в виде тонкой ровной линейной гиперэхогенной структуры;  
 (2) – артефакт в виде А-линий, которые имеют вид тонких параллельных горизонтальных полос, расположенных на равном расстоянии друг от друга. В-линии не лоцируются. В режиме реального времени скольжение легкого сохранено

Рисунок 2 – Эхограмма легкого (А- профиль)

Lichtenstein D. A. и G. A. Mezière (2008) пишут, что ургентная сонография является достаточно простым в исполнении направлением ультразвуковой диагностики, где не требуется применения количественного анализа и доплеровской оценки, а исследование может быть выполнено "неспециалистом" [95].

Рекомендации по унифицированному подходу к проведению ультразвукового сканирования легких были определены на первой международной консенсусной конференции по ультразвуку легких в 2012 году (ICC-LUS) [88].

В настоящее время возрос интерес к УЗИ легких у пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 («Coronavirus Disease 2019»), также как в периоды вспышек таких эпидемий вирусной инфекции, как «птичий» и «свиной» грипп [78, 142].

В диагностике легких по данным УЗИ важным является возможность выявить пневмонию и указать ее происхождение. Ряд авторов также указывают, что УЗИ легких может диагностировать пневмонию, вызванную COVID-19, у пациентов с нормальными показателями жизненных функций [152] и различать вирусную и бактериальную пневмонии [146].

В описательных статьях говорится, что УЗИ хорошо коррелирует с КТ и клиническими характеристиками у пациентов с COVID-19 [3, 90, 116].

Воспроизводимость метода УЗИ является особенно актуальной для труднодоступных районов, охваченных пандемией. Благодаря своей безопасности и преимуществам перед рентгенологическими методами диагностики, УЗИ представляет собой один из основных методов диагностики при работе в условиях пандемии COVID-19 и может являться инструментом неинвазивного контроля у больных. Исследование выполняется непосредственно у постели пациента, соблюдается принцип «прибор к пациенту», а дезинфекция приборов проводится сразу после завершения обследования пациента, что является важным преимуществом во время пандемии [44]. В отличие от этого, использование рентгена грудной клетки и КТ может увеличить риск заражения и распространения инфекции [116].

Отдельное внимание заслуживают беременные женщины, которым нежелательно проведение радиологических методов исследования (КТ, рентгенография) [58], в такой ситуации альтернативным методом диагностики выступает УЗИ, с помощью которого можно получить информацию об объеме и характере поражения легочной ткани [100].

По мнению T. Zitek (2020), изменение структуры легочной ткани по данным УЗИ могут развиваться до появления клинических проявлений. Пациента с симптомами дыхательной недостаточности, связанными с пневмонией, вызванной COVID-19, и подозрительными результатами УЗИ следует считать положительным на COVID-19 до тех пор, пока не будет доказано обратное. Тем не менее, специфичность мазка из носоглотки в настоящее время, вероятно, выше, чем у любого визуализирующего теста [155].

Особенностью УЗИ легких при COVID-19 считается способность определять изменения, влияющие на соотношение между легочной тканью и воздухом. В норме под плевральной линией (висцеральная плевра) находятся альвеолы, заполненные воздухом, поэтому ультразвуковые волны полностью отражаются, создавая специфический реверберационный артефакт горизонтальных линий,

который получил название А-линии. Если соотношение между воздухом, тканью, жидкостью или другими биологическими компонентами изменяется, то легкое практически полностью перестает отражать УЗ волну, и проникающий между воздушными альвеолами ультразвук приводит к появлению вертикальных артефактов, которые были названы В-линиями. Субплевральная ткань выглядит как уплотнения, в которых воздушная среда отсутствует и ультразвук проникает в эти участки беспрепятственно, формируя артефакт, получивший название консолидации, или тканевого признака [13].

При воспалении активизируется множество клеток, формируется иммунный ответ на внедрение в организм чужеродного агента. Одним из механизмов, реализующих активность воспалительных элементов, является усиление кровотока в зоне поражения [128].

Lichtenstein D. A. (2014) описал признаки, которые определяют с помощью УЗ сканирования при любых заболеваниях легких [94]:

- Плевральная линия;
- А-линии;
- Скольжение легкого (lung sliding);
- Признак морского берега (Seashore Sign) в М-режиме указывает на нормальное скольжение легкого и исключает наличие пневмоторакса;
- Признак штрихкода (Barcode Sign). В М-режиме указывает на отсутствие скольжения легкого и наличие пневмоторакса;
- Точка легкого (Lung Point) – признак, который наблюдается при пневмотораксе;
- В-линии;
- Консолидация;
- Для консолидаций при УЗИ легких характерен тканевый признак (tissue-like sign);
- Воздушная бронхограмма.

Метод УЗ сканирования легких в ОРИТ позволяет быстро выявить изменения легочной ткани, характерные для COVID-19, как и других заболеваний, схожих с

COVID-19, в частности, он обладает очень высокой чувствительностью – 97% в отношении диагностики интерстициального синдрома и ОРДС, но специфичность признаков, выявляемых при УЗИ легких в отношении инфекции SARS-CoV-2, не очень высока [110].

Митьков В. В. и соавт. (2020) на основании УЗ признаков разработали ультразвуковые градации изменения легочной ткани при различных патологических состояниях (0, 1а, 1б, 1а + или 1 б+, 2 или 2 +, 3), которые позволяют врачам правильно интерпретировать и анализировать предыдущую УЗ картину [13].

Ряд авторов определили и описали ультразвуковые признаки, характерные для пневмонии COVID-19, такие как изменение плевральной линии, зоны уплотнения, наличие множественных В- линий, формирующих "белое легкое" [28, 79, 150, 151].

Паттерн, соответствующий А-профилю с подвижностью легких у пациента без гипоксии, позволяет с уверенностью исключить пневмонию, вызванную COVID-19, но специфичность УЗИ легких всё равно остаётся низкой и зачастую недостаточной для подтверждения диагноза [90, 99].

Многие исследователи при проведении УЗИ легких старались обнаружить и описать новые признаки инфекционного поражения.

Так, Y. Huang и соавт. (2020) и G. Volpicelli и соавт. (2020) в условиях пандемии COVID-19 описали два новых признака, связанных с В-линиями при проведении УЗИ легких и ввели термины «водопад» и «световой луч». Однако, следует учитывать, что полученные изображения могут быть эквивалентными: признак «водопада» представляет собой сливающиеся В-линии, которые чаще локализуются в задней и нижней областях легких, а «световой луч» представляет собой артефакт в виде светящейся полосы, распространяющийся вниз от плевральной линии, появляющийся и исчезающий «эффект включения-выключения» на фоне сохраненных А-линий [28, 150]. Артефакт «светового луча» соответствует признаку матового стекла по данным КТ [150]. Предполагается, что у пациентов с симптомами дыхательной недостаточности такая эхографическая

картина с высокой вероятностью указывают на интерстициальную пневмонию, вызванную COVID-19 [28, 150].

При развитии пневмонии COVID-19, изменения в паренхиме легких начинаются в дистальных отделах и распространяются проксимально. На ранних стадиях заболевания на КТ легких наблюдаются изменения в виде симптома «матового стекла» и «булыжной мостовой», а позже уплотнения расположены преимущественно в базальных отделах легких [71], в связи с чем данные изменения хорошо видны при УЗИ.

В фазе консолидации при COVID-19 происходит уплотнение содержимого альвеол за счет большого содержания фибрина, клеточного детрита, что снижает воздушность легочной ткани [21]. Появляется возможность УЗ сканирования глубоких базальных отделов легкого. Но D. A. Lichtenstein и соавт. (2004) в своих работах сообщали, что ультразвуковая диагностика не позволяет выявить поражения в глубоких слоях легочной паренхимы [145].

Очень мало информации о наличии плеврального выпота у пациентов с COVID-19, этот признак не считают специфическим. Так, J. Gil-Rodríguez и соавт. (2023) в своей работе описывают изменения плевры, деформация которой связана с субплевральной локализацией консолидаций, и указывают, что консолидации больших размеров определяются не всегда и более характерны для бактериальных осложнений, а плевральный выпот редкий, и нехарактерен для COVID-19 [102].

УЗИ легких у пациентов с COVID-19 успешно применяют для неинвазивного мониторинга состояния пациента, а также в клинических ситуациях, когда недоступно выполнение КТ грудной клетки (беременные, тяжелое состояние пациента, отсутствие технических возможностей и средств защиты для транспортировки пациента к аппарату КТ) [22].

Таким образом, доступность, возможность выполнения «у постели больного» в режиме реального времени, отсутствие ионизирующего излучения и потребности в специальном персонале, как, например, при проведении КТ, может характеризовать УЗИ легких в качестве альтернативного метода диагностики при заболевании легких, вызванном SARS-CoV-2. Однако, по данным литературы

точные УЗ признаки поражения легких при COVID-19 не определены [116].

### **1.5.2 Ультразвуковое исследование сердечно-сосудистой системы у пациентов с COVID-19**

Эхокардиография (ЭхоКГ) является одним из основных методов при обследовании пациентов с подозрением на инфекцию COVID-19 или подтвержденным заболеванием, позволяет оценить кардиальный статус в остром инфекционном периоде коронавирусной инфекции [105].

В условиях оказания помощи пациентам с COVID-19 фокусная ЭхоКГ является инструментом выбора в условиях ограничения доступа к экспертной ЭхоКГ [8]. Исследование выполняет врач у постели больного, что представляет собой вариант скрининга клинически значимых изменений структуры миокарда и параметров внутрисердечной гемодинамики. Основными задачами фокусной ЭхоКГ при инфекции являются оценка глобальной и регионарной сократительной функции ЛЖ и правого желудочка (качественно); размеров камер сердца (дилатация камер); наличия жидкости в полости перикарда и в плевральных полостях; наличия митральной регургитации (качественно); наличия дополнительных образований в полостях и структуре сердца (тромбы); волемического статуса (диаметр нижней полой вены) [80].

Известно, что интерстициальный синдром, выявленный при УЗИ легких, является характерной особенностью вирусной пневмонии, однако и у больных с декомпенсированной сердечной недостаточностью будет такая же УЗ картина, поэтому клиническая картина в сочетании с параметрами ЭхоКГ очень важна [73].

Особое внимание при выполнении ЭхоКГ у пациентов с вирусной пневмонией уделяется оценке состояния правых камер сердца (размер и функция), нижней полой вены и кровообращения по малому кругу (давление в легочной артерии, толщина свободной стенки правого желудочка) [82].

В ряде исследований у пациентов с тяжелым течением коронавирусной инфекции были выявлены эхокардиографические признаки тяжелой легочной

гипертензии. М. О. Schmiady и соавт. (2020) в своем исследовании у пациентов с коронавирусной инфекцией определили значимость легочной гипертензии, которая является маркером тяжести и объема поражения легочной ткани, что позволяет прогнозировать неблагоприятный исход заболевания [134].

В исследовании Х. Yang и соавт. (2020) описали, что миокардит был выявлен у 7,2 % с COVID-19, но ЭхоКГ не является методом выбора для диагностики специфического повреждения миокарда [53].

Изменения, выявляемые при ультразвуковом исследовании сердца, носят различный характер, наиболее часто приводятся данные о дилатации и/или нарушении систолической функции правого желудочка, легочной гипертензии, реже о систолической дисфункции левого желудочка [121, 124, 132].

При сепсисе, связанном с поражением легочной ткани (как в случае с COVID-19) нарушение кровообращения и ИВЛ способствуют дисфункции правого желудочка и приводят к развитию острого легочного сердца [120].

Singer M. и соавт. (2016) в своем исследовании провели комплексный анализ гемодинамики с помощью ЭхоКГ у группы пациентов с сепсисом. В исследование были включены 67 пациентов (55 мужчин и 12 женщин), медианный возраст составил 61 год [50;70]. При трансторакальной ЭхоКГ оценивали функции сердца, предварительную нагрузку на ЛЖ с использованием максимального диаметра нижней полой вены (НПВ) и измерения давления наполнения ЛЖ (отношения  $E/A$  и  $E/e'$ ) по импульсно-волновой доплерографии и тканевой доплерографии. Результаты свидетельствуют о том, что COVID-19 вызывает множество гемодинамических изменений, схожих с теми, что наблюдаются при других формах сепсиса. Острый инфаркт миокарда был распространённым явлением и связан с нарушением функций левого и правого желудочков [131].

В единичных случаях у пациентов с COVID-19 ассоциированными септическими осложнениями при ЭхоКГ определяются подвижные вегетации на клапанах сердца [35].

Таким образом, интерпретация данных ЭхоКГ не всегда однозначна, поскольку COVID-19 вызывает гемодинамические изменения, схожие с другими

сердечно-сосудистыми заболеваниями. Предоставленные результаты ЭхоКГ в сочетании с данными КТ легких, отражающими объем поражения легочной ткани, влияют на оценку тяжести заболевания.

### **1.5.3 Ультразвуковое исследование органов брюшной полости у пациентов с COVID-19**

Boraschi P. и соавт. (2021) в своем исследовании указывают, что УЗИ и КТ – это методы лучевой диагностики, которые используются у пациентов с COVID-19 при наличии клинических симптомов, связанных с поражением органов брюшной полости [29].

Нарушение функции печени у пациентов с COVID-19 может быть обусловлено как прямым поражением вирусом, так и вторичным воздействием таких факторов, как системная воспалительная реакция, гипоксия (связанная с поражением легких), ПОН, использование лекарственных средств, оказывающих токсическое действие на печень [31, 93]. Существует мнение, что именно вызванный вирусом цитокиновый шторм является движущей силой повреждения печени при COVID-19 [41].

Жировая инфильтрация печени – частая и неспецифическая находка у пациентов с COVID-19, выявленная при УЗИ и КТ. У пациентов с COVID-19 и неалкогольной жировой болезнью печени вероятность повреждения печени и прогрессирования заболевания выше, чем у пациентов без неалкогольной жировой болезни печени [107].

Повреждение печени, вызванное COVID-19, может быть оценено с использованием методов лучевой визуализации, одним из которых является УЗИ и проведение эластографии для определения жесткости органа [97].

Тогузбаева К. К. и соавт. (2022) провели исследование, в котором приняли участие 60 пациентов. Больным выполняли УЗИ печени в В-режиме с УЗДГ сосудов и оценкой жесткости паренхимы при эластографии. В В-режиме выявляли классические признаки стеатоза и фиброза печени. В режиме ЦДК определяли

снижение потока, или изменение направления движения (реверсирование). Эластографию 2D-сдвиговой волны (2D-SWE) в кПа использовали для количественной оценки фиброзных изменений и проводили сопоставление по 5-балльной шкале Metavir от F0 до F4. Сравнение пациентов с различным течением COVID-19 демонстрировало в 8 раз более высокий риск тяжелого течения заболевания у пациентов с повышенной эхогенностью печени ( $P = 0.001$ , 95% ДИ 2.185–29.249) [4].

В исследовании R. Vhayana и соавт. (2020) у 134 пациентов с COVID-19, проходящих лечение в ОРИТ с изменениями в лабораторных показателях функции печени проводилась визуализация органов брюшной полости (рентгенография – 137 исследований, УЗИ – 44, КТ – 42; МРТ – 1). УЗИ печени в 54% случаев выявило увеличение размеров желчного пузыря и сладж (застой) желчи в просвете желчного пузыря [30].

УЗИ считается «золотым стандартом» для выявления желчных камней. У пациентов с COVID-19 в 54% были обнаружены желчные конкременты и билиарный сладж, что было тесно связано с повышением показателей холестаза. Поражение поджелудочной железы также было описано у пациентов с COVID-19 [30].

Повреждение селезёнки при новой коронавирусной инфекции характеризуется спленомегалией и развитием единичных или множественных инфарктов. При УЗИ инфаркты селезёнки определяются гипоехогенными по сравнению с паренхимой селезёнки, хотя в начале развития они могут быть изоэхогенными, что ограничивает их визуализацию [30].

В настоящее время не описаны УЗ-признаки поражения органов брюшной полости у пациентов с COVID-19, которые могут прогнозировать развитие неблагоприятного исхода заболевания.

#### **1.5.4 Ультразвуковое исследование почек у пациентов с COVID-19**

Острое повреждение почек часто развивается у пациентов с COVID-19 и

диагностируется у 20-40% поступающих в стационар и особенно в ОРИТ [32].

В ранних публикациях из Китая сообщалось, что распространённость ОПП среди пациентов, поступивших в отделение интенсивной терапии, составляет от 5% до 29% [91].

В своей работе J. Watchorn и соавт. (2021) провели проспективное исследование, в которое вошли 12 пациентов с COVID-19 и здоровые добровольцы. Всем пациентам выполняли УЗИ почек в В-режиме и УЗДГ сосудов. Параллельно оценивали показатели КТ-перфузии почек. Измерение почечного артериального кровотока проводили для получения усредненной по времени пиковой скорости для расчета объемного почечного кровотока, расчет индекса резистентности определяли по доплеровскому сигналу с междолевой артерии по стандартной формуле. Было выявлено, что показатели, полученные с помощью УЗИ, оказались снижены при ОПП, связанном с COVID-19, по сравнению со здоровыми людьми из контрольной группы (36,6 см/с против 20,9 см/с,  $P = 0,004$ ) [69].

Индекс резистентности (ИР) – это показатель для оценки гемодинамики почек. Edgar Garcia Cruz и соавт. (2022) провели исследование, в которое включили 65 пациентов. У 34% пациентов развилось ОПП со значениями ИР  $\geq 0,7$  в 68 % случаев, 12% больным потребовалась заместительная почечная терапия, а 35% умерли. По результатам проведенного исследования был сделан вывод, что повышенный ИР может играть роль в прогнозировании ОПП, начала заместительной почечной терапии и смертности у пациентов с тяжелой пневмонией, вызванной SARS-CoV-2) [125].

УЗИ почек позволяет выявить признаки, характерные для ОПП: повышение эхогенности и гетерогенную структуру коркового слоя, нарушение кортико-медуллярной дифференцировки у пациентов с COVID-19. В случаях инфаркта почки вследствие гипоперфузии почечной паренхимы, при УЗИ выявляют клиновидные участки сниженной и/или повышенной эхогенности, как с одной, так и с обеих сторон [85].

Однако нет данных о том, какие структурные изменения почек и доплерографические показатели по данным УЗИ являются маркером тяжелого

течения коронавирусной инфекции с развитием неблагоприятного прогноза.

### **1.5.5 Ультразвуковое сопровождение методов экстракорпоральной мембранной оксигенации при COVID-19**

Экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) – временный метод вспомогательного кровообращения для поддержания гомеостаза путем частичного или полного замещения функции легких и/или сердца при развитии тяжелой дыхательной и/или сердечной недостаточности. Технология ЭКМО направлена на поддержание пациентов в критическом состоянии, с потенциально обратимыми нарушениями деятельности дыхательной системы и/или сердечно-сосудистой системы, лечение которых неэффективно с помощью традиционных методов интенсивной терапии. У пациентов с дыхательной недостаточностью используется преимущественно подключение к конфигурации вено-венозной ЭКМО, а у больных с циркуляторной сердечной недостаточностью вено-артериальная конфигурация ЭКМО [18, 24].

УЗИ в режиме реального времени служит подходящим инструментом для диагностики и мониторинга пациентов, находящихся на ЭКМО, которые являются нетранспортабельными в диагностические отделения стационара.

Во время периферической канюляции использование УЗИ сосудов и сердца снижает риск осложнений, обеспечивает правильное расположение канюль и остается ключевым методом мониторинга во время ЭКМО и профилактики осложнений ЭКМО [17, 101, 126].

Особое внимание уделяется ЭхоКГ на всех этапах проведения процедуры. Так, А. Combes и соавт. (2014) в опубликованном документе рекомендуют, чтобы врач, владеющий методом ЭхоКГ, был частью команды, осуществляющей уход за пациентами с ЭКМО [117].

Описаны УЗ-признаки дисфункции правого желудочка, включающие расширение полости правого желудочка, уплощение межжелудочковой перегородки, формирующее D-образную форму ЛЖ; расширение кольца

трикуспидального клапана и ПП со значительной трикуспидальной регургитацией, а также вклад правого желудочка в формирование верхушки сердца, который обычно визуализируется при трансторакальной ЭхоКГ или чреспищеводной ЭхоКГ в четырехкамерной позиции. Авторы также указывают, что глобальная систолическая функция может быть оценена с помощью модифицированного метода Симпсона, чтобы дать оценку фракции выброса [117].

В настоящее время нет рекомендаций о том, какой метод визуализации лучше использовать для проведения канюляции ЭКМО. Используя ЭхоКГ, можно уточнить расположение канюли, хотя следует помнить о наличии артефактов, которые могут ввести в заблуждение. Преимуществом ЭхоКГ также является быстрая диагностика любых осложнений, связанных с канюляцией, таких как выпот в перикарде или расслоение аорты. Измерение диаметра сосудов может помочь в выборе размера канюли [43, 113].

Описаны параметры, выходящие за рамки обычного определения фракции выброса и размера желудочков, для прогнозирования успешного отлучения от ЭКМО. При постепенном снижении потока ЭКМО наличие интеграла скорости-времени в аорте более 10 см при минимальной поддержке ЭКМО предсказывало успешное отлучение [119].

Учитывая простоту, доступность, надежность и безопасность проведения УЗИ, а также отмеченную рядом авторов высокую информативность, рекомендовано рассматривать применение данного метода при ЭКМО. Однако, в настоящее время нет данных о комплексном применении возможностей УЗИ на всех этапах ЭКМО.

## **1.6 Компьютерная томография и рентгенологическая диагностика**

Компьютерная томография (КТ) органов грудной клетки стала основным диагностическим методом для выявления поражения легких при COVID-19 и используется совместно с лабораторными данными, клинической картиной и изучением эпидемиологического анамнеза для подтверждения заболевания [2, 15].

КТ дает важную информацию не только для диагностики, но и для оценки прогрессирования заболевания и ответной реакции организма пациента на проводимое лечение [12].

Однако этот метод визуализации нельзя использовать в больничной палате, поэтому в некоторых зарубежных и российских клиниках стали применять УЗИ легких в качестве альтернативного метода визуализации [3, 22, 116, 133, 154].

КТ при COVID-19 считают «золотым стандартом» диагностики, но она тоже не является совершенной и имеет свои ограничения [114].

Наиболее характерным КТ признаком при COVID-19 считают выявление зон интерстициального уплотнения легочной ткани (участки «матового стекла»), представляющие собой области умеренного диффузного повышения плотности легочной ткани до - 550 единиц Хаунсфилда (при норме от - 800 до -900 ед.) и при коронавирусном поражении имеют преимущественно периферическую и заднюю локализацию, но у пациентов на этом фоне не наблюдали плеврального выпота или лимфаденопатии [109].

Вао С. и соавт. (2020) описывают, что ретикулярные изменения являются рентгенологическим эквивалентом развития интерстициального отека и воспаления [62].

Одной из разновидностей ретикулярных изменений, описанных при COVID-19, является симптом «булыжной мостовой», представляющий собой сочетание «матового стекла» и утолщенных междольковых перегородок [136].

Консолидация – второй по частоте встречаемости симптом, визуализируемый у 60-68% пациентов [48], чаще всего определяется вместе с симптомом «матового стекла», реже является единственным признаком заболевания.

Анализ данных 63 пациентов с COVID-19 показал симптомы неблагоприятного течения заболевания в виде распространения протяженности участков «матового стекла», снижения плотности альвеолярной инфильтрации с появлением симптома «тающего сахара», а также инфильтрацию дисковидных ателектазов в легочной ткани [87].

На начальных стадиях заболевания изолированная визуализация консолидации встречается у 18% пациентов, а у 48% больных отмечается сочетание симптомов «матового стекла» и консолидации [70].

Все данные, полученные при проведении КТ, необходимо оценивать с учетом степени тяжести состояния больного COVID-19 согласно приказу Департамента здравоохранения г. Москвы от 08.04.2020 № 373 (ред. от 17.04.2020)<sup>2</sup>. Тяжесть определяют по наиболее пораженному легкому. 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 степень (диффузное вовлечение паренхимы легких больше 75%).

Применение метода рентгенологической диагностики у пациентов с COVID-19 не получило широкого распространения.

Гаврилов П. В. и соавт. (2020) описали низкую информативность традиционной рентгенографии в оценке вирусного поражения легких [25].

Однако роль традиционной рентгенографии признавалась несомненной при оценке изменений в условиях реанимации. Е. А. Литвиненко и соавт. (2021) провели исследование, в котором участие приняли 150 пациентов (63,0 + 8,4 лет) с подтвержденной коронавирусной инфекцией. Каждому из участников было проведено рентгенологическое обследование и КТ. Из 150 пациентов изменения легочной ткани по данным рентгенографии обнаружены у 97 исследуемых (65%), в то время как у 53 человек (35%) патологических изменений в легких выявлено не было [14].

Рентгенография легких в первые дни заболевания не обладает высокой чувствительностью и не может применяться в остром периоде заболевания для

---

<sup>2</sup> Приказ Департамента здравоохранения г. Москвы от 08.04.2020 N 373 (ред. от 17.04.2020) «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)». Москва, 2020.

исключения COVID-19, так как не позволяет визуализировать незначительное снижение воздушности и интерстициальный отек [67, 140].

Учитывая, что COVID-19 имел быструю тенденцию к распространению, возрос интерес к роли визуализирующих методов исследования для скрининга, диагностики и мониторинга пациентов с предполагаемой или подтвержденной вирусной инфекцией. Имеющиеся ограничения применения КТ легких требуют уточнения возможностей УЗИ и сопоставления данных УЗИ и КТ в обследовании пациентов. УЗИ легких может стать альтернативным методом диагностики у пациентов с COVID-19.

### **Заключение к главе**

Анализ данных современной литературы, посвященной пандемии COVID-19, показывает, что, несмотря на наличие достаточно большого числа исследований, приуроченных к диагностике и мониторингу заболевания и связанных с ним осложнений, коронавирусная инфекция в настоящее время остается одной из наиболее сложных и значимых проблем в реаниматологии.

По данным различных авторов УЗИ легких можно рассматривать как альтернативный метод диагностики в условиях массового поступления в стационар и при невозможности выполнить КТ легких. Однако, в доступной нам литературе не в полной мере проанализированы ультразвуковые показатели изменений легочной ткани, характерные для поражения COVID-19, что требует уточнения описания структуры легких.

ЭКМО является одним из важных методов, используемых в лечении пациентов с COVID-19. Однако, в литературе нет четко описанного алгоритма применения ультразвуковых методов исследования. Необходимо уточнить и описать алгоритм ультразвукового сопровождения на каждом из этапов (подготовка, канюляция, мониторинг, отлучение).

Также необходимо определить роль методов УЗИ в прогнозировании исхода новой коронавирусной инфекцией.

Таким образом, актуальность исследований, посвященных использованию УЗИ в комплексе диагностических мероприятий при новой коронавирусной инфекции остается крайне важной.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**2.1 Общая характеристика групп пациентов**

Всего было обследовано 105 пациентов, находившихся на лечении в инфекционном корпусе ГБУЗ «НИИ СП им. Н. В. Склифосовского» ДЗМ в период с 2020 г. по 2022 г.

Критериями включения являлись:

- Положительный результат теста на SARS-CoV-2, выполненный с использованием ПЦР;
- Клинические признаки дыхательной недостаточности;
- Возраст пациента старше 18 лет;
- Госпитализация пациента в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ).

Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом НИИ СП им. Н. В. Склифосовского (протокол № 5-21 от 25.05.2021 г.), информированное согласие не применялось.

В ходе исследования нами была проведена оценка их демографических и клинико-anamнестических характеристик (таблица 1).

Таблица 1 – Клинико-anamнестическая характеристика пациентов, включенных в исследование

Характеристика	Значение (n = 105)
Возраст, Ме [Q1; Q3]	54 [45; 62]
Мужчины, n (%)	68 (64,8)
Сердечно-сосудистая патология, n (%)	31 (29,5)

Продолжение таблицы 1

Заболевания легких, n (%)	12 (11,4)
Заболевания печени, n (%)	19 (18,1)
Заболевания почек, n (%)	15 (14,3)
Заболевания щитовидной железы, n (%)	8 (7,6)
Ожирение, n (%)	36 (34,3)
Сахарный диабет 2-го типа, n (%)	14 (13,3)
Гипертоническая болезнь, n (%)	59 (56,2)
Заболевания крови, n (%)	3 (2,9)

В исследование были включены 105 пациентов: 68 мужчин и 37 женщин в возрасте от 22 до 90 лет, медианный возраст составил 54 года [45; 62], с преобладанием мужчин (64,8%). Все пациенты были госпитализированы в реанимационное отделение инфекционного корпуса. Медиана суток госпитализации пациентов от момента начала заболевания 10 [6;14]. На ИВЛ находились 40 (38,1%) больных, НИВЛ применяли у 16 (15,2%) и на самостоятельном дыхании были 49 (46,7%) пациентов.

Наиболее часто встречающейся сопутствующей патологией была сердечно-сосудистая, зарегистрированная у 29,5% пациентов. Ожирение наблюдали у 34,3% больных. Заболевания печени, почек и легких встречали у 18,1%, 14,3% и 11,4% соответственно. Патологию щитовидной железы зарегистрировали у 7,6% пациентов, а сахарный диабет 2-го типа – у 13,3%. Заболевания крови были наиболее редкими и выявлены у 2,9% пациентов. Гипертоническая болезнь была выявлена у 56,2 % больных.

В основу работы были включены анализ клинико-лабораторных, рентгенологических и данных ультразвуковых исследований, выбранных методом простого случайного отбора.

После поступления в ОРИТ УЗИ проводили в течение 24 часов всем пациентам с COVID-19. Всего оценивали 84 параметра, из которых 37

ультразвуковых, выполнено 905 УЗИ, из них 236 у пациентов с ЭКМО.

Было проведено 129 УЗИ легких, 132 УЗИ плевральных полостей, 111 ЭхоКГ, 125 УЗИ органов брюшной полости с оценкой гемодинамических показателей, 113 УЗИ почек с оценкой гемодинамических показателей, 204 триплексных сканирования вен нижних конечностей и нижней полой вены. При наличии показаний выполнили 16 УЗИ мягких тканей, 16 УЗИ забрюшинного пространства, 7 УЗИ БЦА, 4 ТКДГ, 3 триплексных сканирования артерий верхних конечностей, 9 триплексных сканирований артерий нижних конечностей, 4 УЗИ органов малого таза в 1 триместре беременности, 32 УЗИ вен шеи и верхних конечностей. Динамические УЗИ пациентам проводили по назначению лечащих врачей. Так, за период госпитализации одному пациенту было выполнено от 6 до 32 УЗИ.

В течение первых суток 105 поступившим в ОРИТ пациентам были выполнены 630 УЗИ, включающие в себя ЭхоКГ, дуплексное сканирование вен нижних конечностей и нижней полой вены, УЗИ легких и плевральных полостей, УЗИ органов брюшной полости и почек. На вторые сутки 12 пациентам были проведены 32 УЗИ, 20 пациентам на третьи сутки – 43 УЗИ, четверым больным на 4 сутки – 9 УЗИ, 17 пациентам на 5 сутки – 39 УЗИ, 21 пациенту на 7 сутки – 50 УЗИ, двум больным на 8 сутки – 8 УЗИ, на 9 сутки троим пациентам выполнили 16 УЗИ, на десятые сутки 10 больным провели 27 УЗИ, на 12 сутки – 19 УЗИ пятерым больным, двоим пациентам на 15 сутки выполнили 4 УЗИ, троим пациентам на 17 сутки – 12 УЗИ, пятерым пациентам на 20 сутки провели 16 УЗИ.

По данным УЗИ органов брюшной полости и почек в 31,4 % наблюдений выявлены УЗ признаки изменения структуры почек (кисты, конкременты), в 34,2 % – жировой гепатоз, в 29,5 % – ультразвуковые признаки структурных изменений поджелудочной железы (хронического панкреатита и липоматоза), в 39% – увеличение селезенки, у 11,4 % была выявлена свободная жидкость в брюшной полости.

По данным ЭхоКГ у 60 (57,1%) больных определили ультразвуковые признаки легочной гипертензии, у 53 (50,4%) – эхопризнаки гипертрофии миокарда

ЛЖ, у 33 (31,4%) больных атеросклероз аорты, у 20 (19,0 %) – дилатация правых камер сердца, у 13 (12,3%) – снижение ФВ, у 10 (9,5 %) – нарушение локальной сократимости ЛЖ, у 9 (8,5 %) – дилатация левых камер сердца, у 8 (7,6 %) больных определили гидроперикард.

Всем пациентам первичное УЗИ легких выполняли в «красной зоне» инфекционного корпуса в течении 24 часов с момента поступления в стационар, динамические УЗИ проводили по назначению лечащих врачей. Нами было выполнено 105 первичных и 24 динамических УЗИ легких. На момент исследования врач, проводивший исследование, не владел информацией о результатах КТ.

Пациентам с коронавирусной инфекцией в ОРИТ инфекционного корпуса УЗИ легких выполняли в трех положениях в зависимости от тяжести клинического состояния. У 50 (47,6%) больных УЗИ проводили полипозиционно (положение пациента лежа на спине с возможностью поворота на бок или сидя), оценивали 14 зон сканирования; у 49 (46,7 %) в положении лежа на спине – оценивали 8 зон сканирования; у 6 (5,7 %) в положении прон-позиция (лежа на животе), в нем оценивали 10 зон сканирования.

Во время проведения УЗИ легких у всех пациентов оценивали плевральную линию (толщину и структуру), наличие А- и В-линий, зон консолидации (участки безвоздушной легочной ткани), появление воздушной бронхограммы и кровотоков в режиме ЦДК в безвоздушном легком. При исследовании плевральных полостей также выявляли разобщение листков плевры.

Все выявленные структурные изменения легочной ткани были соотнесены с соответствующими ультразвуковыми градациями (Приложение А) [13].

Всем пациентам проводили КТ органов грудной клетки в первые сутки поступления в стационар. Исключение составили 5 больных из-за наличия противопоказаний к исследованию: 4 беременные пациентки и один больной с массой тела, превышающей допустимую для данного аппарата.

В зависимости от объема поражения легочной ткани по данным КТ пациенты были разделены на группы (рисунок 3):

Группа I – пациенты с поражением легочной ткани средней тяжести по данным компьютерной томографии (КТ-1 и КТ- 2) – 29 пациентов (29,0 %)

Группа II – пациенты с тяжелым поражением легочной ткани по данным компьютерной томографии (КТ-3) – 41 пациент (41,0 %)

Группа III – пациенты с тяжелым-критическим поражением легочной ткани по данным компьютерной томографии (КТ-4) – 30 пациентов (30,0 %).

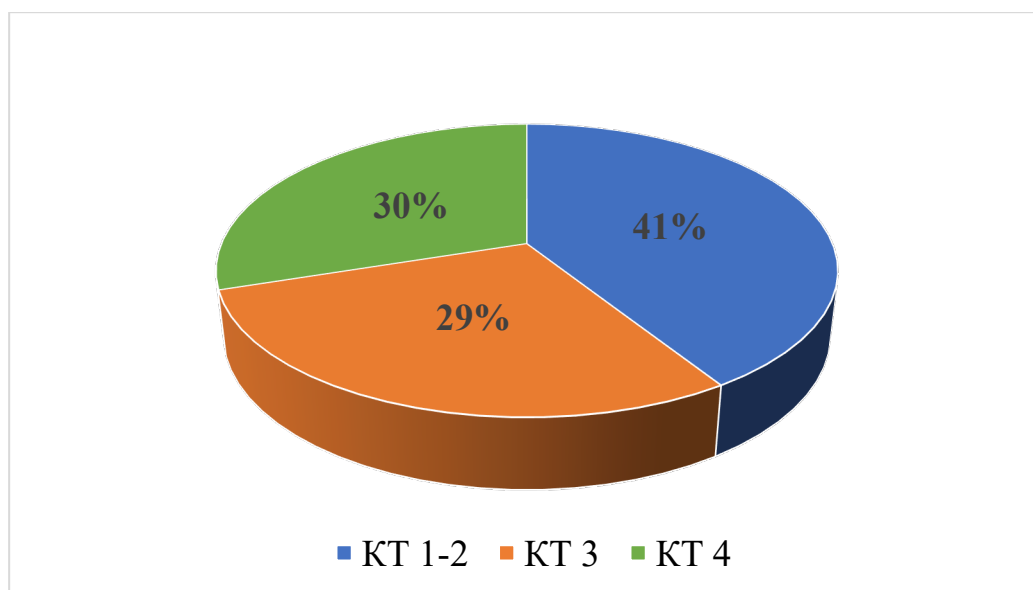


Рисунок 3 – Распределение пациентов в зависимости от степени тяжести пневмонии по данным КТ

Оценку тяжести состояния пациентов с COVID-19 на момент поступления в стационар проводили с использованием шкалы NEWS2 (National Early Warning Score), разработанную в 2020 году (Приложение Б) [138]. Интерпретацию результатов производили по сумме набранных баллов, на основании чего пациенты были отнесены к определенной группе риска. Учитывали клинические проявления – частоту дыхательных движений (ЧДД), сатурацию кислорода, потребность в вентиляции, уровень сознания, температуру тела, частоту сердечных сокращений (ЧСС) и систолическое артериальное давление (САД) для проведения дальнейшей маршрутизации.

По шкале NEWS 2 пациентов распределили следующим образом: низкий балл (1-4) у 66 (62,9 %) больных, средний балл (5-6) у 15 (14,2 %) больных, высокий

балл (более 7) у 24 (22,9 %) больных.

С целью оценки тяжести состояния и развития септических осложнений с летальным исходом у пациентов с COVID-19 применяли шкалу qSOFA (quick Sequential (Sepsis-related) Organ Failure Assessment), включающую три параметра: ЧДД 22 в минуту и более, нарушение сознания (менее 15 баллов по шкале Глазго) и САД 100 мм рт. ст. и менее (Приложение В).

На основании балльной шкалы qSOFA пациентов распределили следующим образом: благоприятный прогноз от 0 до 1 балла – у 85 (80,9 %) больных, неблагоприятный прогноз от 2 до 3 балла – у 20 (19,1 %) больных.

Для прогнозирования исхода заболевания у пациентов с коронавирусной инфекцией были сформированы 2 группы: I группу составили 35 пациентов, умерших в ходе госпитализации, II группу – 70 пациентов, выписанных после проведенного обследования и лечения.

Изучение клинико-anamнестических, лучевых и лабораторных данных проводили с использованием электронной истории болезни пациентов в системе ЕМИАС и истории болезни на бумажном носителе непосредственно в «красной зоне». Верификацию результатов УЗИ проводили с данными КТ органов грудной клетки и клинико-лабораторными данными.

## **2.2 Методы исследования**

УЗИ легких, плевральных полостей, органов брюшной полости, почек, забрюшинного пространства, дуплексное сканирование сосудов и эхокардиографию всем пациентам выполняли в «красной зоне» инфекционного корпуса на ультразвуковом сканере среднего класса ESAOTE MyLab 70 (ESAOTE, Италия).

Для оценки глуболежащих отделов легкого, органов брюшной полости, и забрюшинного пространства использовали конвексный (абдоминальный) датчик с диапазоном частот сканирования 1,0-8,0 МГц. Конвексный датчик обладает высокой проникающей способностью, что дает возможность одномоментно

визуализировать большую площадь исследуемой области и проводить исследования у тучных пациентов. Для более детального исследования субплевральных изменений легкого использовали линейный датчик с частотой 4,0-13,0 МГц, этот же датчик применяли при проведении дуплексного сканирования сосудов. При выполнении трансторакальной ЭхоКГ использовали секторный датчик с частотой 1,0-4,0 МГц.

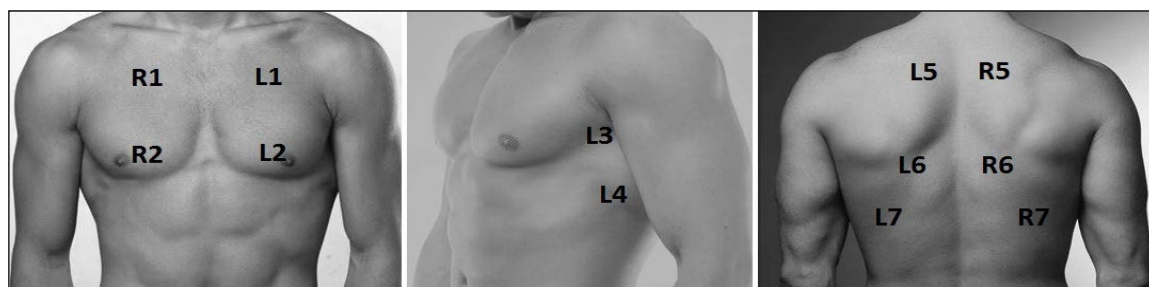
Каждое исследование проводили в В-режиме, а также в режимах импульсно-волновой доплерографии и ЦДК.

Исследования выполняли у постели пациента, по принципу «прибор к пациенту», а дезинфекцию приборов проводили сразу после завершения обследования. Главное условие – соблюдение всех правил обеззараживания УЗ оборудования.

Во время работы в «красной зоне» использовали средства индивидуальной защиты, рекомендованные МЗ РФ<sup>3</sup>.

### 2.2.1 Методика ультразвукового исследования легких у пациентов с COVID-19

Для выявления изменений легких при COVID-19 использовали специальный УЗИ-протокол с оценкой 14 зон легких [13] (рисунок 4).



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

Рисунок 4 – Схема расположения датчика при ультразвуковом исследовании легких

<sup>3</sup> Приказ Департамента здравоохранения г. Москвы от 08.04.2020 N 373 (ред. от 17.04.2020) «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)». Москва, 2020.

УЗИ легких проводили в положении пациента лежа на спине, лежа на животе (прон-позиция) и сидя. В качестве акустического окна использовали межреберные промежутки.

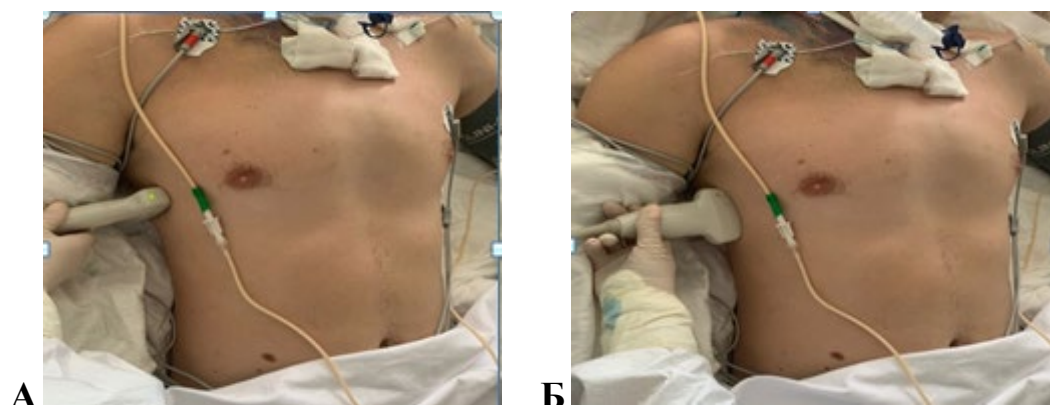
Пациентам в тяжелом состоянии, требующих лечения с применением ИВЛ, ЭКМО или находящихся в положении прон-позиция, проводили сканирование доступных участков грудной клетки и отражали особенности исследования в протоколе.

