

Модельная оценка эффективности своевременной изоляции пациентов с признаками респираторной инфекции в детском стационаре

Н. В. Саперкин^{*1}, Л. Ю. Послова², М. Ю. Кириллин³, М. Е. Гарбуз¹, О. В. Ковалишена¹

¹ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, г. Нижний Новгород

²ГБУЗ НО «Нижегородская областная детская больница», г. Нижний Новгород

³ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грекова РАН», г. Нижний Новгород

Резюме

Актуальность. Внутрибольничные острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ) выступают значимой причиной высокой заболеваемости в педиатрических стационарах, особенно в отделениях для детей раннего возраста. Для борьбы с ИСМП сохраняется потребность в противоэпидемических и профилактических мероприятиях с доказанной эффективностью. Современным способом объективной оценки мер по контролю инфекции служит математическое моделирование. **Цель.** Определение возможной тенденции распространения внутрибольничных ОРВИ в условиях крупного многопрофильного детского стационара, а также оценка эффективности своевременной изоляции пациентов с признаками ОРВИ. **Материалы и методы.** Для оценки эффективности своевременной изоляции пациентов с признаками ОРВИ применили агентную модель распространения внутрибольничной инфекции. Были использованы первичные данные о заболеваемости ОРВИ, количестве коек, составе и частоте заносов в многопрофильный неинфекционный детский стационар областного уровня. В модели также реализована возможность смены агентом отделения. Для моделирования противоэпидемического мероприятия в разработанную имитационную модель было включено выполнение врачом локального алгоритма действий в случае обнаружения больного с симптомами ОРВИ (50% вероятность несоблюдения изоляции; 100% практически все источники инфекции изолированы, принятие решения, идеальный вариант). Эффективность изоляции источника инфекции оценивали при разных ее вариантах. Вычисления и статистический анализ выполняли в MATLAB 7.6 и R 4.2.1(RStudio). **Результаты и обсуждение.** Максимальные значения абсолютного суточного прироста случаев ОРВИ наблюдались тогда, когда правила изоляции источника инфекции не соблюдались – медиана 32,9 (МКИ 32,4–33,4) заболевших (колебания от 4,0 до 34,8). С увеличением вероятности изоляции пациента с ОРВИ прирост заболевших снижался: при вероятности изоляции источника 50% медиана составляла 5,7 (5–6,5), при 90% – 3,1 (2,8–3,6), при 100% – 2,9 (2,6–3,4). При сравнении отделений в динамике по модельным оценкам отмечалась их неодинаковая вовлеченность в эпидемический процесс и волнообразное распространение инфекции. Выявлены статистически значимые различия в прогнозируемом числе случаев ОРВИ при разном уровне изоляции. **Заключение.** Получены доказательства эффективности своевременной изоляции источника инфекции, что может быть использовано при обосновании мероприятий по контролю ИСМП.

Ключевые слова: острая респираторная вирусная инфекция, изоляция, агентная модель, внутрибольничная инфекция, инфекционный контроль

Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Саперкин Н. В., Послова Л. Ю., Кириллин М. Ю. и др. Модельная оценка эффективности своевременной изоляции пациентов с признаками респираторной инфекции в детском стационаре. Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2025;24(1):59–67. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-1-59-67>

Effectiveness of Timely Isolation of Patients with Respiratory Infection in a Children's Hospital: a Simulation Study

NV Saperkin^{**1}, LJ Poslova², MJ Kirillin³, ME Garbuz¹, OV Kovalishena¹

¹Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

²State Budgetary Institution of Healthcare of the Nizhny Novgorod Region «Nizhny Novgorod Regional Children's Clinical Hospital», Nizhny Novgorod, Russia

³A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

* Для переписки: Саперкин Николай Валентинович, к. м. н., магистр (MSc), доцент, доцент кафедры эпидемиологии, микробиологии и доказательной медицины, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, 603074, Россия, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1. +7 (903) 847-45-89, +7 (831) 439-01-84, saperkinnv@mail.ru. ©Саперкин Н. В. и др.

** For correspondence: Nikolai V. Saperkin, Cand. Sci. (Med.), MSc, associate professor, Privolzhsky Research Medical University, 10/1, Pl. Minina i Pozharskogo, Nizhny Novgorod, Russia, 603074. +7 (903) 847-45-89, +7 (831) 439-01-84, saperkinnv@mail.ru. ©Saperkin NV, et al.

Abstract

Relevance. Hospital-acquired acute respiratory viral infections (ARVI) are a significant cause of high morbidity in pediatric hospitals, especially in departments for small children. To control HCAI, there is still a need for evidence-based anti-epidemic and preventive measures. Mathematical modeling is known to be an attractive approach for objectively assessing infection control measures. In this study, we demonstrate effectiveness of timely isolation of the source of respiratory infection (i.e. an infected individuals) which might be revealed in a large pediatric hospital. **Materials & Methods.** We developed an agent-based model of the spread of nosocomial respiratory infection to assess the effectiveness of timely isolation of patients with ARVI. Primary data on the incidence of ARVI, the number of beds, and the frequency of infection in a multidisciplinary non-infectious children's hospital at the regional level were used. The model also implements the ability of the agent to change the department. To simulate the anti-epidemic measure, we included in the developed simulation model the execution of a local algorithm of actions by a doctor in the event of detection of a patient with ARVI (50% probability of non-compliance with isolation; almost all sources of infection are isolated; 100% decision-making, the ideal option). **Results.** The maximum absolute daily increase in ARVI cases were observed in scenarios where the rules for isolating the source of infection were violated; here the median equaled 32.9 (IQR 32.4-33.4) cases, ranging from 4.0 to 34.8 cases. With an increase in the probability of isolating a patient with ARVI, the indicator decreased: with a 50% probability of isolating the source, the median was 5.7 (5-6.5); 90% probability – 3.1 (2.8-3.6); 100% probability – 2.9 (2.6-3.4) cases. According to model estimates, when comparing the departments over time, we noted their unequal involvement in the epidemic process and wave-like spread of infection. Statistically significant differences in the predicted number of ARVI cases with different probabilities of isolation were revealed. **Conclusion.** We used a simulation agent-based approach to modeling nosocomial ARVI. This allowed us to correctly describe the spread of infection among patients in a children's hospital, as well as to assess the effectiveness of timely isolation of the source of infection. In our model, we took into account various options for the interaction of agents with each other. In addition, we fit importations of the infection and studied how they could facilitate the spread of the infection. The solid evidence was obtained of the effectiveness of timely isolation of the source of infection identified in healthcare settings, which can be used to justify control measures.