В процессе исследования с обеих сторон поверхность грудной клетки делили на переднюю, боковую и заднюю зоны, каждая из которых в свою очередь была разделена на верхнюю и нижнюю области.

УЗИ легких начинали справа с осмотра передней поверхности грудной клетки, датчик устанавливали по срединно-ключичной линии на уровне 3-4 межреберья, затем перемещали его вдоль межреберий вниз к передней подмышечной линии, оценивали ориентировочно верхние отделы правого лёгкого спереди и сбоку. Последовательно перемещая датчик вдоль межреберий вниз по средней и задней подмышечным линиям, исследовали структуру средней (рисунок 5 А, Б) и нижней долей правого лёгкого спереди и сбоку. Аналогичным образом проводили исследование передней и боковой поверхностей левого легкого, устанавливая датчик слева по срединно-ключичной линии на уровне 3-4 межреберья и перемещая его вниз к передней подмышечной линии (рисунок 6 А, Б), оценивали ориентировочно верхние отделы спереди и сбоку, а вдоль средней и задней подмышечных линий - язычковые сегменты верхней доли легкого спереди и сбоку.

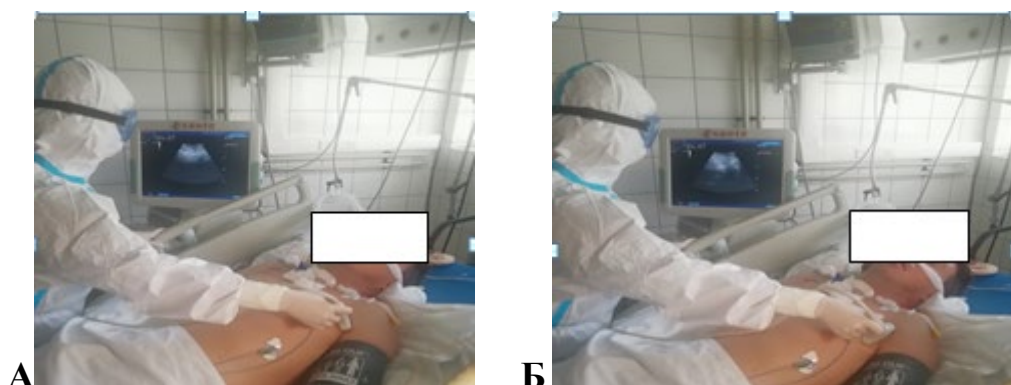
При возможности выполнения сканирования задней поверхности грудной клетки датчик устанавливали по лопаточной линии на уровне 7-8 межреберья, изучали нижнюю долю правого/левого легкого сзади. На уровне угла лопатки осматривали среднюю долю правого легкого сзади, либо границу верхней и нижней доли левого легкого сзади. На уровне ости лопатки оценивали верхнюю долю правого /левого легкого сзади.

Сканирование каждой зоны с обеих сторон проводили в поперечной и продольной плоскостях.



Конвексный датчик установлен по средней подмышечной линии на уровне 5-6 м/р в поперечной плоскости сканирования. (А), в продольной плоскости сканирования (Б)

Рисунок 5 - УЗИ средней доли правого легкого сбоку



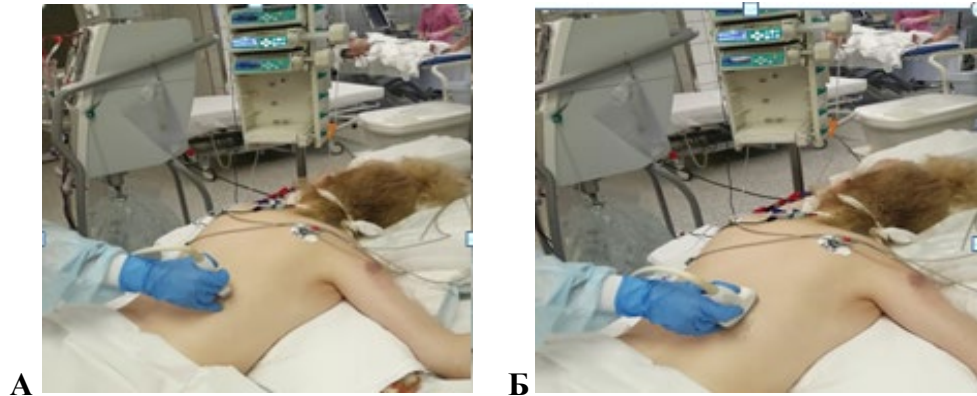
Конвексный датчик установлен по передней подмышечной линии на уровне 4-5 м/р в поперечной плоскости сканирования (А), в продольной плоскости сканирования (Б)

Рисунок 6 – УЗИ верхней доли левого легкого спереди

У пациентов в тяжелом состоянии, находящихся в положении прон-позиция, УЗИ легких начинали с осмотра задней поверхности грудной клетки, перемещая датчик вдоль межреберий и костных ориентиров, согласно стандартной методике.

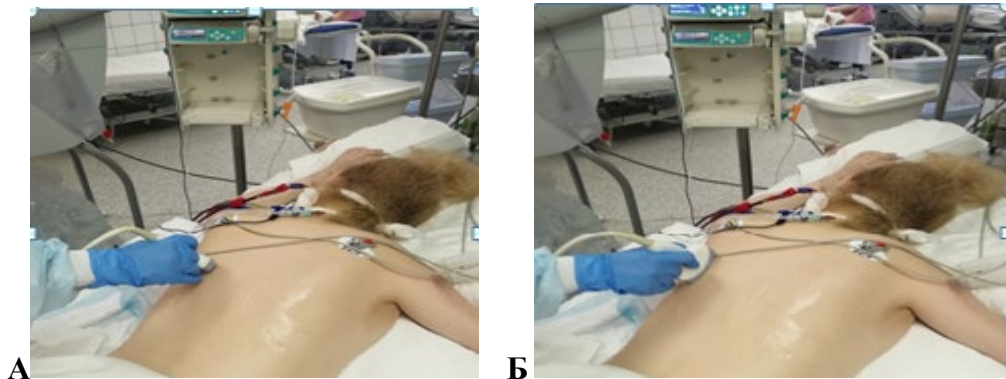
На рисунках продемонстрирована методика УЗИ ориентировочно нижней доли правого лёгкого сзади (рисунок 7 А, Б) и ориентировочно верхней доли левого лёгкого сзади (рисунок 8 А, Б). Затем справа и слева осматривали боковую

поверхность грудной клетки. Исследование передней поверхности грудной клетки у этой группы пациентов было недоступно.



Конвексный датчик установлен по лопаточной линии на уровне 7-8 м/р в поперечной плоскости сканирования (А), в продольной плоскости сканирования (Б)

Рисунок 7 – УЗИ нижней доли правого легкого сзади



Конвексный датчик установлен по лопаточной линии на уровне угла лопаток поперечной плоскости сканирования (А), в продольной плоскости сканирования (Б)

Рисунок 8 – УЗИ левого легкого сзади на границе верхней и нижней доли

Во время проведения УЗИ плевральных полостей оценивали разобщение листков плевры с четкой дифференцировкой плевральных листков.

Все структурные изменения легочной ткани, выявленные у пациентов с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, интерпретировали в соответствии с рекомендациями, предложенными консенсусным заявлением РАСУДМ (версия 2) [13].

### **2.2.2 Методика ультразвукового исследования органов брюшной полости у пациентов с COVID-19**

УЗИ органов брюшной полости выполняли в положении пациента лежа на спине, при возможности изменения положения тела (с поворотом на левый бок), без соответствующей подготовки. Следует отметить, что пациенты с тяжелым клиническим течением COVID-19 не могли выполнить задержку дыхания.

Исследование проводили по стандартной методике, начинали с осмотра правого верхнего квадранта брюшной полости, обследовали печень и желчный пузырь, ВВ, печеночные вены и НПВ. Затем сканировали поджелудочную железу и селезенку.

В обязательном порядке оценивали доплерографические характеристики кровотока. Особое внимание уделяли исследованию кровотока в ВВ и СПА. Для чего датчик устанавливали в правое подреберье, контрольный объем помещали в вертикально направленный сегмент артерии в точку, максимально удаленную от места отхождения от чревного ствола и на уровне вхождения воротной вены в паренхиму печени. Проводили определение максимальной скорости кровотока в систолу ( $V_s$ ), минимальной скорости кровотока в диастолу ( $V_d$ ), индекса резистентности (ИР).

Учитывая особенности патогенеза COVID-19, также внимание уделяли исследованию УЗИ кишечника, проводили измерение толщины стенки, оценивали ее структуру и кровоток. Определяли разобщение листков брюшины в подпеченочном, поддиафрагмальном пространстве с обеих сторон, по латеральным каналам и в полости малого таза.

### **2.2.3 Методика ультразвукового исследования почек и забрюшинного пространства у пациентов с COVID-19**

УЗИ почек проводили через переднюю брюшную стенку, из боковых доступов, через межреберные промежутки в положении пациента лежа на спине.

Исследование выполняли по стандартной методике, начиная с правой почки. Последовательно перемещая датчик выше и ниже исходного состояния на 3-4 см, и под разным наклоном, изучали все отделы почки и паранефральную клетчатку. Оценивали структуру почки, кортико-медуллярную дифференцировку и толщину паренхимы.

Всем пациентам в нашем исследовании проводили доплеровское исследование с целью оценки гемодинамических нарушений в почках, измеряли скоростные показатели и ИР. Сканирование левой почки проводили аналогичным образом.

При УЗИ забрюшинного пространства последовательно осматривали паранефральную и параколитическую клетчатку. Устанавливая датчик в гипогастральную область оценивали тазовую и предбрюшинную клетчатку.

#### **2.2.4 Методика выполнения трансторакальной эхокардиографии у пациентов с COVID-19**

Тяжелое состояние больных, наличие ИВЛ, ЭКМО предполагало проведение ЭхоКГ. Исследование выполняли в положении лежа на спине, при возможности с поворотом на левый бок. Пациентам, находящимся в прон-позиции, ЭхоКГ проводили после стабилизации клинического состояния и возможности лечь на спину.

С целью проведения мониторинга за состоянием пациента использовали одни и те же параметры, измерения выполняли из стандартных акустических доступов: левый парастернальный, апикальный, субкостальный, супрастернальный и правый парастернальный.

По данным трансторакальной ЭхоКГ оценивали камеры сердца, глобальную и локальную сократимость, клапанную недостаточность, измеряли СДЛА.

Информацию, полученную с помощью ЭхоКГ, интерпретировали с учетом имеющейся клинической ситуации (ИВЛ, поддержка симпатомиметиками, уровня артериального давления и наличия нарушения ритма), данных лабораторной

диагностики и анализа кислотно-щелочного состояния.

### **2.2.5 Методика проведения ультразвукового исследования вен нижних конечностей**

УЗИ вен нижних конечностей - метод выбора в диагностике тромбоза глубоких и поверхностных вен нижних конечностей у пациентов с коронавирусной инфекцией, позволяет обнаружить и трактовать все возможные характеристики этого патологического процесса. Ангиосканирование включало исследование поверхностных и глубоких вен (в доступных сегментах) обеих нижних конечностей, оценивали диаметр, сжимаемость сосуда и характер венозного кровотока, в случае выявления флотирующего тромба оценивали проксимальную границу (протяженность и степень флотации).

### **2.3 Методика выполнения компьютерной томографии органов грудной клетки**

КТ органов грудной клетки проводили на 64-срезовом компьютерном томографе Ingenuity (Philips, Нидерланды). Область сканирования устанавливали от верхней грудной апертуры до задних реберно-диафрагмальных синусов. Коллимация слоя – 0,5 мм; интервал реконструкции – 1-5 мм. Напряжение трубки составляло 120 кВт. Ток трубки изменялся автоматически на каждом поперечном срезе в зависимости от протокола и суммарного коэффициента абсорбции рентгеновского излучения от 30 до 500 мА. Сканирование проводили на высоте спокойного вдоха при полностью задержанном дыхании. Наличие ИВЛ и ЭКМО не являлось противопоказанием для проведения КТ. Полученные данные были реконструированы с использованием стандартного и легочного алгоритмов реконструкции.

КТ грудной клетки проводили в «красной зоне» инфекционного корпуса на томографе экспертного класса Ingenuity (Philips). 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<sub>2</sub> до 80-84%, частота дыхательных движений была более 20 в минуту, то КТ выполняли лежа на животе (прон-позиция). Пациентам на ЭКМО КТ выполняли по стандартному протоколу, в положении лежа на спине, но обязательным условием являлся контроль положения канюль ЭКМО.

Полученные данные оценивали согласно утвержденным критериям тяжести пневмонии, где КТ 0 – нет поражения легких; КТ 1 – легкая степень (вовлечено меньше 25% паренхимы); КТ 2 – средне-тяжелая (поражено от 25 до 50% паренхимы); КТ 3 – тяжелая (поражено от 50 до 75%); КТ 4 – критическая (диффузное вовлечение паренхимы легких больше 75%).

Дополнительно измеряли денситометрические показатели патологических изменений в легких.

## **2.4 Методы лабораторной диагностики**

Всем 105 пациентам в ходе лечения ежедневно проводили лабораторные исследования, которые включали в себя: клинический анализ крови, биохимический анализ крови, исследования системы гемостаза, а также оценку кислотно-основного состояния, газов крови и маркеров воспаления (СРБ, прокальцитонина). Лабораторные данные оценивали при поступлении пациента в ОРИТ, а также в дни проведения динамических УЗИ.

Клинический анализ крови выполняли в цельной венозной крови на гематологическом анализаторе «Advia 2120i», («Siemens», Германия), с использованием реагентов фирмы «Siemens». В клинический анализ крови входили следующие параметры: уровень гемоглобина, количество эритроцитов, лейкоцитов

и тромбоцитов, гематокрит, расчетные эритроцитарные показатели, относительное и абсолютное содержание нейтрофилов, эозинофилов, базофилов, лимфоцитов и моноцитов.

Биохимические исследования выполняли в сыворотке крови на автоматическом биохимическом анализаторе «AU2700» (Beckman Coulter, США) с использованием реактивов фирмы «Beckman Coulter», США. Определяли следующие показатели: уровень общего белка, альбумина, мочевины, креатинина, общего, связанного и свободного билирубина, глюкозы, а также активность ферментов: АЛТ, АСТ, ЛДГ, гаммаглутамилтранспептидазы (ГГТП) и щелочной фосфатазы.

Исследование системы гемостаза выполняли в плазме крови на автоматическом коагулометре «ACL TOP 700», «Instrumentation laboratory» (США), с использованием реагентов фирмы «Instrumentation laboratory». Определяли: активированное частичное тромбопластиновое время (АЧТВ), протромбиновое время, протромбин по Квику, МНО, тромбиновое время, фибриноген по Клауссу клоттинговым методом, активность антитромбина III и протеина С хромогенным методом, определение уровня Д-димера иммунотурбодиметрическим методом. С-реактивный белок исследовали на автоматическом анализаторе Atellica Neph 630 (Siemens. Германия), прокальцитонин на иммунохемилюминесцентном анализаторе VIDAS (BioMerieux, Франция).

Лабораторный мониторинг проводили, основываясь на актуальных на момент проведения исследования временных методических рекомендациях Минздрава РФ.

## **2.5 Методы статистического анализа**

Статистический анализ и моделирование проводили с помощью программного обеспечения Jamovi версии 2.6.2. Количественные данные, в зависимости от нормальности распределения, были представлены в виде среднего и стандартного отклонения ( $m \pm SD$ ) при нормально распределенных

количественных переменных и с помощью медианы с указанием межквартильного размаха (Ме [Q1; Q3]) при распределении количественных переменных отличном от нормального. Биноминальные и категориальные переменные представили с помощью указания абсолютного числа и доли, выраженной в процентах (n (%)). Для сравнения количественных переменных использовали U-критерий Манна-Уитни. Выбор статистического критерия для сравнения долей основывался на определении частоты ожидаемых явлений (ОЯ). При  $ОЯ \leq 5$  использовали точный критерий Фишера, при ОЯ от 6 до 9 – критерий  $\chi^2$ -Пирсона с поправкой Йейтса на непрерывность, при  $ОЯ \geq 10$  – критерий  $\chi^2$ -Пирсона. Отличия признавали статистически значимыми при  $p < 0,05$ . В случае применения post-hoc анализа при попарных сравнениях использовали поправку Бонферрони. Определение пороговых значений для показателей проводили с помощью ROC-анализа. Для определения прогностической значимости переменных использовали однофакторный регрессионный анализ. Прогностические модели разрабатывали с помощью метода многофакторной биномиальной логистической регрессии.

## УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПРИЗНАКИ ПОРАЖЕНИЯ ЛЕГОЧНОЙ ТКАНИ, НАИБОЛЕЕ ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ ВИРУСНОЙ ПНЕВМОНИИ

### 3.1 Характерные ультразвуковые признаки поражения легочной ткани у пациентов с пневмонией COVID-19

Нами были проанализированы данные, полученные с помощью УЗИ легких у 105 больных, находившихся на лечении в НИИ СП им. Н. В. Склифосовского с марта 2020 г. по декабрь 2022 г. с диагнозом «Коронавирусная инфекция COVID-19».

В результате исследования у пациентов с COVID-19 были выявлены наиболее характерные ультразвуковые признаки пневмонии (таблица 2):

- Изменение структуры плевральной линии;
- Исчезновение А-линий;
- Появление множественных В-линий;
- Появление зон консолидации;
- Наличие плеврального выпота.

Таблица 2 – Эхографические признаки структурных изменений легочной ткани у пациентов с COVID-19 в исследуемой выборке

Ультразвуковые характеристики	Общая выборка (n = 105)
Изменение плевральной линии	100 (95,2 %)
Исчезновение А-линий	100 (95,2 %)
Множественные В-линии	96 (91,4 %)
Участки снижения воздушности легкого (консолидации)	83 (79,0 %)
Гидроторакс	70 (66,6 %)

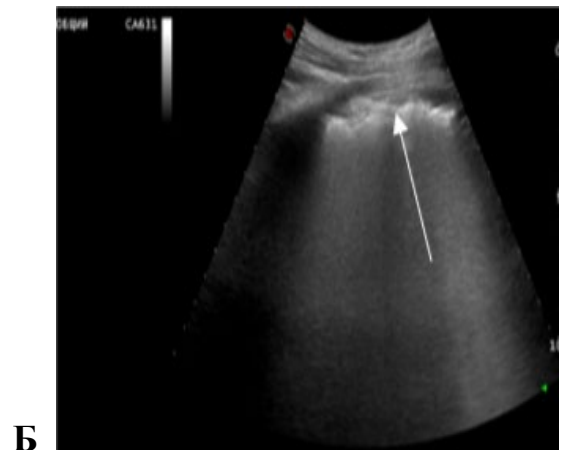
Изменение структуры плевральной линии отмечали у 100 (95,2 %) больных, исчезновение А-линий у 100 (95,2%), появление множественных В-линий у 96 (91,4%) пациентов, появление зон консолидации у 83(79,0%) больных, плевральный выпот у 70 (66,6 %) пациентов.

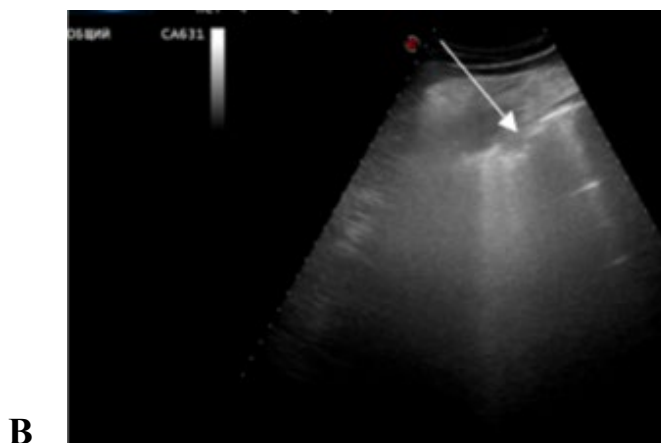
Плевральная линия при УЗИ в норме лоцируется в виде тонкой, ровной гиперэхогенной линии, толщина 1-2 мм, в режиме реального времени при дыхании смещается.

В нашем исследовании по данным первичного УЗИ легких у 100 (95,2 %) больных наблюдали изменение структуры плевральной линии во всех зонах сканирования, более выраженное в нижних отделах, толщина составляла 2,2-3,4 мм. У 5 (4,8%) структура плевральной линии была интактна, толщина составила 1,2-1,8 мм.

Изменения структуры плевральной линии были представлены несколькими вариантами:

- 1 вариант – утолщение контура плевральной линии (рисунок 9 А);
- 2 вариант – утолщение и неровность/волнистость контура (рисунок 9 Б);
- 3 вариант – отсутствие контура по зоне консолидации (рисунок 9 В).





**В**  
Рисунок 9 – Эхограммы пациентов с COVID-19. Изменения структуры плевральной линии. Все изменения указаны стрелками

Таким образом, у 58 (58,0 %) пациентов с COVID-19 изменение структуры плевральной линии соответствовало 3 варианту, у 24 (24,0 %) – 2 варианту и у 18 (18,0 %) – 1 варианту соответственно (рисунок 10).

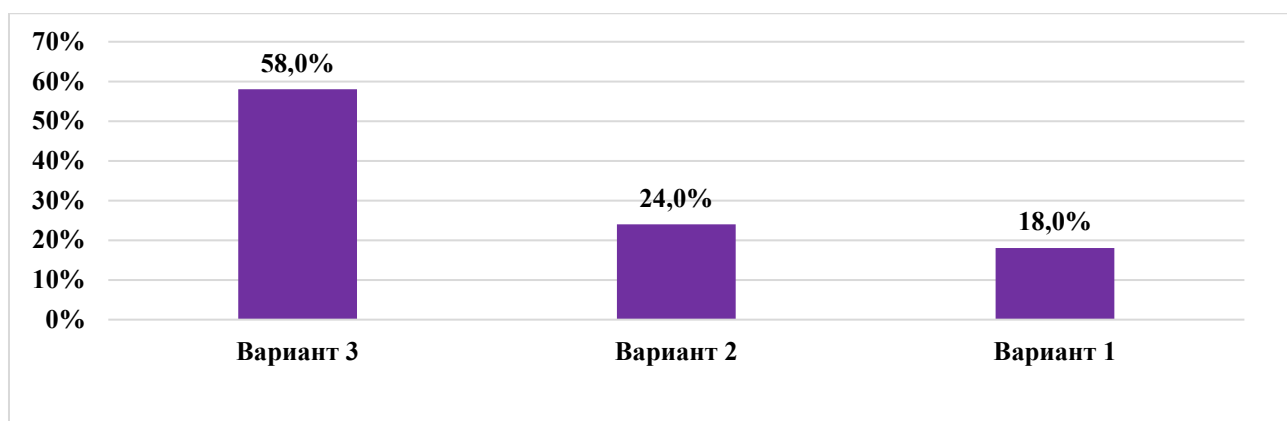


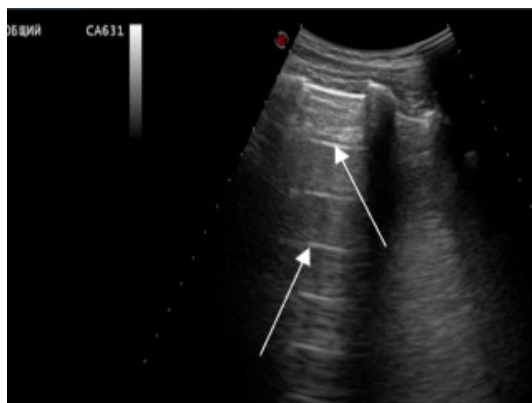
Рисунок 10 – Распределение вариантов изменения структуры плевральной линии по данным УЗИ легких

При коронавирусной инфекции у 94 (94,0%) больных были выявлены двусторонние изменения структуры плевральной линии, а односторонние – у 6 (6,0 %) пациентов.

Во время проведения УЗИ легких нормальное состояние легочной ткани характеризуется А-линиями и сохранением скольжения легкого, которое оценивали в реальном времени. А-линии имеют вид тонких параллельных

горизонтальных полос, которые расположены позади плевральной линии на равном расстоянии друг от друга и убывают по интенсивности (рисунок 11).

У пациентов с COVID-19 наблюдали исчезновение А-линий при выраженном интерстициальном синдроме и их появление в фазе выздоровления, что давало информацию о динамике течения заболевания.



А-линии (указаны стрелками)

Рисунок 11 – Эхограмма легких пациента с COVID-19

Исчезновение А-линий в различных зонах сканирования выявили у 100 (95,2 %) пациентов. Только у 5 (4,8 %) пациентов А-линии лоцировали во всех зонах сканирования с обеих сторон. У 33 (31,4%) больных А-линии прослеживали с одной стороны, у 67 (63,8%) пациентов – лишь в верхних зонах сканирования, что свидетельствовало о преимущественном поражении нижних долей легких (рисунок 12).

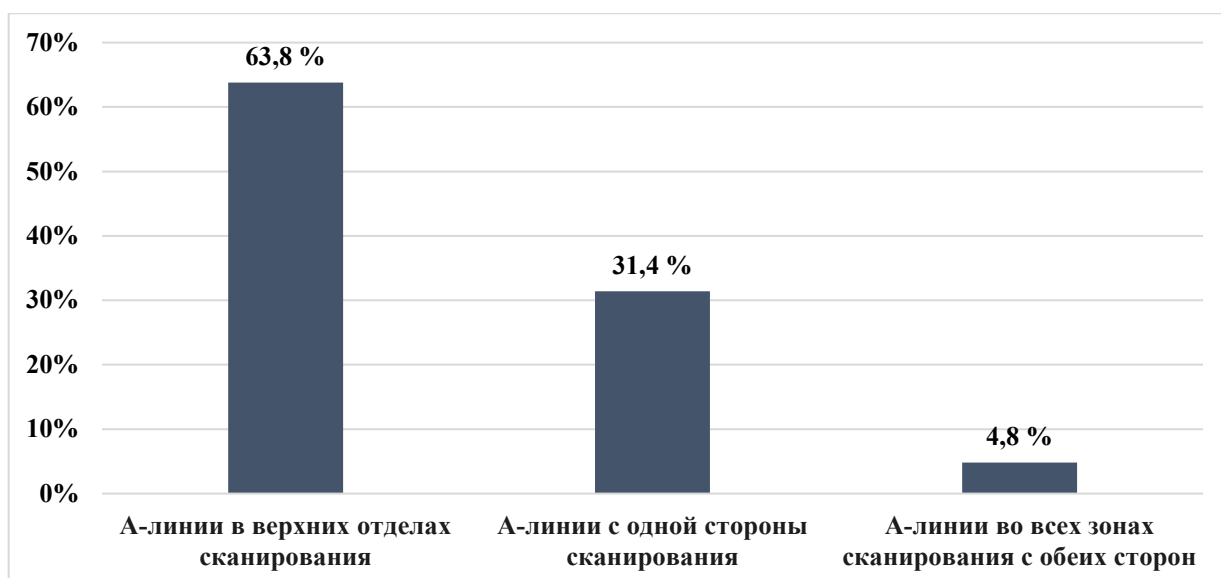
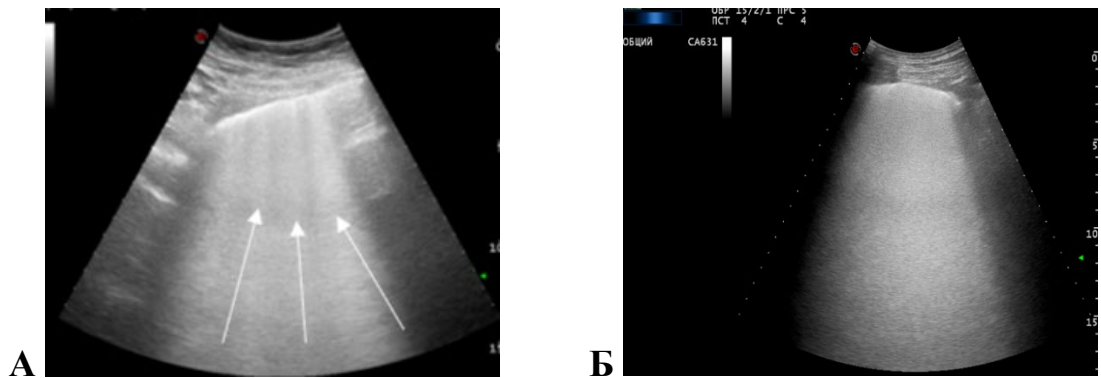


Рисунок 12 – Распределение А-линий по зонам сканирования у пациентов с COVID-19 по данным УЗИ легких

Важную диагностическую ценность у пациентов с коронавирусной инфекцией представляла оценка интерстициального синдрома, которая проводилась с учетом УЗ картины появления В-линий. Их количество свидетельствовало о выраженности интерстициальных явлений. В-линии лоцировали в виде узких или широких гиперэхогенных вертикальных полос, которые отходили непосредственно от плевральной линии и при дыхании смещались синхронно с ней, постепенно расширяясь, распространялись до конца изображения без затухания.

Для определения выраженности интерстициального синдрома мы оценивали количество В - линий в одном межреберье, характеризовали их как рассеянные (могли посчитать) или множественные (посчитать не могли) – «белое легкое» (рисунок 13 А, Б). Также обращали внимание на количество зон сканирования, вовлеченных в процесс, характер выявленных интерстициальных изменений (умеренные или выраженные - «белое легкое») и с какой стороны (правое/левое легкое) были более значимые изменения.



В-линии рассеянные (А) – указаны стрелками, В-линии сливающиеся – «белое легкое» (Б)

Рисунок 13 – Эхограммы пациентов с COVID-19. Изменение структуры легочной ткани

Анализируя интерстициальные изменения легочной ткани, у 96 (91,4 %) пациентов наблюдали множественные В-линии. У 28 (29,1%) больных В-линии лоцировали в виде вертикальных полос, сливающихся между собой в «белое лёгкое» во всех зонах сканирования с обеих сторон, что было характерно для выраженных интерстициальных изменений лёгочной ткани.

В-линии в виде множественных рассеянных полос во всех зонах сканирования определяли у 5 (5,2 %) пациентов, а у 18 (18,8 %) больных только в нижних отделах с обеих сторон, выявленные изменения соответствовали умеренным интерстициальным изменениям лёгочной ткани (рисунок 14).

Сочетание разного характера В-линий у 23 (23,9 %) пациентов наблюдали в нижних отделах легких с обеих сторон, у 22 (23,0 %) больных лоцировали «белое легкое» во всех зонах сканирования с одной стороны и в нижних отделах с другой стороны (рисунок 14).

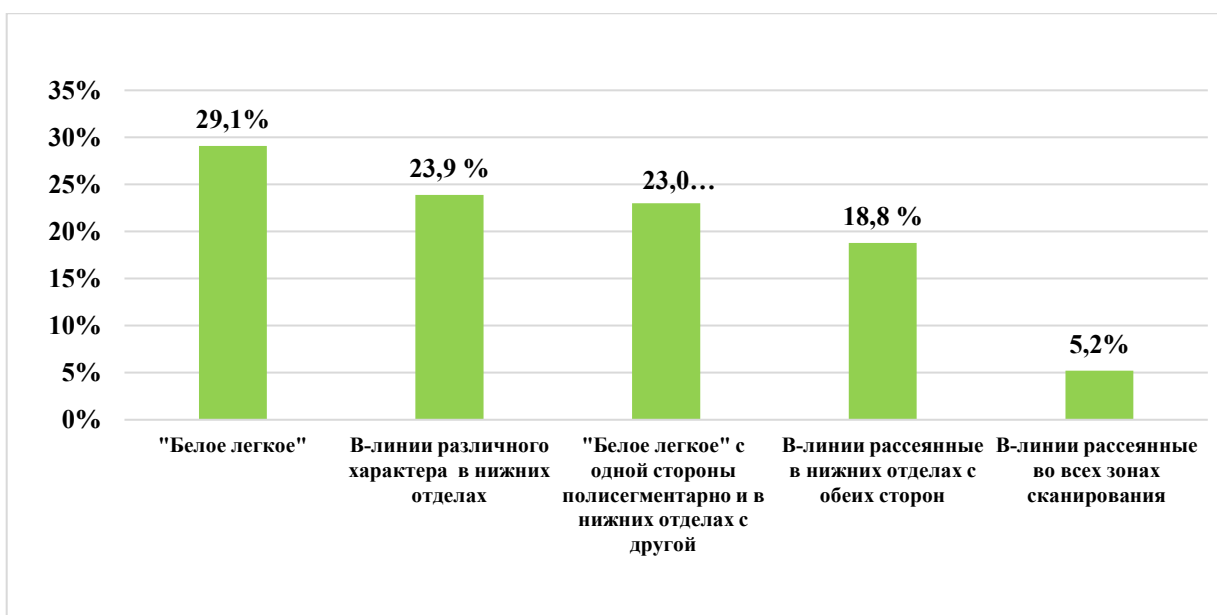
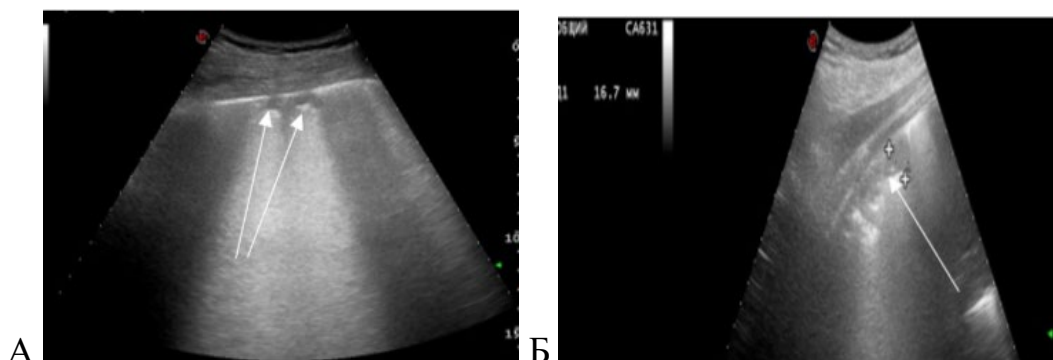


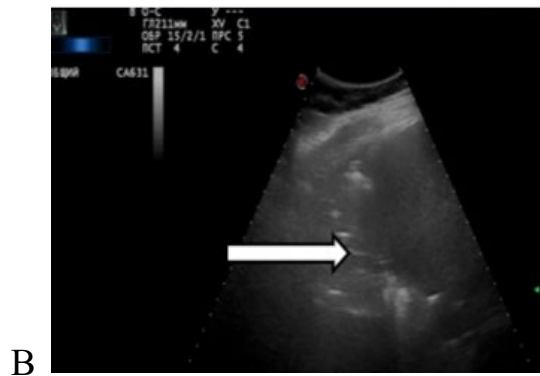
Рисунок 14 – Распределение характера В-линий по данным УЗИ легких

Таким образом, для коронавирусной инфекции были характерны интерстициальные изменения легочной ткани, которые по данным УЗИ легких могут быть различного характера (выраженные и/или умеренные). Их определение в зависимости от количества зон сканирования условно может свидетельствовать о площади вовлечения легочной паренхимы в патологический процесс.

Консолидация (инфильтрация), представляла собой участок безвоздушной легочной ткани различных размеров, по структуре напоминала ткань печени («гепатизация»).

У всех больных мы определяли УЗ варианты консолидаций в легких: локальные субплевральные (рисунок 15 А), кортикальные (рисунок 15 Б) и обширные (рисунок 15 В).





Локальные субплевральные консолидации (А), кортикальные (Б), обширные (В).

Все изменения указаны стрелками

Рисунок 15 – Ультразвуковые варианты консолидаций у пациентов с COVID-19

Для пневмонии COVID-19 было характерно субплевральное расположение консолидаций в задних и нижних отделах, в большинстве случаев отмечали билатеральное расположение.

При УЗИ легких в исследуемой выборке консолидации были выявлены у 83 (79,0 %) пациентов, из них локальные консолидации размером менее 1,0 см определяли у 42 (50,6%) больных, их лоцировали с обеих сторон субплеврально в виде гипоэхогенных зон округлой, либо треугольной формы однородной эхоструктуры (рисунок 16). В сочетании с кортикальными (протяженными или распространенными) консолидациями у 9 (10,8 %) пациентов (рисунок 16). Крупные консолидации, занимающие сегмент или долю легкого, выявили у 32 (38,6%) больных в виде обширных зон пониженной эхогенности с воздушной бронхограммой (рисунок 16). В одной зоне сканирования мы могли наблюдать сочетание различных вариантов консолидаций.

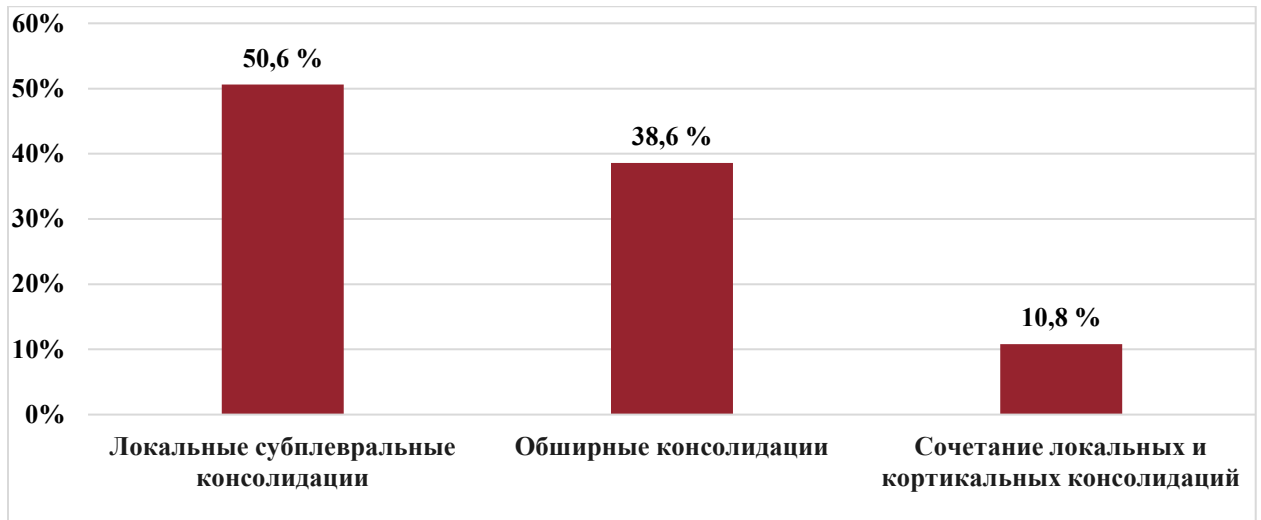
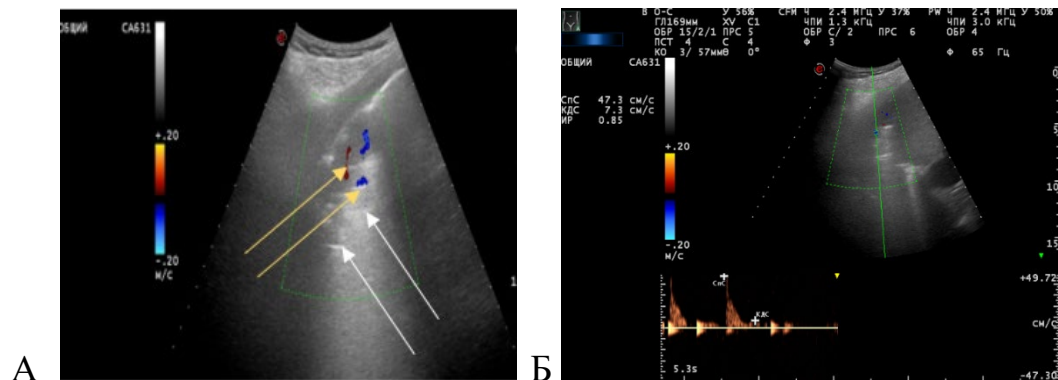


Рисунок 16 – Распределение ультразвуковых вариантов консолидаций по данным УЗИ легких

В консолидированной легочной ткани у больных с пневмонией COVID-19 аэробронхограмму в виде линейных гиперэхогенных структур, расходящихся радиально к периферии, наблюдали у 33 (22,0 %) пациентов. В этих же зонах в режиме ЦДК определяли наличие артериального и венозного кровотока (рисунок 17 А, Б).



А- в структуре зоны инфильтрации лоцируются линейные гиперэхогенные включения (воздушная бронхограмма) – белые стрелки и сосуды – желтые стрелки.

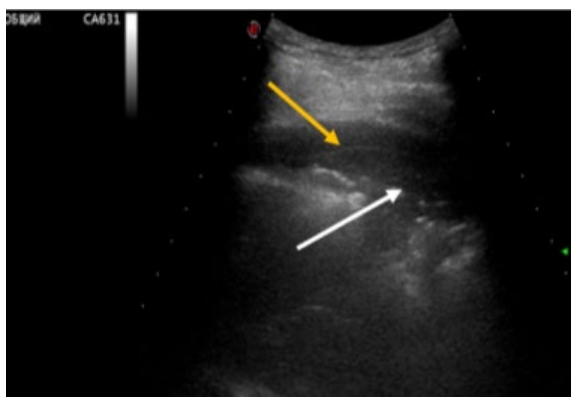
Б- доплерограмма, ЛСК 47,1 см/сек, ИР 0,8

Рисунок 17– Эхограммы пациентов с COVID-19

Все пациенты с наличием кровотока в участках инфильтрации по шкале NEWS 2 были отнесены к тяжелой или средней степени тяжести. Механизм

формирования усиленного кровотока в зонах консолидации был связан с прогрессированием процесса воспаления и риском развития неблагоприятного прогноза течения заболевания. Так, из 33 пациентов с выявленным кровотоком в зонах консолидации легочной ткани у 18 (54,5%) пациентов был летальный исход.

Из 105 пациентов у 70 (66,6%) был выявлен гидроторакс (рисунок 18). В зависимости от степени поражения легочной ткани гидроторакс при проведении УЗИ был выявлен у 15 (21,4 %) больных с КТ1-2, у 34 (48,6 %) пациентов с КТ-3, у 21 (30,0%) с КТ-4. Проведенный анализ показал, что появление плеврального выпота, выявленного по данным УЗИ, наблюдали у пациентов любой из групп вследствие реактивных изменений на воспалительный процесс, что не было связано с процентом поражения легочной ткани по данным КТ.



Представлено разобщение листков плевры (гидроторакс) – желтая стрелка и консолидация – белая стрелка

Рисунок 18 – Эхограмма пациента с COVID-19

Разобщение листков плевры определяли в виде анэхогенной зоны (рисунок 18), толщину измеряли строго перпендикулярно между плевральными листками. У 52 (74,3 %) пациентов выявили разобщение листков плевры толщиной от 5 мм до 10 мм, у 17 (24,3%) толщиной 12-18 мм, у одного больного (1,4 %) был выявлен гидроторакс 20-34 мм. Односторонний гидроторакс выявили у 24 (34,3 %) больных, а двусторонний – у 46 (65,7 %) пациентов (рисунок 19). Наибольшее разобщение листков плевры лоцировали на стороне, соответствующей более выраженным структурным изменениям легочной ткани по данным УЗИ. Определить объем

гидроторакса по данным УЗИ не представлялось возможным.

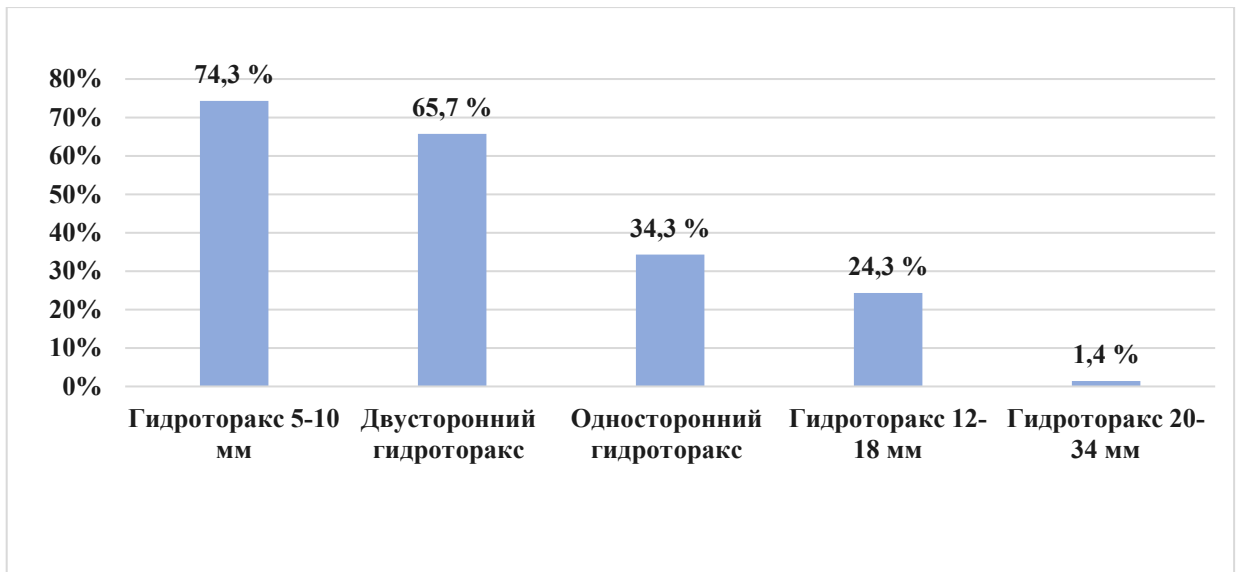


Рисунок 19 – Распределение гидроторакса по данным УЗИ легких

Проведенный анализ структуры легочной ткани у пациентов с пневмонией COVID-19 позволил определить наиболее характерные УЗ признаки с учетом характера этих изменений и вовлеченности в процесс легких (рисунок 20).



Рисунок 20 – Распределение наиболее характерных изменений легочной ткани по данным УЗИ легких у пациентов с COVID-19

Изменение структуры плевральной линии было выявлено у 100 (95,2%) пациентов, исчезновение А-линии в нижних отделах легких – у 67 (63,8 %) больных, у 28 (29,1%) пациентов «белое легкое» с обеих сторон, у 18 (18,8 %) – рассеянные В-линии в нижних отделах, двусторонние локальные субплевральные консолидации определены у 42(50,6%) пациентов, обширные консолидации – у 32 (38,6 %) больных, гидроторакс – у 70 (66,6 %) пациентов.

### **3.2 Сопоставление ультразвуковых признаков поражения легочной ткани при пневмонии COVID-19 с ультразвуковыми градациями**

Все структурные изменения легких, выявленные при УЗ сканировании у пациентов с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, были интерпретированы в соответствии с рекомендациями, предложенными консенсусным заявлением РАСУДМ (Приложение А).

Данные УЗИ легких всех обследованных пациентов были распределены по ультразвуковым градациям (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение пациентов с изменениями легочной ткани по данным УЗИ в соответствии с ультразвуковыми градациями

Изменения легочной ткани по данным УЗИ (ультразвуковая градация)	Общая выборка (n = 105)
0	5 (4,8 %)
1a	6 (5,7 %)
1б	11 (10,4 %)
1a+ и 1б+	42 (40%)
2 и 2+	9 (8,6 %)
3	32 (30,5 %)

К ультразвуковой градации 1 а, характеризующейся наличием рассеянных В-линий (умеренные интерстициальные изменения), были отнесены 6 (5,7%)

пациентов. У 11 (10,4%) больных регистрировали «белое легкое», что свидетельствовало о выраженном интерстициальном синдроме – градация 1б; у 42 (40,0%) пациентов на фоне интерстициальных изменений также лоцировали локальные субплевральные консолидации – градация 1 а+ и 1 б+; ультразвуковые градации 2 и 2+ с наличием кортикальных консолидаций в сочетании с интерстициальными изменениями наблюдали у 9 (8,5%) пациентов и у 32 (30,5%) больных определяли обширные консолидации, что позволило отнести их к ультразвуковой градации 3. У 5 (4,8%) пациентов по данным УЗИ структурных изменений легочной ткани выявлено не было (ультразвуковая градация 0).

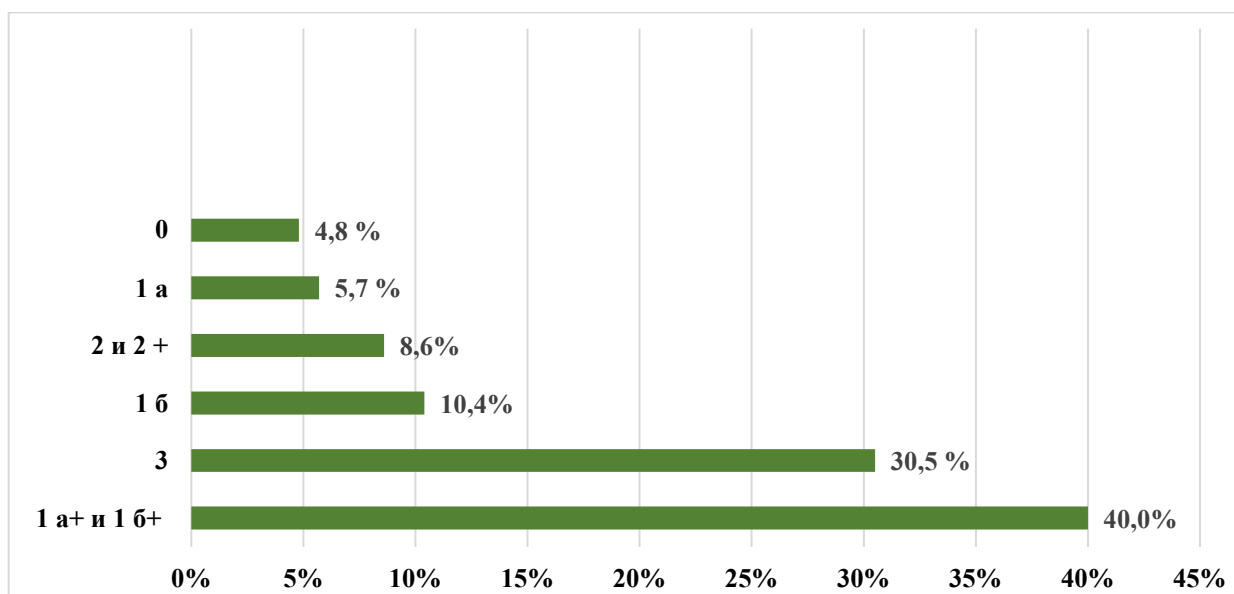


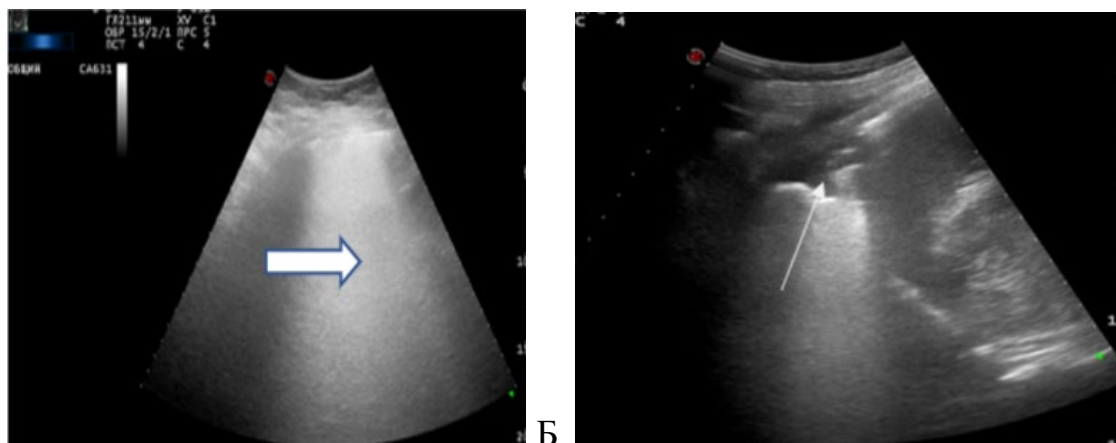
Рисунок 21– Распределение пациентов в соответствии с ультразвуковыми градациями при УЗИ легких

Применение предложенных УЗ градаций в нашем исследовании являлось важным диагностическим инструментом для динамической оценки структурных изменений легочной ткани у пациентов.

Для иллюстрации применения ультразвукового мониторинга легких в условиях ОРИТ приводим наблюдение из практики.

### Клинический пример 1

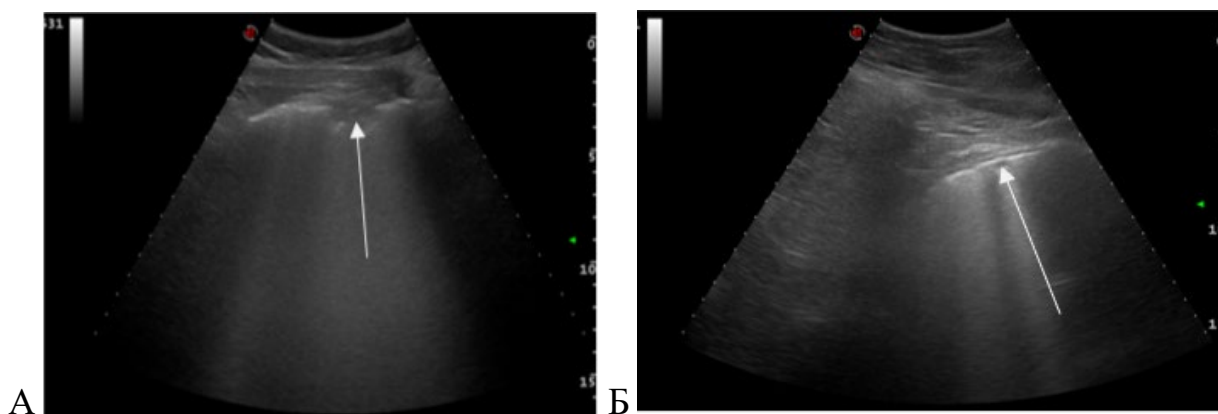
*Пациент М.*, пол – мужской, возраст – 54 года, проходил обследование и лечение в ОРИТ инфекционного корпуса НИИ СП им. Н. В. Склифосовского в мае 2020 года с диагнозом коронавирусная инфекция, вызванная вирусом COVID-19, осложненная двусторонней вирусной пневмонией. ПЦР- положительный. При поступлении состояние тяжелое, ЧДД 20 в 1 /мин, SPO2 90-94 %. При УЗИ легких определили признаки интерстициальных изменений легочной ткани во всех зонах сканирования с обеих сторон, в нижних отделах протяженные участки консолидации (рисунок 22 А, Б).



А - выраженные интерстициальные изменения легочной ткани за счет множественных сливающихся В-линий «белое легкое» - ультразвуковая градация 1б; Б - определяется консолидация (участок безвоздушного легкого) в виде гомогенной гипэхогенной зоны с отсутствием плевральной линии по поверхности и воздушной бронхограммой в виде единичных линейных гиперэхогенных включений на фоне интерстициальных изменений- ультразвуковая градация 2+.

Рисунок 22–Эхограммы пациента М., 54 лет (1 сутки)

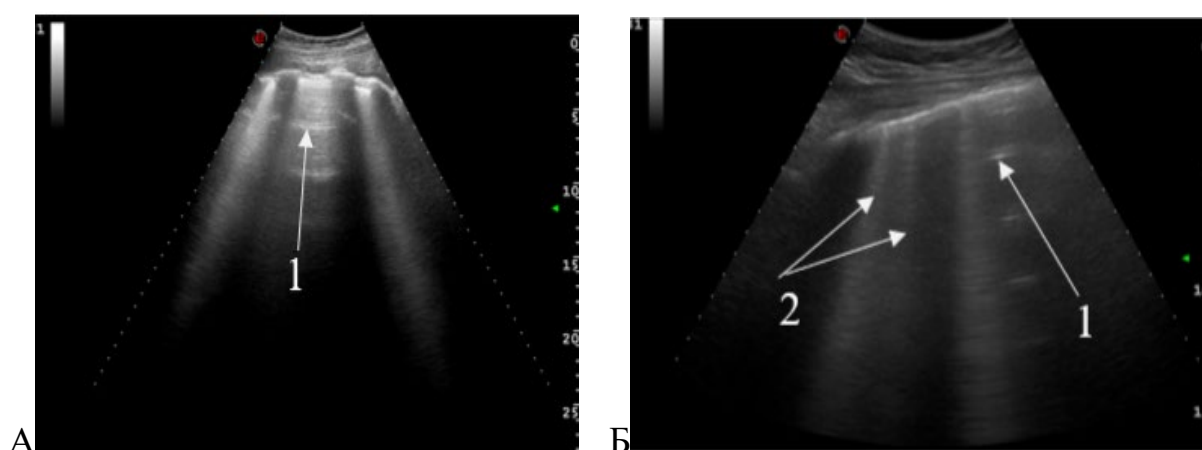
При динамическом УЗИ легких на третьи сутки с момента госпитализации отмечали положительную динамику: на фоне умеренных и выраженных интерстициальных изменений лоцировали локальные субплевральные зоны консолидации (рисунок 23 А, Б).



А- выраженные интерстициальные изменения легочной ткани и локальная субплевральная консолидация, в области которой плевральная линия не прослеживается- ультразвуковая градация 1 б+. Б-локальные субплевральные консолидации на фоне умеренных интерстициальных изменений легочной ткани- ультразвуковая градация 1а+ и 1 б+

Рисунок 23 –Эхограммы пациента М., 54 лет (3 сутки)

На 15 сутки состояние пациента значительно улучшилось, ЧДД 16 в 1/мин, SPO2 98 %. По УЗИ легких отмечали положительную динамику в виде появления А-линий на фоне умеренных интерстициальных изменений и исчезновения зон консолидаций (рисунок 24 А, Б).



А, Б – визуализируются А-линии (1), В-линии рассеянные (2)

Рисунок 24 – Эхограммы пациента М., 54 лет (15 сутки)

В представленном клиническом примере продемонстрирована роль УЗИ легких, как безопасного и легковоспроизводимого диагностического инструмента

в мониторинге за состоянием дыхательной системы пациента, с возможностью выполнения исследования у постели больного, с быстротой оценки признаков поражения легких в соответствии с ультразвуковыми градациями.

### **Заключение к главе**

Данные УЗИ легких и плевральных полостей у пациентов с COVID-19 уже при поступлении в ОРИТ демонстрировали характерные признаки поражения легочной ткани, такие как изменение структуры плевральной линии, исчезновение А-линий, появление множественных В-линий, появление зон консолидаций и плеврального выпота, которые были сопоставимы с клинической картиной. Ультразвуковые градации демонстрировали тяжесть поражения легочной ткани и позволяли сопоставлять данные динамических УЗИ.

Анализируя вовлеченность легких в патологический процесс, определили, что при коронавирусной инфекции были характерны двусторонние изменения с преимущественным поражением нижних долей легких, а появление консолидаций, их характер и распространенность давали информацию о тяжелом течении коронавирусной инфекции.

Двусторонний гидроторакс, вне зависимости от объема поражения легочной ткани по данным КТ, был связан с реактивными изменениями легочной ткани на воспалительный процесс или развитием ПОН, что требовало динамического контроля. Тяжелое течение заболевания сопровождалось появлением УЗ признаков аэробронхограммы и регистрацией кровотока в режиме ЦДК в консолидированных зонах легочной ткани.

Таким образом, проведение УЗИ лёгких в момент поступления пациента в стационар позволяло оценить состояние легочной ткани по выявленным структурным изменениям и провести динамическую оценку этих изменений в дальнейшем на фоне проводимого лечения.

Ультразвуковое сканирование легких является стандартной, хорошо воспроизводимой методикой и может быть включено в алгоритм диагностики

пневмонии для отдельных групп пациентов (беременные и пациенты с ожирением), которым невозможно выполнить КТ легких.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ У ПАЦИЕНТОВ С НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ

### **4.1 Сопоставление количества и характера пораженных областей по 14-зонному протоколу ультразвукового исследования легких с объемом поражения по компьютерной томографии**

Для сравнения возможностей КТ и УЗИ в диагностике изменений легких при новой коронавирусной инфекции COVID-19 ретроспективно были проанализированы результаты исследований 100 пациентов вне зависимости от количества зон сканирования при УЗИ, из них 67 мужчин и 33 женщины в возрасте от 22 до 90 лет. Для более детальной оценки структурных изменений легких мы отдельно проанализировали 45 пациентов, которым возможно было выполнить УЗИ по 14 зонам сканирования, из них 28 мужчин и 17 женщин в возрасте от 37 до 90 лет. КТ и УЗИ выполняли в первые сутки поступления пациента в ОРИТ<sup>4</sup>.

Следует отметить, что данные УЗИ легких не позволяли предоставить информацию о сегментарном соответствии, «золотым стандартом» для определения сегмента поражения являлась КТ.

В нашем исследовании мы разработали протокол для сопоставления 14 зон сканирования при УЗИ легких с сегментарным строением легких по данным КТ (таблица 4) [7].

---

<sup>4</sup> 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. Т. 11, № 2. С. 5-18.

Таблица 4 – Ультразвуковой протокол оценки 14 зон легких и соответствие зон обследования при УЗИ сегментам легких при КТ [7]

Грудная клетка		УЗИ			КТ (сегменты легких)	
Сторона	Поверхность	Обозначение	Зона	Соответствие отделам легких		
		Правая	Передняя	R1	передняя верхняя	верхняя доля спереди
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)	
Задняя	R5		задняя верхняя	верхняя доля сзади	S6	
	R6		задняя средняя	средняя доля 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 -S3
		L4	средняя нижняя	нижняя доля сбоку	S8	
	Задняя	L5	задняя верхняя	верхняя доля сзади	S3	
		L6	задняя средняя	нижние отделы верхней доли и верхние отделы нижней доли сзади	S6	
		L7	задняя нижняя	нижние отделы нижней доли сзади	S9-10	

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

Данные КТ оценивали согласно утвержденным критериям тяжести пневмонии. Дополнительно при КТ измеряли денситометрические показатели патологических изменений в легких.

#### **4.1.1 Сопоставление характера пораженных областей по данным ультразвукового исследования (14 зон сканирования) с характером изменений на компьютерной томографии**

Особый интерес представляло сопоставление характера пораженных областей по данным УЗИ с данными КТ. У одного и того же пациента в зависимости от локализации (передняя, боковая и задняя поверхности легких) наблюдали различные по структуре изменения легких как по данным УЗИ, так и по КТ органов грудной клетки.

Нами были отмечены следующие характерные особенности. Так, уплотнение легкого по типу «матового стекла» на КТ определяли в виде диффузного повышения плотности легочной ткани при сохранении видимости стенок сосудов и бронхов, его мы разделили 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 были локализованы во всех отделах легких и выявлены у 28 (62,2%) пациентов в 179 областях анализа на КТ (рисунок 25 А,Б). Это соответствовало умеренным интерстициальным изменениям – ультразвуковая градация 1а (рисунок 25 В), что было выявлено у 28 пациентов в 168 зонах (таблица 5).

**Второй тип** – более интенсивное и плотное «матовое стекло» – интерстициальное поражение с альвеолярным компонентом с плотностью от -358

НУ до -150 НУ, в среднем -267 НУ; альвеолярная инфильтрация с преимущественным содержанием крупномолекулярной белковой жидкости (экссудат) – были обнаружены у 23 (51,1 %) пациентов в 100 зонах КТ. По данным УЗИ у этих пациентов определяли выраженные интерстициальные изменения с формированием «белого легкого» – ультразвуковая градация 1б (рисунок 25 Г), что было выявлено у 23 пациентов в 92 зонах при УЗИ (таблица 5).

Таблица 5 – Сопоставление характера изменений легких и числа зон поражения по УЗИ (14 зон сканирования) с данными КТ

КТ			УЗИ			УЗИ		
Характер изменений	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	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	23	92	92% (84,8% - 96,5%)	70% (45,7% - 88,1%)	88,3% (81,8% - 93,5%)
«Бульбозная мостовая»	15	98	1а + или 1б +	16	96	97,9% (92,8% - 99,8%)	53,9% (33,4% - 73,4%)	88,7 % (81,8% - 93,7%)
«Матовое стекло» и консолидация	18	88	2 или 2 +	21	84	95,5% (88,8% - 98,8%)	46,7% (28,3% - 65,7%)	83,1% (75%- 89,3%)
Обширная консолидация	11	51	3	11	48	94,1% (83,7% - 98,8%)	56% (34,9% - 75,6%)	81,6% (71% - 89,6%)

\*Примечание. У одного пациента наблюдали разные варианты изменений по КТ и УЗИ

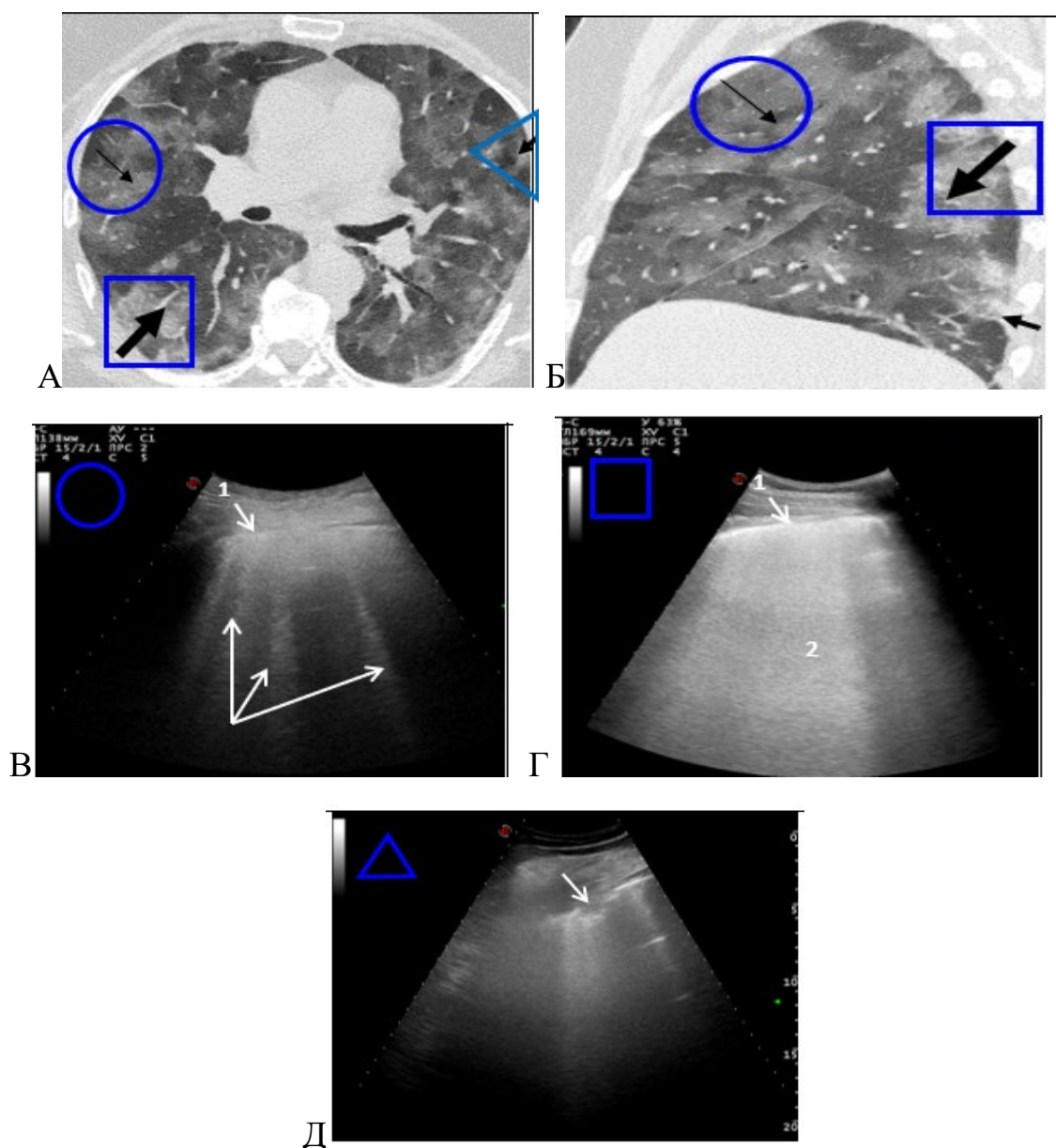
Уплотнения легкого по типу «матового стекла» с наличием ретикулярных изменений («бульбозная мостовая») были выявлены на КТ в 15 (33,3%) случаях (98 точек анализа). По данным УЗИ эти признаки лоцировали в виде субплевральных мелких консолидаций – ультразвуковая градация 1а + или 1б + (рисунок 25 Д), что

было выявлено в 16 случаях в 96 зонах анализа во всех зонах сканирования легких (таблица 5).

При КТ сочетание уплотнения легкого по типу «матового стекла» и консолидации, которую определяли в виде участков более высокой плотности, чем «матовое стекло» (от -80 НУ до + 100 НУ, в среднем +23 НУ) с отсутствием визуализации сосудов на фоне консолидации отмечали в 18 (40,0 %) случаях в 88 точках. При УЗИ кортикальную консолидацию наблюдали вдоль висцеральной плевры в виде гетерогенной зоны сниженной воздушности толщиной более 1,0 см, часто в сочетании с интерстициальными изменениями – ультразвуковая градация 2 или 2 +, что было отмечено у 21 пациента в 84 зонах.

У 11 (24,4%) больных при УЗИ выявили обширные консолидации, занимающие сегмент или долю легкого - ультразвуковая градация 3, в этих зонах лоцировали воздушную бронхограмму. Наиболее выраженные и более плотные (консолидированные) участки были обнаружены в задних отделах легких, как по данным КТ, так и по УЗИ.

Таким образом, характерные структурные изменения по УЗИ полностью соответствовали характеру данных при КТ (обширная консолидация), но распространённость выявленных изменений легких при КТ и УЗИ у 3 пациентов не совпадала: при УЗИ было отмечена глубина поражения легких до 4 см, а при КТ поражения были на глубине 10 см и более (рисунок 26 А, Б).



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);

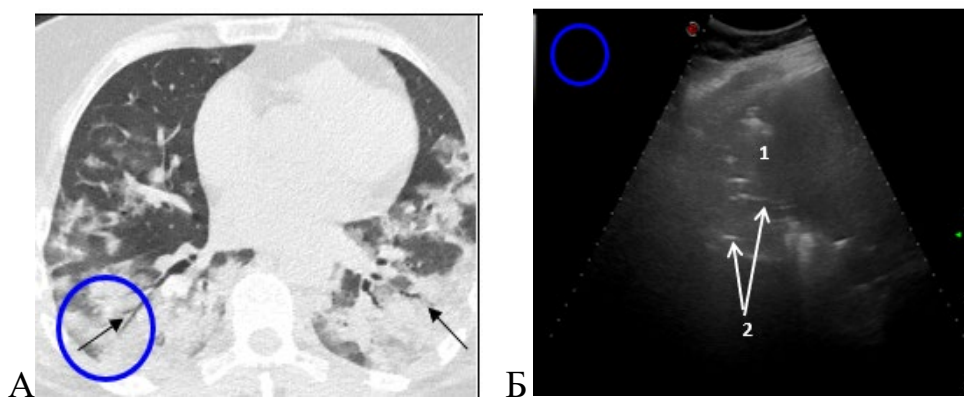
В, Г, Д: эхограммы. В– градация 1а (умеренные интерстициальные изменения), датчик расположен в зоне R1 (на уровне 3 м/р по передней подмышечной линии). 1 - прерывистость плевральной линии, 2 - множественные рассеянные В-линии. Изменения соответствуют КТ картине уплотнения по типу «матового стекла» низкой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

Г– 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.

Д–градация 1a+ (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 определяются локальная консолидация с отсутствием плевральной линии по поверхности, что соответствует мелкой консолидации по КТ в той же зоне.

Рисунок 25 – Компьютерные томограммы и эхограммы легких мужчины  
62 лет с COVID-19



А–компьютерные томограммы, двусторонняя пневмония – КТ-2. В задних отделах обоих легких определяются уплотнение по типу консолидация легочной ткани с визуализацией просвета бронхов – симптом «воздушной бронхограммы (тонкие стрелки).

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

Рисунок 26 – Компьютерные томограммы и эхограммы легких женщины  
57 лет с COVID-19

Таким образом, чувствительность УЗИ в выявлении изменений легких различного характера составила 92,0% и более, а специфичность варьировала от 46,7% до 70,0 % в зависимости от их характера. Диагностическая точность была

более 81,0%, максимальные показатели которой составили 90,6% для умеренных интерстициальных изменений, соответствующих «матовому стеклу» первого типа по данным КТ. У 32% больных отметили проникновение патологического процесса в центральные отделы легких, при этом по УЗИ лоцировали обширную консолидацию, но распространенность не совпала с данными КТ.

По нашим данным, с нарастанием степени тяжести пневмонии по КТ, при УЗИ отмечали тенденцию к увеличению числа областей поражения: с 10 областей при КТ -1 до 14 областей при КТ- 4 (таблица 6). У одного пациента при сканировании 14 зон воспалительных изменений в легких не было выявлено ни по КТ, ни по УЗИ.

Таблица 6 – Распределение пациентов в зависимости от объема воспалительных изменений в легких

КТ		УЗИ	
Объем воспалительных изменений легких, % (КТ)	Количество пациентов n =45	Среднее количество областей поражения n =14	Количество пациентов, n =45
	Абс. (%)	Абс. (%)	Абс. (%)
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)

У 44 пациентов (98,0%) при КТ патологические изменения, имеющие субплевральную локализацию определяли в обоих легких. Патологический процесс только в нижних долях обоих легких был выявлен в 3 случаях (7,0 %). Изолированное поражение только верхних долей отметили в одном случае, а в 30 (68,0%) случаях воспаление было ограничено только субплевральными зонами. В 14 (32,0%) наблюдали распространение процесса и в центральные отделы легких,

в связи с чем по данным УЗИ в базальных отделах легких изменения выявлены не были.

#### 4.1.2 Сопоставление характера изменений легочной ткани между компьютерной томографией и ультразвуковым исследованием вне зависимости от количества зон сканирования

Проводили сопоставление между структурными изменениями легочной ткани по УЗИ легких, выявленных при сканировании 8-10-14 зон с данными КТ легких (таблица 7). Пятеро пациентов с подтвержденной коронавирусной инфекцией были исключены из сопоставления результатов между данными УЗИ легких и КТ органов грудной клетки, поскольку имелись противопоказания к выполнению последнего.

Таблица 7 – Сопоставление характера изменений легких между данным УЗИ (8-10-14 зон сканирования) и КТ

Характер изменений по УЗИ	Характер изменений по КТ	Чувствительность %	Специфичность, %	Диагностическая эффективность, %
Локальные консолидации на фоне интерстициальных изменений (1а+ и 1б+)	«Булыжная мостовая»	90% (76%-96%)	89% (80%-95%)	90% (82%-94%)
Умеренные интерстициальные изменения (1а)	Первый тип «матовое стекло»	50% (24%-76%)	99% (94%-100%)	94% (88%-97%)
Выраженные интерстициальные изменения (1б)	Второй тип «матовое стекло»	67% (30%-90%)	97% (91%-99%)	95% (89%-98%)
Протяженная консолидация на фоне интерстициальных изменений (2 и 2+)	«Матовое стекло» и консолидация	19% (10%-35%)	97% (90%-99%)	70% (61%-78%)
Обширная консолидация (3)	Обширная консолидация	100% (61%-100%)	74% (64%-81%)	75% (66%-83%)

Оценивая полученные результаты, отметили, что чувствительность УЗИ при сканировании 8-10-14 зон в выявлении поражения легких варьировала в зависимости от их характера, максимальные показатели определяли для обширной консолидации и составили 100%. Для локальных субплевральных консолидаций на фоне интерстициальных изменений чувствительность составила 90,0 %, а для выраженных интерстициальных изменений 67,0 %, самая низкая чувствительность 19,0 % была в выявлении кортикальной консолидации.

Специфичность УЗИ варьировала от 74,0 % до 99,0 % в соответствии с характером признаков. Диагностическая точность была более 70,0%, максимальные показатели которой составили 95,0 % для выраженных интерстициальных изменений, соответствующих «матовому стеклу» второго типа по данным КТ.

Таким образом, результаты исследования подтвердили сопоставимость между данными УЗИ и КТ легких, но использование 8- или 10 зон сканирования снижало чувствительность УЗИ в выявлении некоторых признаков.

#### **4.1.3 Результаты сопоставления характерных ультразвуковых признаков поражения легочной ткани с данными компьютерной томографии у пациентов с коронавирусной инфекцией**

В результате исследования были определены характерные структурные изменения легочной ткани по данным УЗИ легких в соответствии со степенью тяжести поражения легочной ткани по данным КТ (таблица 8).

Таблица 8 – Распределение УЗ изменений в зависимости от степени тяжести поражения легочной ткани по данным КТ исследования

УЗ-признак	I группа (n = 29)	II группа (n = 41)	III группа (n = 30)	p-value
Локальные субплевральные консолидации на фоне интерстициальных изменений	12 (41,4%)	20 (48,8 %)	10 (33,3 %)	p-I 0,543 p-II 0,527 p-III 0,196

Продолжение таблицы 8

Умеренные интерстициальные изменения	5 (17,2 %)	0 (0%)	0 (0%)	<b>p<sub>I-II</sub> 0,0062</b> <b>p<sub>I-III</sub> 0,0062</b> p <sub>II-III</sub> >0,999
Выраженные интерстициальные изменения	0 (0%)	6 (14,6 %)	1 (3,3 %)	p <sub>I-II</sub> 0,033 p <sub>I-III</sub> 0,3258 p <sub>II-III</sub> 0,1172
Протяженная (кортикальная) консолидация на фоне интерстициальных изменений	1 (3,4 %)	4 (9,8 %)	4 (13,3 %)	p <sub>I-II</sub> 0,316 p <sub>I-III</sub> 0,176 p <sub>II-III</sub> 0,639
Обширная консолидация	6 (20,7 %)	11 (26,8 %)	15 (50,0%)	p <sub>I-II</sub> 0,557 <b>p<sub>I-III</sub> 0,0197</b> <b>p<sub>II-III</sub> 0,0468</b>

Таким образом, у 5 (17,2%) пациентов I группы (КТ-1 и КТ-2), чаще наблюдали умеренные интерстициальные изменения легочной ткани, которые были нехарактерны у больных с тяжелыми формами поражения легких (КТ-3 и КТ-4, II и III группы).

Локальные субплевральные консолидации на фоне интерстициальных изменений наблюдали чаще у пациентов I группы (41,4 %) и II группы (48,8 %), чем у III группы (33,3 %), однако различия между группами статистически незначимы. Выраженные интерстициальные изменения встречали преимущественно у пациентов II группы (14,6 %) и редко у III группы (3,3 %), что свидетельствовало о прогрессировании процесса от умеренных до выраженных в зависимости от степени тяжести поражения. Протяженные консолидации на фоне интерстициальных изменений чаще встречали в III группе (13,3 %) по сравнению с I (3,4%) и II группой (9,8%), но эти различия не были статистически значимыми. Обширные консолидации значительно чаще выявляли у пациентов III группы (50,0%) по сравнению с I (20,7%) и II группой (26,8 %), причем различия между I и III группой, а также между II и III группой статистически значимы.

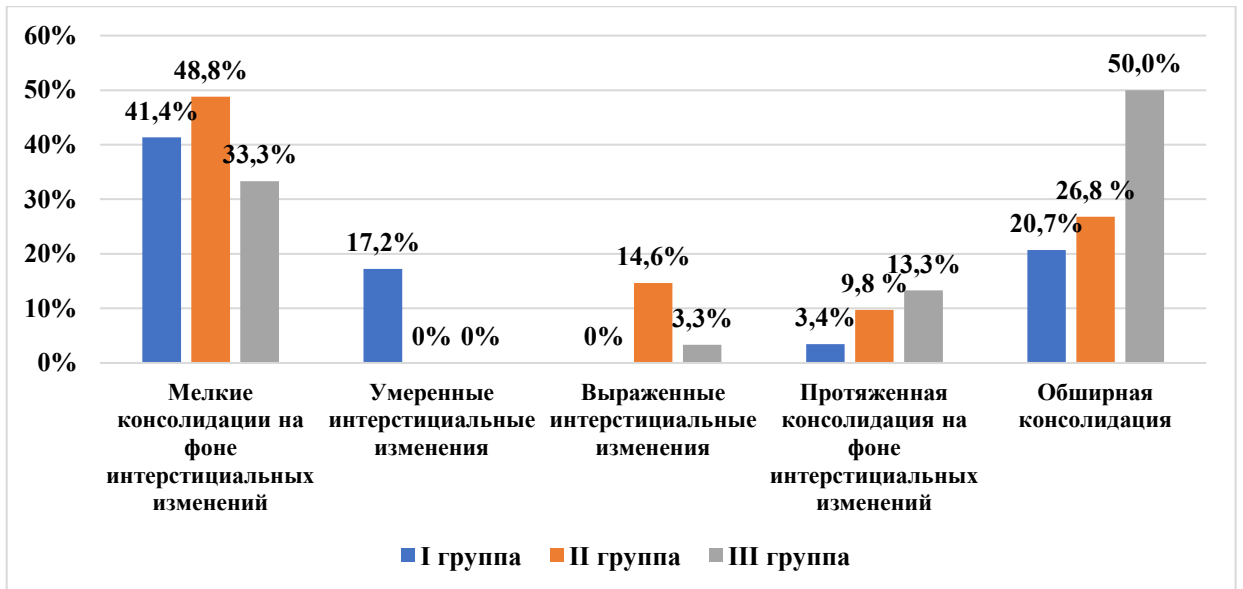


Рисунок 27 – Распределение характерных структурных изменений легочной ткани по данным УЗИ в соответствии с данными КТ (объем поражения)

На рисунке 27 продемонстрировали, что у пациентов с более тяжелыми формами поражения легочной ткани по данным КТ (КТ-4, III группа) преобладали обширные консолидации, в то время как у пациентов с менее тяжелыми поражениями (КТ-1 и КТ-2, I группа) доминировали умеренные интерстициальные изменения и локальные субплевральные консолидации на фоне интерстициальных изменений. Также отметили прогрессирование ультразвуковых изменений с увеличением степени тяжести поражения легочной ткани по данным КТ органов грудной клетки.

#### **4.2 Результаты сравнительного анализа ширины легочного ствола по данным компьютерной томографии с эхопризнаками легочной гипертензии по данным трансторакальной эхокардиографии**

Всем пациентам с COVID-19 в первые сутки в ОРИТ выполняли трансторакальную ЭхоКГ. На момент проведения исследования 40 (38,1 %) пациентов находились на ИВЛ, 16 (15,2 %) на НИВЛ, а 49 (46,7 %) пациентов были на самостоятельном дыхании. Одной из основных диагностических задач при ЭхоКГ было выявление признаков легочной гипертензии, для оценки которой

оптимальным инструментом являлось определение СДЛА. При проведении ЭхоКГ измеряли правые камеры сердца – диаметр и объем, нижнюю полую вену (НПВ) – ее диаметр и коллабирование на вдохе, градиент регургитации на трикуспидальном клапане.

Повышение СДЛА по данным ЭхоКГ было распределено следующим образом: СДЛА 30-55 мм рт.ст. – незначительная легочная гипертензия; СДЛА 56-80 мм рт. ст. умеренная легочная гипертензия; СДЛА более 80 мм рт.ст. выраженная легочная гипертензия (классификация ASE).

Было проведено сопоставление ширины легочного ствола по данным КТ с показателями СДЛА при ЭхоКГ у 100 пациентов с коронавирусной инфекцией в определении признаков легочной гипертензии (рисунок 28).

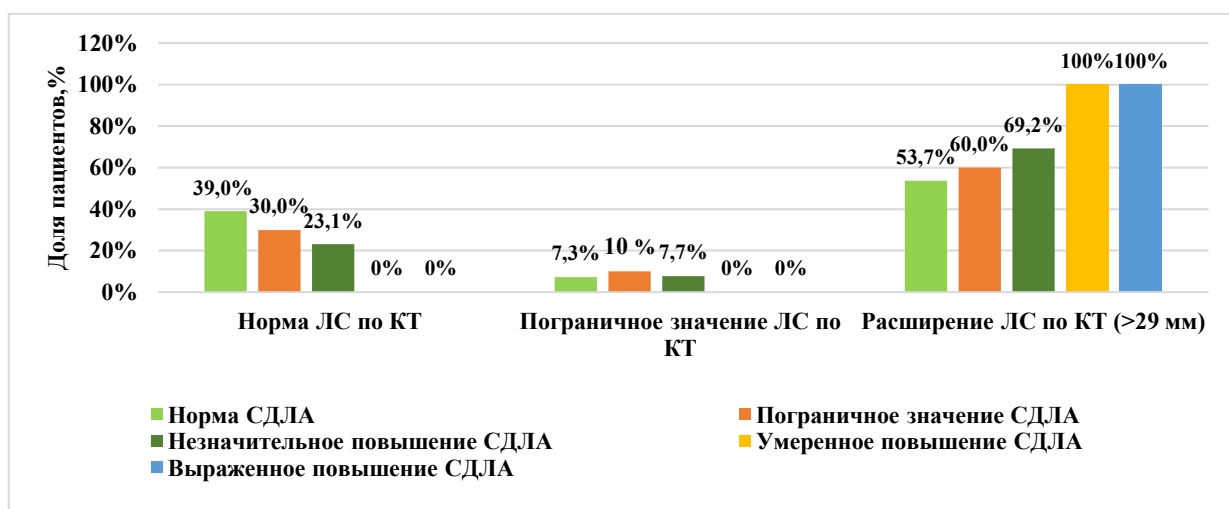


Рисунок 28 – Сопоставление результатов УЗИ и данных КТ для определения легочной гипертензии у пациентов с коронавирусной инфекцией

Нормальные значения СДЛА при ЭхоКГ отмечены у 41 пациента, из них у 16 (39,0 %) пациентов с нормальными показателями ширины ЛС по данным КТ, у 3 пациентов (7,3%) с пограничным расширением легочного ствола и у 22 (53,7 %) пациентов с расширением ЛС более 29 мм. Пограничные значения СДЛА зарегистрированы у 10 пациентов, из них у 3 (30,0 %) с нормальными показателями КТ, у 1 (10,0%) пациента с пограничным расширением и у 6 (60,0%) пациентов с расширением ЛС. Незначительное повышение СДЛА по данным ЭхоКГ выявлено у 39 пациентов, из них у 9 (23,1%) с нормальной шириной легочного ствола, у 27

(69,2%) пациентов с его расширением и у 3 (7,7 %) пациентов с пограничным расширением по КТ. Умеренные значения СДЛА – 56-80 мм рт.ст. по данным ЭхоКГ в 8 случаях коррелировали с расширением ЛС, выраженное повышение СДЛА со значениями более 80 мм рт.ст. соответствовало расширению ЛС у двух пациентов.