Keywords: acute respiratory viral infection, agent-based model, healthcare-associated infection, infection control
No conflict of interest to declare.

For citation: Saperkin NV, Poslova LJ, Kirillin MJ, et al. Effectiveness of timely isolation of patients with respiratory infection in a children's hospital: a simulation study. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2025;24(1):59-67 (In Russ.). <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-1-59-67>

Введение

Среди инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, наиболее распространены инфекции с вовлечением дыхательных путей. Они представляют серьезную угрозу как для пациентов, так и для персонала, требуют дополнительных усилий по контролю, прогнозированию и обеспечению эпидемиологической безопасности [1]. Отметим, что при внутрибольничном распространении острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ) быстро могут стать причиной эпидемического неблагополучия в одном или нескольких отделениях медицинской организации. Важно помнить о следующих особенностях рассматриваемой проблемы. На ОРВИ приходится около 30% всех внутрибольничных инфекционных заболеваний [2,3]. В целом ряд авторов сообщают о нарастании внутрибольничного распространения ОРВИ в последние годы [5–7]. Они нередко оказываются прогностически негативным фактором, определяя неблагоприятный исход пребывания в стационаре. Присоединение ОРВИ к основному заболеванию способно удлинять сроки пребывания пациента в стационаре, повышать стоимость лечения, а также вести к снижению эффективности лечения основного заболевания и высокому риску развития осложнений респираторной инфекции [8].

Разнообразие этиологии и гетерогенность нозологических форм ОРВИ также являются неотъем-

лемыми атрибутами этой ИСМП. Ограниченные возможности специфической иммунопрофилактики, несомненно, вносят существенный вклад в риск возникновения и распространения инфекции [9].

Именно внутрибольничные респираторные вирусные инфекции являются причиной высокой заболеваемости в педиатрических стационарах, особенно в отделениях для детей раннего возраста [5].

На необходимость надежных прогнозов развития эпидемического процесса ОРВИ давно обращено внимание [10–12]. Например, в 2023 г. в европейском регионе предложена платформа RespiCast для прогнозов в реальном времени активности и бремени ОРВИ, гриппа и COVID-19. На систематической основе Роспотребнадзор РФ, как известно, определяет сроки вероятного начала эпидемического подъема гриппа и пр. В то же время в отношении внутрибольничной ОРВИ методологический подход к созданию предсказательных моделей разработан в полной мере. Это при том, что при планировании противоэпидемических и профилактических мероприятий с доказанной эффективностью моделирование может стать важным способом объективной оценки вводимых мер.

Цель – определение возможной тенденции распространения внутрибольничных ОРВИ в условиях крупного многопрофильного детского стационара, а также оценка эффективности своевременной изоляции пациентов с признаками ОРВИ.

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе многопрофильного неинфекционного детского стационара областного уровня (далее – МО), состоящего из 18 палатных отделений (от 40 до 60 коек) и двух реанимационных отделений. Свыше 70% принимаемых пациентов прибывают из районов Нижегородской области. Количество поступивших пациентов по отделениям находилось в пределах от 446 до 1969 человек; ежемесячно, в среднем, от 37 до 164 пациентов в отделении.

Материалами исследования являлись: медицинские карты стационарного больного, журналы учета пациентов и инфекционных больных, годовые отчеты подразделений МО, рапорты о случаях выявления больного с инфекционным заболеванием (заносы инфекции и ИСМП).

Агентная модель распространения внутрибольничной инфекции построена на принципах, ранее использованных для построения агентной модели распространения COVID-19 [13]. Под популяцией подразумевалось множество, которое представлено госпитализированными в больницу лицами. Для определения числа агентов в популяции использованы данные о количестве коек в каждом отделении. Вся популяция была разбита на непересекающиеся подмножества, каждое из которых представляет собой группу агентов в определенном отделении. Для каждого из агентов вводился параметр продолжительности госпитализации, определяемый случайно, исходя из статистических данных о средней продолжительности госпитализации в МО. В день выписки агент удаляется из множества агентов, находящихся в отделении, и место становится вакантным, а потому его может занять новый агент.

В рамках модели принято, что агенты могут взаимодействовать друг с другом только внутри отделе-

ния, поэтому передача инфекции может происходить только между двумя агентами, принадлежащими к одному множеству. В качестве основного параметра, характеризующего заразность заболевания, выбрана вероятность заражения при единичном контакте P . В модели считается, что ежедневно каждый агент подмножества контактирует с каждым из других агентов, относящихся к этому множеству. Вероятность заражения P может быть приблизительно связана с традиционно используемым коэффициентом распространения R как

$$R = P \cdot t \cdot N_i$$

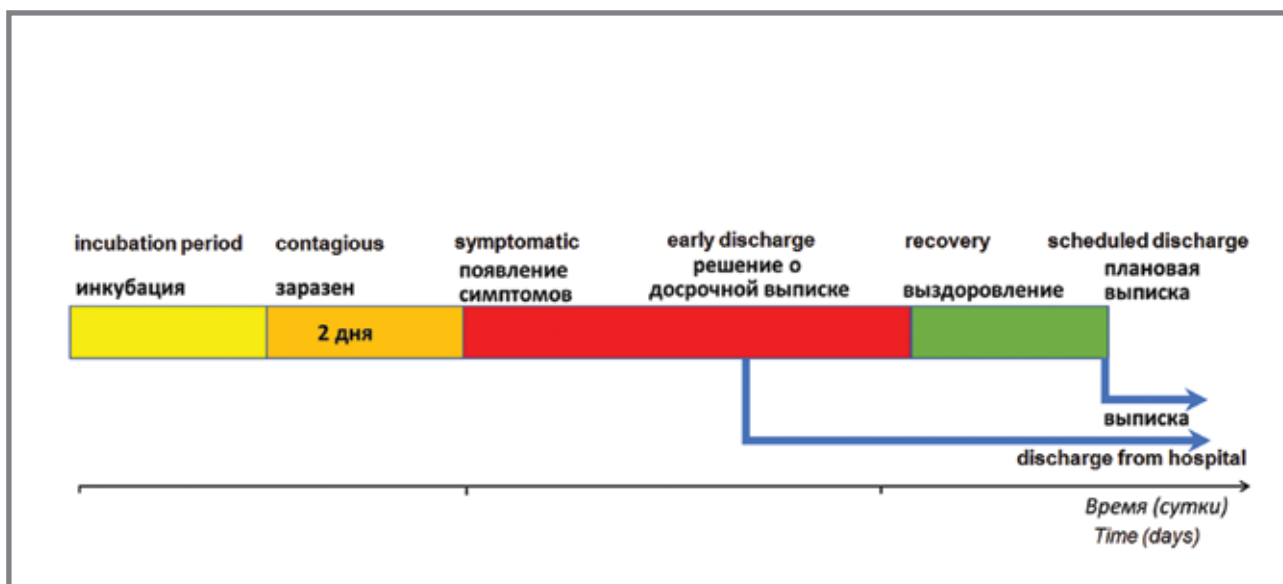
где t – средняя продолжительность периода, в течение которого агент остается заразным, – среднее количество агентов в отделении, соответствующее числу коек.

Клиническое течение ОРВИ мы моделировали с помощью смены бинарных статусов агента. Типичный сценарий болезни после заражения представлен на рис. 1.

Поскольку внутри МО пациент может быть переведен из одного отделения в другое, в модели реализована возможность смены отделения агентом. В этом случае он переходит из множества в множество, при этом все остальные его статусы сохраняются, однако со следующего дня взаимодействовать он будет уже с агентами из множества. В модели использованы статистические данные о характерном числе случаев перемещения пациента из одного отделения в другое.

Модель регистрации случая ОРВИ организована следующим образом. Считается, что после появления симптомов этот факт не позднее следующего дня фиксируется сотрудниками больницы, и агент с симптомами попадает в статистику заболеваемости. Однако решение о его досрочной выписке

Рисунок 1. Типичный сценарий протекания заболевания и сопутствующих ему событий (шкала времени условная)
Figure 1. Typical scenario of the course of the disease and associated events (time scale is arbitrary)



может зависеть от ряда факторов. Например, решение о досрочной выписке врач может не принимать во время выходных дней. Другим параметром является вероятность принятия решения P_{ex} о досрочной выписке, учитывающая человеческий фактор и описывающая комплаентность лечащего врача при обнаружении у ребенка симптомов респираторной инфекции. В случае принятия решения о досрочной выписке она производится на следующий день после принятия такого решения.

Одним из механизмов поддержания циркуляции внутрибольничной инфекции, очевидно, являются заносы, когда поступающий в стационар пациент уже инфицирован. В модели этот механизм мы также учли. Используя статистические данные о количестве заносов в зависимости от сезона, в модели реализована вероятность того, что новый агент, попадающий в отделение, инфицирован. Более того, считается, что он оказывается госпитализированным на начальной стадии заболевания, поскольку в случае наличия манифестных симптомов в госпитализации может быть отказано. Полная схема взаимодействия агентов в модели представлена на рисунке 2.

Для моделирования противоэпидемического мероприятия (изоляция источника ОРВИ) в разработанную имитационную модель было включено выполнение лечащими врачами локального алгоритма действий медицинских работников в случае выявления больного с симптомами ОРВИ. Эффективность изоляции источника инфекции (ребенок