Результаты показали, что нормальные показатели СДЛА, определяемые с помощью ЭхоКГ, имели высокую согласованность с нормальными значениями ЛС по данным КТ. А умеренные и выраженные изменения СДЛА демонстрировали высокую сопоставимость с расширением ЛС, что подчеркивало их диагностическую значимость. Тогда как, незначительное повышение СДЛА характеризовало большую вариативность соответствия данным КТ, что могло быть связано с меньшей степенью специфичности данного параметра.

В качестве дополнительного инструмента в определении признаков легочной гипертензии у 16 пациентов мы использовали расчет среднего давления в легочной артерии. Измерение данного показателя при COVID-19 было ограничено из-за вынужденного положения пациента и площади поражения легочной ткани, экранирующей легочную артерию. По данным ЭхоКГ у 7 пациентов из этой группы отмечали повышение среднего ДЛА от 25 до 40 мм рт. ст. при нормативных значениях 20 мм рт. ст., у 6 пациентов отмечали пограничные значения и у 3 пациентов показатели среднего ДЛА соответствовали нормативным значениям.

При сопоставлении данных ЭхоКГ и КТ в нашем исследовании из 7 пациентов с КТ-4 в 4 (57,1%) случаях было выявлено повышение среднего ДЛА, у 3 (42,9 %) больных пограничные значения. У 6 пациентов с КТ-3 в 3 (50,0 %) случаях были выявлены признаки повышения среднего ДЛА, а в 3 (50,0 %) случаях показатель соответствовал пограничным значениям. У 3 пациентов с КТ-1 и КТ-2 показатель среднего ДЛА соответствовал нормативным значениям (рисунок 29).

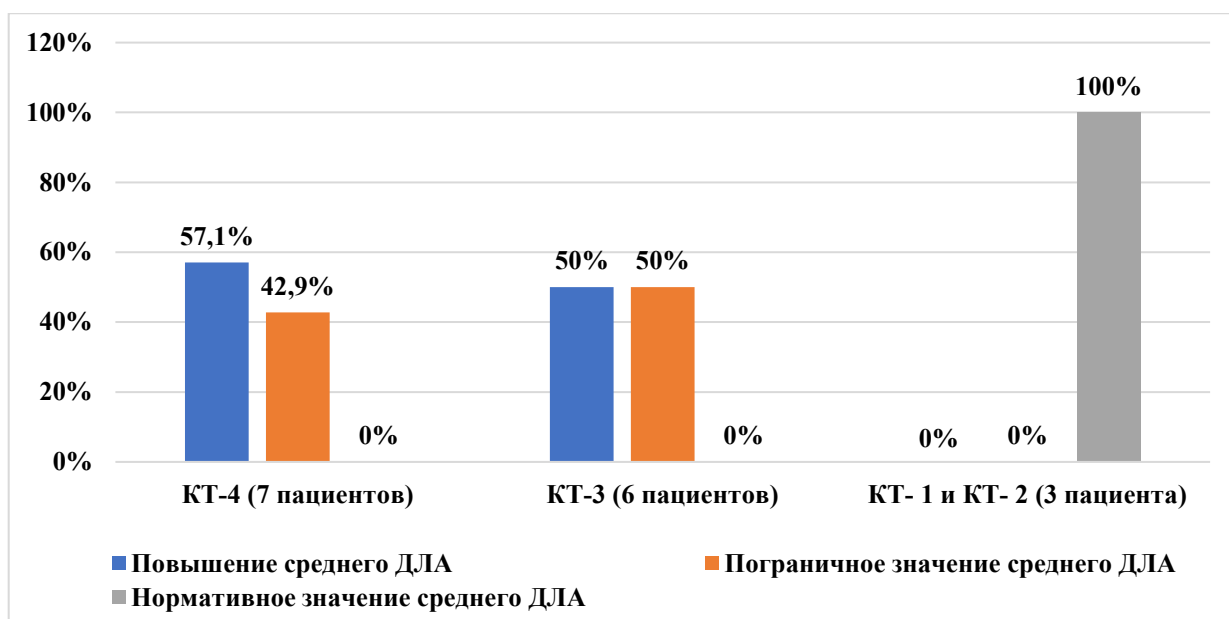


Рисунок 29 –Сопоставление среднего давления легочной артерии по данным ЭхоКГ с данными КТ (объем поражения легочной ткани)

Таким образом, данные подтверждают информативность УЗИ в оценке легочной артерии, особенно при выраженных изменениях. Однако подчеркивают необходимость использования КТ для уточнения диагноза в случаях пограничных или незначительных отклонений значений СДЛА и среднего ДЛА, а также для более детальной оценки изменений легочной системы.

### Заключение к главе

Анализ результатов сопоставления характерных ультразвуковых признаков поражения легочной ткани у пациентов с коронавирусной инфекцией с объемом поражения по данным КТ легких показал прогрессирование ультразвуковых изменений с увеличением степени тяжести по данным КТ.

Отсутствие ионизирующего излучения и возможность проведения исследования в «красной зоне» дало методу ультразвуковой диагностики ряд преимуществ перед КТ, в частности в обследовании нетранспортабельных реанимационных пациентов, беременных женщин и пациентов с ожирением.

Вместе с этим следует учитывать, что УЗИ не позволяло четко разделять стадии заболевания по распространенности процесса и выявлять центрально расположенные зоны изменения легочной ткани, для визуализации которых «золотым стандартом» являлось проведение КТ.

Метод ультразвуковой диагностики у пациентов с коронавирусной инфекцией может быть использован в качестве скрининга для оценки выраженности легочной гипертензии. Результаты нашего исследования показали, что нормальные показатели СДЛА, определяемые с помощью ЭхоКГ, сопоставимы с нормальными значениями ширины ЛС по данным КТ, а умеренные и выраженные изменения СДЛА демонстрировали корреляцию с расширением легочного ствола.

**РОЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ В  
ПРОГНОЗИРОВАНИИ ИСХОДА ЗАБОЛЕВАНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С НОВОЙ  
КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ**

**5.1 Сопоставление клинико-anamнестических характеристик пациентов с новой коронавирусной инфекцией в зависимости от исхода госпитализации**

Учитывая, что клиническая картина COVID-19 может выходить за рамки исключительно респираторных симптомов и включать поражения сердечно-сосудистой системы, почек, печени, центральной и периферической нервной системы, а также системы гемостаза с целью прогнозирования исхода заболевания нами был проведен анализ клинических, лучевых и лабораторных данных.

Для решения поставленной задачи из исследуемой выборки были сформированы 2 группы, в зависимости от развития летального исхода в ходе госпитализации. I группу составили 35 пациентов, умерших в ходе госпитализации, II группу – 70 пациентов, выписанных после проведенного обследования и лечения.

Таблица 9 – Клинико-anamнестическая характеристика пациентов в исследуемых группах

Характеристика	I группа (n = 35)	II группа (n = 70)	p-value
Возраст, Ме [Q1; Q3]	59 [45; 66,5]	53,5 [45,3; 60,0]	0,179
Мужчины, n (%)	26 (74,3)	42 (60,0)	0,149
Сердечно-сосудистая патология, n (%)	13 (37,1)	18 (25,7)	0,226
Заболевания легких, n (%)	5 (14,3)	7 (10,0)	0,515

## Продолжение таблицы 9

Заболевания печени, n (%)	4 (11,4)	15 (21,4)	0,210
Заболевания почек, n (%)	4 (11,4)	11 (15,7)	0,554
Заболевания щитовидной железы, n (%)	3 (8,6)	5 (7,1)	0,795
Ожирение, n (%)	11 (31,4)	25 (35,7)	0,663
Сахарный диабет 2-го типа, n (%)	5 (14,3)	9 (12,8)	0,839
Заболевания крови, n (%)	0 (0)	3 (4,3)	0,214

По результатам исследования представлены клиничко-анамнестические данные пациентов обеих групп (таблица 9). Так, средний возраст пациентов в I группе составил 59 лет [45; 66,5], а во II группе – 53,5 года [45,3; 60,0], при этом различия между группами статистически незначимы ( $p=0,179$ ). Мужчины составляли большинство в обеих группах: 74,3 % в I группе и 60,0% во II группе ( $p = 0,149$ ).

Сердечно-сосудистая патология встречалась у 37,1% пациентов I группы и у 25,7 % пациентов II группы, различия статистически незначимы ( $p = 0,226$ ). Заболевания легких зарегистрированы у 14,3 % пациентов I группы и у 10,0 % пациентов II группы ( $p = 0,515$ ). Заболевания печени наблюдали у 11,4 % пациентов I группы и у 21,4 % пациентов II группы, при этом различия также незначимы ( $p = 0,210$ ).

Заболевания почек выявлены у 11,4 % пациентов I группы и у 15,7 % пациентов II группы ( $p = 0,554$ ), заболевания щитовидной железы – у 8,6 % и 7,1 %, соответственно ( $p = 0,795$ ). Ожирение встречалось у 31,4 % пациентов I группы и у 35,7 % во II группе, различия статистически незначимы ( $p = 0,663$ ).

Сахарный диабет 2-го типа выявили у 14,3 % пациентов I группы и у 12,8 % пациентов II группы ( $p = 0,839$ ). Заболевания крови отсутствовали в I группе, тогда как во II группе их частота составила 4,3% ( $p = 0,214$ ).

## 5.2 Стратификация пациентов по степени тяжести (шкала NEWS2 и qSOFA)

Клиническую оценку тяжести состояния пациентов при поступлении в стационар проводили с использованием шкалы NEWS2 (Приложение Б), в зависимости от суммы баллов определяли риск и дальнейшую маршрутизацию пациента.

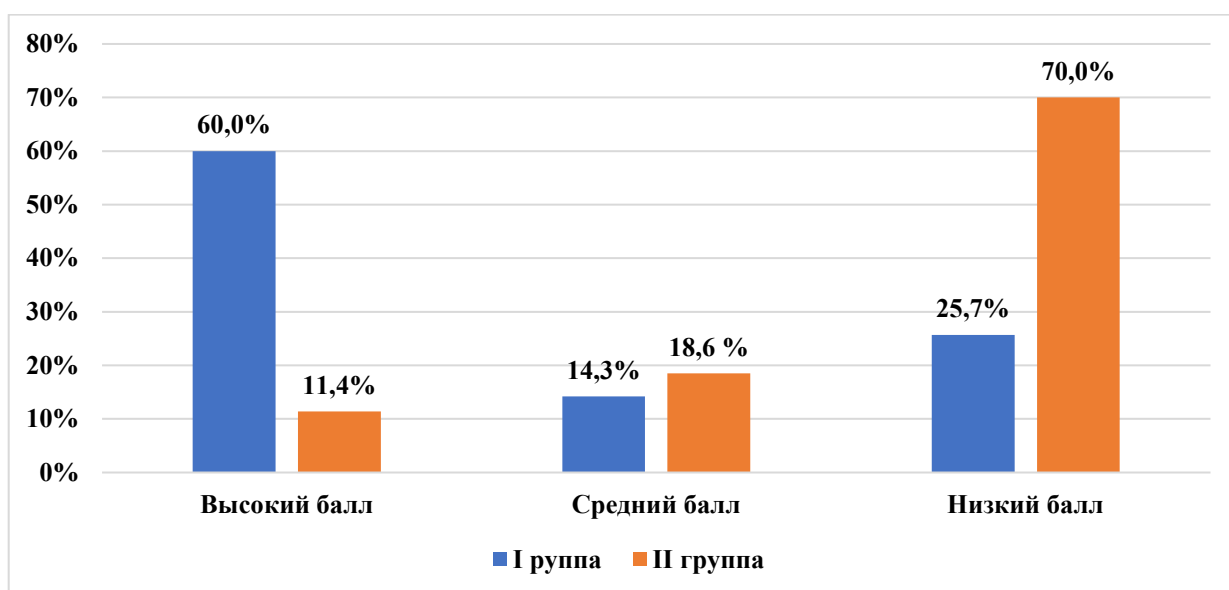


Рисунок 30 – Распределение баллов по шкале NEWS в исследуемых группах

Анализ пациентов с COVID-19 показал, что в зависимости от шкалы NEWS2 пациенты были распределены следующим образом: низкий балл (1-4) – у 66 (62,9 %) больных, средний балл (5-6) – у 15 (14,2 %) больных; высокий балл (более 7) – у 24 (22,9 %) больных.

Из группы с летальным исходом (I группа) преобладали пациенты с высокими баллами по шкале NEWS2 – 21 (60,0 %) больной, средний балл был – у 5 (14,3 %) пациентов, а у 9 (25,7 %) пациентов балл соответствовал низкому. Из пациентов II группы у 49 (70,0%) пациентов был низкий балл по шкале NEWS 2, средний балл – у 13 (18,6 %) больных и высокий балл в 8 (11,4 %) случаях (рисунок 30).

С целью оценки тяжести состояния и риска развития септических

осложнений у пациентов с COVID-19 применяли шкалу qSOFA.

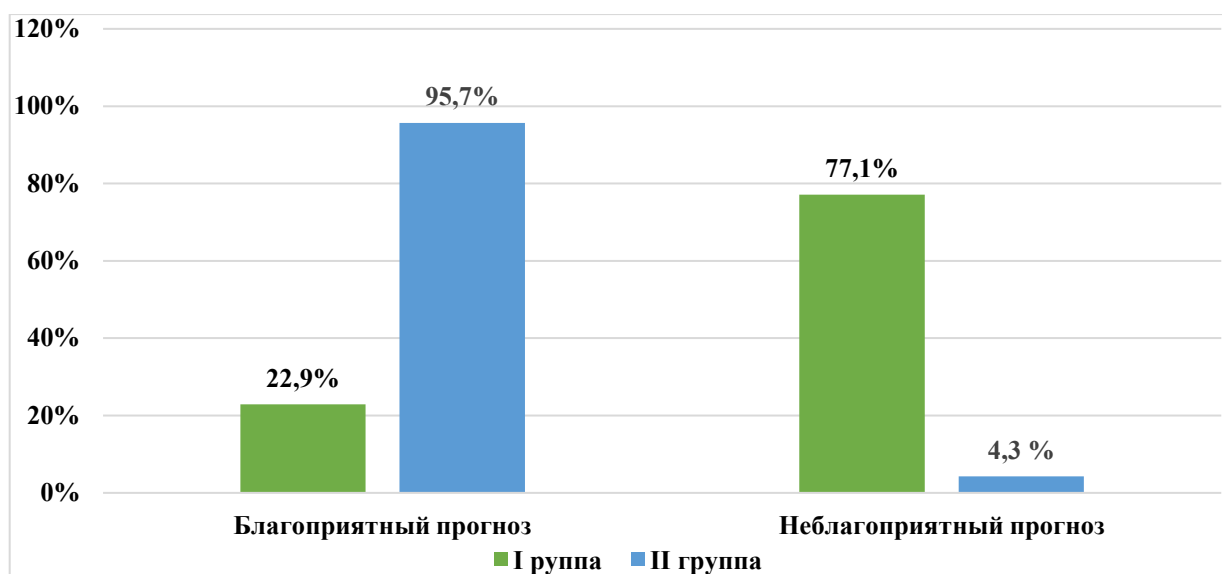


Рисунок 31 – Распределение баллов по шкале qSOFA в исследуемых группах

На основании балльной шкалы qSOFA в нашем исследовании пациентов распределили следующим образом: благоприятный прогноз от 0 до 1 балла– был у 85 (80,9 %) больных, неблагоприятный прогноз от 2 до 3 балла– у 20 (19,1%) соответственно.

Из I группы преобладали пациенты с неблагоприятным прогнозом по сумме баллов шкалы qSOFA – 27 (77,1%), с благоприятным прогнозом на этапе поступления в стационар были 8 (22,9%) пациентов. Во II группе с благоприятным прогнозом было преимущественное количество – 70 (95,7%) пациентов, соответственно с неблагоприятным прогнозом на момент госпитализации были 3 (4,3%) пациента (рисунок 31).

Результаты сопоставления баллов с использованием шкалы NEWS 2 и шкалы qSOFA в исследуемых группах также представлены на рисунке 32 А, Б.

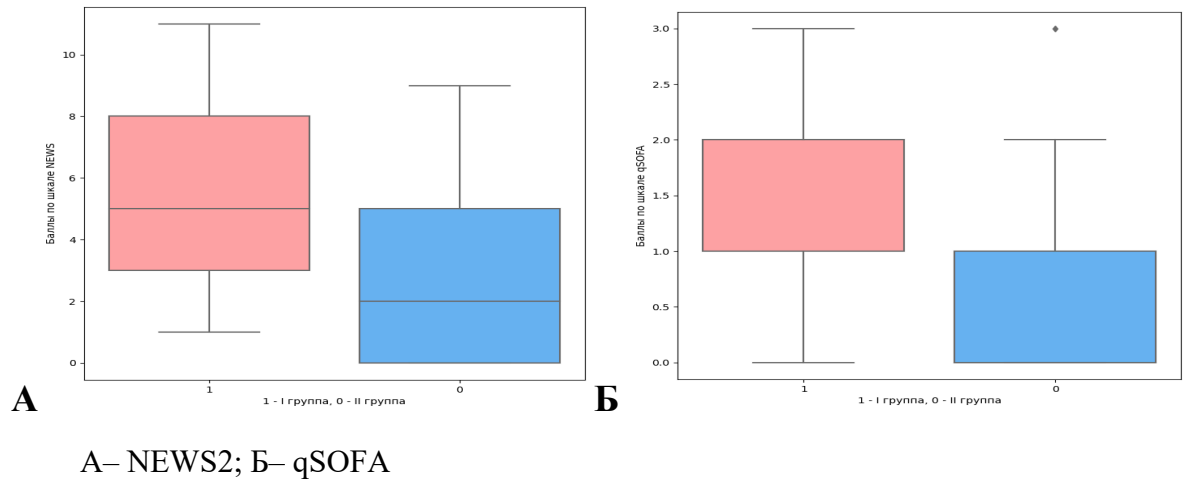


Рисунок 32 – Балльные шкалы в исследуемых группах

Медиана баллов по шкале NEWS 2 у пациентов с летальным исходом (I группа) составила 5 [3; 8], а у выписанных пациентов (II группа) – 2 [0; 5] ( $p < 0,001$ ), в то время как медиана баллов по шкале qSOFA составила 2 [1; 2] и 0 [0; 1] ( $p < 0,001$ ) у пациентов I и II группы, соответственно.

Таким образом, межгрупповое сопоставление пациентов по шкалам стратификации степени тяжести демонстрирует, что у пациентов I группы по данным шкал NEWS 2 и qSOFA уже на момент госпитализации отмечался высокий риск неблагоприятного исхода, а во II группе по балльным шкалам был благоприятный прогноз исхода госпитализации.

### 5.3 Анализ результатов комплексного ультразвукового исследования у пациентов с различными исходами госпитализации

Поскольку тяжелое течение коронавирусной инфекции сопровождается развитием СПОН и ОРДС пациентам обеих групп проводили комплексную ультразвуковую диагностику.

Таблица 10 – Распределение структурных изменений легких в исследуемых группах

Показатель	I группа (n = 35)	II группа (n = 70)	p-value
Плевральная линия изменена	35 (100%)	65 (92,9 %)	0,105
А- линии во всех зонах сканирования	2 (5,7 %)	13 (18,6 %)	0,077
А-линии только в верхних зонах сканирования	19 (54,3%)	49 (70,0%)	0,114
В-линии	35 (100%)	61 (87,1 %)	<b>0,027*</b>
Рассеянные В-линии	11 (31,4 %)	34 (48,6%)	0,096
Сливающиеся В-линии	24 (68,6%)	27 (38,6%)	<b>0,04*</b>
Локальные субплевральные консолидации на фоне интерстициальных изменений	9 (25,7 %)	33 (47,1 %)	0,035
Протяженная консолидация на фоне интерстициальных изменений	4 (11,4 %)	5 (7,1 %)	0,462
Обширная консолидация	22 (62,9%)	10 (14,3%)	<0,001
Гидроторакс	28 (80,0%)	42 (60,0%)	<0,001

По данным УЗИ легких изменение структуры плевральной линии наблюдали у всех пациентов I группы (100%) и у большинства пациентов II группы (92,9%), при этом различия между группами статистически незначимы ( $p = 0,105$ ).

А-линии во всех доступных зонах сканирования (8-10-14), были выявлены у 5,7% пациентов I группы и у 18,6 % пациентов II группы, различия также не достигают статистической значимости ( $p = 0,077$ ). А-линии в верхних зонах сканирования встречали у 54,3 % пациентов I группы и у 70% пациентов II группы, различия статистически незначимы ( $p = 0,114$ ).

В-линии лоцировали у всех пациентов I группы (100%) и у 87,1 % пациентов II группы, различия статистически значимы ( $p = 0,027$ ), данный признак указывал

на повреждение легочной ткани с интерстициальными проявлениями при возникновении отека. Рассеянные В-линии чаще выявляли у пациентов II группы (48,6%) по сравнению с I группой (31,4%), что свидетельствовало об умеренных интерстициальных изменениях, а, следовательно и меньшем поражении легких, однако различия не достигали статистической значимости ( $p = 0,096$ ). «Белое легкое» встречали значительно чаще у пациентов I группы (68,6 %) по сравнению с пациентами II группы (38,6 %), что подтверждается статистически значимыми различиями ( $p = 0,04$ ), данный признак указывал на выраженность интерстициального синдрома у пациентов с неблагоприятным исходом госпитализации.

Анализ результатов сопоставления характера консолидаций легочной ткани между пациентами обеих групп демонстрировал, что локальные субплевральные консолидации на фоне интерстициальных изменений чаще были выявлены у пациентов II группы (47,1%) по сравнению с пациентами I группы (25,7%), различия статистически значимы ( $p = 0,035$ ). Протяженная консолидация на фоне интерстициальных изменений была выявлена с сопоставимой частотой в обеих группах (11,4 % в I группе и 7,1 % во II группе), различия статистически незначимы ( $p = 0,462$ ). В то время как, обширную консолидацию значительно чаще определяли у пациентов I группы (62,9%) по сравнению с пациентами II группы (14,3%), различия статистически значимы ( $p < 0,001$ ), данный признак указывал на более распространенный процесс поражения легочной ткани за счет инфильтративных изменений и тем самым являлся предиктором неблагоприятного прогноза течения заболевания. Гидроторакс выявляли значительно чаще у пациентов I группы (80,0 %) по сравнению с пациентами II группы (60,0 %), различия статистически значимы ( $p < 0,001$ ), наличие гидроторакса также объяснялось тяжелым течением заболевания с развитием ОРДС.

В нашем исследовании пациентам с коронавирусной инфекцией выполняли УЗИ органов брюшной полости и проводили оценку гемодинамических показателей, что позволяло диагностировать их сопутствующее поражение при COVID-19 и выявить признаки СПОН уже на момент поступления пациента в ОРИТ.

Распределение выявленных изменений по УЗИ органов брюшной полости между группами представлено в таблице 11.

Таблица 11 – Основные ультразвуковые изменения органов брюшной полости у пациентов в исследуемых группах

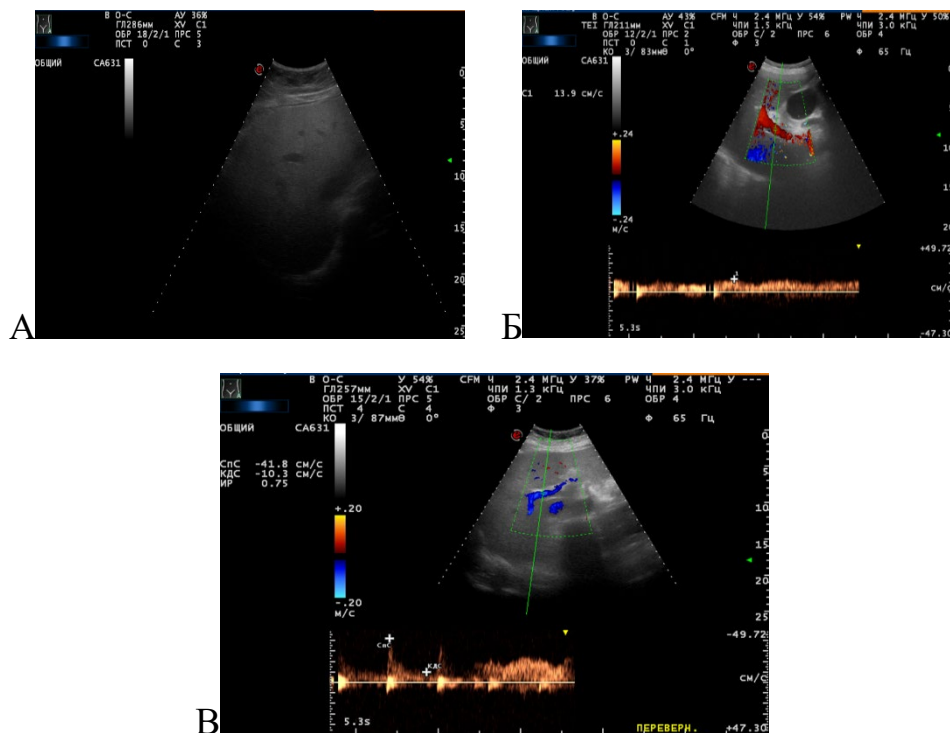
Показатель	I группа (n = 35)	II группа (n = 70)	p-value
Нарушение гемодинамики печени	17 (48,6%)	3 (4,3%)	<b>&lt;0,001*</b>
Жировой гепатоз	14 (40,0%)	22 (31,4%)	0,383
Липоматоз поджелудочной железы	8 (22,8 %)	13 (18,6%)	0,254
Увеличение селезенки	16 (45,7%)	25 (35,7%)	0,322

Анализ данных демонстрирует, что у пациентов обеих групп по УЗИ были выявлены эхопризнаки жирового гепатоза, у пациентов I группы (40,0%) по сравнению с пациентами II группы (31,4%) чаще наблюдали жировой гепатоз, проявляющийся увеличением печени, повышением ее эхогенности с затуханием эхосигнала в дистальных отделах (рисунок 33 А). Однако, различия между группами не достигали статистической значимости ( $p = 0,383$ ), что указывало на отсутствие связи между признаками жирового гепатоза по данным УЗИ и неблагоприятным исходом.

У всех больных в исследуемых группах мы анализировали эхопризнаки нарушения гемодинамики, для чего оценивали кровоток в собственной печеночной артерии (СПА) и воротной вене (ВВ) (рисунок 33 Б, В). Изменение гемодинамических показателей значительно чаще встречали у пациентов I группы (48,6%) по сравнению с пациентами II группы (4,3%), что подтверждается статистически значимыми различиями ( $p < 0,001$ ).

Так, у 17 пациентов I группы по данным дуплексного сканирования сосудов гепатобилиарной зоны выявили признаки нарушения гемодинамики печени – диаметр основного ствола ВВ варьировал от 12 до 16 мм, отмечали снижение ЛСК

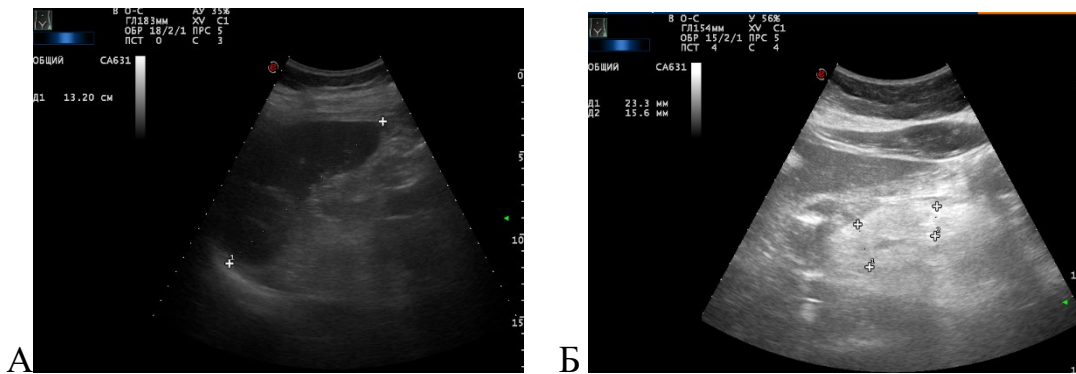
в среднем до 11-15 см/сек при нормативных значениях 18-23 см/сек, в СПА ЛСК составляла от 40 до 49 см/с, ИР был повышен и варьировал от 0,72 до 0,82. У 3 пациентов из II группы также были выявлены признаки нарушения гемодинамики печени за счет изменения показателей кровотока в ВВ со значениями ЛСК 12-14 см/сек, а ЛСК СПА и ИР соответствовали нормативным значениям.



А–признаки жирового гепатоза, Б– доплерограмма воротной вены: ЛСК 13,9 см/с;  
В–доплерограмма СПА: ЛСК 41,8 см/сек, ИР 0,75

Рисунок 33 – Эхограммы больного К., 55 лет с COVID-19

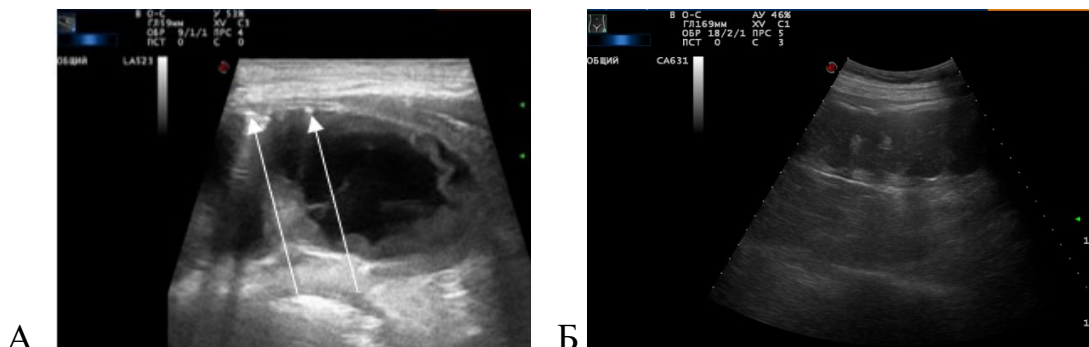
Результаты, представленные в таблице 11 показывают, что увеличение селезенки (рисунок 34 А) чаще наблюдали у пациентов I группы (45,7%) по сравнению с пациентами II группы (35,7%), а изменения структуры поджелудочной железы (рисунок 34 Б) были выявили у 22,8 % пациентов I группы и у 18,5% пациентов II группы. Различия между группами статистически незначимы ( $p = 0,322$  и  $p = 0,254$ ), что свидетельствует о сопоставимой частоте данных изменений вне зависимости от исхода заболевания.

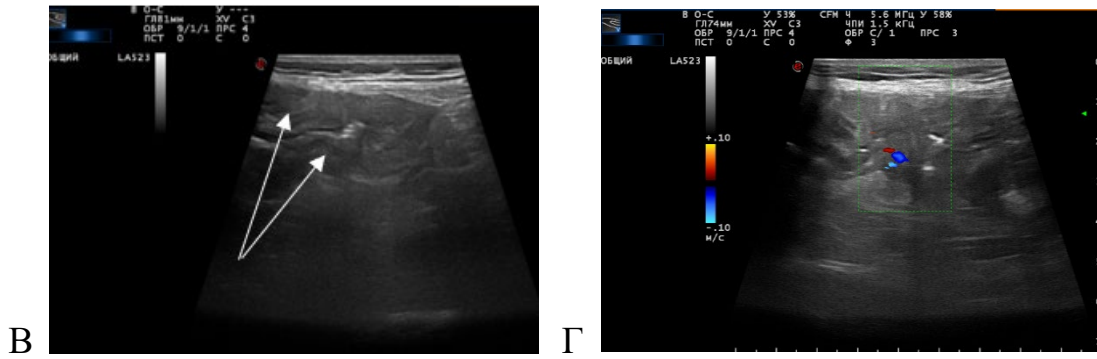


А–признаки увеличения селезенки; Б– признаки липоматоза поджелудочной железы

### Рисунок 34 – Эхограммы пациентов с COVID-19

В обеих группах наблюдали несколько случаев с УЗ признаками поражения кишечника, так у одного пациента с летальным исходом (I группа) на 3-и сутки от момента госпитализации были выявлены эхопризнаки ишемических изменений: расширение кишки, утолщение стенки с нарушением дифференцировки слоев и включениями пузырьков воздуха в структуре стенки (рисунок 35 А). У трех пациентов выписанных из стационара (II группа) определяли признаки расширения ободочной кишки более 3,0 см и наличие жидкостного содержимого в просвете (рисунок 35 Б), у четверых пациентов из II группы были выявлены эхопризнаки, соответствующие воспалительным изменениям ободочной кишки (рисунок 35 В, Г).





А – признаки ишемических изменений кишки (пузырьки воздуха в стенке и нарушение дифференцировки слоев) – обозначены стрелками; Б– признаки расширения ободочной кишки (диаметр 44 мм); В–воспалительные изменения ободочной кишки (стенка отечна, утолщена до 6-7 мм) – указана стрелками; Г– кровоток в стенке кишки

Рисунок 35 – Эхограммы пациентов с COVID-19

Таким образом, анализ данных УЗИ органов брюшной полости демонстрирует, что у пациентов с коронавирусной инфекцией в обеих группах были выявлены признаки жирового гепатоза, липоматоза поджелудочной железы и увеличения селезенки без статистически значимых изменений между группами, но у пациентов с тяжелым течением заболевания оценка гемодинамических показателей печени может дать важную информацию для прогнозирования неблагоприятного исхода течения заболевания.

В обеих группах пациентам проводили УЗИ почек, межгрупповые различия представлены в таблице 12.

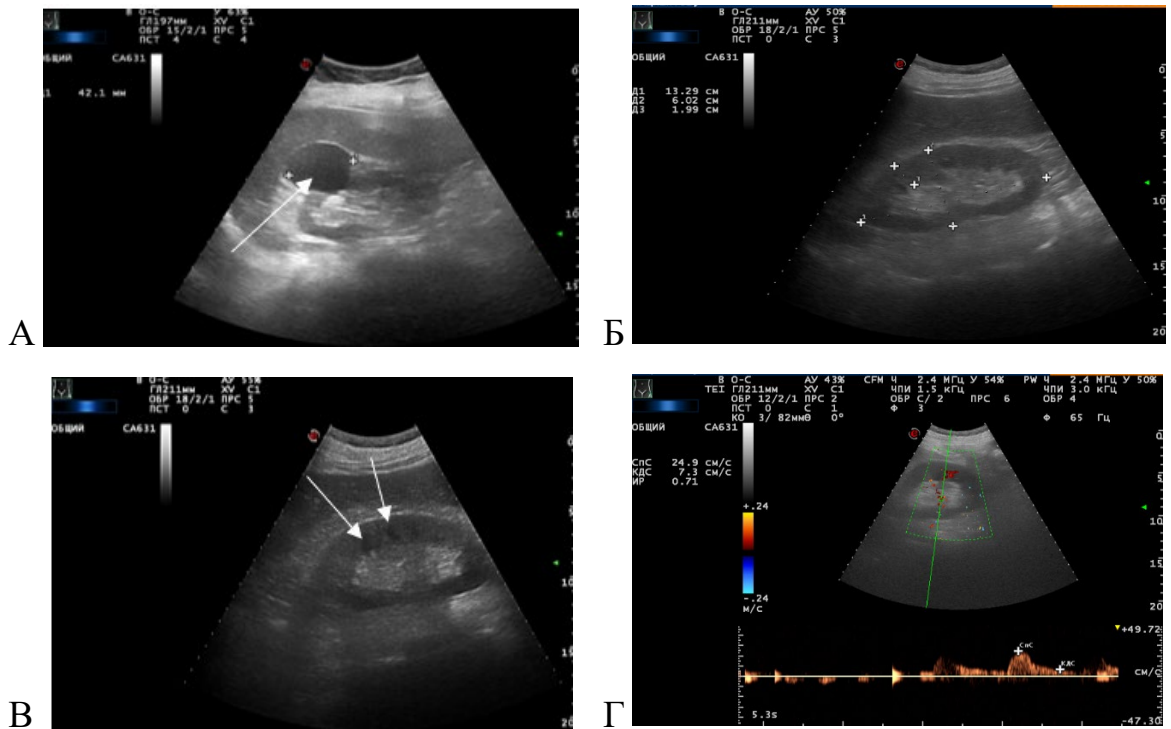
Таблица 12 – Основные ультразвуковые изменения почек у пациентов в исследуемых группах

Показатель	I группа (n = 35)	II группа (n = 70)	p-value
«Токсические» изменения почек	13 (37,1 %)	1 (1,4 %)	<b>&lt; 0,001*</b>
Структурные изменения почек	13 (37,1 %)	20 (28,6%)	0,372
Нарушение гемодинамики почек	21 (60,0 %)	14 (20,0%)	<b>0,001*</b>

Анализ данных демонстрирует, что структурные изменения почек (рисунок 36А) (паренхиматозные и внутрисинусовые кисты, диффузные изменения паренхимы) наблюдали у сопоставимого числа пациентов в обеих группах (37,1% в I группе и 28,6% во II группе), однако различия между группами статистически незначимы ( $p = 0,372$ ), что указывает на отсутствие связи между неблагоприятным исходом и структурными изменениями почек у пациентов с коронавирусной инфекцией при поступлении в ОРИТ.

Однако, УЗ картину, соответствующую «токсическим» изменениям почек – увеличение длины более 120 мм, утолщение паренхимы от 20 до 26 мм, изменение ее эхогенности до повышенной с симптомом выделяющихся гипоэхогенных пирамидок (рисунок 36 Б, В, Г), значительно чаще наблюдали у пациентов I группы (37,1%) по сравнению с пациентами II группы (1,4 %), что подтверждается статистически значимыми различиями ( $p < 0,001$ ). Повышение ИР также встречали значительно чаще у пациентов I группы (60,0%) по сравнению со II группой (20,0 %), при этом различия являлись статистически значимыми ( $p < 0,001$ ).

По данным дуплексного сканирования сосудов почек, у 21 пациента I группы отмечали признаки нарушения гемодинамики – наблюдали снижение ЛСК в среднем до 20-26 см/сек на сегментарной артерии при нормативных значениях 29-35 см/сек, ИР был повышен и варьировал от 0,72 до 0,84. У 14 пациентов из II группы также были выявлены признаки нарушения гемодинамики почек за счет повышения ИР, который варьировал 0,68-0,74, при этом ЛСК соответствовала нормативным значениям. У одной из пациенток с благоприятным исходом госпитализации была выполнена трансплантация почки за 28 дней до поступления в ОРИТ инфекционного корпуса, по данным доплерографии трансплантата на сегментарной артерии ЛСК составила 45 см/сек, ИР 0,73-0,75; на дуговой артерии ЛСК была 20-27 см/сек, ИР 0,6-0,63. В представленном наблюдении повышение ИР свидетельствовало о дисфункции трансплантата.

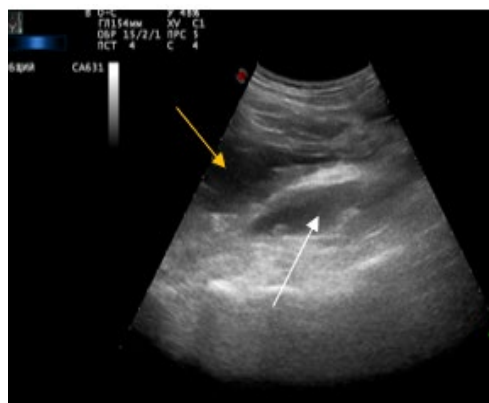


А– признаки кисты почки обозначена стрелкой; Б– увеличение размеров почки (133 мм x 60 мм x 20 мм); В– «токсические» изменения почек (лоцируются гипоэхогенные пирамидки)- указаны стрелками; Г– доплерограмма сегментарной артерии почки: ЛСК=24,9 см/с, ИР 0,71 (нарушение гемодинамики)

Рисунок 36 –Эхограммы пациентов с COVID-19

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о том, что «токсические» изменения почек и повышение ИР могут быть ассоциированы с неблагоприятным исходом заболевания, в то время как изменения структуры почек характерны для обеих групп без значительных различий и не могут влиять на исход заболевания.

У двух пациентов из исследуемой выборки были выявлены эхопризнаки забрюшинной гематомы (рисунок 37), один из выявленных случаев был в I группе (2,9 %) и один во II группе (1,4 %), что демонстрирует отсутствие связи между наличием гематомы и неблагоприятным исходом заболевания.



Желтой стрелкой обозначена забрюшинная гематома, белой стрелкой гематома подвздошнопоясничной мышцы

Рисунок 37 – Эхограмма гематом у пациента К., 69 лет с коронавирусной инфекцией

Сопоставление данных трансторакальной ЭхоКГ между «умершими» и «выжившими» пациентами выявило ряд статистически значимых показателей, влияющих на неблагоприятный исход течения заболевания (таблица 13).

Таблица 13 – Показатели данных эхокардиографии у пациентов двух групп

Показатель	I группа (n = 35)	II группа (n = 70)	p-value
Гидроперикард	5 (14,3%)	3 (4,3%)	0,069
Глобальная сократимость (снижение ФВ ЛЖ)	8 (22,9 %)	5 (7,1%)	<b>0,021*</b>
Локальная сократимость (гипокинезы сегментов ЛЖ)	6 (17,2 %)	4 (5,8 %)	0,060
Повышение СДЛА	29 (82,9 %)	31 (44,3%)	<b>&lt;0,001*</b>
Гипертрофия миокарда ЛЖ	17 (48,6%)	36 (51,4 %)	0,890
Дилатация левых отделов	4 (11,4 %)	5 (7,1 %)	0,460
Дилатация правых отделов	15 (42,9 %)	5 (7,1 %)	<b>&lt;0,001*</b>
Атеросклероз аорты	15 (42,9 %)	18 (25,7 %)	0,074
Вегетации на клапанах	0 (0%)	0 (0%)	>0,999
Тромбы в полостях сердца	0 (0%)	1 (1,4 %)	0,477

Так, сниженная ФВ ЛЖ была определена у 22,9 % пациентов I группы и у 7,1 % пациентов II группы, при этом различия между группами являются статистически значимыми ( $p = 0,021$ ), что может свидетельствовать о развитии острого миокардита или острого коронарного синдрома. Эхопризнаки нарушения локальной сократимости (гипокинез сегментов ЛЖ) также чаще были выявлены у пациентов I группы (17,2 %) по сравнению со II группой (5,8 %), но различия остаются статистически незначимыми ( $p = 0,060$ ).

Характерными ЭхоКГ признаками тяжелого течения новой коронавирусной инфекции были: увеличение размеров правого желудочка (диаметр более 40 мм), увеличение размеров ПП (объем более 60 мл), повышение СДЛА более 30 мм рт.ст., дилатации НПВ (диаметр более 2,1 см и её коллабирование менее 50%). Повышение СДЛА наблюдали у большинства пациентов I группы (82,9%) по сравнению со II группой (44,3%), что подтверждалось статистически значимыми различиями ( $p < 0,001$ ). Дилатацию правых отделов сердца значительно чаще наблюдали у пациентов I группы (42,9%) по сравнению с II группой (7,1%), что подтверждается статистически значимыми различиями ( $p < 0,001$ ). Показатели СДЛА и дилатация правых камер сердца указывали на вовлечение в инфекционный процесс большого объема легочной паренхимы и развитие правожелудочковой недостаточности, прогрессирование которой может привести к летальному исходу.

Гипертрофия миокарда левого желудочка наблюдалась с сопоставимой частотой в обеих группах (48,6% и 51,4%, соответственно), различия не являлись статистически значимыми ( $p = 0,890$ ), что объясняется гипертонической болезнью у 59 пациентов, участвующих в нашем исследовании. Толщина задней стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки варьировала от 11 до 14 мм у 49 пациентов, и 15-20 мм у 5 пациентов.

Гидроперикард чаще наблюдали у пациентов I группы (14,3%) по сравнению со II группой (4,3%), однако различия не достигают статистической значимости ( $p = 0,069$ ).

В то же время дилатация левых отделов сердца, атеросклероз аорты и тромбы в полостях сердца были выявлены в небольшом числе случаев, а различия между

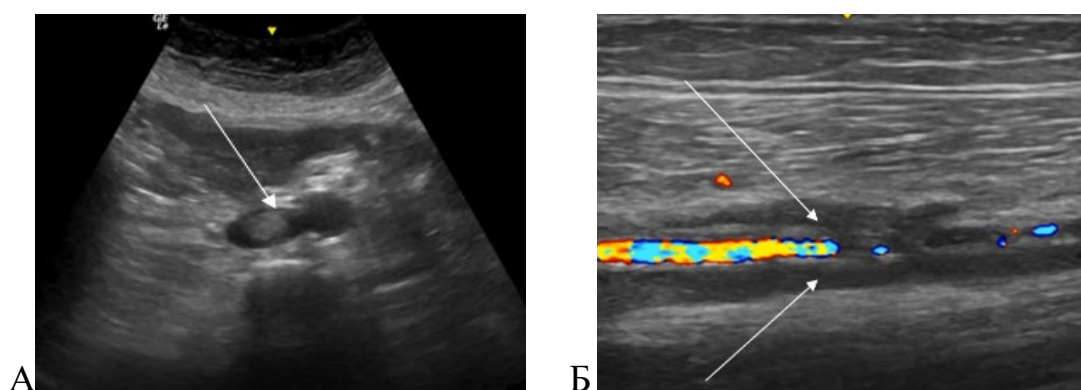
группами статистически незначимы ( $p > 0,05$ ). Вегетации отсутствовали у всех пациентов обеих групп.

У «умерших» пациентов с тяжелым течением коронавирусной инфекции на основании данных ЭхоКГ наблюдали статистически значимо более низкую ФВ ЛЖ у 8 (22,9 %) больных ( $p = 0,021$ ), а также статистически значимо более высокое СДЛА у 29 (82,9%) пациентов ( $p < 0,001$ ) и дилатацию правых отделов сердца у 15 (42,9 %) больных ( $p < 0,001$ ).

Поскольку коронавирусная инфекция может быть причиной развития тромботических осложнений, всем пациентам мы проводили УЗИ вен нижних конечностей. У 15 (14,6 %) больных из обеих групп на момент поступления в стационар были выявлены тромбозы, в 9 (60,0%) случаях тромбоз наблюдали у пациентов из I группы. У троих (18,9%) пациентов по данным УЗИ определяли флотацию тромба.

По уровню тромбоза пациенты были распределены следующим образом:

- Тромбоз нижней полой вены – 1 (2,8%) (рисунок 38 А);
- Тромбоз подколенной вены и вен голени – 8 (53,7%) (рисунок 38 Б);
- Тромбоз бедренной вены – 4 (28,2%);
- Илиофemorальный тромбоз – 2 (15,3%).



А - в просвете НПВ тромб средней эхогенности (обозначен стрелкой); Б – окклюзионный тромбоз вен голени (обозначен стрелками)

Рисунок 38 – Эхограммы пациентов с COVID-19

Таким образом, чем тяжелее протекало заболевание, тем чаще были выявлены тромбозы магистральных вен. У пациентов с коронавирусной инфекцией контрольное дуплексное сканирование проводили каждые три дня, а при выявлении флотирующих тромбов ежедневно.

Для иллюстрации применения комплексной ультразвуковой диагностики у пациентов с коронавирусной инфекцией в ОРИТ приводим наблюдение из практики.

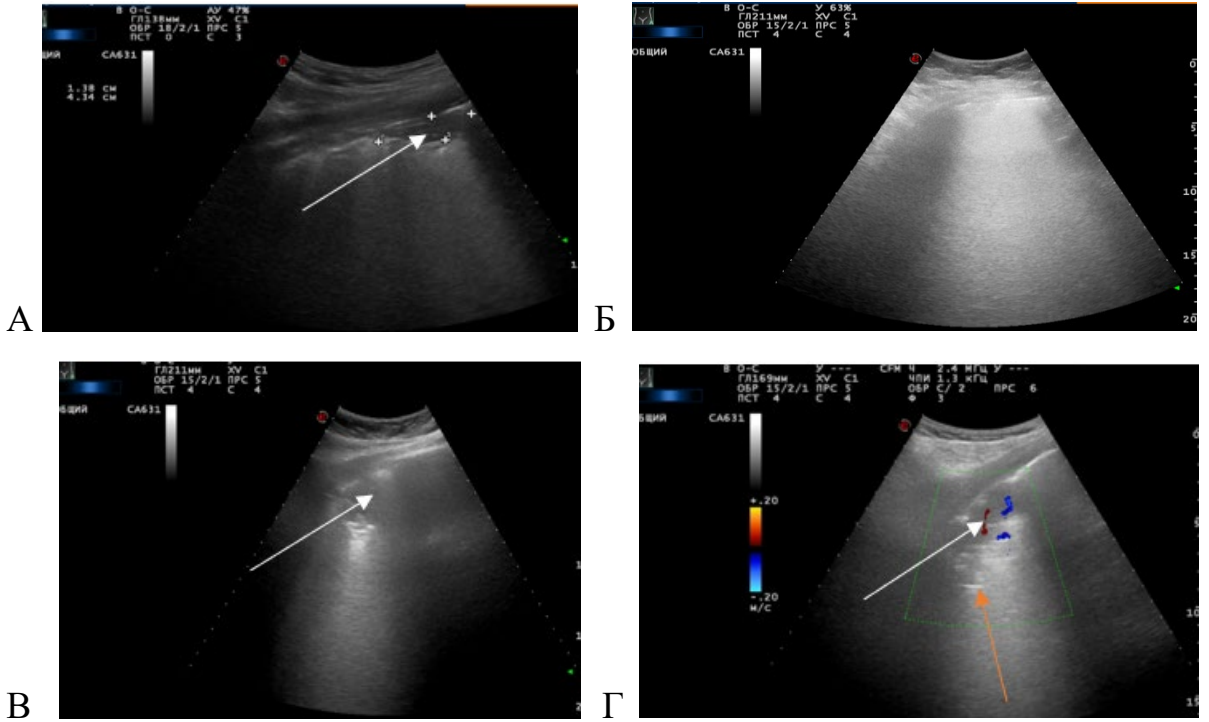
### **Клинический пример 2**

*Пациент К.*, пол – мужской, возраст – 55 лет, был переведен в ОРИТ инфекционного корпуса НИИ СП им. Н.В. Склифосовского из другого стационара. ПЦР – положительный. В анамнезе гипертоническая болезнь. *Статус при поступлении:* состояние тяжелое. ИВЛ. FiO<sub>2</sub>– 60 %; SPO<sub>2</sub>– 88 %; ЧДД 18 в 1/мин. Гемодинамика стабильная.

*Шкала NEWS 2 – 1 балл, q SOFA– 0 баллов.*

*Лабораторные показатели:* ЛДГ 313,2 Ед/л; Д-димер 1,4 мкг/л; фибриноген 5,6 г/л; тромбоциты 209 x 10<sup>9</sup>/л ; прокальцитонин 1,87 нг/мл; ферритин 478,2 мкг/л; СРБ 93,7 мг/л; АЛТ 35,4 Ед/л; АСТ 31,8 Ед/л; мочевины 11,4 ммоль/л; креатинин 201,5 ммоль/л.

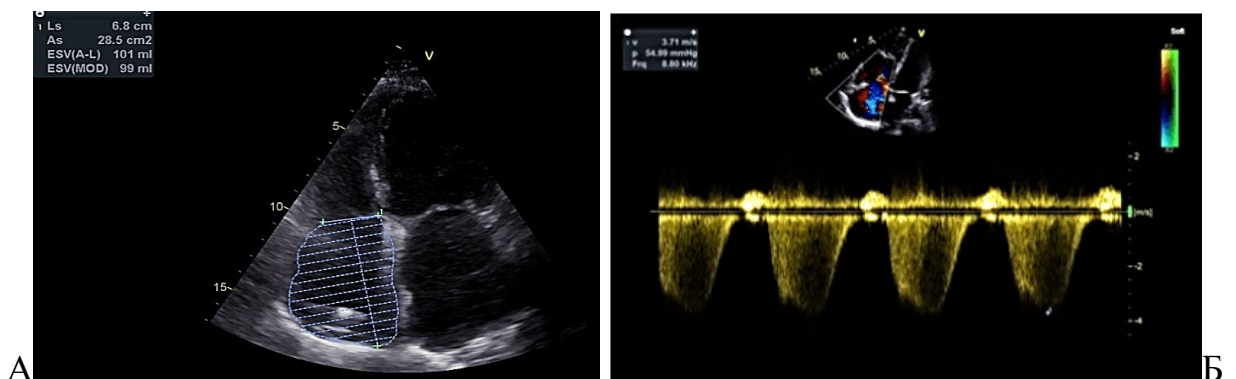
*УЗИ легких при поступлении.* Исследование проводили в положении пациента лежа на спине по 10 зонам сканирования. Выявлены эхопризнаки снижения воздушности легких (выраженные интерстициальные изменения) с участками инфильтрации в нижних отделах с обеих сторон, больше слева – ультразвуковая градация 2+ справа (рисунок 39 А, Б), ультразвуковая градация 3 слева (рисунок 39 В, Г). *КТ-признаки* инфильтративно-воспалительных изменений критической степени тяжести (КТ-4) с обеих сторон, преимущественно в задних сегментах определяются консолидации легочной паренхимы с ретикулярными изменениями на фоне визуализации по типу «матового стекла» с сохранением просветов бронхов. Процент вовлечения легочной паренхимы: правого легкого – до 80 %, левого – до 85 %.



А – субплеврально определяется консолидация на фоне выраженных интерстициальных изменений (обозначена стрелкой); Б – «белое легкое»; В– обширная (сегментарная) консолидация; Г– воздушная бронхограмма и сосуды (стрелки) в консолидированной легочной ткани

Рисунок 39– Эхограммы легких пациента К., 55 лет

По данным ЭхоКГ ФВ 45% (Simpson), СДЛА 54 мм рт.ст. (умеренная легочная гипертензия), дилатация правого предсердия (объем 64 мл)– рисунок 40 А, Б.

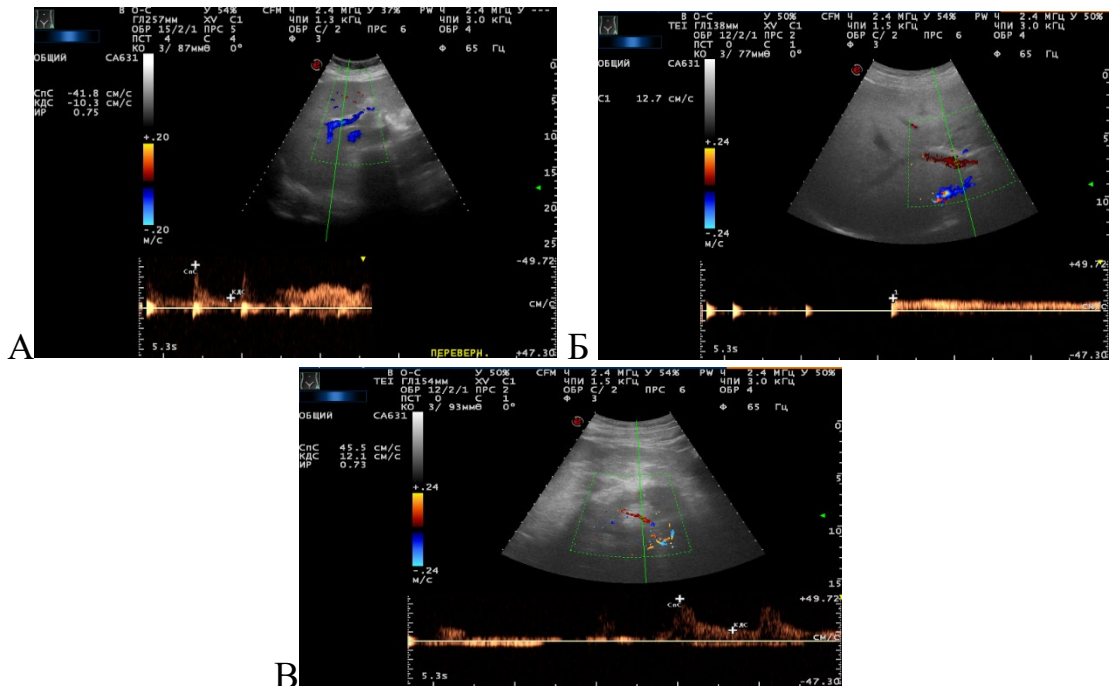


А – дилатация правого предсердия; Б – градиент регургитации на трикуспидальном клапане 54 мм рт.ст.

Рисунок 40 – Эхокардиография пациента К., 55 лет

С целью раннего выявления ультразвуковых признаков, сопровождающих СПОН пациенту выполнили УЗИ органов брюшной полости и почек.

При УЗИ брюшной полости были определены эхопризнаки нарушения гемодинамики печени: ИР в СПА 0,75; ЛСК ВВ 14,6 см/сек (рисунок 41 А, Б); «токсические» изменения почек ИР 0,71-0,73 (рисунок 41 В).



А– на доплерограмме в сосудах печени регистрируется кровоток: ЛСК в собственной печеночной артерии 41,8 см/сек, ИР 0,75; ЛСК в ВВ 12,7 см/сек. Б– сегментарная артерия почки (ЛСК 41,5 см/сек, ИР 0,71)

Рисунок 41 – Эхограммы пациента К., 55 лет

Исход госпитализации – летальный.

Таким образом, в представленном клиническом наблюдении продемонстрировано применение метода комплексного ультразвукового обследования пациента с COVID-19 в ОРИТ, которое, в совокупности с другими методами лабораторной и инструментальной диагностики, может быть полезным инструментом для принятия решения о дальнейшей клинической тактике у пациентов с тяжелым течением вирусной инфекции.

## 5.4 Сравнительный анализ лабораторных показателей пациентов с COVID-19 в исследуемых группах

По данным нашей работы представлены значения лабораторных показателей у пациентов с COVID-19 в двух группах (таблица 14).

Таблица 14 – Сопоставление лабораторных показателей у пациентов двух групп

Показатель	I группа (n = 35)	II группа (n = 70)	p-value
Тромбоциты, 10 <sup>9</sup> /л	195 [118; 223]	224 [170; 295]	<b>0,005*</b>
АСТ, Ед/л	56,9 [35,5; 150]	46,5 [24,2; 65,2]	<b>0,017*</b>
АЛТ, Ед/л	62,9 [24,3; 119]	44,8 [22,7; 96,2]	0,390
Билирубин общий, мкмоль/л	20,8 [12,0; 28,8]	9,89 [7,58; 13,8]	<b>&lt;0,001*</b>
Билирубин прямой, мкмоль/л	4,22 [2,53; 9,51]	1,77 [1,54; 2,3]	<b>&lt;0,001*</b>
Креатинин, ммоль/л	125 [76,0; 203]	84,8 [72,6; 101]	<b>0,002*</b>
Мочевина, ммоль/л	15,7 [7,64; 22,0]	5,67 [3,75; 7,82]	<b>&lt;0,001*</b>
Прокальцитонин, нг/мл	1,87 [1,43; 3,70]	0,110 [0,07; 0,2]	<b>&lt;0,001*</b>
Ферритин, мкг/л	345 [278; 766]	270 [76; 386]	<b>0,004*</b>
Фибриноген, г/л	4,56 [2,90; 5,93]	4,04 [2,78; 5,44]	0,457
Лимфоциты, %	8,7 [4,8; 10,8]	19,4 [10,8; 25,3]	<b>&lt;0,001*</b>
С-реактивный белок, мг/л	103 [32,1; 169]	67,5 [20,3; 121]	0,097
ЛДГ, Ед/л	527 [450; 783]	292 [241; 372]	<b>&lt;0,001*</b>
Д- димер, нг/мл	1,92 [1,51; 3,50]	0,585 [0,320; 1,61]	<b>&lt;0,001*</b>

Анализ лабораторных данных пациентов, стратифицированных в соответствии с исходом госпитализации позволил выявить ряд достоверных различий.

В клиническом анализе крови у пациентов с COVID-19 выявляют отличительные от других вирусных инфекций изменения ряда показателей, в нашем исследовании лимфоциты были значительно ниже у пациентов I группы (медиана: 8,70 [4,75; 10,8]) по сравнению со II группой (19,4 [10,8; 25,3]), различия статистически значимы ( $p < 0,001$ ), что может являться фактором риска развития неблагоприятного исхода заболевания. Определение количества тромбоцитов являлся еще одним показателем, который мы анализировали. Так, в I группе (195 [118; 223]) по сравнению со II группой (224 [170; 295]), различия значимы ( $p = 0,005$ ).

Биохимические показатели сыворотки крови у больных с COVID-19 зависели от тяжести состояния пациентов, а также выраженности ПОН. Сравнение биохимического анализа между группами демонстрировало следующее, уровень АСТ был выше в I группе (56,9 [35,5; 150]) по сравнению со II группой (46,5 [24,2; 65,2]), различия значимы ( $p = 0,017$ ), в то время как уровень АЛТ между группами не отличался статистически значимо ( $p = 0,390$ ). Общий билирубин и прямой билирубин значительно выше у пациентов I группы (20,8 [12,0; 28,8] и 4,22 [2,53; 9,51]) по сравнению с II группой (9,89 [7,58; 13,8] и 1,77 [1,54; 2,30]), различия статистически значимы ( $p < 0,001$ ). Уровень креатинина также был выше у пациентов I группы (125 [76,0; 203]) по сравнению с II группой (84,8 [72,6; 101],  $p = 0,002$ ), как и уровень мочевины (15,7 [7,64; 22,0] против 5,67 [3,75; 7,82],  $p < 0,001$ ).

Особое внимание мы обращали на уровень ЛДГ, которая представляет собой фермент, участвующий в превращении лактата в пируват в клетках большинства тканей тела и увеличивающийся после разрушения ткани. Мы сравнили активность ЛДГ у пациентов между группами, у пациентов I группы (527 [450; 783]) по сравнению с пациентами II группы (292 [241; 372]), различия значимы ( $p < 0,001$ ). Таким образом, активность ЛДГ можно рассматривать как маркер тяжести состояния у больных с COVID-19.

Также различия были выявлены в уровнях ферритина (345 [278; 766] в I группе и 270 [76; 386] во II группе,  $p = 0,004$ ) и ЛДГ (527 [450; 783] против 292 [241;

372],  $p < 0,001$ ). Гиперферритинемия связана с множеством заболеваний и ухудшает прогноз у пациентов в критическом состоянии. Ферритин является ключевым медиатором иммунной дисрегуляции, и способствует развитию «цитокинового шторма», а как известно летальные исходы от COVID-19 сопровождались синдромом «цитокинового шторма».

Анализ уровня прокальцитонина продемонстрировал, что у пациентов I группы (1,87 [1,43; 3,70]) он значительно выше по сравнению со II группой (0,110 [0,07; 0,2]), различия значимы ( $p < 0,001$ ), что можно объяснить присоединением бактериальной инфекции и развитием септического состояния.

У пациентов с инфекцией COVID-19 часто наблюдаются нарушения в системе гемостаза, у многих пациентов с тяжелым течением COVID-19 развивались тромбоемболические осложнения, которые, по-видимому, также были связаны с коагулопатией. Наиболее значимые изменения в показателях системы гемостаза – это высокий уровень D-димера и фибриногена.

Анализ наших данных показал, что D-димер значительно выше в I группе (1,92 [1,51; 3,50]) по сравнению со II группой (0,585 [0,320; 1,61]), различия статистически значимы ( $p < 0,001$ ).

Однако различий в уровнях фибриногена между группами выявлено не было ( $p = 0,457$ ), также, как и в уровнях C-реактивного белка ( $p = 0,097$ ).

Анализируя данные лабораторных показателей, мы выявили статистически значимые различия между группами в зависимости от степени тяжести поражения легочной ткани по данным КТ (таблица 15).

Таблица 15 – Сравнительный анализ лабораторных показателей пациентов с коронавирусной инфекцией при стратификации в соответствии с объемом поражения легочной ткани по данным КТ

Показатель	I группа (n=29)	II группа (n=41)	III группа (n=30)	p-value overall
Тромбоциты, $10^9/л$	202 [153; 302]	202[151; 283]	202[148; 237]	0,811
АСТ, Ед/л	42 [27,4; 54,3]	49,4[28,3;90,1]	57,2[44,3;110]	0,045

Продолжение таблицы 15

АЛТ, Ед/л	35,3[20,3;68,3]	64,1[32,9;96,0]	77,5[33,0;127]	0,067
Билирубин общий, мкмоль/л	10,2[8,14;14,2]	9,94[7,79;13,8]	21,0[12,7;31,3]	<b>&lt;0,001</b>
Билирубин прямой, мкмоль/л	1,93[1,67;2,88]	1,84[1,53;3,00]	2,77[1,68;9,54]	0,083
Креатинин, ммоль/л	83,4[78,4;108]	91,8[74,9;104]	103[76,0;199]	0,294
Мочевина, ммоль/л	5,47[3,95;6,84]	7,32[4,54;10,5]	11,0[6,35;19,6]	<b>&lt;0,001</b>
Прокальцитонин, нг/мл	0,2[0,07;0,25]	0,13[0,09;1,61]	1,43[0,148;3,15]	0,010
Ферритин, мкг/л	120[45,7; 307]	327[238; 478]	399 [284; 720]	<b>&lt;0,001</b>
Фибриноген, г/л	3,93[3,19;4,84]	4,22[2,65;5,45]	4,71[2,72;6,56]	0,649
Лимфоциты, %	20,5[12,1;25,4]	10,6[8,30;24,6]	9,25[4,53;14,3]	<b>&lt;0,001</b>
С-реактивный белок, мг/л	32,2[9,05;68,5]	81,3[29,1;156]	149[84,1;172]	<b>&lt;0,001</b>
ЛДГ, Ед/л	270 [225; 384]	352 [279; 473]	493 [438;749]	<b>&lt;0,001</b>
Д-димер, нг/мл	0,421[0,25;1,10]	1,59[0,41;2,32]	1,60[0,797;1,93]	0,036

Так, у пациентов III группы лимфоциты (9,25 [4,53; 14,3]) были ниже по сравнению со II группой (10,6 [8,30; 24,6]) и значительно ниже, чем у пациентов I группы (20,5 [12,1; 25,4]), различия статистически значимы ( $p < 0,001$ ). Показатель количества тромбоцитов не имел значимых различий между группами (0,811).

В биохимических показателях по уровню ЛДГ мы отметили значимые различия ( $p < 0,001$ ), в III группе (493 [438; 749]), во II группе (352 [279; 473]), что значительно выше по сравнению с пациентами I группы (270 [225; 384]). Межгрупповое различие в уровне ферритина являлось значимым показателем ( $p < 0,001$ ), между пациентами III группы (399 [284; 720]) и II группы (327 [238; 478]) показатели существенно не отличались, но по сравнению с пациентами I группы (120 [45,7; 307]) были значительно выше, что демонстрирует более тяжелое течение заболевания.

В нашем исследовании выявлено статистически значимое повышение СРБ у пациентов III группы (149 [84,1; 172]), что выше чем у пациентов II группы (81,3 [29,1; 156]) и I группы (32,2 [9,05; 68,5]), данный показатель является маркером воспаления у пациентов с инфекцией.

Анализ уровня прокальцитонина у пациентов III группы (1,43 [0,148; 3,15]) был выше по сравнению с I (0,2 [0,07; 0,25]) и II группами (0,13 [0,09; 1,61]), различия между группами значимы ( $p < 0,010$ ), повышение уровня прокальцитонина у пациентов с КТ-4 можно объяснить присоединением бактериальной инфекции и развитием септического состояния.

При развитии ПОН статистически значимыми ( $p < 0,001$ ) являлись показатели уровня общего билирубина и мочевины. Так, у пациентов III группы уровень мочевины (11,0 [6,35; 19,6]), что выше чем у пациентов во II (7,32 [4,54; 10,5]) и I (5,47 [3,95; 6,84]) группах, а уровень общего билирубина у пациентов III группы (21,0 [12,7; 31,3]) значительно выше чем у пациентов во II (9,94 [7,79; 13,8]) и соответственно I (10,2 [8,14; 14,2]) группах.

Анализ биохимических показателей, таких как АЛТ, АСТ, билирубин прямой и креатинин по нашим данным не дал значимых межгрупповых различий.

В оценке системы гемостаза сопоставляли между группами показатели фибриногена и Д-димера. В III (1,60 [0,797; 1,93]) и II (1,59 [0,41; 2,32]) у пациентов с КТ-3 и КТ-4 уровень выше по сравнению с пациентами I группы (0,421 [0,25; 1,10]), что также являлось значимым ( $p = 0,036$ ). Изменения свидетельствовали о тяжелом течении заболевания и риске развития тромбоэмболических осложнений у пациентов. Однако различий в уровнях фибриногена между группами не выявлено ( $p = 0,649$ ).

## **5.5 Прогнозирование вероятности развития летального исхода у пациентов с COVID-19 на основании комплексной диагностики в течение первых суток госпитализации (многофакторная модель логистической регрессии)**

Одной из ключевых особенностей клинического течения COVID-19 является его способность вызывать мультисистемное поражение различных органов и тканей, что обусловлено специфическими патогенетическими механизмами данной инфекции.

Представленная модель разработана на основании оценки клинического статуса, УЗИ легких и плевральных полостей, а также ультразвуковой оценки гемодинамических показателей печени, эхокардиографической оценки правых камер сердца, концентрации ЛДГ в сыворотке периферической крови, который является маркером повреждения легочной ткани<sup>5</sup>.

На первом этапе исследуемая выборка из 105 пациентов была разделена на две группы, в зависимости от развития летального исхода, в I группу были включены 35 больных «умершие», во II группу пациенты, выписанные из стационара. Следующим этапом была разработана многофакторная модель логистической регрессии, в которой оценивали вероятность развития летального исхода у пациентов с COVID-19.

Для отбора предикторов в многофакторную логистическую регрессионную модель был использован метод пошаговой регрессии с исключением переменных (backward elimination) на основе критерия Вальда. В многофакторную модель вошли такие переменные, как баллы по шкале qSOFA, концентрация ЛДГ, УЗ признаки нарушения гемодинамики печени, диагностированная дилатация правых отделов сердца по данным ЭхоКГ, выявленные по данным УЗИ двусторонний

---

<sup>5</sup> Петриков С. С., Хамидова Л. Т., Рыбалко Н. В., Абучина В. М., Иванников А. А. Патент 2829257<sup>13</sup> С1 Российская Федерация, МПК<sup>51</sup> А61В 5/00 (2006.01) А61В 8/00 (2006.01). Способ прогнозирования исхода заболевания новой коронавирусной инфекцией COVID-19: № 2024115903; заявлено 10.06.2024; опубликовано 30.10.2024. 11 с.

гидроторакс и полисегментарные В -линии, сливающиеся с обеих сторон – «белое легкое».

Наблюдаемая зависимость описывается уравнением (1):

$$p = 1 / (1 + e^{-z}) \times 100\%$$

$$z = -9,235 + 1,33 * X_{qSOFA} + 2,26 * X_{печень} + 3,2 * X_{дилатация} + 1,94 * X_{В-линии} + 2,04 * X_{гидроторакс} + 0,00935 * X_{ЛДГ},$$

где  $p$  – вероятность развития летального исхода

$e$  – константа Эйлера, равная 2,71

$X_{qSOFA}$  – баллы по шкале qSOFA

$X_{печень}$  – УЗ-признаки нарушения гемодинамики печени (0 –нет, 1– да)

$X_{дилатация}$  – ЭхоКГ-признаки дилатации правых отделов сердца (0 –нет, 1– да)

$X_{В-линии}$  – В-линии, сливающиеся с обеих сторон полисегментарно – «белое легкое» (0 – нет, 1 –да)

$X_{гидроторакс}$  – УЗ-признаки двустороннего гидроторакса (0 – нет, 1 – да)

$X_{ЛДГ}$  – концентрация ЛДГ, Ед/л.

Полученная регрессионная модель является статистически значимой ( $p < 0,001$ ), 48% дисперсии вероятности развития летального исхода у пациентов с COVID-19 определяются факторами, включенными в модель 1. Характеристики каждого из факторов представлены в таблице 16 [19].

Таблица 16 –Характеристики связи предикторов модели (1) с вероятностью развития летального исхода

Предикторы	ОШ	95% ДИ	p-value
Баллы по шкале qSOFA	3,79	1,30-11,08	0,015
УЗ признаки нарушения гемодинамики печени	9,61	1,33-69,24	0,025
Признаки дилатации правых камер сердца	24,60	2,54-237,90	0,006
В-линии, сливающиеся с обеих сторон полисегментарно	6,97	1,11-43,89	0,039

Продолжение таблицы 16

УЗ признаки двустороннего гидроторакса	7,70	1,29-45,84	0,025
Концентрация ЛДГ, Ед/л	1,01	1,00-1,102	0,005

Исходя из представленных данных в таблице 16, увеличение баллов по шкале qSOFA на 1 сопровождается увеличением шансов развития летального исхода в 3,79 раза, а увеличение уровня ЛДГ на 1 Ед/л повышает шансы летального исхода в 1,01 раза. При наличии у пациентов с COVID-19 ультразвуковых признаков нарушения гемодинамики печени шансы вероятности летального исхода увеличиваются в 9,61 раза; признаков дилатации правых камер сердца – в 24,6 раза; наличие В-линий, сливающихся с обеих сторон полисегментарно увеличивает шансы развития летального исхода в 6,97 раза, а УЗ признаки двустороннего гидроторакса – в 7,7 раза.

Для оценки качества бинарной классификации разработанной модели был проведен ROC-анализ (Receiver operating characteristic) с вычислением показателя AUC (area under curve, площадь под кривой). Также было определено пороговое значение логистической функции  $p$ , превышение которого прогнозировало высокий риск развития летального исхода. Оптимальное пороговое значение ( $p = 48\%$ ) было определено как точка, обеспечивающая наилучшее отношение чувствительности и специфичности модели, что соответствует критерию Youden's J (максимизация суммы чувствительности и специфичности минус 1).

Чувствительность разработанной модели многофакторной логистической регрессии при заданном пороге классификации составила 88,6%, специфичность – 90,8%, диагностическая эффективность – 90%. Площадь под ROC-кривой – 0,970 (рисунок 42).

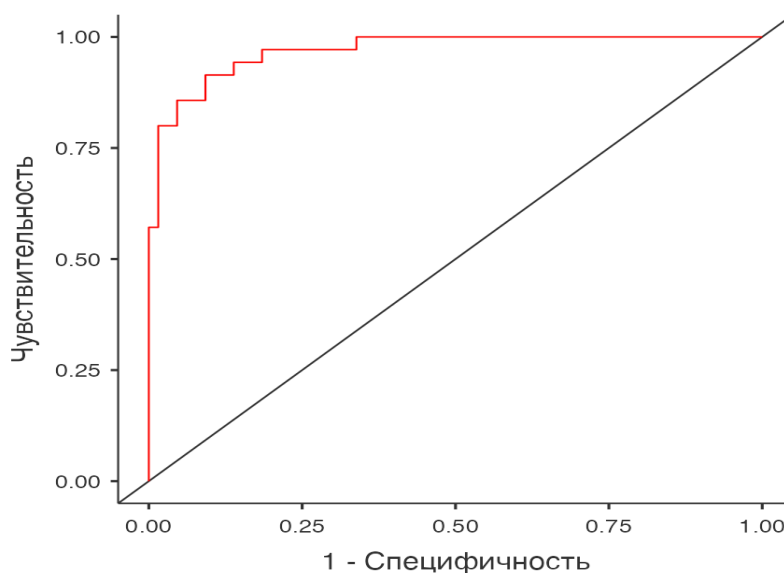


Рисунок 42 – ROC- кривая, характеризующая вероятность развития летального исхода

Применение изобретения продемонстрировано следующими клиническими наблюдениями.

### Клинический пример 3

Пациент Б., 34 лет. Основное заболевание: Коронавирусная инфекция. Осложнения: Двусторонняя внебольничная полисегментарная пневмония.

Измерение всех показателей проводили в первые сутки госпитализации. Количество баллов по шкале qSOFA составило 3 балла, по данным УЗИ легких у пациента определяли двусторонние сливающиеся В-линии, УЗ признаков гидроторакса выявлено не было, по данным УЗИ печени наблюдали нарушение гемодинамики, по данным ЭхоКГ выявили дилатацию правых отделов сердца, концентрация ЛДГ в сыворотке периферической крови составила 809 Ед/л.

При расчете вероятности летального исхода для данного пациента по формуле:  $p = 1 / (1 + e^{-z}) \times 100\%$ , где  $z = -9,235 + 1,33 * 3 + 2,26 * 1 + 3,2 * 1 + 1,94 * 1 + 2,04 * 0 + 0,00935 * 809$ , составила 99,99 %, что соответствовало высокому риску.

При дальнейшем наблюдении прогноз для данного пациента подтвердился. В ходе госпитализации пациент скончался.

### Клинический пример 4

Пациент Г., 47 лет. Основной диагноз: Коронавирусная инфекция, вызванная вирусом COVID-19, вирус идентифицирован (подтвержден лабораторным тестированием независимо от тяжести клинических признаков или симптомов). Осложнения: Двусторонняя полисегментарная вирусная пневмония.

Измерение всех показателей проводилось в первые сутки госпитализации. Количество баллов по шкале qSOFA составило 1 балл, по данным УЗИ легких у пациента определяли «белое легкое» с обеих сторон и также УЗ признаки двустороннего гидроторакса, по данным УЗИ печени нарушения гемодинамики не наблюдали, по данным ЭхоКГ признаков дилатации правых отделов также не выявили, концентрация ЛДГ в сыворотке периферической крови составила 352 Ед/л.

При расчете вероятности летального исхода для данного пациента по формуле:  $p = 1 / (1 + e^{-z}) \times 100\%$ , где  $z = -9,235 + 1,33 * 1 + 2,26 * 0 + 3,2 * 0 + 1,94 * 1 + 2,04 * 1 + 0,00935 * 352$ , составила 34,8 %, соответствующее низкому риску.

За время госпитализации отмечали положительную динамику в состоянии пациента, он был выписан домой на амбулаторное лечение.

Таким образом, разработанная нами модель уже на момент поступления пациента с COVID-19 в стационар с учетом клинико-лабораторных и ультразвуковых данных позволяет прогнозировать исход течения заболевания. Данную модель также можно применять как диагностический инструмент при динамическом контроле за состоянием пациента [19].

### Заключение к главе

Анализ полученных результатов позволил разработать комплексный, доступный и безопасный способ прогнозирования вероятности летального исхода у пациентов с COVID-19. Преимуществом предлагаемой модели является комплексный подход к оценке вероятности летального исхода у пациентов с COVID-19 на основании данных УЗИ, шкалы qSOFA и уровня ЛДГ в крови, что

обеспечивает высокую точность прогноза. Данный способ использует доступные методы ультразвуковой диагностики, позволяя проводить исследование у постели больного без риска радиационного воздействия. Модель учитывает мультисистемное поражение органов, что соответствует патогенезу COVID-19 и обеспечивает высокую предсказательную силу [19].

**АЛГОРИТМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА  
У ПАЦИЕНТОВ С COVID-19, НАХОДЯЩИХСЯ НА ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ  
МЕМБРАННОЙ ОКСИГЕНАЦИИ**

Пациентам в критическом состоянии с признаками дыхательной недостаточности при COVID-19-ассоциированном ОРДС и в отсутствие эффективности проводимой механической вентиляции легких было показано применение метода ВВ-ЭКМО для поддержания системной оксигенации.

**6.1 Клинико-anamнестическая характеристика и стратификация степени тяжести по шкалам у группы пациентов, требующих поддержки методом экстракорпоральной мембранной оксигенации**

Для детального анализа из общей выборки была изучена группа из 19 пациентов, которым было показано подключение к контуру В-В ЭКМО. В исследовании проводили оценку клинико-anamнестических характеристик (таблица 17).

Таблица 17–Клинико-anamнестическая характеристика пациентов группы ЭКМО

Характеристика	Пациенты (n = 19)
Возраст, Ме [Q1; Q3]	49 [43,0; 59,5]
Мужчины, n (%)	17 (89,4 %)
Гипертоническая болезнь, n (%)	11 (57,9 %)
Заболевания легких, n (%)	2 (10,5 %)
Заболевания печени, n (%)	1 (5,3 %)
Заболевания почек, n (%)	2 (10,5 %)

Продолжение таблицы 17

Заболевания щитовидной железы, n (%)	0 (0%)
Ожирение, n (%)	7 (36,8 %)
Сахарный диабет 2-го типа, n (%)	3 (15,8 %)
Заболевания крови, n (%)	0 (0%)

Медианный возраст составил 49 [43,0; 59,5] лет, в группе преобладали мужчины –89,4 %. У пациентов, требующих проведения ЭКМО, медиана баллов по шкале NEWS2 составила 5 [3; 8], по шкале qSOFA 2 [1; 2], что соответствует тяжелому течению заболевания.

Наиболее частой сопутствующей патологией являлась гипертоническая болезнь – 57,9 % (11 пациентов). Ожирение было выявлено у 36,8 % (7 пациентов), сахарный диабет 2-го типа – у 15,8 % (3 больных), заболевания дыхательной системы, почек и печени встречались в 10,5 %, 10,5 % и 5,3 % случаях соответственно. Заболевания крови и щитовидной железы зарегистрированы не были (таблица 17).

Подключение к контуру В-В ЭКМО у 7(36,7 %) пациентов было проведено в 1 сутки госпитализации в ОРИТ, у 4 пациентов (21,1 %) – на 2 сутки, с 3 по 5 сутки у 4 (21,1 %) больных и с 9 по 14 сутки еще у 4 (21,1 %) пациентов, соответственно.

## **6.2 Эхосемиотика у пациентов с коронавирусной инфекцией, требующих проведения экстракорпоральной мембранной оксигенации**

В процессе установки ЭКМО нами были выделены следующие этапы:

- 1 этап – оценка гемодинамического состояния пациента и структурных изменений внутренних органов перед подключением к ЭКМО;
- 2 этап – канюляция;
- 3 этап – мониторинг ЭКМО;
- 4 этап – отлучение от ЭКМО.

Перед подготовкой к ЭКМО пациенту выполняли дуплексное сканирование вен шеи и верхних конечностей, дуплексное сканирование вен нижних

конечностей и нижней полой вены, ЭхоКГ, УЗИ легких, плевральных полостей, органов брюшной полости, почек и забрюшинного пространства. После установки ЭКМО на этапе мониторинга помимо комплекса вышеперечисленных исследований проводили УЗИ мягких тканей, дуплексное сканирование экстра- и интракраниальных отделов БЦА, дуплексное сканирование артерий нижних конечностей. На этапе подготовки к отлучению от ЭКМО выполняли ЭхоКГ и ультразвуковое сканирование артерий/вен верхних/нижних конечностей с целью выявления противопоказаний к манипуляции.

Наиболее характерные УЗ изменения легочной ткани у пациентов, требующих поддержки методом В-В ЭКМО представлены на рисунке 43.



Рисунок 43 – Распределение изменений легочной ткани по данным УЗИ в исследуемой выборке (группа ЭКМО)

Основным клиническим проявлением поражения легких у пациентов данной группы был интерстициальный синдром, УЗ проявлением которого являлось наличие множественных сливающихся В-линий («белое легкое») во всех зонах сканирования. Данный признак был выявлен у 16 (84,2 %) пациентов (рисунок 43). В трех случаях (15,8%) сливающиеся В-линии определялись только в нижних отделах легких. Ультразвуковые признаки, характерные для умеренных интерстициальных изменений у пациентов анализируемой группы выявлены не были.

На фоне интерстициальных изменений у 14 (73,7%) больных по данным УЗИ легких А-линии не лоцировались (рисунок 43). У 3 (15,8 %) пациентов А-линии наблюдали только в верхних отделах и у 2 (10,5 %) пациентов они были выявлены только с одной стороны. Плевральная линия при УЗИ была изменена, у 19 (100 %) пациентов представлялась утолщенной и прерывистой с обеих сторон (рисунок 43).