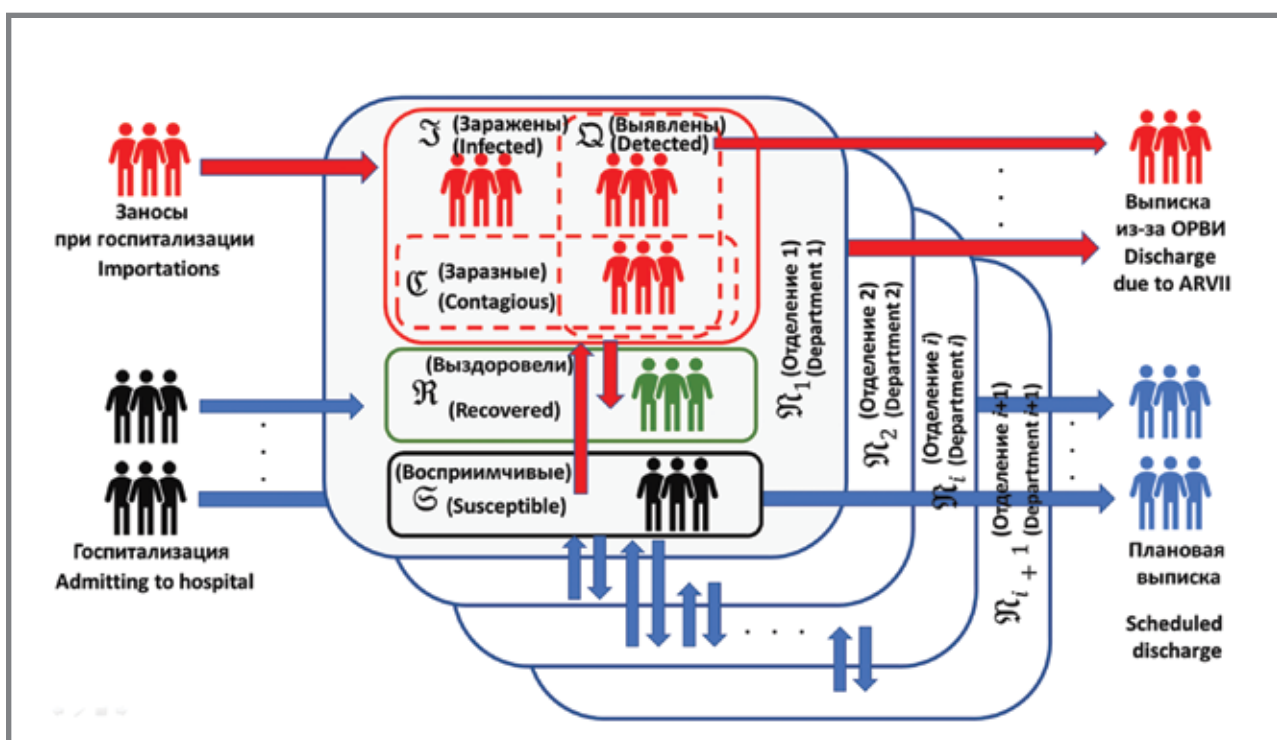
с подозрением на ОРВИ) измеряли при разной вероятности ее выполнения (50% вероятность несоблюдения изоляции; 100% сценарий, близкий к идеальному, – практически все источники инфекции изолированы, принятие решения об изоляции, т.е. идеальный вариант) путем сравнения среднего числа случаев инфекции (медианы с соответствующим межквартильным интервалом – МКИ). Использовали абсолютный суточный прирост случаев и общее число выявленных больных с признаками ОРВИ. С учетом асимметричного характера распределения был выбран критерий Манна-Уитни, а также использована квантильная регрессия (пакет quantreg). Для значений разницы медиан рассчитывали доверительный интервал посредством бутстрэппинга (метод для оценки стандартных отклонений и нахождения доверительных интервалов статистических функционалов, пакет confintr). Для количественных признаков определяли минимальное и максимальное значения, медиану с межквартильным интервалом. Различия считались достоверными (статистически значимыми) при $p < 0,05$. Для выполнения вычислений и статистического анализа использовали MATLAB 7.6 и R 4.2.1(RStudio) [14].

Результаты и обсуждение

По данным проспективного наблюдения, в детском стационаре за анализируемый период времени, в среднем выявлялось 4 случая ОРВИ среди пациентов (от 0 до 14 заболевших). В рамках этой

Рисунок 2. Общая схема агентной модели внутрибольничной ОРВИ (обозначения условные, количество «человечков» не имеет значения)

Figure 2. General diagram of the agent-based model of nosocomial acute respiratory viral infections (the symbols are arbitrary, the number of «people» is not important)



работы для многопрофильного детского стационара 4 основных сценария (с разной вероятностью вывода выявленного источника инфекции из стационара) были смоделированы по 100 раз каждый, в среднем 4,5 случая для общего числа выявленных случаев ОРВИ и 5,9 случая для вновь выявленных (ежедневных) случаев заболевания ОРВИ на каждый прогон модели.

Значения среднего абсолютного суточного прироста случаев ОРВИ за весь моделируемый период отражены на рисунке 3. Максимальное число больных с ОРВИ отмечено для ситуации, когда правила изоляции источника инфекции не соблюдаются – медиана 32,9 (МКИ 32,4–33,4) – от 4,0 до 34,8. По мере увеличения вероятности изоляции пациента с респираторной инфекцией показатель снижался: при вероятности изоляции источника 50% медиана составила 5,7 (5 – 6,5), при 90% – 3,1 (2,8–3,6), при 100% – 2,9 (2,6–3,4).

С учетом специфики рассматриваемой нозологии и условий развития эпидемического процесса нами были подобраны параметры агентной модели, при которых модельные значения на приемлемом уровне соответствовали разбросу фактического числа ежедневно регистрируемых в стационаре случаев ОРВИ (рис. 4). На этом графике отображено число вновь выявленных и общее число заболевших, предсказанное разработанной моделью, вместе с 95% доверительными границами для обо-

их показателей. С помощью такой конфигурации модель также отражала накопление к понедельнику пациентов с признаками ОРВИ, которые могли быть несвоевременно выведены из стационара.

При сравнении отделений в динамике по модельным оценкам обращает на себя внимание их неодинаковая вовлеченность в эпидемический процесс и волнообразное его развитие, а также – очередность появления пиков заболеваемости, а именно: за отделением плановой хирургии (обозначено 7) следует отделение травматологии (11), далее – отделение оториноларингологии (9) и т.д. (рис. 5).

Для изучения эффективности противоэпидемических мероприятий мы в этой работе рассматривали своевременную изоляцию источника, и за базовую характеристику была взята изоляция пациента на следующий день с вероятностью 50%. Согласно модельным оценкам, медиана вновь выявленных случаев находилась на отметке 5,7 (5–6,5) заболевших (рис. 6).

Сравнение выполнялось с наименее приемлемым сценарием, т.е. отсутствием мер по выводу пациента с признаками ОРВИ – инфицированный агент в модели оставался в моделируемой популяции (табл. 2). В этой ситуации в среднем ожидаемое число случаев инфекции существенно возрастало и отличалось на 27,2 (95% ДИ от 27,1 до 27,35; $p < 0,0001$) случаев.