УЗИ легких позволило выявить консолидации у всех 19 пациентов (100%), которые в зависимости от размера распределились следующим образом: локальные субплевральные консолидации размером до 1,0 см на фоне интерстициальных изменений были у 4 (21,1%) больных с обеих сторон; протяженные консолидации размером более 1,0 см, расположенные вдоль поверхности легкого, на фоне интерстициальных изменений наблюдали у 2 (10,5 %) пациентов. У 10 пациентов (52,6 %) были выявлены обширные консолидации с обеих сторон (рисунок 43), занимающие сегмент или долю легкого. Легочная ткань при ультразвуковом сканировании представлялась пониженной эхогенности («печеночной плотности») в виде участков размерами от 3,0 см x 3,7 см до 10,0 x 12,0 см, в которых визуализировали воздушную бронхограмму и регистрировали кровоток в режиме ЦДК. У 3 (15,8 %) больных наблюдали сочетание различного характера консолидаций, чаще всего обширные лоцировались с одной стороны в виде зон размерами от 3,8 см x 7,4 см до 9,4 см x 13,2 см, а с другой стороны были выраженные интерстициальные изменения с локальными или протяженными консолидациями.

Из 19 пациентов свободная жидкость в плевральных полостях была выявлена у 17, из них двусторонний гидроторакс – у 14 (82,4 %) больных (рисунок 43), односторонний гидроторакс – у 3 (17,6 %). По величине разобщения листков плевры пациенты были распределены следующим образом: у 9 (52,9 %) из них разобщение до 1,2-1,8 см, у 7 (41,2 %) пациентов до 0,6-1,0 см, изменения носили двусторонний характер. У одного пациента отмечали двусторонний гидроторакс со значениями до 2,0 см с одной стороны и 3,4 см с другой.

Сочетание описанных УЗ признаков демонстрируют выраженность и распространенность поражения легочной ткани, что было сопоставимо с тяжелым

течением заболевания.

На рисунке 44 представлены изменения, выявленные при проведении комплексной ультразвуковой диагностики у пациентов, требующих лечения методом В-В ЭКМО.



Рисунок 44 – Распределение выявленных изменений по данным УЗИ в исследуемой выборке (группа ЭКМО)

УЗИ органов брюшной полости позволило выявить у 14 (73,7 %) больных эхопризнаки, характерные для жирового гепатоза (рисунок 44). На этапе мониторинга доплерографический анализ показал нарушения гемодинамики печени у 17 (89,5 %) пациентов (рисунок 44), из них у 14 больных (82,4%) в виде снижения ЛСК в ВВ в среднем до 12-14 см/сек в сочетании с повышением ИР в СПА от 0,72 до 0,82 при этом систолическая скорость кровотока соответствовала нормативным значениям и была от 42 до 56 см/сек. Изменения кровотока только в ВВ у 3 (17,6 %) пациентов со снижением ЛСК до 12-13 см/сек определили у двух пациентов и повышение ЛСК до 29 см/сек в одном случае.

Нарушения гемодинамики печени не было выявлено у 2 больных (10,5%), у них кровоток в ВВ соответствовал нормативным значениям (18-23 см/сек), ЛСК в СПА составила 65-70 см/сек, ИР 0,62-0,64.

Ультразвуковое сканирование у 8 пациентов (42,1%) показало признаки липоматоза (рисунок 44), у этих больных из анамнестических характеристик была выявлена коморбидная патология (ожирение и сахарный диабет 2-го типа).

Для анализируемой группы пациентов было характерно увеличение селезенки, которое определили у 16 (84,2 %) больных по УЗИ (рисунок 44).

«Токсические» изменения почек по данным УЗИ, соответствующие острому повреждению, наблюдали у 13 (68,4 %) пациентов на ЭКМО (рисунок 44), у них также отмечали увеличение размеров почек с симптомом «гипоэхогенных пирамидок» и признаки нарушения гемодинамики. Для этих больных было характерно снижение ЛСК на сегментарных артериях в среднем до 20-25 см/сек, ИР был повышен и варьировал от 0,72 до 0,84. У 4 пациентов были выявлены признаки нарушения гемодинамики почек за счет повышения ИР, который варьировал 0,68-0,76 без структурных изменений самой почки. У 6 пациентов отметили УЗ -признаки увеличение размеров почек до 13,2-13,6 см в длину, у одного из этих пациентов увеличение размеров единственной почки до 13,8 см было расценено как викарное, у этих больных нарушений гемодинамических показателей выявлено не было.

Трансторакальную ЭхоКГ выполняли всем пациентам, требующим поддержки методом В-В ЭКМО. Снижение глобальной сократительной способности ЛЖ было выявлено у 2 (10,5 %) больных (рисунок 44). Фракция выброса ЛЖ, измеренная методом Simpson, составила 45% и 49 % соответственно: у одного из пациентов было выявлено нарушение локальной сократительной способности ЛЖ в виде гипокинеза межжелудочковой перегородки на среднем и базальном уровнях, в другом случае – признаки диффузного гипокинеза.

Тяжелое течение новой коронавирусной инфекции у пациентов сопровождалось развитием легочной гипертензии. Повышение СДЛА наблюдали у 17 (89,5%) пациентов из анализируемой группы (рисунок 44): в четырех случаях

(23,5%) были выявлены эхокардиографические признаки умеренной легочной гипертензии со значениями СДЛА от 56 до 68 мм рт. ст., в 11 случаях (64,7%) – признаки незначительной легочной гипертензии со значениями 31-45 мм рт. ст.; пограничное значение СДЛА равное 30 мм рт. ст. было зарегистрировано у 2 (11,8%) пациентов.

Только у 2 (10,5%) пациентов из анализируемой группы удалось измерить среднее ДЛА, у одного из них отмечали повышение среднего ДЛА до 25 мм рт. ст., у него же СДЛА составляло 58 мм рт. ст.

Дилатация правых камер сердца была выявлена у 6 (31,6 %) пациентов. Умеренная гипертрофия миокарда левого желудочка отмечалась у 6 (31,6 %) пациентов с гипертонической болезнью в анамнезе (рисунок 44), толщина стенок ЛЖ составляла 12-14 мм. Атеросклеротические изменения аорты и аортального клапана наблюдали у 4 (21,1 %) больных. Гидроперикард был выявлен у одного пациента 62 лет в виде разобщения листков перикарда до 6-7 мм за счет анэхогенного содержимого в области верхушки и по задней стенке ЛЖ, у этого пациента ФВ соответствовала нормативным значениям, СДЛА было 58 мм рт. ст., по объему поражения легочной ткани пациент относился к КТ-4.

Дилатация левых отделов сердца была выявлена у одного пациента 68 лет с наличием хронической сердечной недостаточности в анамнезе, у этого же больного отмечали дилатацию правых камер сердца.

Пациентам, которым требовалось лечение с применением метода В-В ЭКМО на каждом этапе выполняли УЗИ вен нижних и верхних конечностей, вен шеи для выявления тромбозов. Тромбоз вен нижних конечностей наблюдали у 8 (42,1%) больных (рисунок 44), из них у 6 пациентов на этапе подготовки выявили УЗ-признаки тромбоза вен голени без флотации, на этапе мониторинга у двух пациентов – неокклюзионный тромбоз общей бедренной вены и подколенной вены с признаками флотации и длиной флотирующего фрагмента менее 4,0 см низкой степени подвижности. Ультразвуковое сканирование вен верхних конечностей было выполнено всем пациентам: у 3 больных (15,8%) был выявлен тромбоз, у одного из них подмышечной и подключичной вены без признаков флотации, у двух

других в виде пристеночного тромбоза во внутренней яремной вене (ВЯВ).

Девяти пациентам (47,4 %) выполняли УЗИ артерий верхних и нижних конечностей, данных за наличие окклюзий получено не было, низкоскоростной кровотоков магистрального типа прослеживался на всех уровнях.

Дуплексное сканирование интра- и экстракраниальных отделов БЦА было выполняли двум пациентам (10,5%) на этапе мониторинга, у них зарегистрирован ревербирующий кровоток в сосудах основания головного мозга, по внутренней сонной артерии и позвоночной артерии в виде систолических пиков.

На этом же этапе, учитывая риски развития гематом пациентам выполняли УЗИ мягких тканей, у 6 пациентов (31,6 %) были выявлены гематомы мягких тканей: на шее у одного больного в виде жидкостного скопления размерами 1,4 см x 5,0 см, во втором случае в виде жидкостного скопления в подключичной области размерами 1,6 см x 6,0 см и в третьем случае в виде жидкостного пропитывания мягких тканей шеи линейными жидкостными зонами 0,2-0,3 см. Во всех наблюдениях в режиме ЦДК кровотоков в гематоме не был зарегистрирован.

Гематомы мягких тканей бедра выявили у троих пациентов в виде отграниченных жидкостных скоплений, распространяющихся от паховой складки межмышечно на бедро, максимальные размеры составили 12,0 см x 6,0 см со структурами средней эхогенности (сгустки), в режиме ЦДК кровотоков не регистрировался. У пациентов анализируемой группы ультразвуковых данных за наличие забрюшинных гематом получено не было.

### **6.3 Алгоритм ультразвукового мониторинга у пациентов с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, которым требуется применение В-В экстракорпоральной мембранной оксигенации**

Для реализации метода ЭКМО был необходим мультидисциплинарный подход с привлечением команды специалистов экспертного уровня с опытом работы с тяжелыми пациентами с сердечно-легочной патологией. А именно, анестезиолога-реаниматолога, специалиста по ЭКМО, операционной медицинской

сестры, врача ультразвуковой/функциональной диагностики (рисунок 45).



Рисунок 45 – Схематическое представление команды специалистов для реализации метода ЭКМО

Этапы В-В ЭКМО у пациента при ассоциированной COVID-19 пневмонии:

1 этап – оценка гемодинамического состояния пациента и структурных изменений внутренних органов и перед подключением к В-В ЭКМО

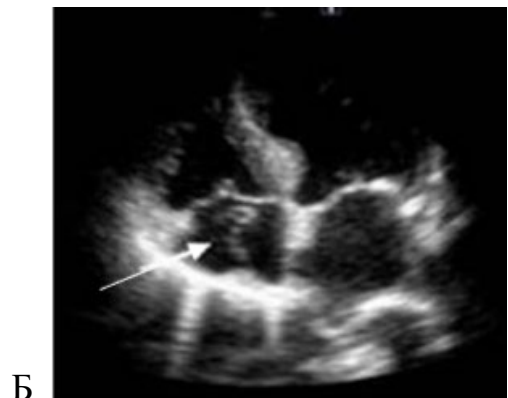
Таблица 18 –Задачи комплексной ультразвуковой диагностики на 1 этапе (подготовка кВ-В ЭКМО)

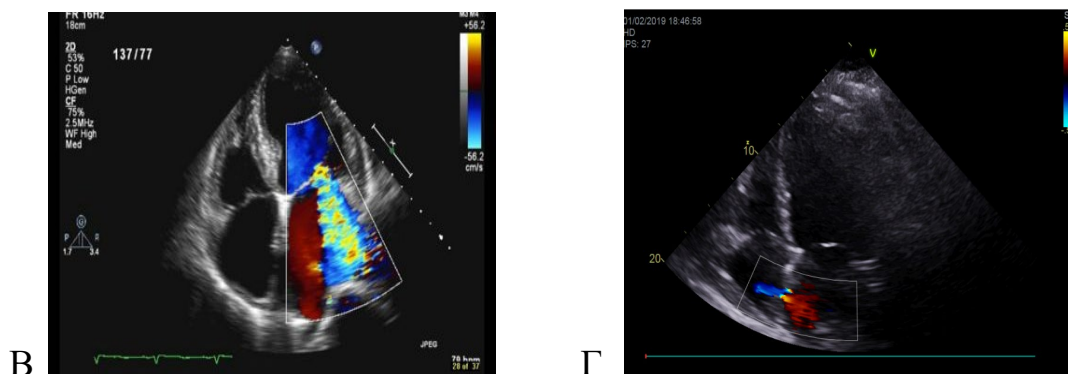
Вид исследования	Задачи УЗИ
Трансторакальная ЭхоКГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявить возможные причины кардиогенного шока (тампонада сердца, значительное снижение сократительной способности миокарда ЛЖ, гиповолемия)</li> <li>• Определить возможные противопоказания для проведения ЭКМО (тяжелая клапанная патология, внутрисердечные тромбы, острая аортальная диссекция, гемодинамически значимый внутрисердечный шунтирующий поток)</li> <li>• Оценить дисфункцию правых камер сердца и степень тяжести легочной гипертензии</li> </ul>

## Продолжение таблицы 18

Дуплексное сканирование вен нижних, верхних конечностей и шеи	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявить возможные противопоказания для проведения ЭКМО (флотирующий тромбоз с высоким уровнем расположения верхушки, тромбоз в месте пункции вены)</li> <li>• Определить анатомические особенности расположения сосудов</li> <li>• Измерить внутренний диаметр вены для подбора соответствующего размера канюли (French Gauge размер канюли = 3 x диаметр сосуда в мм)</li> <li>• Оценить посттромбофлебитические изменения стенок и просвета вены</li> </ul>
Дуплексное сканирование НПВ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценить диаметр НПВ и отсутствие дополнительных экоструктур в просвете</li> </ul>
УЗИ органов брюшной полости/почек	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявить возможные противопоказания для проведения ЭКМО (метастазы, объемные образования, канцероматоз)</li> </ul>

На этапе подготовки всем пациентам в обязательном порядке выполняют трансторакальную ЭхоКГ с формированием развернутого протокола для исключения абсолютных противопоказаний к применению метода ЭКМО: тампонада сердца, тяжелая митральная и аортальная недостаточность, аневризма и расслоение аорты, гемодинамически значимые шунтрирующие потоки, внутрисердечные тромбы (рисунок 46 А, Б, В, Г).





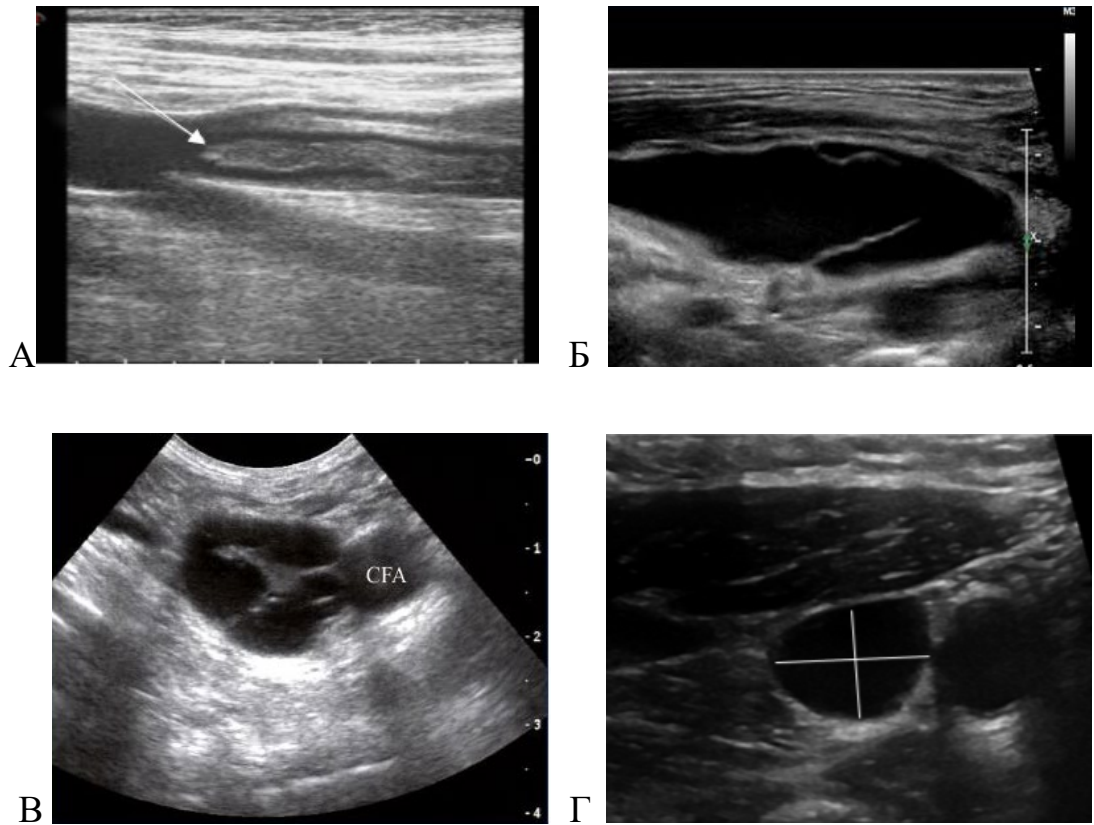
А – гидроперикард; Б – тромб в ПП; В – тяжелая митральная недостаточность;  
Г – внутрисердечный шунтирующий поток.

Рисунок 46 – Эхограммы пациентов с COVID-19

Выявленное значимое снижение сократительной способности ЛЖ (ФВ менее 35%) является показанием для установки В-А ЭКМО. Таким образом, УЗИ сердца выполняло функцию «сортировки» для отбора пациентов, подходящих для лечения методом В-В ЭКМО и стратификации пациентов по тяжести состояния.

Дуплексное сканирование вен нижних и верхних конечностей, вен шеи и НПВ на этапе подготовки к ЭКМО проводили с целью исключения острого флотирующего тромбоза (рисунок 47 А), что являлось абсолютным противопоказанием к канюляции. Важной частью УЗИ вен является описание особенностей их анатомического строения. Атрезия вены, удвоение ствола вены, дилатация просвета, посттромбофлебитические изменения могут привести к значительным техническим трудностям канюляции просвета и увеличить время подготовки пациентка к установке контура ЭКМО (рисунок 47 Б, В).

УЗИ вен позволяет определить их внутренний диаметр для подбора соответствующего размера канюли по формуле: French Gauge размер канюли = 3 x диаметр сосуда в мм) (рисунок 47 Г). Правильный выбор диаметра и длины канюль влияет на адекватность осуществления экстракорпорального кровообращения и самой процедуры ЭКМО, особенно при периферической методике её проведения.



А – тромботические экоструктуры в просвете бедренной вены; Б – ПТФС общей бедренной вены в виде линейных экоструктур в ее просвете; В – расширение подколенной вены; Г – измерение диаметра внутренней яремной вены (ВЯВ)

Рисунок 47 – Эхограммы пациентов с COVID-19

УЗИ органов брюшной полости и почек на этапе подготовки к процедуре ЭКМО выполняли с целью выявления онкологических заболеваний (метастазы, объемные образования), что являлось противопоказанием для применения метода.

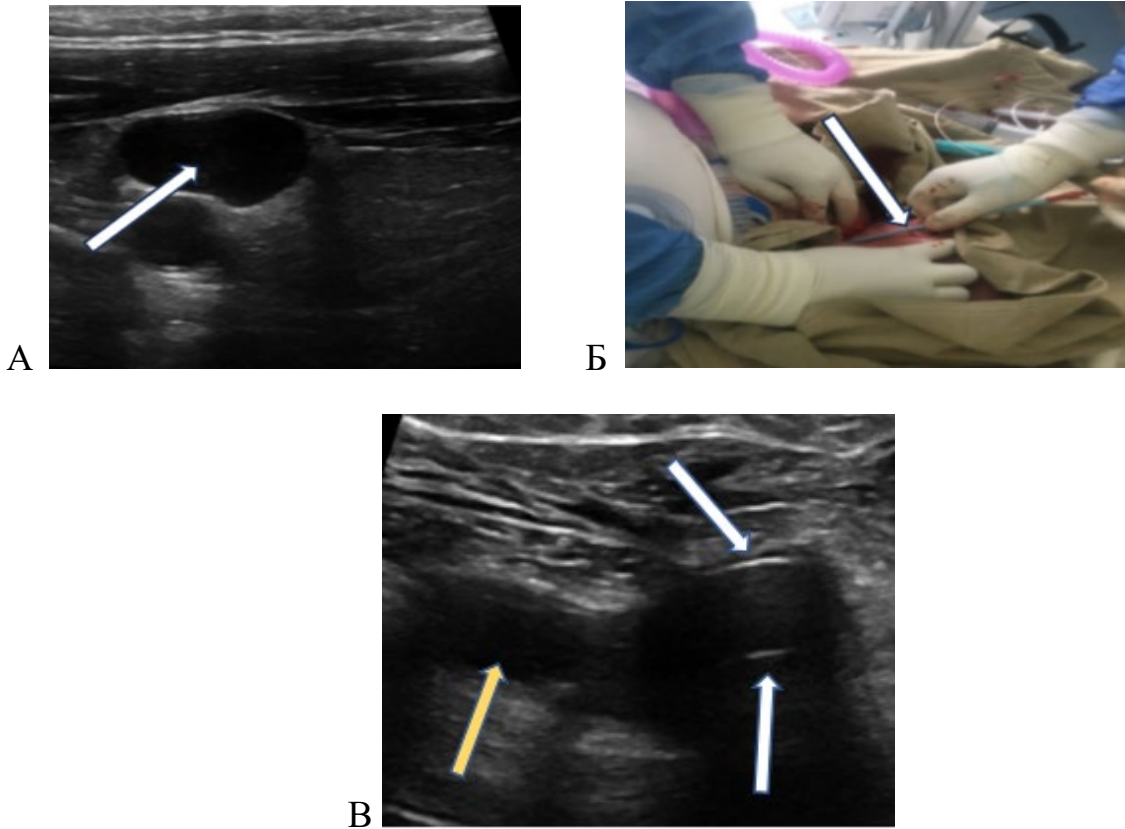
### 2 этап – канюляция

Чрескожное введение канюли проводили по методу Сельдингера с УЗ-сопровождением на всех этапах манипуляции. Этап канюляции предполагал выполнение трех последовательных шагов (рисунок 48).

ШАГ 1: Визуализация сосуда и иглы для пункции (рисунок 48 А);

ШАГ 2: Погружение проводника через иглу для пункции (рисунок 48 Б);

ШАГ 3: Введение канюли после проводника (рисунок 48 В).



А – на эхограмме в В- режиме визуализируется просвет ВЯВ; Б– врач команды ЭКМО выполняет погружение проводника; В – фрагмент гиперэхогенной трубчатой эхоструктуры в просвете общей бедренной вены (канюля), общая бедренная артерия (желтая стрелка)

Рисунок 48 – Последовательные шаги этапа канюляции у пациента с COVID -19

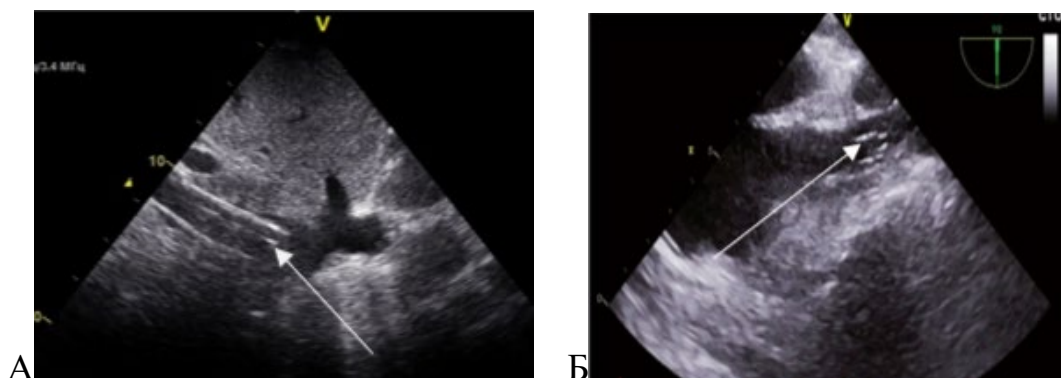
Этап канюляции начинали с первого шага – визуализации просвета интересующего сосуда и оценки степени его компрессии в продольной и поперечной плоскостях сканирования и иглы для пункции. Во время манипуляции канюлю вводили в правую или левую бедренные вены для забора крови из бассейна НПВ и правую или левую яремные вены для возврата крови. Выполняли пункцию просвета с визуализацией фрагмента иглы в проекции сосуда. Завершающим этапом являлся УЗ-контроль положения канюли.

Правильным считали расположение заборной канюли в просвете нижней полой вены, а возвратной канюли в верхней полой вене без проникновения канюль в полость правого предсердия.

Таблица 19 – Задачи ультразвуковой диагностики на 2 этапе (ввод проводника и канюляция сосудов)

Вид исследования	Акустический доступ	Задачи УЗИ
Трансторакальная ЭхоКГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Субкостальная позиция по короткой оси на уровне НПВ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контроль расположения заборной канюли в НПВ</li> <li>• Возможна визуализация возвратной канюли</li> </ul>
Чреспищеводная ЭхоКГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Среднепищеводный доступ бикавальная позиция</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуализация возвратной канюли в ВПВ</li> </ul>
Дуплексное сканирование вен нижних, верхних конечностей и шеи	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Продольная и поперечная плоскость сканирования в проекции сосуда для канюляции</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• УЗ- навигация при проведении пункции и введении канюли (визуализация просвета, измерение внутреннего диаметра сосуда)</li> </ul>

Основной задачей ЭхоКГ на этапе канюляции являлась оценка корректного введения и расположения канюли. Трансторакальная ЭхоКГ позволяла визуализировать заборную канюлю – субкостальный доступ, позиция нижней полой вены (рисунок 49А), а чреспищеводную ЭхоКГ применяли для визуализации возвратной канюли – среднепищеводный доступ, бикавальная позиция (рисунок 49 Б).



А – эхокардиография из субкостальной позиции, визуализируется заборная канюля в НПВ; Б – чреспищеводная эхокардиография из бикавальной позиции, визуализируется возвратная канюля в ВПВ

Рисунок 49 – Эхограммы пациента с новой коронавирусной инфекцией

Врач-интервенционист и врач ультразвуковой/функциональной диагностики должны непосредственно обсуждать результаты УЗИ. Неадекватное расположение магистралей, приводит к их присасыванию к стенке сосудов или камерам сердца. Положение наконечника заборной канюли находится в проксимальном отделе НПВ, непосредственно перед входом в ПП. Врач УЗИ проводил измерение расстояния от проксимального конца канюли в просвете НПВ до места впадения НПВ в ПП. Оптимальное положение для возвратной канюли – середина правого предсердия или верхняя полая вена. Врач УЗИ проводил измерение расстояния от проксимального конца канюли в просвете ВПВ до места впадения верхней полой вены в ПП.

### 3 этап – мониторинг ЭКМО

На этапе мониторинга за пациентом после установки ЭКМО особое внимание уделяли выполнению комплексной ультразвуковой диагностики.

Таблица 20 – Задачи ультразвуковой диагностики на этапе мониторинга ЭКМО

Вид исследования	Задачи УЗИ
Трансторакальная ЭхоКГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценить систолическую функцию ЛЖ (КДО ЛЖ, КСО ЛЖ, ФВ ЛЖ, УО ЛЖ)</li> <li>• Оценить волемический статус (диаметр НПВ, КДО ЛЖ, КДО ПЖ)</li> <li>• Оценить правые камеры сердца и давление в легочной артерии (СДЛА, среднее ДЛА)</li> <li>• Оценка позиции канюли</li> </ul>
Дуплексное сканирование вен нижних, верхних конечностей и шеи	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Исключить тромбоз</li> <li>• Выявить тромботические наложения на канюлях</li> </ul>
Дуплексное сканирование артерий верхних/нижних конечностей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявить острый артериальный тромбоз</li> <li>• Определить характер кровотока на всем протяжении</li> </ul>
Дуплексное сканирование БЦА и ТКДГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Исключить тромбоз брахиоцефальных артерий</li> <li>• Оценить характер кровотока на экстракраниальном и интракраниальном уровнях</li> </ul>
УЗИ легких и плевральных полостей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценить структуру легочной ткани (интерстициальные и инфильтративные изменения)</li> <li>• Определить наличие и характер свободной жидкости в плевральной полости</li> </ul>
УЗИ органов брюшной полости	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявить ультразвуковые признаки структурных изменений органов брюшной полости</li> <li>• Определить наличие свободной жидкости в брюшной полости</li> <li>• Оценить гемодинамические показатели портального кровотока и кровотока в СПА (признаки нарушения гемодинамики на фоне ПОН)</li> </ul>

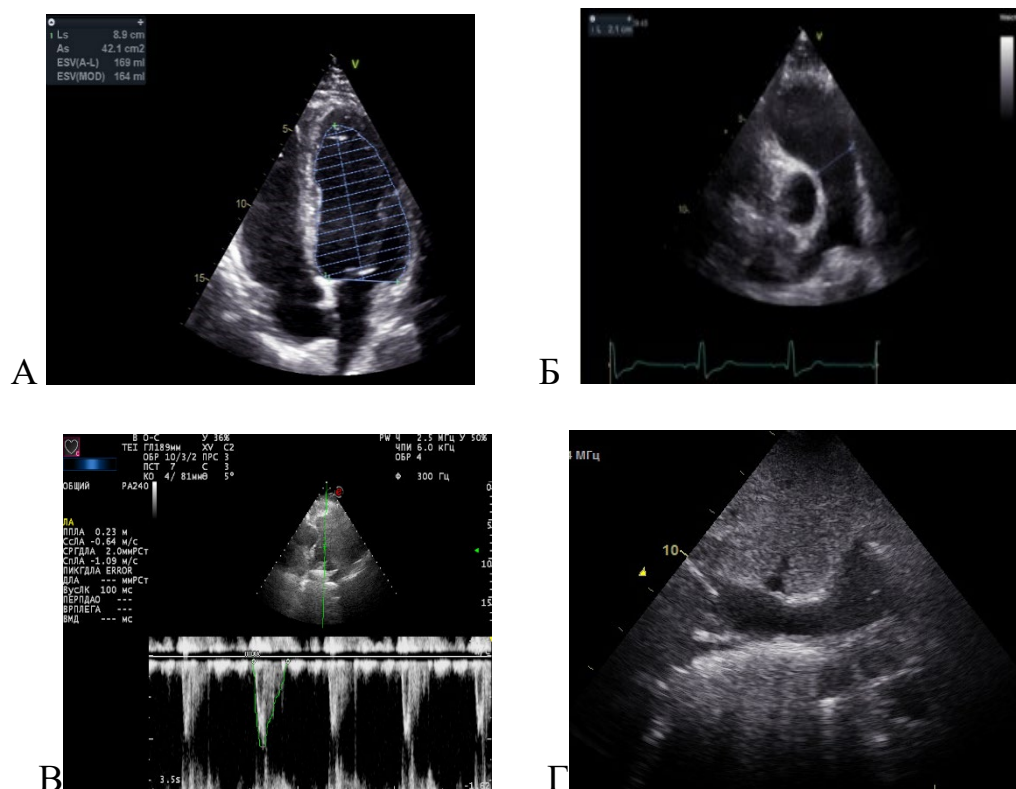
## Продолжение таблицы 20

УЗИ почек	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявить патологические изменения (увеличение размеров, изменение структуры, объемные образования)</li> <li>• Оценить гемодинамические показатели кровотока сегментарных почечных артерий (признаки нарушения гемодинамики на фоне ПОН)</li> </ul>
УЗИ забрюшинного пространства	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявить дополнительные скопления в забрюшинном пространстве (забрюшинные гематомы)</li> <li>• Оценить кровоток в гематоме (признаки экстравазации)</li> </ul>
УЗИ мягких тканей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявить паравазальные гематомы в проекции установленных канюль</li> </ul>

Для оценки систолической функции ЛЖ определяли ФВ ЛЖ, КДО ЛЖ и ударный объем ЛЖ, измерения проводили по методу Simpson (рисунок 50 А). Нарушение ФВ ЛЖ в сочетании с тяжелой митральной недостаточностью может приводить к снижению сердечного выброса и ограничению раскрытия аортального клапана.

На третьем этапе ЭКМО измеряли правые камеры сердца и определяли показатели давления в легочной артерии (СДЛА, среднее ДЛА) для оценки эффективности проведения процедуры. Из апикального доступа выявляли признаки дилатации ПЖ более 40 мм, диаметр выносящего тракта ПЖ проксимальный более 35 мм, дистальный более 27 мм (рисунок 50 Б), увеличение размеров ПП (объем более 60 мл). Было важно провести динамическую оценку показателей СДЛА (незначительная, умеренная, выраженная) и при возможности измерить среднее ДЛА (рисунок 50 В).

На третьем этапе при проведении ЭхоКГ одной из задач являлся контроль за позицией канюль (визуализация НПВ, правого предсердия и верхней полой вены) (рисунок 50 Г).

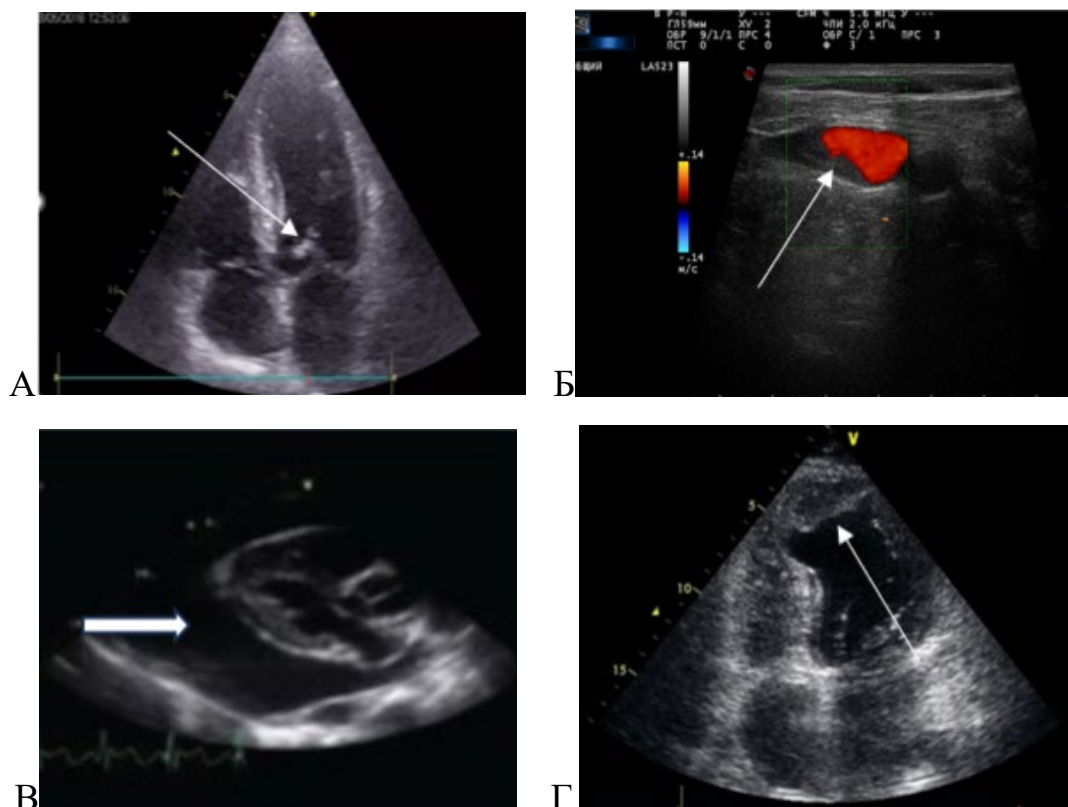


ЭКМО: А – систолическая функция ЛЖ (определение КДО по методу Simpson); Б– ствол ЛА (парастеральная позиция по короткой оси); В – доплерограмма среднего ДЛА; Г – эхокардиография из субкостальной позиции, визуализируется заборная канюля в НПВ (1), возвратная канюля в ПП (2)

Рисунок 50 – Эхограммы пациентов с коронавирусной инфекцией

Во время проведения ЭхоКГ на этапе мониторинга особое значение уделяли оценке волемического статуса, для чего выполняли измерение диаметра НПВ, оценивали размер ЛЖ, ПП и ПЖ.

Поскольку пациент мог длительное время находиться на В-В ЭКМО было необходимо четко визуализировать створки клапанов для исключения дополнительных эхоструктур (вегетаций) (рисунок 51 А), в просвете сосудов определить наличие тромботических наложений, в том числе и на канюлях (рисунок 51 Б) и другие сердечно-сосудистые осложнения (тампонада сердца, тромбы в ЛЖ) (рисунок 51 В, Г).



А– инфекционный эндокардит (вегетация на задней створке митрального клапана); Б– пристеночный тромбоз ВЯВ; В– свободная жидкость в полости перикарда (тампонада); Г– пристеночный тромб в области верхушки ЛЖ

Рисунок 51– Эхограммы пациентов с коронавирусной инфекцией  
Осложнения проведения ЭКМО

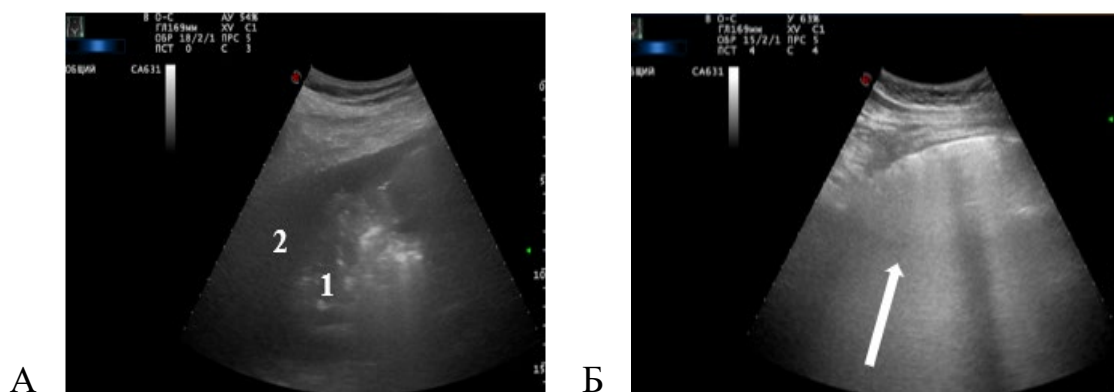
На этапе мониторинга, учитывая коагулопатию, у больных могли развиваться неврологические осложнения со стороны ЦНС, такие как отек головного мозга, ишемический или геморрагический инсульт, остановка мозгового кровообращения. При подозрении на указанные клинические состояния проводили ультразвуковые исследования брахиоцефальных артерий и сосудов основания головного мозга (ТКДГ).

Для пациентов на В-В ЭКМО были характерны низкая средняя скорость кровотока по средней мозговой артерии менее 70 см/сек и значения индексов сосудистого сопротивления в пределах нормативных значений 0,6-0,7. В случае остановки мозгового кровообращения при УЗИ БЦА и ТКДГ регистрировался ревербирующий кровоток в виде единичных систолических пиков.

Во время поддержки методом ЭКМО происходит централизация кровообращения, в связи с чем при подозрении на ишемические изменения верхних/нижних конечностей проводили динамический УЗ-контроль за состоянием артериального сосудистого русла и характером кровотока по доплерографическим параметрам.

Третий этап являлся самым продолжительным из четырех и требовал проведения динамического ультразвукового контроля внутренних органов.

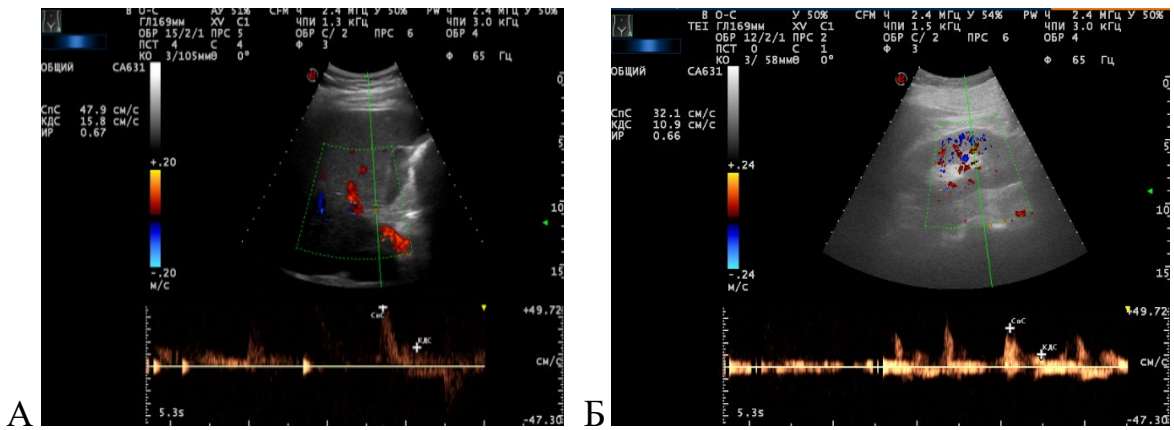
УЗИ легких позволяло судить о выраженности и распространенности интерстициального синдрома, выявить зоны инфильтрации с характерными признаками гепатизации легочной ткани, а также определить свободную жидкость в плевральной полости (рисунок 52 А, Б). Исследование проводили в положении пациента лежа на спине (сканирование 8-10 доступных зон).



А – обширная консолидация с аэробронхограммой -1, гидроторакс-2; Б – «белое легкое»

Рисунок 52 – Эхограммы легких пациента С., 62 лет с КТ-4

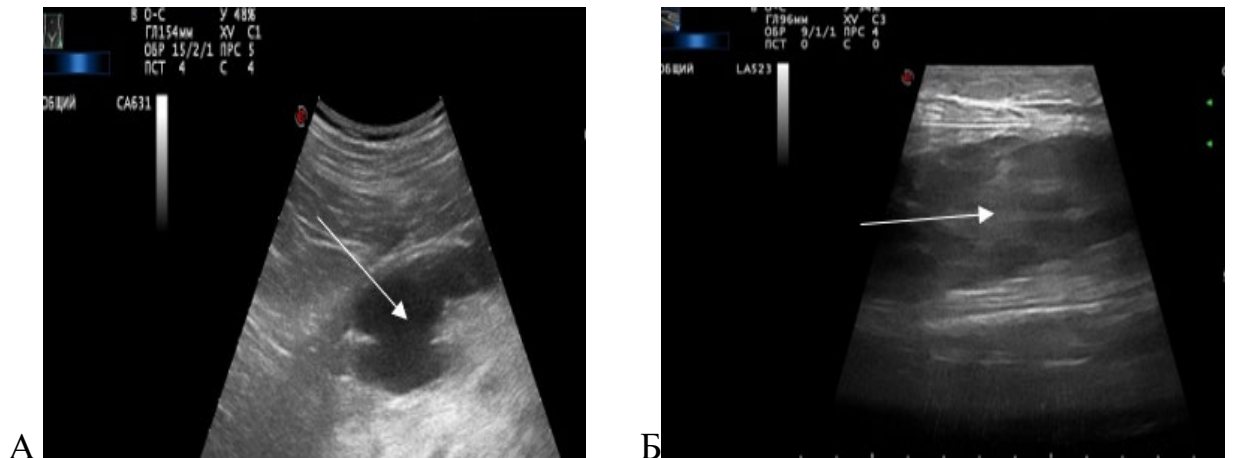
При УЗИ органов брюшной полости и почек внимание уделяли оценке доплерографических показателей. Изменение портального кровотока за счет снижения ЛСК по ВВ 11-14 см/сек, сужение просвета печеночных вен на фоне отёка паренхимы печени, повышение ИР в СПА более 0,68 и ИР на сегментарных почечных артериях более 0,65 давали лечащим врачам информацию о тяжелом течении заболевания с признаками печеночно-почечной недостаточности (рисунок 53 А, Б).



А–доплерограмма кровотока в СПА, ЛСК 47 см/сек, ИР 0,67; Б- доплерограмма кровотока в сегментарной артерии, ЛСК 32,1 см/сек, ИР 0,66

Рисунок 53 – Эхограммы пациента Б., 68 лет с COVID-19 на этапе подготовки пациента к В-В ЭКМО

Пациентам проводили регулярный УЗ-контроль мягких тканей в области установленных канюль и УЗИ забрюшинного пространства для исключения кровоизлияний по типу пропитывания и гематом в виде жидкостных скоплений с формированием сгустков (рисунок 54 А, Б). В режиме ЦДК оценивали наличие кровотока в гематоме для исключения признаков экстравазации.



А – межмышечная гематома бедра без сгустков; Б – межмышечная гематома бедра свернувшаяся (сгустки)

Рисунок 54 – Эхограммы пациентов с коронавирусной инфекцией. ЭКМО

Выявленные при ультразвуковом сканировании осложнения являлись показанием к прекращению ЭКМО.

4 этап – отлучение от ЭКМО

Таблица 21 – Задачи ультразвуковой диагностики на этапе отлучения от ЭКМО

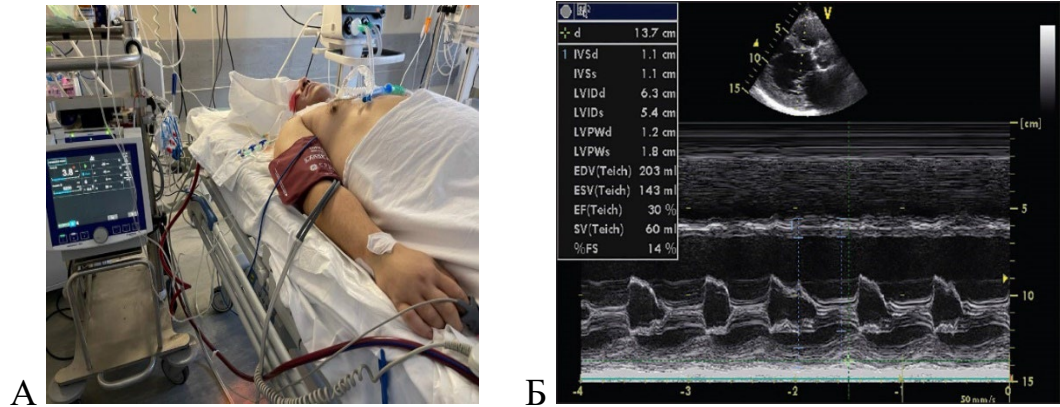
Вид исследования	Задачи УЗИ
Трансторакальная ЭхоКГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценить систолическую функцию ЛЖ для определения противопоказаний для отлучения от ЭКМО               <ul style="list-style-type: none"> <li>отлучение возможно при</li> <li>✓ ФВ ЛЖ &gt; 35%</li> <li>✓ VTI Ao &gt; 10 см</li> <li>✓ Скорость S пика на тканевом доплере &gt; 6 см/с</li> </ul> </li> </ul>
Дуплексное сканирование вен нижних, верхних конечностей и шеи	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Исключить тромбоз и тромботические наложения на канюлях</li> </ul>
Дуплексное сканирование артерий верхних/нижних конечностей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценить характер кровотока в периферическом русле</li> </ul>

На этапе отлучения от ЭКМО возникала необходимость в выполнении УЗИ вен нижних конечной и вен шеи для исключения флотирующих тромбов и тромботических наложений на канюлях, при выявлении которых проводили консультацию сосудистого хирурга для определения возможности удаления канюль.

При выполнении трансторакальной ЭхоКГ оценивали глобальную сократительную способность ЛЖ, которая являлась одним из основных факторов, указывающим на возможность отлучения пациента от ЭКМО, при этом ФВ ЛЖ должна была быть более 35 % (рисунок 55 А, Б). Также оценивали КДО ЛЖ

(диаметр <math><55\text{ мм}</math>), полное открытие аортального клапана и отсутствие дилатации ЛЖ.

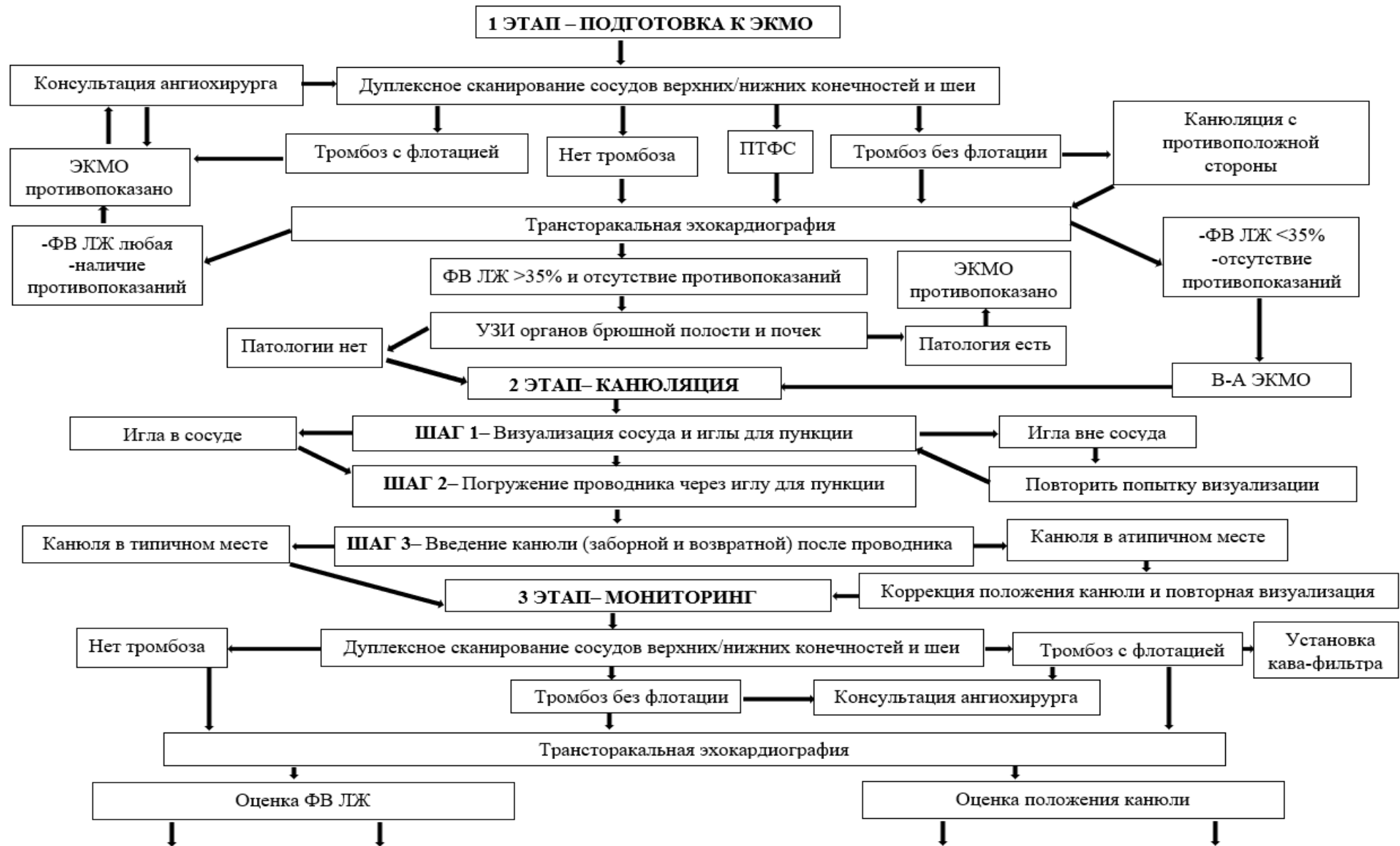
Перед отлучением от ЭКМО пациентам проводили дуплексное сканирование артерий, оценивали характер кровотока (магистральный, магистрально-измененный или коллатеральный) и его скоростные параметры.



А – пациент, подключенный к контуру ВВ-ЭКМО; Б– дилатация ЛЖ и систолическая дисфункция ЛЖ (ФВ 30%)

Рисунок 55 – Трансторакальная эхокардиография при ЭКМО

Применение комплексной ультразвуковой диагностики у пациентов с тяжелым течением коронавирусной инфекции, требующим применение В-В ЭКМО представлено в алгоритме (рисунок 56).



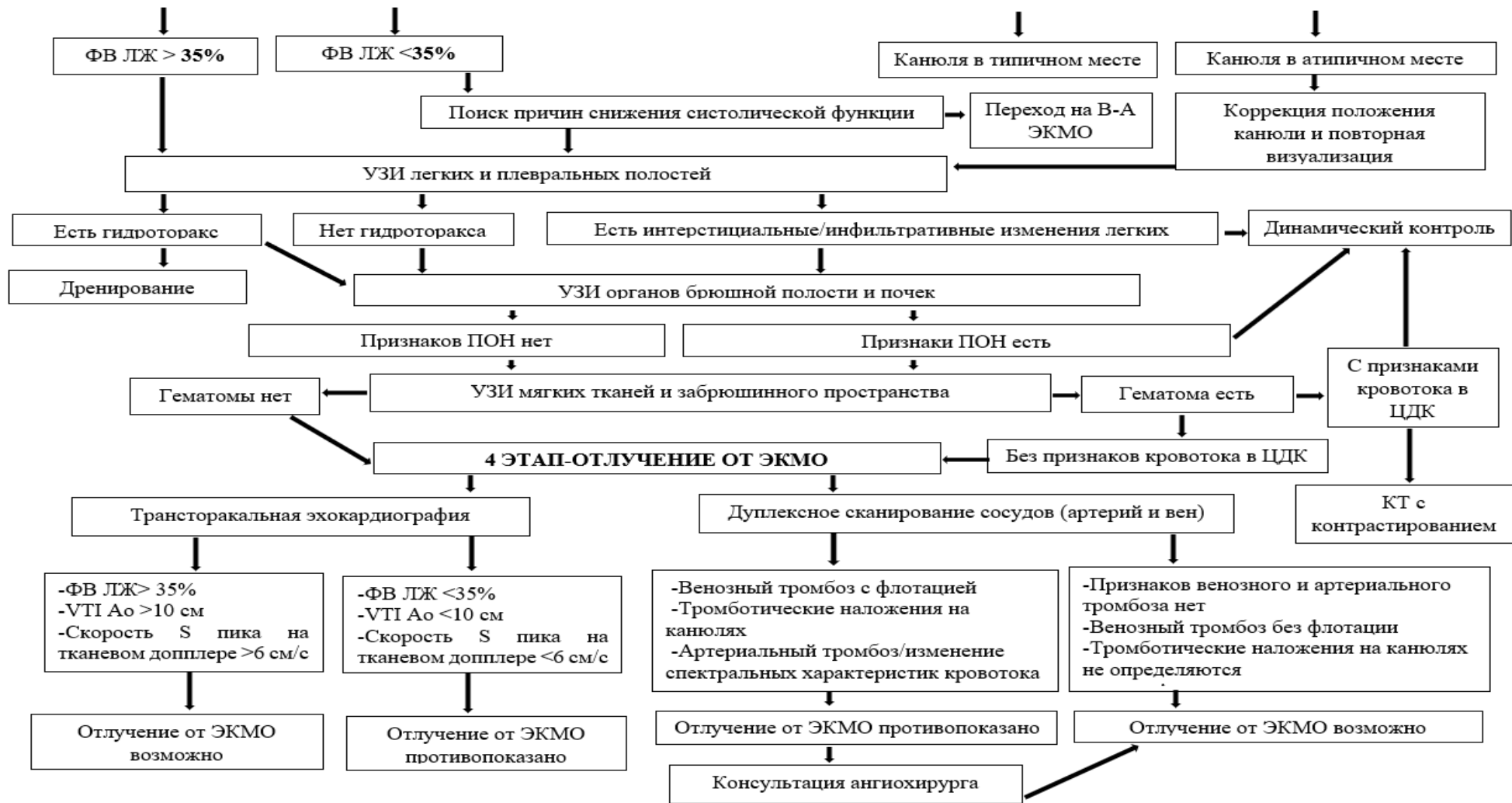


Рисунок 56 – Алгоритм применения комплексной ультразвуковой диагностики на каждом этапе ЭКМО

### **Заключение к главе**

Таким образом, нами во время проведения комплексного УЗИ у пациентов с В-В ЭКМО были проанализированы признаки поражения легочной ткани. Для этой группы больных более характерными являлись инфильтративные изменения легких, соответствующие ультразвуковой градации 3 и выраженные интерстициальные изменения («белое легкое»), что указывало на распространенность процесса. В анализируемой группе показатели СДЛА и дилатация правых камер сердца указывали на вовлечение в инфекционный процесс большого объема легочной паренхимы и развитие правожелудочковой недостаточности.

Применение комплексной ультразвуковой диагностики у пациентов, требующих лечения с использованием ЭКМО позволяло своевременно выявить патологические состояния, указывающие на тяжелое клиническое течение заболевания, а также дало возможность активно проводить прикроватный мониторинг за состоянием пациента на всех этапах проведения ЭКМО.

Использование методов ультразвуковой диагностики на четырех этапах ЭКМО позволяет в сочетании с клинической картиной определить выбор методики (В-В или В-А), проводить прикроватный динамический контроль и участвовать в определении противопоказаний для этапа отлучения пациента от ЭКМО.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стремительное распространение COVID-19 увеличило интерес к роли визуализирующих методов исследования, возросло количество публикаций, в которых обсуждались возможности УЗИ легких, ограничения выполнения КТ, а также результаты сопоставления КТ и УЗИ у пациентов с вирусной пневмонией [3, 22, 42, 46, 90, 116, 133, 154].

Новые руководства и методические рекомендации показывали эффективность применения метода ультразвуковой визуализации для диагностики и мониторинга пневмонии, ассоциированной с инфекцией COVID-19 [8, 13, 23]. Ряд авторов также указывают, что УЗИ легких может диагностировать пневмонию, вызванную COVID-19, у пациентов с нормальными показателями жизненных функций [152] и различать вирусную и бактериальную пневмонии [146]. Все чаще ультразвуковой метод использовали для оценки поражения легких, в том числе и у беременных [58, 68, 78, 100, 142].

Внимание уделяли роли коморбидности у пациентов с COVID-19 на тяжесть течения заболевания. Проведенная работа подтвердила влияние сопутствующей патологии на тяжесть COVID-19: гипертония выявлена у 56,2% пациентов, ожирение – у 34,3%, болезни печени – у 18,1%, патология почек – у 14,3%. Эти данные согласуются с зарубежными и российскими исследованиями, где 80% тяжелых случаев COVID-19 отмечались у пациентов с сопутствующими заболеваниями [10, 47, 107].

Инструментальная диагностика у пациентов с COVID-19 позволила определить ключевые признаки, важные для выбора тактики лечения. УЗИ легких обладает значительным потенциалом, особенно на ранних стадиях заболевания, демонстрируя сопоставимую с КТ информативность и существенно превосходя традиционную рентгенографию [25].

Многочисленные зарубежные исследования [28, 79, 150, 151] и российские

работы, включая консенсус РАСУДМ [15], описали характерные ультразвуковые признаки COVID-19 пневмонии: изменения плевральной линии, множественные В-линии ("белое легкое"), субплевральные консолидации в задне-нижних отделах, динамика А-линий (исчезновение при остром процессе и появление при выздоровлении). Однако, по данным литературы точные УЗ-признаки поражения легких при COVID-19 не были определены [116].

В настоящем исследовании при УЗИ легких на момент поступления в стационар у больных COVID-19 выявлено изменение структуры плевральной линии и исчезновение А-линий у 100 (95,2 %) больных, появление множественных В-линий у 96 (91,4%) пациентов, зон консолидаций у 83 (79,0%) больных. Однако, в нашем исследовании у 70 (66,6 %) пациентов мы также выявили плевральный выпот, у 52 (74,3 %) – от 5 мм до 10 мм, который не был связан с процентом поражения легочной ткани по данным КТ и мог наблюдаться у любой из групп пациентов вследствие реактивных изменений, хотя некоторые авторы в своих исследованиях считали, что гидроторакс для COVID-19 нехарактерен [102, 109]. Мы впервые сопоставили результаты с КТ в соответствии со степенью поражения легочной ткани, так гидроторакс определялся у 15 (21,4%) больных с КТ1-2, у 34 (48,6 %) пациентов с КТ-3, у 21 (30,0%) с КТ-4.

Для пациентов с пневмонией COVID-19 характерен интерстициальный синдром [28, 110, 150, 151]. По нашим данным отмечали «белое легкое» – у 28 (29,1%) во всех зонах сканирования с обеих сторон, умеренный интерстициальный синдром – у 5 (5,2%) пациентов во всех зонах сканирования, а у 18 (18,8%) больных только в нижних отделах с обеих сторон. Сочетание разного характера В-линий у 23 (23,9%) пациентов. Преимущественное поражение нижних долей легких [71, 109] в данном исследовании характеризовалось наличием А-линий только в верхних зонах сканирования у 63,8 % пациентов на фоне интерстициальных изменений.

Для определения тяжести поражения легочной ткани была важна оценка характера консолидаций [48, 52, 70, 87, 132], которые при УЗИ легких были выявлены у 83 (79,0%) пациентов, среди них локальные субплевральные

консолидации – у 42 (50,6%) больных, обширные консолидации – у 32 (38,6%) и были ассоциированы с прогрессированием заболевания. В зонах консолидации определяли наличие кровотока, который выявили у 33 (22,0 %) больных с пневмонией COVID-19, из них у 18 (54,5%) пациентов был отмечен летальный исход. Зарубежные авторы также описывают усиление кровотока в зоне поражения [128]. При сопоставлении с данными КТ в нашем исследовании у пациентов с КТ-4 чаще были выявлены обширные консолидации, тогда как при КТ-1 и КТ-2 доминировали умеренные интерстициальные изменения и локальные субплевральные консолидации, что подчеркивало прогрессирование УЗ-изменений с увеличением степени тяжести поражения легочной ткани по данным КТ органов грудной клетки.

В нашем исследовании описаны характерные признаки вирусной пневмонии. Анализ консолидаций, кровотока в пораженных зонах, интерстициальных изменений и билатеральных изменений плевральной линии помогает оценить степень поражения легких, выявить признаки бактериальной инфекции и проводить динамический контроль. Однако, эхопризнаки поражения легких при COVID-19 неспецифичны и могут встречаться при других легочных патологиях.

Учитывая отсутствие лучевой нагрузки, особое внимание уделяли УЗИ легких у беременных пациенток [58, 100]. В инфекционном корпусе нами были обследованы четыре беременные пациентки, по данным УЗИ легких эхографическая картина ультразвуковой градации 0, соответствующей отсутствию структурных изменений легочной ткани, все женщины в удовлетворительном состоянии были выписаны из стационара после проведенного лечения.

Трудности в ультразвуковой визуализации могут быть связаны с факторами, которые ограничивают проникновение УЗ волн, что не позволяет достоверно осмотреть глубокие отделы, в связи с этим в качестве «золотого стандарта» диагностики при COVID-19 используют КТ [46, 114].

В нашем исследовании мы разработали протокол для сопоставления 14 зон сканирования при УЗИ легких с сегментарным строением легких по данным КТ [7].

Данные КТ оценивали согласно утвержденным критериям тяжести пневмонии<sup>6</sup>.

Из-за тяжести состояния не всем пациентам выполняли УЗИ лёгких по 14 зонам, в некоторых случаях ограничивались 8-10 зонами. Сравнительный анализ УЗИ (8-10-14 зон) и КТ у 100 пациентов показал, что чувствительность УЗИ варьировала в зависимости от типа поражения: 100% для обширных консолидаций, 90% для локальных субплевральных консолидаций, 67% для выраженных интерстициальных изменений и только 19% для кортикальных консолидаций. Специфичность метода составила 74-99%, а диагностическая точность превышала 70%, достигая максимума (95%) при выявлении выраженных интерстициальных изменений, соответствующих КТ-картине "матового стекла" второго типа. Полученные данные подтверждают сопоставимость УЗИ и КТ в оценке структурных изменений лёгких, однако сокращение числа зон сканирования снижает чувствительность метода. Отдельно отмечено, что пятерым пациентам (4 беременные и 1 пациент с ожирением) КТ не выполняли, а диагностика была проведена исключительно на основании УЗИ лёгких. Выявлено, что с нарастанием степени тяжести КТ, по данным УЗИ отмечалась тенденция к увеличению числа областей поражения, однако отчетливую стадийность по данным УЗИ проследить не удалось.

В 32% случаев определено распространение изменений в центральные отделы легких, при этом по УЗИ лоцировали обширную консолидацию, но распространённость изменений не совпадала с данными КТ, поскольку ультразвуковая диагностика не позволяет выявить поражения в глубоких отделах легочной паренхимы [145].

В данном исследовании мы впервые для сопоставления характерных изменений между методами дополнительно при КТ измеряли денситометрические показатели патологических изменений в легких, которые позволили «матовое стекло» разделить на два типа. Ретроспективно проанализировали результаты

---

<sup>6</sup> Приказ Департамента здравоохранения г. Москвы от 08.04.2020 N 373 (ред. от 17.04.2020) «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)». Москва, 2020.

исследований 45 пациентам, которым проводили УЗИ по 14 зонам сканирования, так первый тип интерстициального поражения легочной ткани был с плотностью в среднем -655 HU, а второй тип – с плотностью в среднем -267 HU. Анализируя наши результаты, первый тип был выявлен у 62,2% пациентов на КТ и соответствовал умеренным интерстициальным изменениям по данным УЗИ (УЗ градация 1 а), а второй тип был зарегистрирован у 51,1 % пациентов на КТ и соответствовал «белому легкому» по данным УЗИ (УЗ градация 1 б) [7].

По данным М. О. Schmiady и соавт. (2020), легочная гипертензия служит маркером тяжести поражения легких и прогнозирует неблагоприятный исход течения заболевания [134]. В данном исследовании у пациентов с COVID-19 мы впервые провели сопоставление данных ЭхоКГ (СДЛА) и КТ (ширина ЛС), и выяснили, что нормальные значения СДЛА соответствовали норме по КТ у 16 (39,0%) пациентов, незначительное повышение СДЛА у 27 (69,2%) пациентов – расширению ЛС, а выраженная легочная гипертензия у 2 больных – значительным изменениям по КТ. Результаты подтверждают ценность УЗИ в оценке легочной гипертензии, особенно при выраженных изменениях, однако КТ остается необходимой для уточнения диагноза при пограничных или незначительных отклонениях.

Была выполнена оценка прогностической значимости ассоциаций клиничко-лабораторных и данных ультразвуковых методов диагностики для прогнозирования исхода заболевания COVID-19.

Сопоставление пациентов двух групп: I – 35 (33,3 %) пациентов с неблагоприятным исходом госпитализации, II – 70 (66,7 %) пациентов с благоприятным исходом) по шкалам стратификации степени тяжести (NEWS2 и qSOFA) показал, что уже на момент госпитализации у пациентов с летальным исходом отмечался высокий риск неблагоприятного прогноза. Так, по шкале NEWS2 – 21 (60,0 %) больной, по шкале qSOFA – 27 (77,1%).

По нашим данным при УЗИ легких межгрупповое сопоставление демонстрирует, что интерстициальный синдром выявляли у всех пациентов I группы (100%) и у 87,1 % пациентов II группы, различия статистически значимы,

но сливающиеся В-линии («белое легкое») встречались значительно чаще у пациентов с неблагоприятным исходом госпитализации (68,6%). Обширная консолидация значительно чаще определялась у пациентов с неблагоприятным исходом госпитализации (62,9%), тогда как локальные субплевральные консолидации на фоне интерстициальных изменений чаще встречаются у пациентов с благоприятным прогнозом (47,1%).

Выявление обширных консолидаций и сливающихся В-линий указывало на более распространенный процесс поражения легочной ткани за счет интерстициально-инфильтративных изменений и тем самым служило предиктором неблагоприятного прогноза течения заболевания.

Ряд отечественных и зарубежных авторов также указывают на развитие ПОН у пациентов с новой коронавирусной инфекцией [11, 31, 41, 68, 93].

В нашем исследовании мы оценивали не только структуру органа, но и гемодинамические показатели, которые указывали на тяжесть повреждения и развитие органной дисфункции [112]. Изменение гемодинамических показателей значительно чаще встречали у пациентов I группы (48,6%) по сравнению с пациентами II группы (4,3%), что подтверждается статистически значимыми различиями ( $p < 0,001$ ). Мы наблюдали снижение ЛСК в воротной вене в среднем до 11-15 см/сек, в собственной печеночной артерии (ПА) систолическая скорость кровотока составляла от 40 до 49 см/с, ИР был повышен и варьировал от 0,72 до 0,82 (у 17 пациентов).

Положительная корреляция также была выявлена между нарушением гемодинамики почек и исходом заболевания ( $p < 0,001$ ). Анализ показателей нашего исследования показал, у 21 (60,0%) пациента из I группы были отмечали признаки нарушения гемодинамики – наблюдали снижение ЛСК в сегментарных артериях в среднем до 20-26 см/сек, ИР был повышен и варьировал от 0,72 до 0,8.

По нашим данным мы впервые описали эхокартину, соответствующую «токсическим» изменениям при остром повреждении почек: увеличение длины более 12,0 см, утолщение паренхимы 2,0-2,6 см с изменением ее эхогенности до повышенной (может оставаться неизменной) и появлением симптома

выделяющихся гипоехогенных пирамидок, ИР был повышен у всех пациентов. По данному признаку были получены статистически значимые различия, «токсические почки» чаще наблюдали у пациентов I группы (37,1%) по сравнению с пациентами II группы (1,4%). Наши данные в оценке изменения гемодинамических характеристик совпадают с данными литературы [91, 125].

Эхокардиографию мы проводили всем пациентам, наблюдали статистически значимо более высокие показатели СДЛА (82,9%) и дилатацию правых отделов сердца (42,6%) у большинства пациентов с неблагоприятным исходом, что свидетельствовало о вовлечении в инфекционный процесс большого объема легочной паренхимы и развитии правожелудочковой недостаточности [65, 82]. У «умерших» пациентов на основании данных ЭхоКГ наблюдалась статистически значимая более низкая ФВ ЛЖ (менее 50 %), а также статистически значимо более высокое СДЛА и дилатация правых отделов сердца.

Многие авторы в своих работах описывают влияние коронавирусной инфекции на систему гемостаза, что провоцирует тромбообразование и приводит к развитию сосудистых осложнений [1, 54, 56, 74, 96, 143]. Описаны до 30% смертельных случаев, связанных с тромбоэмболическими осложнениями [96].

Наши данные подтверждают развитие венозных тромбозов у пациентов с коронавирусной инфекцией и их влияние на неблагоприятный исход госпитализации, венозный тромбоз был выявлен у 15 (14,6 %) больных на момент поступления в стационар, в 9 (60,0 %) случаях у пациентов I группы с летальным исходом госпитализации.

В клиническом анализе крови у пациентов с COVID-19 выявили статистически значимую лимфоцитопению у пациентов I группы (медиана: 8,70 [4,75; 10,8]) по сравнению со II группой (19,4 [10,8; 25,3]). Ряд авторов также указывают на то, что уже в первые дни от момента начала заболевания, даже при слабых клинических проявлениях, отмечается формирование стойкой лимфопении [52, 103, 122, 131].

Особое внимание мы обращали на уровень ЛДГ, который в условиях пандемии служит неспецифическим маркером повреждения легочной ткани. Мы

сравнили активность ЛДГ у пациентов между группами, у пациентов I группы (527 [450; 783]) по сравнению с пациентами II группы (292 [241; 372]), различия значимы ( $p < 0,001$ ). Таким образом, активность ЛДГ можно рассматривать как маркер тяжести состояния у больных с COVID-19.

Уровень АЛТ, АСТ, креатинина и мочевины также выше у пациентов с неблагоприятным исходом заболевания, что совпадает с данными исследований ряда авторов [56, 92].

Анализ наших данных демонстрирует статистически значимые различия в уровне ферритина (345 [278; 766] в I группе и 270 [76; 386] во II группе,  $p = 0,004$   $p < 0,001$ ) и уровне прокальцитонина - в I группе (1,87 [1,43; 3,70]) он значительно выше по сравнению со II группой (0,110 [0,07; 0,2]), различия значимы ( $p < 0,001$ ), что можно объяснить присоединением бактериальной инфекции и развитием септического состояния.

В нашем исследовании уровень Д-димера статистически значительно выше в I группе (1,92 [1,51; 3,50]), по сравнению со II группой (0,585 [0,320; 1,61]), что совпадает с данными исследований ряда авторов [27, 69, 153].

Проведенный в рамках нашего исследования корреляционный анализ показал наличие значимых ассоциаций между неблагоприятным исходом госпитализации и рядом клинических, ультразвуковых и лабораторных показателей.

Была разработана прогностическая модель с использованием метода пошаговой регрессии с исключением переменных (backward elimination) на основе критерия Вальда, в которую вошли следующие переменные: баллы по шкале qSOFA, УЗ-признаки нарушения гемодинамики печени, диагностированная дилатация правых отделов сердца по данным ЭхоКГ, двусторонний гидроторакс и полисегментарные В-линии («белое легкое») по данным УЗИ [19].

Чувствительность разработанной модели многофакторной логистической регрессии при заданном пороге классификации составила 88,6%, специфичность – 90,8%, площадь под ROC-кривой – 0,970.

Таким образом, преимуществом разработанного нами способа прогнозирования летального исхода является комплексный у пациентов с COVID-19 на основании данных УЗИ, применения шкалы qSOFA и уровня ЛДГ в сыворотке крови, что обеспечивает высокую точность прогноза. Данный способ использует доступные методы ультразвуковой диагностики, позволяя проводить исследование у постели больного без риска воздействия рентгеновского излучения, модель учитывает мультисистемное поражение органов, что соответствует патогенезу COVID-19 и обеспечивает высокую предсказательную силу [19].

В нашем исследовании отдельно была проанализирована группа из 19 пациентов, требующих поддержки методом В-В ЭКМО.

По данным УЗИ легких у 16 (84,2 %) пациентов был выявлен выраженный интерстициальный синдром – «белое легкое». Также при УЗИ легких у всех пациентов были выявлены консолидации, причем в 10 случаях (52,6 %) – обширные двусторонние консолидации, двусторонний гидроторакс - у 14 (73,7%) пациентов.

При УЗИ органов брюшной полости жировой гепатоз определяли у 14 (73,7%) больных, а доплерографический анализ показал нарушения гемодинамики печени у 17 (89,5 %) пациентов. «Токсических почек» выявили у 13 (68,4 %) пациентов с поддержкой ЭКМО. Трансторакальная ЭхоКГ позволила выявить повышение СДЛА у 17(89,5%) пациентов из анализируемой группы.

Ряд авторов в своих исследованиях пришли к выводам, что для пациентов в критическом состоянии характерны не только гипоксия и системная воспалительная реакция, но и развитие тромботических осложнений [83, 86, 148]. Всем пациентам анализируемой группы были проведены УЗИ вен нижних и верхних конечностей, вен шеи. У 8 (42,1 %) больных был выявлен тромбоз глубоких вен нижних конечностей, в двух случаях с признаками флотации тромба.

Таким образом, пациенты в критическом состоянии, которым показано проведение лечения с применением метода В-В ЭКМО требуют на каждом из четырех этапов использования методов ультразвуковой диагностики.

Ряд авторов в своих работах обсуждают какой из методов визуализации

лучше использовать для проведения канюляции ЭКМО, указывают значение эхокардиографии для уточнения точного расположения канюли. Также обозначают, что измерение диаметра сосудов может помочь в выборе размера канюли и рекомендуют, чтобы врач ультразвуковой/функциональной диагностики был частью команды [43, 113, 117, 126].

Нами впервые был разработан алгоритм применения методик УЗ диагностики на каждом из четырех этапов ЭКМО (подготовка, канюляция, мониторинг и отлучение) для пациентов с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, где мы указали задачи, которые должен решить врач ультразвуковой диагностики на каждом из этапов (рисунок 56).

## ВЫВОДЫ

1. Ультразвуковое исследование легких у пациентов с новой коронавирусной инфекцией позволяет выявить характерные для вирусной пневмонии структурные изменения. Наиболее часто регистрируются утолщение и прерывистость плевральной линии – у 100 (95,2 %) больных, исчезновение А-линий – у 100 (95,2 %) больных. Интерстициальный синдром характеризуется появлением множественных В-линий у 96 (91,4%) пациентов, причем «белое легкое» наблюдается с обеих сторон у 28 (29,1%) пациентов. Консолидации определяются у 83 (79,0%) больных: локальные субплевральные с обеих сторон у 42 (50,6 %) пациентов, обширные консолидации – у 32 (38,6 %) пациентов. Плевральный выпот лоцируется у 70 (66,6%) больных. Визуализация воздушной бронхограммы в зонах консолидации и регистрация кровотока в них в режиме цветного доплеровского картирования (ЦДК) у 33 (22,0 %) больных с пневмонией COVID-19 свидетельствует о прогрессировании воспалительного процесса и высоком риске неблагоприятного исхода госпитализации.

2. Ультразвуковое сканирование легких является важным диагностическим инструментом перед направлением на КТ органов грудной клетки в условиях массового поступления пациентов в стационар и альтернативным методом диагностики у беременных, пациентов с ожирением, нетранспортабельных пациентов, благодаря высокой чувствительности более 90 % в выявлении структурных изменений. По данным УЗИ легких у пациентов с КТ-1 и КТ-2 регистрируются умеренные интерстициальные изменения (17,2%) и локальные субплевральные консолидации на фоне интерстициальных изменений (41,4 %). У пациентов с КТ-3 наблюдаются выраженные интерстициальные изменения – «белое легкое» (14,6%) и локальные субплевральные консолидации на их фоне (48,8%). У пациентов с КТ-4 регистрируются протяженные консолидации на фоне интерстициальных изменений (13,3 %) и обширные консолидации (50,0%).

3. Математическая модель, основанная на применении клинических (шкала qSOFA), ультразвуковых (УЗ-признаки нарушения гемодинамики печени, дилатация правых отделов сердца, двусторонний гидроторакс и полисегментарные сливающиеся В-линии с обеих сторон – «белое легкое») и лабораторных (концентрация ЛДГ) данных, позволяет прогнозировать тяжелое течение COVID-19 и неблагоприятный исход заболевания с чувствительностью 88,6%, специфичностью – 90,8% (площадь под ROC-кривой – 0,970).

4. Разработанный алгоритм применения методов ультразвуковой диагностики у пациентов с тяжелым течением коронавирусной инфекции позволяет сопровождать больного на всех этапах ЭКМО. На этапе подготовки относительные противопоказания к ЭКМО были выявлены у 6 (31,6 %) больных. На этапе мониторинга у пациентов были обнаружены ультразвуковые признаки полиорганной дисфункции: у 17 (89,5%) пациентов- нарушение гемодинамики печени, у 13 (68,4%) больных – «токсические» изменения почек. Ультразвуковая динамическая оценка проходимости вен верхних и нижних конечностей выявила признаки тромбоза у 5 (26,3%) пациентов, у двух из них с признаками флотации. Ультразвуковое сканирование мягких тканей позволило определить наличие гематомы шеи и бедра у 6 (31,6%) пациентов. Допплерографические признаки остановки мозгового кровообращения были выявлены у 2 (10,5%) больных (реверберирующий кровоток).

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. УЗИ легких рекомендовано проводить всем пациентам с вирусной пневмонией с момента поступления в стационар при невозможности выполнить КТ компьютерную томографию (беременные, нетранспортабельные пациенты, отсутствие компьютерного томографа в стационаре). Повторные УЗИ легких с целью контроля за состоянием легочной ткани на фоне проводимого лечения показаны пациентам с тяжелой дыхательной недостаточностью, у которых были выявлены множественные сливающиеся В-линии («белое легкое») с консолидациями по данным УЗИ. Такие эхографические признаки, как воздушная аэробронхограмма и кровоток в «гепатизированной» легочной ткани могут быть признаком прогрессирования воспалительного процесса и присоединения бактериального компонента, что требует динамического контроля.

2. Пациентам с тяжелым течением коронавирусной инфекции при проведении УЗИ органов брюшной полости и почек следует выполнять оценку доплерографических показателей. Повышение ИР на собственной печеночной артерии и сегментарных артериях почек, а также снижение ЛСК в воротной вене являются косвенными УЗ признаками полиорганной дисфункции и требуют динамического контроля.

3. Трансторакальную ЭхоКГ необходимо проводить всем пациентам с COVID-19 на момент поступления в стационар. Повышение СДЛА до 56 мм рт. ст. и более свидетельствуют о тяжелом течении коронавирусной инфекции и тяжелой дыхательной недостаточности, что может потребовать корректировки проводимого лечения.

4. Для повышения прогностической точности риска неблагоприятного исхода у пациентов с COVID-19 рекомендовано использовать комбинацию следующих показателей: клинические (шкала qSOFA), ультразвуковые (УЗ - признаки нарушения гемодинамики печени, дилатация правых отделов сердца,

двусторонний гидроторакс, «белое легкое») и лабораторных (концентрация ЛДГ).

5. Алгоритм ультразвукового мониторинга за состоянием пациента может быть использован на всех этапах применения ЭКМО, что позволяет определить противопоказания к подключению и отлучению, участвовать в процессе канюляции, проводить динамический контроль.

6. Абсолютными противопоказаниями для установки ЭКМО по данным ЭхоКГ являются: тампонада сердца, тяжелая митральная и аортальная недостаточность, аневризма и расслоение аорты, гемодинамически значимые шунтирующие внутрисердечные потоки, тромбы полостей сердца. Выявленные при комплексной ультразвуковой диагностике флотирующий тромбоз, объемные образования органов брюшной полости и почек ограничивают применение ЭКМО. Основной задачей ультразвуковой диагностики на этапе канюляции является оценка расположения заборной и возвратной канюли. На этапе мониторинга необходимо проведение комплекса динамических ультразвуковых исследований с целью оценки систолической функции ЛЖ, волемического статуса, легочной гипертензии и позиции канюль; состояния легких, органов брюшной полости и почек; выявления возможных осложнений в виде тромбозов, гематом мягких тканей и забрюшинных кровоизлияний. Критериями отлучения пациента от ЭКМО являются ФВ ЛЖ  $> 35\%$ , VTI Ao  $> 10$  см, отсутствие флотирующих тромбозов вен верхних и нижних конечностей, наличие магистрального неизмененного кровотока по артериям конечностей.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЛТ – аланинаминотрансфераза

АСТ – аспартатаминотрансфераза

АПФ 2– ангиотензинпревращающий фермент 2

БЦА– брахиоцефальные артерии

В-А ЭКМО – вено-артериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация

ВВ– воротная вена

В-В ЭКМО – вено-венозная экстракорпоральная мембранная оксигенация

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

ГБУЗ – Государственное бюджетное учреждение здравоохранения

ДИ – доверительный интервал

Ед – единица измерения

ИВЛ – искусственная вентиляция легких

ИР– индекс резистентности

КДО – конечный диастолический объем

КСР – конечно-систолический размер

КТ – компьютерная томография

ЛДГ– лактатдегидрогеназа

ЛЖ – левый желудочек

ЛС – легочный ствол

ЛСК – линейная скорость кровотока

м/р– межреберья

НИВЛ – неинвазивная вентиляция легких

НК –нижние конечности

НПВ – нижняя полая вена

ОПП – острое повреждение почек

ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии

ПП – правое предсердие

ПОН – полиорганная недостаточность

ПТФС – посттромбофлебитический синдром

ПЦР – полимеразная цепная реакция

РАСУДМ – Российская ассоциация специалистов ультразвуковой диагностики в медицине

СДЛА – расчетное систолическое давление в легочной артерии

СПА – собственная печеночная артерия

СПОН – синдром полиорганной недостаточности

Среднее ДЛА – среднее давление легочной артерии

СРБ – С-реактивный белок

ТКДГ – транскраниальная доплерография

ТЭЛА – тромбоэмболия легочной артерии

УЗ – ультразвуковой

УЗИ – ультразвуковое исследование

ФВ – фракция выброса

ЦДК – цветное доплеровское картирование

ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация

ЭхоКГ – эхокардиография

ASE (American Society of Echocardiography) – классификация легочной гипертензии

BLUE – Bedside Lung Ultrasound in Emergency, ургентная сонография легких при острой респираторной недостаточности

COVID-19 – Coronavirus disease 2019 (инфекция, вызванная новым коронавирусом SARS-CoV-2)

FiO<sub>2</sub> – фракция кислорода во вдыхаемом воздухе

HU – Hounsfield unit, единица измерения по шкале Хаунсфилда

p-value – уровень статистической значимости

NEWS2 (National Early Warning Score) – национальная шкала для раннего выявления риска

qSOFA (quick Sequential (Sepsis-related) Organ Failure Assessment) – упрощенная шкала SOFA

ROC – receiver operating characteristic (кривая рабочих характеристик)

SARS-CoV-2 (Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus 2) – новый коронавирус, вызвавший пандемию в 2020 году

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. COVID-19 как причина хронической легочной гипертензии: патофизиологическое обоснование и возможности инструментальной диагностики / Е. Кобелев, Т. А. Берген, А. Р. Таркова [и др.]. – Текст: непосредственный // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2021. – Т. 20, № 5. – С. 28-44.
2. COVID-19: первые результаты лучевой диагностики в ответе на новый вызов / С. К. Терновой, Н. С. Серова, А. С. Беляев, К. А. Беляева. – Текст: непосредственный // Российский электронный журнал лучевой диагностики. REJR. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 8–15.
3. Балабанова, А. А. Ультразвуковая диагностика COVID-19-ассоциированных пневмоний / А. А. Балабанова, А. П. Куражов, В. Д. Завадовская. – Текст: непосредственный // Бюллетень сибирской медицины. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 150-159.
4. Визуальная диагностика с многопараметрическим ультразвуком для оценки функционального состояния печени после перенесенного COVID-19 / К. К. Тогузбаева, А. О. Катаев, Б. О. Алиев [и др.]. – Текст: непосредственный // Наука, техника и образование. – 2022. - № 3(86). – С. 109-116.
5. Внебольничная пневмония у взрослых. Практические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике (пособие для врачей) / А. Г. Чучалин, А. И. Синопальников, Р. С. Козлов [и др.]. – Текст: непосредственный // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2010. - № 12. – С. 186-225.
6. Диагностика и интенсивная терапия больных COVID-19: руководство для врачей / под ред. С. С. Петрикова. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 427 с. – (Серия «COVID-19: от диагноза до реабилитации. Опыт профессионалов»). – Текст: непосредственный.
7. Диагностические возможности ультразвуковой диагностики изменений легких по сравнению с компьютерной томографией при COVID-19 / С.