Рисунок 3. Результаты моделирования вновь выявленных ежедневных случаев ОРВИ при разных сценариях изоляции источника инфекции (отдельные значения расставлены друг от друга и обозначены знаком *)
Figure 3. Results of modeling newly identified daily cases of acute respiratory viral infections under different scenarios of isolation of the source of infection (individual values are spaced apart and marked with *)

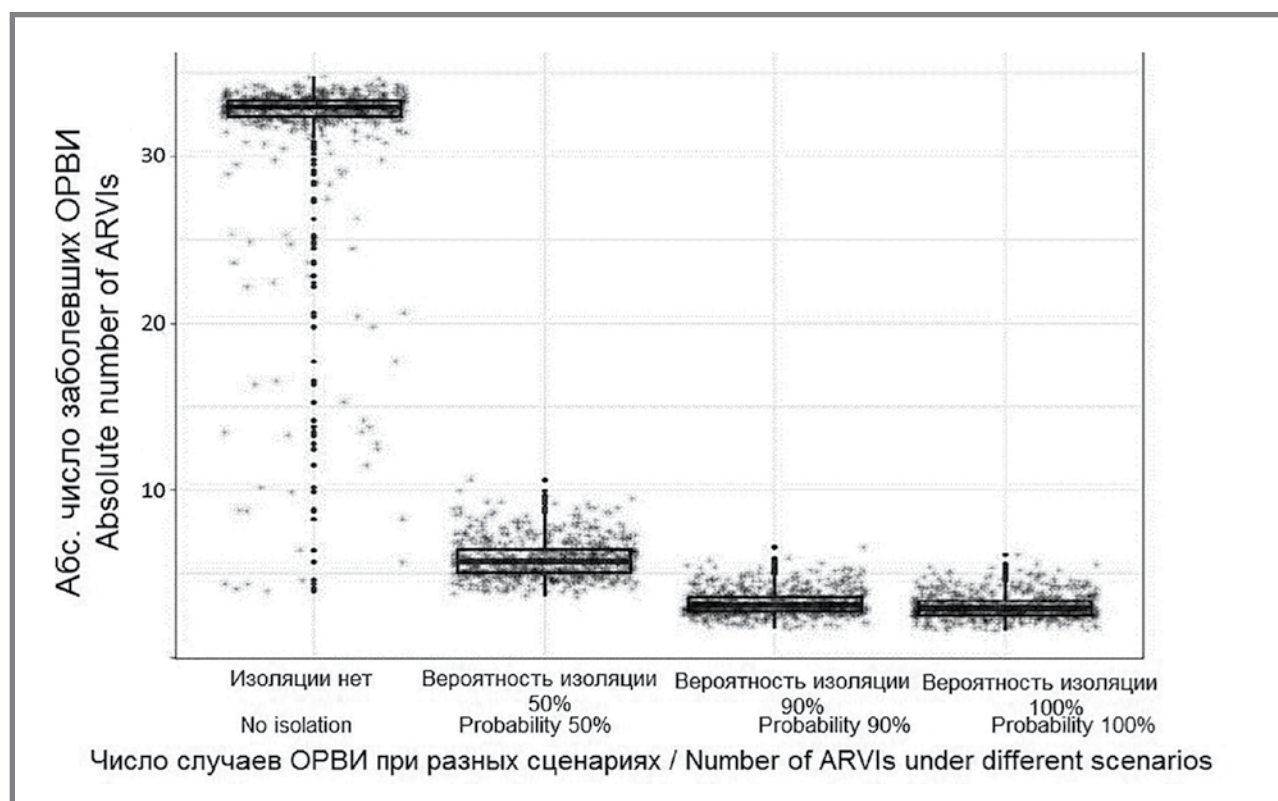


Рисунок 4. Сравнение результатов моделирования с данными проспективного наблюдения

Figure 4. Comparison of modeling results with the prospective data

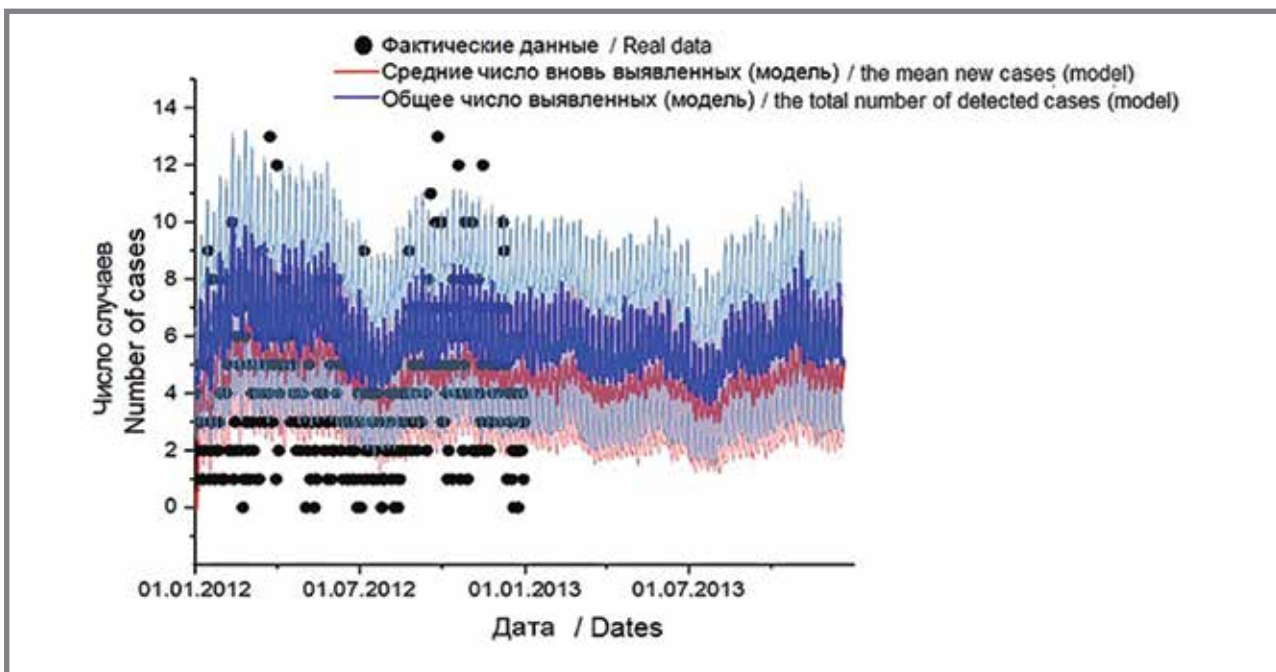
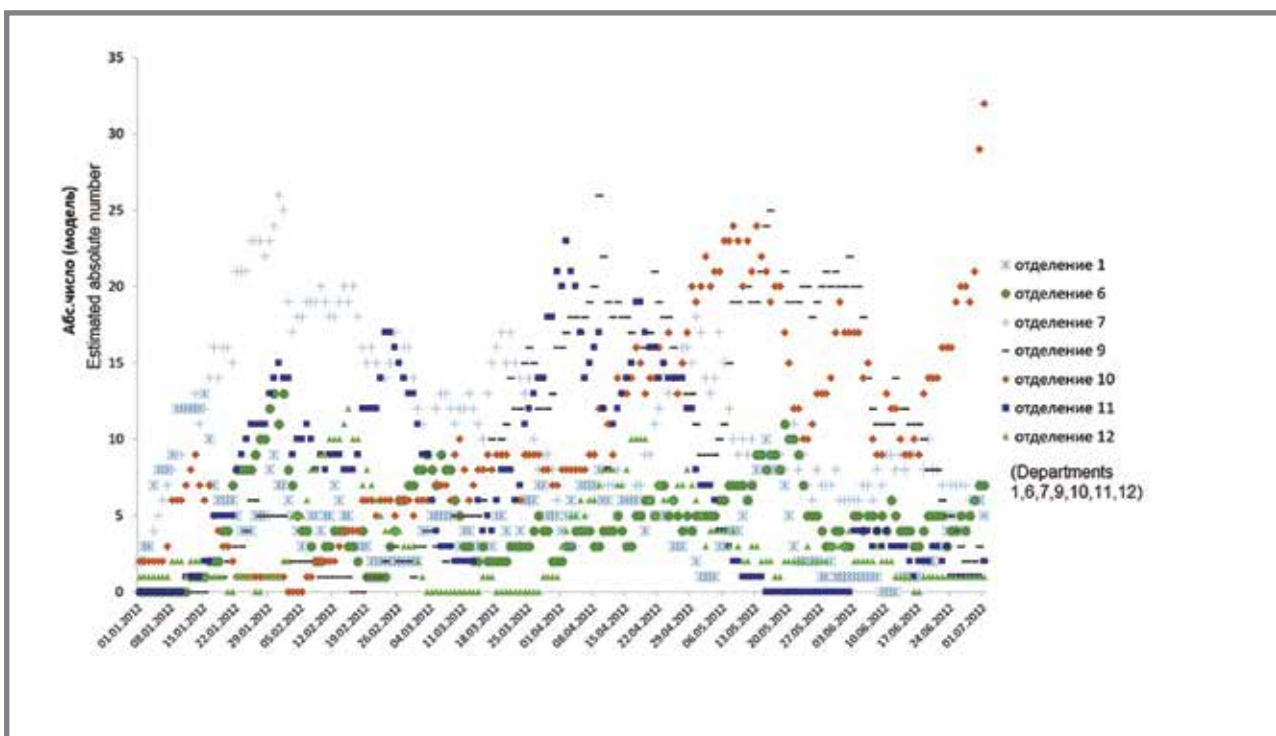


Рисунок 5. Динамика выявленных случаев ОРВИ по некоторым отделениям (абс. число) (цифрами обозначены номера отделений)

Figure 5. The identified acute respiratory viral infections over time in certain hospital departments (absolute number) (the numbers indicate department numbers)



При идеальном сценарии – вероятность изоляции ребенка с признаками ОРВИ 100% – своевременное выполнение этого мероприятия ожидаемо приводило к минимальному числу новых случаев ОРВИ, со статистически значимыми различиями от других рассматриваемых вариантов. Интересно, что выполнение требования по надлежащей изо-

ляции источника инфекции с вероятностью 90% характеризовалось сопоставимым с идеальным сценарием влиянием на число заболевших ОРВИ.

Изоляция источника инфекции, конечно, является классическим противоэпидемическим мероприятием в комплексе мер борьбы с внутрибольничной респираторной инфекцией, и ее значение

Рисунок 6. Эффективность изоляции пациента с признаками ОРВИ в детском стационаре при разных сценариях (а – вероятность изоляции 50%, по сравнению с отсутствием изоляции; б – вероятность изоляции 50%, по сравнению с вероятностью 90%).

Figure 6. The effectiveness of isolating a patient with acute respiratory viral infection in a children's hospital under different scenarios (a – 50% probability of isolation compared to no isolation; b – 50% probability of isolation compared to 90% probability)