С. Петриков, И. Е. Попова, В. М. Абучина, Р. Ш. Муслимов, Л. Т. Хамидова, К. А. Попугаев, Л. С. Коков. – Текст: непосредственный // Сеченовский вестник. – 2020. – Т. 11, № 2. – С. 5-18.

8. Драпкина, О. М. Алгоритмы организации и проведения ультразвуковых исследований сердца и легких в период эпидемии COVID-19 / О. М. Драпкина, О. Н. Джиеова. – Текст: непосредственный // Профилактическая медицина. – 2020. – Т. 23, № 7. – С. 47-51.

9. Зильбер, А. П. Этюды критической медицины / А. П. Зильбер. – Москва: МЕДпресс Информ, 2006. – 568 с. – Текст: непосредственный.

10. Клиническая характеристика 1007 больных тяжелой SARS-CoV-2 пневмонией, нуждавшихся в респираторной поддержке / П. В. Глыбочко, В. В. Фомин, С. Н. Авдеев [и др.]. – Текст: непосредственный // Клиническая фармакология и терапия. – 2020. – Т. 29, № 2. – С. 21–29.

11. Клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике тяжелой внебольничной пневмонии у взрослых / А. Г. Чучалин, А. И. Синопальников, Р. С. Козлов [и др.]. – Текст: непосредственный // Пульмонология. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 13-48.

12. Компьютерно-томографическая диагностика и мониторинг течения вирусной пневмонии, обусловленной вирусом SARS-COV-2, при работе «Госпиталя COVID-19» на базе Федерального специализированного медицинского научного центра / Г. Г. Кармазановский, К. А. Замятина, В. И. Сташкив [и др.]. – Текст: непосредственный // Медицинская визуализация. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 11–36.

13. Консенсусное заявление РАСУМД об ультразвуковом исследовании легких в условиях пандемии COVID-19 (Версия-2) / В. В. Митьков, Д. В. Сафонов, М. Д. Митькова [и др.]. – Текст: непосредственный // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2020. – № 1. – С. 46–76.

14. Литвиненко, Е. А. Рентгенологическое исследование как альтернативный метод визуализации изменений в легких при инфекции, вызванной

Covid-19 / Е. А. Литвиненко, М. М. Ерошенко, И. В. Бутова. – Текст: непосредственный // Медицинская визуализация. – 2021. – Т. 25, № 2. – С. 12-18.

15. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов / С. П. Морозов, Д. Н. Проценко, С. В. Сметанина [и др.]. – Москва: ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2020. – Вып. 65. – 60 с. – Текст: непосредственный.

16. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19) и система органов пищеварения / В. Т. Ивашкин, А. А. Шептулин, О. Ю. Зольникова [и др.]. – Текст: непосредственный // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. – 2020. – Т. 30, № 2. – С. 7-13.

17. Опыт применения экстракорпоральной мембранной оксигенации для лечения респираторного дистресс-синдрома в условиях специализированного ЭКМО-центра / К. А. Попугаев, К. К. Губарев, М. Н. Кругляков [и др.]. – Текст: непосредственный // Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал им. академика Б. В. Петровского. – 2017. – №5(1). – С. 68–77.

18. Организация проведения медицинской эвакуации с выполнением экстракорпоральной мембранной оксигенации / М. А. Лысенко, С. А. Гуменюк, М. В. Кецкало, А. Н. Толстых. – Текст: непосредственный // Медицина катастроф. – 2019. – № 2(106). – С. 56–59.

19. Патент 2829257<sup>13</sup> С1 Российская Федерация, МПК<sup>51</sup> А61В 5/00 (2006.01) А61В 8/00 (2006.01). Способ прогнозирования исхода заболевания новой коронавирусной инфекцией COVID-19: № 2024115903; заявлено 10.06.2024; опубликовано 30.10.2024 / С. С. Петриков, Л. Т. Хамидова, Н. В. Рыбалко, В. М. Абучина, А. А. Иванников. 11 с. – Текст: непосредственный.

20. Патогенетические основы венозных тромбозных осложнений на фоне COVID-19 / С. А. Федоров, А. П. Медведев, Н. Ю. Боровкова, Е. В. Таранов. – Текст: непосредственный // Клиническая медицина. – 2020. – Т. 98, № 7. – С. 485–490.

21. Патологическая анатомия легких при новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Предварительный анализ аутопсийных исследований / Ф. Г.

Забозлаев, Э. В. Кравченко, А. Р. Галлямова, Н. Н. Летуновский. – Текст: непосредственный // Клиническая практика. – 2020. – Т. 11, № 2. – С. 21–37.

22. Первый опыт применения ультразвукового исследования легких у пациентов с острой вирусной инфекцией, вызванной SARS-CoV-2 / С. С. Петриков, К. А. Попугаев, Л. Т. Хамидова [и др.]. – Текст: непосредственный // Медицинская визуализация. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 50–62.

23. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19): временные методические рекомендации. Версия 18 (26.10.2023) / МЗ РФ; составители: С. Н. Авдеев, Л. В. Адамян, Е. И. Алексеева [и др.]. - Москва, 2023. – 249 с. – Текст: непосредственный.

24. Рекомендации по применению ЭКМО при тяжелой легочной и/или сердечной недостаточности у пациентов с COVID-19. – URL: <https://xn--j1aeg1d.xn--p1ai/rekomendatsii/ekmo-s-covid-19> (Дата обращения 14.12.2025). – Текст: электронный.

25. Рентгенологическая семиотика изменений в легких, связанных с новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) / П. В. Гаврилов, О. В. Лукина, У. А. Смольникова, С. В. Коробейников. – Текст: непосредственный // Лучевая диагностика и терапия. – 2020. - № 2(11). – С. 29-36.

26. Синопальников, А. И. Внебольничная пневмония / А. И. Синопальников. – Текст: непосредственный // Внебольничные инфекции дыхательных путей. Руководство для врачей / под ред. А. И. Синопальникова, Р. С. Козлова. – Москва: Премьер МТ, Наш Город, 2007. – С. 295-333.

27. A novel coronavirus outbreak of global health concern / С. Wang, P. W. Hornby, F. G. Hayden, G. F. Gao. - Text: direct // Lancet. – 2020. – Vol. 395, N. 10223. – P. 470–473.

28. A preliminary study on the ultrasonic manifestations of peripulmonary lesions of non-critical novel Coronavirus pneumonia (COVID-19) / Y. Huang, W. Sihan, Y. Liu [et al.]. – Available from: <https://www.researchsquare.com/article/rs-14928/v1> (Дата обращения 14.12.2025). – Text: electronic.

29. Abdominal and gastrointestinal manifestations in COVID-19 patients: Is imaging useful? / P. Boraschi, L. Giugliano, G. Mercogliano [et al.]. - Text: direct // World Journal Gastroenterology. – 2021. – Vol. 27, N. 26. – P. 4143-4159.
30. Abdominal imaging findings in COVID-19: preliminary observations / R. Bhayana, A. Som, M. D. Li [et al.]. - Text: direct // Radiology. – 2020. – Vol. 297, N. 1. – P. E207-E215.
31. Abdominal Imaging Findings in Patients with COVID-19. Part 2: Solid Organs / Z. Shokri Varniab, A. Pourabhari Langroudi, M. Amouei [et al.]. - Text: direct // Middle East Journal of Digestive Diseases. – 2022. – Vol. 14, N. 4. – P. 373-381.
32. Acute Kidney Injury in COVID-19: Emerging Evidence of a Distinct Pathophysiology / D. Batlle, M. J. Soler, M. A. Sparks [et al.]; COVID-19 and ACE2 in Cardiovascular, Lung, and Kidney Working Group. – Text: direct // Journal of the American Society of Nephrology. – 2020. – Vol. 31, N. 7. – P. 1380-1383.
33. Acute Pulmonary Embolism Associated with COVID-19 Pneumonia Detected with Pulmonary CT Angiography / F. Grillet, J. Behr, P. Calame [et al.]. – Text: direct // Radiology. – 2020. – Vol. 296, N. 3. – P. E186-E188.
34. Acute renal failure in critically ill COVID-19 patients with a focus on the role of renal replacement therapy: a review of what we know / A. Raza, A. Estepa, V. Chan, M. S. Jafar. – Text: direct // So Far Cureus. – 2020. – Vol. 12, N. 6. – P. e8429.
35. Advanced echocardiographic phenotyping of critically ill patients with coronavirus-19 sepsis: a prospective cohort study / F. Bagate, P. Masi, T. d’Humières [et al.]. – Text: direct // Journal of Intensive Care. – 2021. – Vol. 9, N. 1. – P. 12.
36. Anticoagulant treatment is associated with decreased mortality in severe coronavirus disease 2019 patients with coagulopathy / N. Tang, H. Bai, X. Chen [et al.]. – Text: direct // Journal of Thrombosis and Haemostasis. – 2020. – Vol. 18, N. 5. – P.1094-1109.
37. ARDS Definition Task Force, Acute respiratory distress syndrome: the berlin definition / V. M. Ranieri, G. D. Rubenfeld, G. D. Rubenfeld [et al.]. – Text: direct // JAMA. – 2012. – Vol. 307, N. 23. – P. 2526–2533.

38. Association of cardiac infection with SARS-CoV-2 in confirmed COVID-19 autopsy cases / D. Lindner, A. Fitzek, H. Bräuninger [et al.]. – Text: direct // *JAMA Cardiology*. – 2020. – Vol. 5, N. 11. – P. 1281–1285.
39. Association of chemosensory dysfunction and Covid-19 in patients presenting with influenza-like symptoms / C. H. Yan, F. Faraji, D. P. Prajapati [et al.]. – Text: direct // *International Forum of Allergy and Rhinology*. – 2020. – Vol. 10, N. 7. – P. 806-813.
40. Autopsy findings in COVID19-related deaths: a literature review / A. Maise, A. C. Manetti, R. La Russa [et al.]. – Text: direct // *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. – 2021. – Vol. 17, N. 2. – P. 279–296.
41. Bangash, M. N. COVID-19 and the liver: little cause for concern / M. N. Bangash, J. Patel, D. Parekh. – Text: direct // *The Lancet. Gastroenterology and Hepatology*. – 2020. – Vol. 5, N. 6. – P. 529–530.
42. Best Practice: International Multisociety Consensus Statement for Post-COVID-19 Residual Abnormalities on Chest CT Scans / S. H. Yoon, J. P. Kanne, K. Ashizawa [et al.]. – Text: direct // *Radiology*. – 2025. – Vol. 316, N. 1. – P. e243374.
43. Bianco, N. Echocardiography in venoarterial and venovenous ECMO / N. Bianco, L. Avalli, F. Sangalli // *ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults* / editors F. Sangalli, N. Patroniti, A. Pesenti. – Text: direct. – Milan: Springer-Verlag Italia, 2014. – P. 361–374.
44. Boroujeni, E. K. Covid-19 and kidney; a mini-review on current concepts and new data / E. K. Boroujeni, S. J. Kellner, A. Pezeshgi. – Text: direct // *Journal of Nephro pharmacology*. – 2021. – Vol. 10, N. 1. – P. e01.
45. Borczuk, A. C. Pathology of COVID-19 Lung Disease / A. C. Borczuk. – Text: direct // *Surgical Pathology Clinics*. – 2024. – Vol. 17, N. 2. – P. 203-214.
46. Buonsenso, D. COVID-19 outbreak: Less stethoscope, more ultrasound / D. Buonsenso, D. Pata, A. Chiaretti. – Text: direct // *The Lancet. Respiratory Medicine*. – 2020. – Vol. 8. – P. e27.

47. Cardiovascular complications in COVID-19 / B. Long, W. J. Brady, A. Koyfman [et al.]. – Text: direct // *The American Journal of Emergency Medicine*. – 2020. – Vol. 38, N. 7. – P. 1504–1507.
48. Chest CT abnormalities in COVID-19: a systematic review / R. A. Ghayda, K. H. Lee, J. S. Kim [et al.]. – Text: direct // *International Journal of Medical Sciences*. – 2021. – Vol. 18, N. 15. – P. 3395-3402.
49. Clinical characteristics and intrauterine vertical transmission potential of COVID-19 infection in nine pregnant women: a retrospective review of medical records / H. Chen, J. Guo, C. Wang [et al.]. – Text: direct // *Lancet*. – 2020. – Vol. 395, N. 10226. – P. 809–815.
50. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus–Infected Pneumonia in Wuhan, China / D. Wang, B. Hu, C. Hu [et al.]. – Text: direct // *JAMA*. – 2020. – Vol. 323, N. 11. – P. 1061.
51. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: A systematic review and meta-analysis / L. Fu, B. Wang, T. Yuan [et al.]. – Text: direct // *J. Infect.* – 2020. – Vol. 80, N. 6. – P. 656–665.
52. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China / W. J. Guan, Z. Y. Ni, Y. Hu [et al.]. – Text: direct // *The New England Journal of Medicine*. – 2020. – Vol. 382, N. 18. – P. 1708–1720.
53. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: A single-centered, retrospective, observational study / X. Yang, Y. Yu, J. Xu [et al.]. – Text: direct // *The Lancet. Respiratory Medicine*. – 2020. – Vol. 8, N. 5. – P. 475–481.
54. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study / F. Zhou, T. Yu, R. Du [et al.]. – Text: direct // *Lancet*. – 2020. – Vol. 395, N. 10229. – P. 1054–1062.
55. Clinical evaluation of potential usefulness of serum lactate dehydrogenase (LDH) in 2019 novel coronavirus (COVID-19) pneumonia / M. Y. Wu, L. Yao, Y. Wang [et al.]. – Text: direct // *Respiratory Research*. – 2020. – Vol. 21, N. 1. – P. 171.
56. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan,

China / C. Huang, Y. Wang, X. Li [et al.]. – Text: direct // *Lancet*. – 2020. – Vol. 395, N. 10223. – P. 497–506.

57. Clinical management of COVID-19: living guideline, June 2025 / World Health Organization. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/B09467>. – (Accessed: 06.02.2026). – Text: electronic.

58. Clinical role of lung ultrasound for diagnosis and monitoring of COVID-19 pneumonia in pregnant women / D. Buonsenso, F. Raffaelli, E. Tamburrini [et al.]. – Text: direct // *Ultrasound Obstetrics and Gynecology*. – 2020. – Vol. 56, N. 1. – P. 106–109.

59. Colon ischemia in patients with severe COVID-19: a single-center retrospective cohort study of 20 patients / C. Yang, P. Hakenberg, C. Weiß [et al.]. – Text: direct // *International Journal of Colorectal Disease*. – 2021. – Vol. 36, N. 12. – P. 2769–2773.

60. Community Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2, Shenzhen, China, 2020 / J. Liu, X. Liao, S. Qian [et al.]. – Text: direct // *Emerging Infectious Diseases*. – 2020. – Vol. 26, N. 6. – P. 1320–1323.

61. Coronavirus disease (COVID-19) pandemic / WHO. - Geneva: WHO, 2020. - Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> (Дата обращения 14.12.2025). – Text: electronic.

62. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) CT Findings: A Systematic Review and Meta-analysis / C. Bao, X. Liu, H. Zhang [et al.]. – Text: direct // *Journal of the American College of Radiology*. – 2020. – Vol.17, N. 6. – P. 701-709.

63. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Re-infection by a Phylogenetically Distinct Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Strain Confirmed by Whole Genome Sequencing / K. W. To, I. F. N. Hung, J. D. Ip [et al.]. – Text: direct // *Clinical Infectious Diseases*. – 2020. – Vol. 73, N. 9. – P. e2946-e2951.

64. COVID-19 for the cardiologist. Basic virology, epidemiology, cardiac manifestations, and potential therapeutic strategies / D. Atri, H. K. Siddiqi, J. P. Lang [et al.]. – Text: direct // *JACC Basic to Translational Science*. – 2020. – Vol. 5, N. 5. – P. 518–536.

65. COVID-19 in the heart and the lungs: could we “Notch” the inflammatory storm? / P. Rizzo, F. Vieceli Dalla Sega, F. Fortini [et al.]. – Text: direct // *Basic Research in Cardiology*. – 2020. – Vol. 115, N. 3. – P. 31.
66. COVID-19 mortality risk assessment: An international multi-center study / D. Bertsimas, G. Lukin, L. Mingardi [et al.]. – Text: direct // *PLoS One*. – 2020. – Vol. 15, N. 12. – P. e0243262.
67. COVID-19 patients and the radiology department – advice from the European Society of Radiology (ESR) and the European Society of Thoracic Imaging (ESTI) / M. P. Revel, A. P. Parkar, H. Prosch [et al.]. – Text: direct // *European Radiology*. – 2020. – Vol. 30, N. 9. – P. 4903–4909.
68. COVID-19-associated cardiovascular morbidity in older adults: a position paper from the Italian Society of Cardiovascular Researches / F. Moccia, A. Gerbino, V. Lionetti [et al.]. – Text: direct // *Geroscience*. – 2020. – Vol. 42, N. 4. – P. 1021-1104.
69. Critically Ill COVID-19 Patients with Acute Kidney Injury Have Reduced Renal Blood Flow and Perfusion Despite Preserved Cardiac Function: A Case-Control Study Using Contrast-Enhanced Ultrasound / J. Watchorn, D. Y. Huang, J. Joslin [et al.]. – Text: direct // *Shock*. – 2021. – Vol. 55, N. 4. – P. 479-487.
70. CT findings and dynamic imaging changes of COVID-19 in 2908 patients: a systematic review and meta-analysis / X. Zhou, Y. Pu, D. Zhang [et al.]. – Text: direct // *Acta Radiology*. – 2022. – Vol. 63, N. 3. – P. 291-310.
71. CT Manifestations of Two Cases of 2019 Novel Coronavirus (2019- nCoV) Pneumonia / Y. Fang, H. Zhang, Y. Xu [et al.]. – Text: direct // *Radiology*. – 2020. – Vol. 295, N. 1. – P. 208-209.
72. Diagnostic Performance of 6-Point Lung Ultrasound in ICU Patients: A Comparison with Chest X-Ray and CT Thorax / M. Danish, A. Agarwal, P. Goyal [et al.]. – Text: direct // *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation*. – 2019. – Vol. 47, N. 4. – P. 307-319.
73. Elkind, M. S. Role of the American Heart Association in the global COVID-19 pandemic / M. S. Elkind, R. A. Harrington, I. J. Benjamin. – Text: direct // *Circulation*. – 2020. – Vol. 141, N. 15. – P. e743–e745.

74. Endothelial Dysfunction in COVID-19: Lessons Learned from Coronaviruses / E. Gavriilaki, P. Anyfanti, M. E. Gavriilaki [et al.]. – Text: direct // Current Hypertension Reports. – 2020. – Vol. 22, N. 9. – P. 63.

75. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study / N. Chen, M. Zhou, X. Dong [et al.]. – Text: direct // Lancet. – 2020. – Vol. 395, N. 10223. – P. 507–513.

76. Epidemiology and transmission of COVID-19 in 391 cases and 1286 of their close contacts in Shenzhen, China: a retrospective cohort study / Q. Bi, Y. Wu, S. Mei [et al.]. – Text: direct // The Lancet. Infectious Disease. – 2020. – Vol. 20, N. 8. – P. 911-919.

77. Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis / R. Verity, L. C. Okell, I. Dorigatti [et al.]. – Text: direct // The Lancet. Infectious Disease. – 2020. – Vol. 20, N. 6. – P. 669–677.

78. Evaluation of lung involvement in COVID-19 pneumonia based on ultrasound images / Z. Hu, Z. Liu, Y. Dong [et al.]. – Text: direct // Biomedical Engineering Online. – 2021. – Vol. 20, N. 1. – P. 27.

79. Findings of lung ultrasonography of novel corona virus pneumonia during the 2019-2020 epidemic / Q. Y. Peng, X. T. Wang, L. N. Zhang [et al.]. – Text: direct // Intensive Care Med. – 2020. – Vol. 46, N. 5. – P. 849–850.

80. Focus cardiac ultrasound core curriculum and core syllabus of the European Association of Cardiovascular Imaging / A. N. Nesković, H. Skinner, S. Price [et al.]. – Text: direct // European Heart Journal. Cardiovascular Imaging. – 2018. – Vol. 19, N. 5. – P. 475–481.

81. Fox, S. Point-of-care ultrasound and COVID-19 / S. Fox, S. Dugar. – Text: direct // Cleveland Clinic Journal of Medicine. – 2020. – Vol. 87, N. 8. – P. 87-92.

82. Hemodynamic monitoring by echo cardiography in the ICU: the role of the new echo techniques / R. Salem, F. Vallee, M. Rusca, A. Mebazaa. – Text: direct // Current Opinion in Critical Care. – 2008. – Vol. 14, N. 5. – P. 561–568.

83. High risk of thrombosis in patients in severe SARS-CoV-2 infection: a multicenter prospective cohort study / J. Helms, C. Tacquard, F. Severac [et al.]. – Text:

direct // Intensive Care Medicine. – 2020. – Vol. 46, N. 6. – P. 1089–1098.

84. Identification of a novel coronavirus causing severe pneumonia in human: A descriptive study / L. L. Ren, Y. M. Wang, Z. Q. Wu [et al.]. – Text: direct // Chinese Medical Journal. – 2020. – Vol. 133, N. 9. – P. 1015–1024.

85. Identification of a potential mechanism of acute kidney injury during the COVID-19 outbreak: a study based on single-cell transcriptome analysis / X. W. Pan, D. Xu, H. Zhang [et al.]. – Text: direct // Intensive Care Med. – 2020. – Vol. 46, N. 6. – P. 1114-1116.

86. Incidence of thrombotic complications in critically ill ICU patients with COVID-19 / F. A. Klok, M. J. H. A. Kruip, N. J. M. van der Meer [et al.]. – Text: direct // Thrombosis Research. – 2020. – Vol. 191. – P. 145–147.

87. Initial CT findings and temporal changes in patients with the novel coronavirus pneumonia (2019-nCoV): a study of 63 patients in Wuhan China / Y. Pan, H. Guan, S. Zhou [et al.]. – Text: direct // European Radiology. – 2020. – Vol. 30, N. 6. – P. 3306-3309.

88. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound / G. Volpicelli, M. Elbarbary, M. Blaivas [et al.]. – Text: direct // Intensive Care Med. – 2012. – Vol. 38, N. 4. – P. 577-591.

89. Intestinal ischemic manifestations of SARS-CoV-2: Results from the ABDOCOVID multicentre study / L. Norsa, P. A. Bonaffini, M. Caldato [et al.]. – Text: direct // World Journal Gastroenterology. – 2021. – Vol. 27, N. 32. – P. 5448-5459.

90. Is there a role for lung ultrasound during the COVID-19 pandemic? / G. Soldati, A. Smargiassi, R. Inghingolo [et al.]. – Text: direct // Journal Ultrasound in Medicine. – 2020. – Vol. 39, N. 7. – P. 1459–1462.

91. Kidney disease is associated with in-hospital death of patients with COVID-19 / Y. Cheng, R. Luo, K. Wang [et al.]. – Text: direct // Kidney International. – 2020. – Vol. 97, N. 5. – P. 829–838.

92. Kidney impairment is associated with in-hospital death of COVID-19 patients / Y. Cheng, R. Luo, K. Wang [et al.]. – URL:

[https://www.uab.edu/medicine/obriencenter/images/Cheng\\_2020\\_Kidney\\_impairment\\_in\\_Covid-19\\_002.pdf](https://www.uab.edu/medicine/obriencenter/images/Cheng_2020_Kidney_impairment_in_Covid-19_002.pdf). – Text: electronic.

93. Lee, I. C. Gastrointestinal and Liver Manifestations in Patients with COVID-19 / I. C. Lee, T. I. Huo, Y. H. Huang. – Text: direct // Journal of the Chinese Medical Association: JCMA. – 2020. – Vol. 83, N. 6. – P. 521-523.

94. Lichtenstein, D. A. Lung Ultrasound in the Critically Ill / D. A. Lichtenstein. – Text: direct // Annals of Intensive Care. – 2014. – Vol. 4, N. 1. – P. 1.

95. Lichtenstein, D. A. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure. The BLUE-protocol / D. A. Lichtenstein, G. A. Mezière. – Text: direct // Chest. – 2008. – Vol. 134, N. 1. – P. 117–125.

96. Lippi, G. D-dimer is associated with severity of coronavirus disease 2019: a pooled analysis / G. Lippi, E. J. Favalaro. – Text: direct // Thrombosis and Haemostasis. – 2020. – Vol. 120, N. 5. – P. 876–878.

97. Liver stiffness by transient elastography accompanies illness severity in COVID-19 / M. Effenberger, C. Grander, G. Fritsche [et al.]. – Text: direct // BMJ Open Gastroenterology. – 2020. – Vol. 7, N. 1. – P. e000445.

98. Lung ultrasound and computed tomographic findings in pregnant woman with COVID-19 / E. Kalafat, E. Yaprak, G. Cinar [et al.]. – Text: direct // Ultrasound Obstetrics and Gynecology. – 2020. – Vol. 55, N. 6. – P. 835–837.

99. Lung ultrasound and the COVID-19 “Pattern”: Not all that glitter today is gold tomorrow / L. Vetrugno, T. Bove, D. Orso [et al.]. – Text: direct // Journal of Ultrasound in Medicine. – 2020. – Vol. 39, N. 11. – P. 2281-2282.

100. Lung ultrasound for pregnant women admitted to ICU for COVID-19 pneumonia / A. Giannini, A. Mantovani, C. Vezzoli [et al.]. – Text: direct // Minerva Anestesiologica. – 2020. – Vol. 86, N. 11. – P. 1248–1249.

101. Lung Ultrasound in Predicting Outcomes in Patients with COVID-19 Treated with Extracorporeal Membrane Oxygenation / V. S. Schäfer, F. Recker, E. Kretschmer [et al.]. – Text: direct // Viruses. – 2023. – Vol. 15, N. 9. – P. 1796.

102. Lung ultrasound score severity cut-off points in COVID-19 pneumonia. A systematic review and validating cohort / J. Gil-Rodríguez, J. Pérez de Rojas, P. Aranda-

Laserna [et al.]. – Text: direct // *Medicina Clinica*. – 2023. – Vol. 160, N. 12. – P. 531–539.

103. Lymphopenic community acquired pneumonia as signature of severe COVID-19 infection / J. F. Bermejo-Martin, R. Almansa, R. Menéndez [et al.]. – Text: direct // *The Journal Infection*. – 2020. – Vol. 80, N. 5. – P. e23–e24.

104. Marked T cell activation, senescence, exhaustion and skewing towards TH17 in patients with COVID-19 pneumonia / S. De Biasi, M. Meschiari, L. Gibellini [et al.]. – Text: direct // *Nature Communications*. – 2020. – Vol. 11, N. 1. – P. 3434.

105. Moore, C. L. Point-of-care ultrasonography / C. L. Moore, J. A. Copel. – Text: direct // *The New England Journal of Medicine*. – 2011. – Vol. 364, N. 8. – P. 749–757.

106. Multiple organ dysfunction in SARS-CoV-2: MODS-CoV-2 / C. Robba, D. Battaglini, P. Pelosi [et al.]. – Text: direct // *Expert Review of Respiratory Medicine*. – 2020. – Vol. 14, N. 9. – P. 865–868.

107. Non-alcoholic fatty liver diseases in patients with COVID-19: A retrospective study / D. Ji, E. Qin, J. Xu [et al.]. – Text: direct // *Journal of Hepatology*. – 2020. – Vol. 73, N. 2. – P. 451–453.

108. Novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019 / N. Zhu, D. Zhang, W. Wang [et al.]. – Text: direct // *The New England Journal of Medicine*. – 2020. – Vol. 382, N. 8. – P. 727–733.

109. Novel Coronavirus Pneumonia Outbreak in 2019: Computed Tomographic Findings in Two Cases / X. Lin, Z. Gong, Z. Xiao [et al.]. – Text: direct // *Korean Journal of Radiology*. – 2020. – Vol. 21, N. 3. – P. 365–368.

110. Orso, D. Lung ultrasound in diagnosing pneumonia in the emergency department: A systematic review and meta-analysis / D. Orso, N. Guglielmo, R. Copetti. – Text: direct // *European Journal Emergency Medicine*. – 2018. – Vol. 25, N. 5. – P. 312–321.

111. Pathological changes of the spleen in ten patients with coronavirus disease 2019(COVID-19) by postmortem needle autopsy / X. Xu, X. N. Chang, H. X. Pan [et al.]. – Text: direct // *Zhonghua Bing Li Xue ZaZhi*. – 2020. – Vol. 49, N. 6. – P. 576-582.

112. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome / Z. Xu, L. Shi, Y. Wang [et al.]. – Text: direct // *The Lancet Respiratory Medicine*. – 2020. – Vol. 8, N. 4. – P. 420–422.

113. Percutaneous cannulation for extracorporeal membrane oxygenation by intensivists: a retrospective single-institution case series / S. A. Conrad, L. R. Grier, L. K. Scott [et al.]. – Text: direct // *Critical Care Medicine*. – 2015. – Vol. 43, N. 5. – P. 1010–1015.

114. Performance of radiologists in differentiating COVID-19 from viral pneumonia on chest CT / H. X. Bai, B. Hsieh, Z. Xiong [et al.]. – Text: direct // *Radiology*. – 2020. – Vol. 296, N. 2. – P. E46-E54.

115. Persistence of coronaviruses on an inanimate surface and their inactivation by biocidal agents / G. Kampf, D. Todt, S. Pfander, E. Steinmann. – Text: direct // *The Journal of Hospital Infection*. – 2020. – Vol. 104, N. 3. – P. 246-251.

116. Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 – a narrative review / M. J. Smith, S. A. Hayward, S. M. Innes, A. S. C. Miller. – Text: direct // *Anaesthesia*. – 2020. – Vol. 75, N. 8. – P. 1096-1110.

117. Position paper for the organization of extracorporeal membrane oxygenation programs for acute respiratory failure in adult patients / A. Combes, D. Brodie, R. Bartlett [et al.]. – Text: direct // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. – 2014. – Vol. 190, N. 5. – P. 488–496.

118. Postmortem kidney pathology findings in patients with COVID-19 / D. Santoriello, P. Khairallah, A. S. Bomback [et al.]. – Text: direct // *Journal of the American Society of Nephrology: JASN*. – 2020. – Vol. 31, N. 9. – P. 2158-2167.

119. Predictors of successful extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) weaning after assistance for refractory cardiogenic shock / N. Aissaoui, C. E. Luyt, P. Leprince [et al.]. – Text: direct // *Intensive Care Medicine*. – 2011. – Vol. 37, N. 11. – P. 1738–1745.

120. Prevalence and prognosis of cor pulmonale during protective ventilation for acute respiratory distress syndrome / F. Boissier, S. Katsahian, K. Razazi [et al.]. – Text: direct // *Intensive Care Medicine*. – 2013. – Vol. 39, N. 10. – P. 1725–1733.

121. Prognostic Value of Right Ventricular Longitudinal Strain in Patients with COVID-19 / Y. Li, H. Li, S. Zhu [et al.]. – Text: direct // *JACC. Cardiovascular Imaging*. – 2020. – Vol. 13, N. 11. – P. 2287–2299.

122. Prompetchara, E. Immune responses in COVID-19 and potential vaccines: Lessons learned from SARS and MERS epidemic / E. Prompetchara, C. Ketloy, T. Palaga. – Text: direct // *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*. – 2020. – Vol. 38, N. 1. – P. 1–9.

123. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging / R. M. Lang, L. P. Badano, V. Mor-Avi [et al.]. – Text: direct // *Journal of the American Society of Echocardiography*. – 2015. – Vol. 28, N. 1. – P. 1–39. e14.

124. Recommendations for the treatment of severe coronavirus disease 2019 based on critical care ultrasound / L. N. Zhang, M. G. Yin, W. He [et al.]; Chinese Critical Ultrasound Study Group, Chinese Society of Critical Care Medicine, Chinese Hemodynamic Therapy Collaboration Group of Critical Care Medicine. – Text: direct // *Zhonghua Nei Ke Za Zhi*. – 2020. – Vol. 59, N. 9. – P. 677–688. (In Chinese).

125. Renal Resistive Index as a Predictor of Acute Kidney Injury and Mortality in COVID-19 Critically Ill Patients / E. G. Cruz, B. E. Broca Garcia, D. M. Sandoval [et al.]. – Text: direct // *Blood Purification*. – 2022. – Vol. 51, N. 4. – P. 309–316.

126. Role of ultrasound in the critical ill patient with ECMO / L. Martin-Villen, R. Martin-Bermudez, H. Perez-Chomon [et al.]. – Text: direct // *Medicina Intensiva*. – 2024. – Vol. 48, N. 1. – P. 46-55.

127. Ronco, C. Management of acute kidney injury in patients with COVID-19 / C. Ronco, T. Reis, F. Husain-Syed. – Text: direct // *The Lancet. Respiratory Medicine*. – 2020. – Vol. 8, N. 7. – P. 738-742.

128. Saraogi, A. Lung ultrasound: Present and future / A. Saraogi. – Text: direct // *Lung India*. – 2015. – Vol. 32, N. 3. – P. 250–257.

129. Sethuraman, N. Interpreting Diagnostic Tests for SARS-CoV-2 / N. Sethuraman, S. S. Jeremiah, A. Ryo. – Text: direct // *JAMA*. – 2020. – Vol. 323, N. 22. –

P. 2249–2251.

130. Severe covid-19 pneumonia: pathogenesis and clinical management / A. H. Attaway, R. G. Scheraga, A. Bhimraj [et al.]. – Text: direct // *BMJ: British Medical Journal*. – 2021. – Vol. 372. – P. n436.

131. Should we stimulate or suppress immune responses in COVID-19? Cytokine and anti-cytokine interventions / Y. Jamilloux, T. Henry, A. Belot [et al.]. – Text: direct // *Autoimmunity Reviews*. – 2020. – Vol. 19, N. 7. – P. 102567.

132. Spectrum of Cardiac Manifestations in COVID-19 / Y. Szekely, Y. Lichter, P. Taieb [et al.]. – Text: direct // *Circulation*. – 2020. – Vol. 142, N. 4. – P. 342–353.

133. Suárez, S. G. Lung Ultrasound Findings in COVID-19 Patients, Patients Recovered from COVID-19, and Patients without Lung Disorders / S. G. Suárez // *Ultrasound - The Next Step in Clinical Evaluation* / edited by D. L. Stoian. – <https://www.intechopen.com/chapters/1179865>. – (Accessed: 06.02.2026). – Text: electronic.

134. Successful percutaneous thrombectomy in a patient with COVID-19 pneumonia and acute pulmonary embolism supported by extracorporeal membran oxygenation / M. O. Schmiady, J. Sromicki, N. Kucher, A. Ouda. – Text: direct // *European Heart Journal*. – 2020. – Vol. 41, N. 32. – P. 3107.

135. Sun, K. Impact of contact tracing on SARS-CoV-2 transmission / K. Sun, C. Viboud. – Text: direct // *The Lancet. Infectious Diseases*. – 2020. – Vol. 20, N. 8. – P. 876-877.

136. The crazy-paving pattern: a radiological-pathological correlation / W. de Wever, J. Meersschaert, J. Coolen [et al.]. – Text: direct // *Insights Imaging*. – 2011. – Vol. 2, N. 2. – P. 117-132.

137. The incubation period of COVID-19- A rapid systematic review and meta-analysis of observational research / C. G. McAloon, B. A. Collins, K. H. Hunt [et al.]. – Text: direct // *BMJ Open*. – 2020. – Vol. 10, N. 8. – P. e039652.

138. The National Early Warning Score 2 (NEWS2) / G. B. Smith, O. C. Redfern, M. A. Pimentel [et al.]. – Text: direct // *Clinical Medicine (London)*. – 2019. – Vol. 19, N. 3. – P. 260.

139. The pathophysiology of 'happy' hypoxemia in COVID-19 / S. Dhont, E. Derom, E. V. Braeckel [et al.]. – Text: direct // *Respiratory Research*. – 2020. – Vol. 21, N. 1. – P. 198.

140. The Role of Chest Imaging in Patient Management During the COVID-19 Pandemic: A Multinational Consensus Statement from the Fleischner Society / G. D. Rubin, C. J. Ryerson, L. B. Haramati [et al.]. – Text: direct // *Chest*. - 2020. - Vol. 158, N. 1. - P. 106-116.

141. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3) / M. Singer, C. S. Deutschman, C. W. Seymour [et al.]. – Text: direct // *JAMA*. – 2016. – Vol. 315, N. 8. – P. 801-810.

142. The value of lung ultrasound monitoring in H1N1 acute respiratory distress syndrome / A. Peris, G. Zagli, F. Barbani [et al.]. – Text: direct // *Anaesthesia*. – 2010. – Vol. 65, N. 3. – P. 294–297.

143. The vascular endothelium: the corner- stone of organ dysfunction in severe SARS-CoV-2 infection / S. Pons, S. Fodil, E. Azoulay [et al.]. – Text: direct // *Critical Care*. – 2020. – Vol. 24, N. 1. – P. 353.

144. Tyrrell, D. A. Cultivation of viruses from a high proportion of patients with colds / D. A. Tyrrell, M. L. Bynoe. – Text: direct // *Lancet*. – 1966. – Vol. 1, N. 7428. – P. 76–77.

145. Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill / D. A. Lichtenstein, N. Lascols, G. Mezière, A. Gepner. – Text: direct // *Intensive Care Medicine*. – 2004. – Vol. 30, N. 2. – P. 276–281.

146. Use of Lung Ultrasound to Differentiate Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pneumonia from Community-Acquired Pneumonia / G. Tan, X. Lian, Z. Zhu [et al.]. – Text: direct // *Ultrasound in Medicine and Biology*. – 2020. – Vol. 46, N. 10. – P. 2651-2626.

147. Velavan, T. P. The COVID-19 epidemic / T. P. Velavan, C. G. Meyer. – Text: direct // *Tropical Medicine and International Health*. – 2020. – Vol. 25, N. 3. – P. 278-280.

148. Venous and arterial thromboembolic complications in COVID-19 patients admitted to an academic hospital in Milan, Italy / C. Lodigiani, G. Iapichino, L. Carezzo [et al.]. – Text: direct // *Thrombosis Research*. – 2020. – Vol. 191. – P. 9–14.

149. Virological assessment of hospitalized cases of coronavirus disease 2019 / R. Wölfel, V. M. Corman, W. Guggemos [et al.]. – Text: direct // *Nature*. – 2020. – Vol. 581, N. 7809. – P. 465-469.

150. Volpicelli, G. Sonographic signs and patterns of COVID-19 pneumonia / G. Volpicelli, L. Gargani. – Text: direct // *The Ultrasound Journal*. – 2020. – Vol. 12, N. 1. – P. 22.

151. Volpicelli, G. What's new in lung ultrasound during the COVID-19 pandemic / G. Volpicelli, A. Lamorte, T. Villén. – Text: direct // *Intensive Care Medicine*. – 2020. – Vol. 46, N. 7. – P. 1445-1448.

152. Walsh, P. Point of care lung ultrasound is useful when screening for CoVid-19 in Emergency Department patients / P. Walsh, A. Hankins, H. Bang. – Text: direct // *medRxiv [Preprint]*. - 2020.06.09.20123836.

153. Wu, Z. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese center for disease control and prevention / Z. Wu, J. M. McGoogan. – Text: direct // *JAMA*. – 2020. – Vol. 323, N. 13. – P. 1239–1242.

154. Yasukawa, K. Point-of-Care Lung Ultrasound Findings in Patients with Novel Coronavirus Disease (COVID-19) Pneumonia / K. Yasukawa, T. Minami. – Text: direct // *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. – 2020. – Vol. 102, N. 6. – P. 1198–1202.

155. Zitek, T. The appropriate use of testing for COVID-19 / T. Zitek. – Text: direct // *The Western Journal of Emergency Medicine*. – 2020. – Vol. 21, N. 3. – P. 470–472.

Ультразвуковые градации. Консенсусное заявление РАСУМД об ультразвуковом исследовании легких в условиях пандемии COVID-19 (Версия-2)

- Ультразвуковая градация 0. Плевральная линия не изменена, А-линии прослеживаются, В-линии единичные в одном межреберье три, либо не визуализируются.
- Ультразвуковая градация 1а. Множественными рассеянными В-линии, в одном межреберье более трех, чаще шесть-восемь.
- Ультразвуковая градация 1б. Множественные В-линии, которые сливаются между собой и формируется ультразвуковая картина «белого легкого».
- Ультразвуковая градация 1а+ или 1б+. Мелкие консолидации до 1.0 см на фоне интерстициальных изменений, плевральная линия изменена
- Ультразвуковая градация 2 или 2+. Протяженная кортикальная консолидация (зона инфильтрации) толщиной более 1,0 см на фоне интерстициальных изменений.
- Ультразвуковая градация 3. Обширная консолидация (синоним: инфильтрация). Может быть сегментарной либо долевой, на фоне безвоздушной легочной ткани четко определяется воздушная бронхограмма.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 - Протокол оценки тяжести состояния пациента (NEWS 2)

Параметр	Расшифровка баллов	Балл пациента
<b>ЧАСТОТА ДЫХАНИЯ ЗА 1 МИНУТУ</b>		
<= 8	3	
9 - 11	1	
12 - 20	0	
21 - 24	2	
>= 25	3	
<b>НАСЫЩЕНИЕ КРОВИ КИСЛОРОДОМ, %</b>		
<= 91	3	
92 - 93	2	
94 - 95	1	
>= 96	0	
<b>НЕОБХОДИМОСТЬ ИНСУФЛЯЦИИ КИСЛОРОДА</b>		
Да	1	
Нет	0	
<b>ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА, °С</b>		
<= 35,0	3	
35,1 - 36,0	1	
36,1 - 38,0	0	
38,1 - 39,0	1	
>= 39,1	2	
<b>СИСТОЛИЧЕСКОЕ АРТЕРИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ, ММ РТ. СТ.</b>		
<= 90	3	
91 - 100	2	
101 - 110	1	

Продолжение таблицы Б.1

111 - 219	0	
>= 220	3	
<b>ЧАСТОТА СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ В 1 МИНУТУ</b>		
<= 40	3	
41 - 50	1	
51 - 90	0	
91 - 110	1	
111 - 130	2	
>= 131	3	
<b>ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ СОЗНАНИЯ</b>		
Нет	0	
Есть	3	
ИТОГО	___ баллов (УКАЗАТЬ РЕЗУЛЬТАТ)	

**1 - 4 балла** (низкий балл): требует оценки состояния пациента для его госпитализации

**5 - 6 баллов** (средний балл) или один из параметров = 3 баллам: требует консультации врача-реаниматолога для оценки витальных функций и решения вопроса о маршрутизации пациента

**> 7 баллов** (высокий балл): как правило, требует маршрутизации пациента в ОРИТ

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 - Протокол оценки тяжести состояния пациента (qSOFA)

Показатель	Баллы
Снижение артериального давления (АД систолическое $\leq 100$ мм. рт.ст.)	1
Увеличение частоты дыхания ( $\geq 22$ дыханий/мин)	1
Нарушение сознания (по шкале Глазго $< 15$ )	1