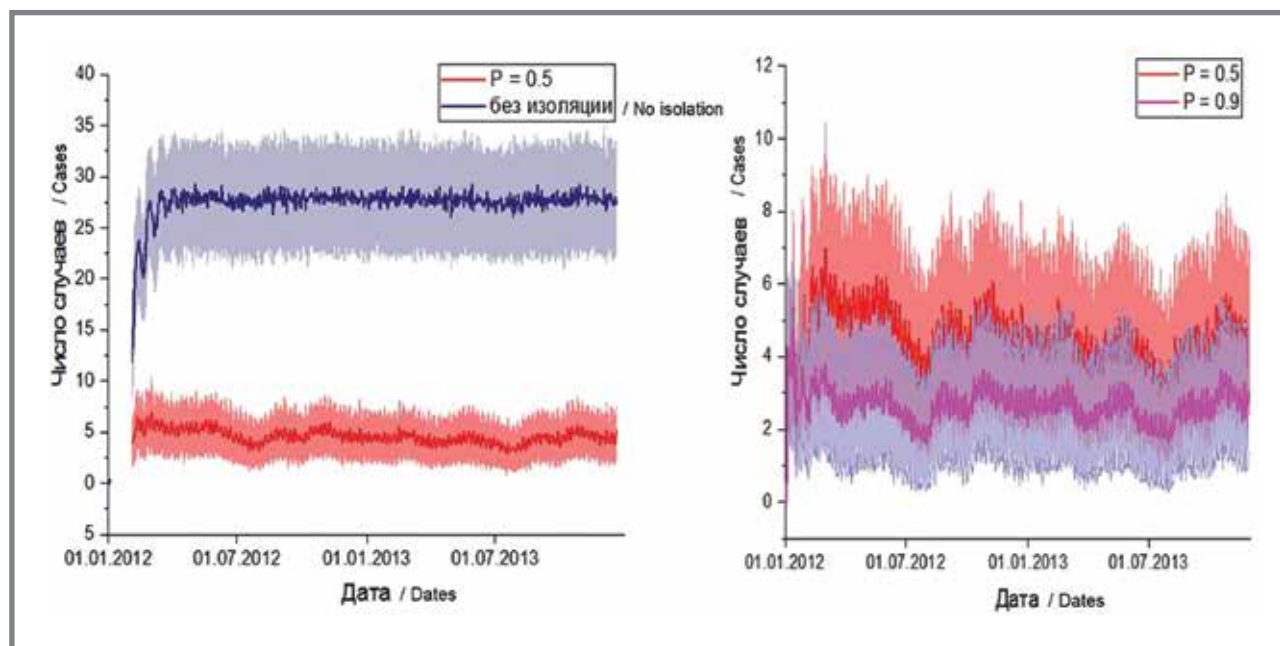


Таблица 1. Влияние изоляции при разной вероятности источника инфекции на число случаев ОРВИ

Table 1. The effect of isolation with different probability of the source of infection on the number of acute respiratory viral infections

Сравнение подходов к изоляции Comparison of different approaches	Разница в абсолютном числе случаев (95% ДИ) Difference in the absolute numbers (95% CI)	Статистика Манна-Уитни W, значение p Mann-Whitney test W, p value
Вероятность 50% vs без изоляции 50% probability vs no isolation	27,2 (27,1–27,35)	4019 p < 0,0001
Вероятность 50% vs вероятность 90% 50% probability vs 90% probability	2,6 (2,49–2,73)	507072 p < 0,0001
Вероятность 50% vs вероятность 100% 50% probability vs 100% probability	2,8 (2,7–2,95)	511 649 p < 0,0001
Вероятность 90% vs вероятность 100% 90% probability vs 100% probability	0,2 (0,13–0,27)	306 001 p < 0,0001
Вероятность 90% vs без изоляции 90% isolation vs no isolation	29,8 (29,76–29,9)	413 p < 0,0001
Вероятность 100% vs без изоляции 100% isolation vs no isolation	30,0 (29,96–30,11)	278 p < 0,0001

признано давно [15–17]. Вместе с тем качество проведения изоляции и приверженность врачей можно считать основополагающими для обеспечения эффективности этой меры, что было продемонстрировано в рамках данной работы и согласуется с мнением других авторов [18,19].

Заключение

В данной работе с целью описания распространения внутрибольничной ОРВИ среди пациентов детского стационара и оценки эффективности противоэпидемических мероприятий был использован агентный подход к имитационному моделированию

эпидемического процесса. Агенты представляют собой популяцию пациентов, поступающих и находящихся на лечении в стационаре. В предложенной модели учтены различные варианты взаимодействия агентов друг с другом: не только нахождение агента внутри одного отделения, но и перевод его в другое. Важной особенностью нашего подхода служит моделирование заносов инфекции и их влияния на эпидемический процесс.

Разработанная модель позволила реалистично представить поведение госпитализированных пациентов, влияние заносов инфекции и естественный процесс распространения внутрибольничной

Practical Aspects of Epidemiology and Vaccine Prevention

респираторной вирусной инфекции в условиях крупного многопрофильного детского неинфекционного стационара. Предлагаемая модель на основе агентов включает (i) агентов популяции, (ii) математические правила агентов (в частности, правила заражения и изоляции), которые определяют поведение агентов, (iii) модель развития инфекционного процесса.

Всестороннее изучение закономерностей формирования заболеваемости ИСМП в настоящий момент находится на подъеме. Вместе с тем в количественном отношении, наверное, модельных исследований по эпидемиологии ИСМП, пока не так много [20–22]. Сильными сторонами нашей работы являются относительная простота реализации модели, использование данных, рутинно собираемых в ходе мониторинга ИСМП, демонстрация прямой возможности обоснования противоэпидемических мероприятий и количественной оценки их эффективности.

Ограничениями исследования на данный момент можно считать отсутствие учета: числа матерей, сопровождавших детей в ходе госпитализации; этиологии ОРВИ и ее возможного влияния на эпидемический процесс; принадлежности пациента к палате или переводы его в другие палаты. В процессе совершенствования по-

добных агентных моделей эти ограничения будут устраняться.

Выполнение медицинским персоналом предписанных правил по своевременной изоляции пациентов с признаками ОРВИ является краеугольным в деле обеспечения эпидемиологической безопасности в детском стационаре. В этой связи нами была дана объективная оценка эффективности указанного противоэпидемического мероприятия в условиях реальной медицинской практики: по мере роста вероятности вывода источника инфекции из стационара статистически значимо снижалась частота выявления новых случаев ОРВИ в динамике. Удалось продемонстрировать потенциал данного подхода, что создает условия для дальнейшего усовершенствования нашей модели.

Ввиду комплексного характера любых противоэпидемических мер, особое внимание должно быть уделено сбору доказательной базы по их эффективности. В совокупности со сложностью и/или физической невозможностью осуществления сравнительного рандомизированного испытания математическое моделирование выступает важным инструментом как в изучении тенденций распространения инфекции, так и в навигации противоэпидемической работы и повышения приверженности медицинских работников.

Литература

1. Трубников Г.В., Клестер Е.Б. Внутрибольничные респираторные инфекции, поиск путей профилактики // Бюллетень. 2006. №22. Прил. С. 30–35.
2. Попова А.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Носков А.К. и др. Этиология внебольничных пневмоний в период эпидемического распространения COVID-19 и оценка риска возникновения пневмоний, связанных с оказанием медицинской помощи // ЗНУСО. 2021. №29(7). С. 67–75.
3. Влад А.И., Санникова Т.Е., Романюха А.А. Моделирование распространения респираторных вирусных инфекций в городе: мультиагентный подход // Математическая биология и биоинформатика. 2020. Т. 15. № 2.
4. Послова Л.Ю. Клинико-эпидемиологические особенности вирусных инфекций в детской неинфекционной многопрофильной медицинской организации // Медицинский альманах. 2019. №3–4. Вып. 60. С. 65–72.
5. Acute respiratory infections in the EU/EEA: epidemiological update and current public health recommendations (15.12.2023). Доступно по: <https://www.ecdc.europa.eu/en/news-events/acute-respiratory-infections-eueea-epidemiological-update-and-current-public-health> Ссылка активна на 16 сентября 2024 г.
6. Jin X, Ren J, Li R, et al. Global burden of upper respiratory infections in 204 countries and territories, from 1990 to 2019 // eClinicalMedicine. 2021. N37:P.100986
7. Yuanzheng Ge, Liang Liu, Bin Chen, et al. Agent-based modeling for influenza H1N1 in an artificial classroom // Systems Engineering Procedia. 2011. N2. P.94–104.
8. Li, Z.J., Zhang, H.Y., Ren, L.L. et al. Etiological and epidemiological features of acute respiratory infections in China // Nat Commun. 2021. N12. P.5026.
9. Laskowski M., Demianyk B.C.P, Witt J., et al. Agent-based modeling of the spread of influenza-like illness in an emergency department: a simulation study // IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. 2011. Vol. 15. N6. P. 877–889.
10. Nguyen L.K.N., Megiddo I., Howick S. Simulation models for transmission of health care-associated infection: a systematic review // Am J Infect Control. 2020. Vol. 48. N7. P. 810–821.
11. Grant R., Rubin M., Abbas M., et al. Expanding the use of mathematical modeling in healthcare epidemiology and infection prevention and control // Infect Control Hosp Epidemiol. 2024. N1–6.
12. Kirillin M., Khilov A., Perekatova V., et al. Multicentral agent-based model of four waves of COVID-19 spreading in Nizhny Novgorod region of Russian Federation // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. 2023. Vol. 9. N1. P. 010306.
13. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Доступно по: <https://www.R-project.org/>. Ссылка активна на 15 сентября 2024 г.
14. Национальная Концепция профилактики инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 6 ноября 2011 г.)
15. Purssell E., Gould D., Chudleigh J. Impact of isolation on hospitalised patients who are infectious: systematic review with meta-analysis // BMJ Open. 2020. Vol. 10. N2. P. e030371.
16. Ben-Abraham R., Keller N., Szold O., et al. Do isolation rooms reduce the rate of nosocomial infections in the pediatric intensive care unit? // J Crit Care. 2002. Vol. 17. N3. P. 176–80.
17. Санитарные правила СП 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. №4.
18. Fregonese L., Currie K., Elliott L. Hospital patient experiences of contact isolation for antimicrobial resistant organisms in relation to health care-associated infections: A systematic review and narrative synthesis of the evidence // Am J Infect Control. 2023. Vol. 51. N11. P. 1263–1271.

References

1. Trubnikov G.V., Klester E.B. Vnutribol'nicnye respiratornye infekcii, poisk putej profilaktiki. Bjulleten'. 2006;22(Suppl):30–35. (In Russ).
2. Popova A.Ju., Ezhlova E.B., Demina Ju.V., Noskov A.K. i dr. Jetiologija vnebol'nicnyh pnevmonij v period jepidemicheskogo rasprostraneniya COVID-19 i ocenka riska vozniknovenija pnevmonij, svjazannyh s okazaniem medicinskoj pomoshhi // ZNISO. 2021;29(7):67–75. (In Russ).
3. Vlad A.I., Sannikova T.E., Romanjuha A.A. Modelirovanie rasprostraneniya respiratornyh virusnyh infekcij v gorode: mul'tiagentnyj podhod. Matematicheskaja biologija i bioinformatika. 2020;15(2). doi: 10.17537/2020.15.338 (In Russ).
4. Poslova L.Ju. Kliniko-jepidemiologicheskie osobennosti virusnyh infekcij v detskoj neinfekcionnoj mnogoprofil'noj medicinskoj organizacii. Medicinskij al'manah. 2019;3-4(60):65–72. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-7-67-75> (In Russ).
5. Acute respiratory infections in the EU/EEA: epidemiological update and current public health recommendations (15.12.2023). Available at: <https://www.ecdc.europa.eu/en/news-events/acute-respiratory-infections-eueea-epidemiological-update-and-current-public-health> Accessed 16 Sep 2024.

6. Jin X, Ren J, Li R, et al. Global burden of upper respiratory infections in 204 countries and territories, from 1990 to 2019. *eClinicalMedicine*. 2021;37:100986. doi: 10.1016/j.eclinm.2021.100986.
7. Yuanzheng Ge, Liang Liu, Bin Chen, et al. Agent-based modeling for influenza H1N1 in an artificial classroom. *Systems Engineering Procedia*. 2011;2:94–104. <https://doi.org/10.1016/j.sepro.2011.10.012>
8. Li ZJ, Zhang HY, Ren LL, et al. Etiological and epidemiological features of acute respiratory infections in China. *Nat Commun*. 2021;12:5026. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25120-6>
9. Laskowski M, Demianyk BCP, Witt J, et al. Agent-based modeling of the spread of influenza-like illness in an emergency department: a simulation study. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2011; 15(6):877–889. doi: 10.1109/TITB.2011.2163414.
10. Nguyen LKN, Megiddo I, Howick S. Simulation models for transmission of health care-associated infection: a systematic review. *Am J Infect Control*. 2020;48(7):810–821. doi: 10.1016/j.ajic.2019.11.005.
11. Grant R, Rubin M, Abbas M, et al. Expanding the use of mathematical modeling in healthcare epidemiology and infection prevention and control. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2024;1–6. doi: 10.1017/ice.2024.97.
12. Kirillin M, Khilov A, Perekatova V, et al. Multicentral agent-based model of four waves of COVID-19 spreading in Nizhny Novgorod region of Russian Federation. *Journal of Biomedical Photonics and Engineering*. 2023; 9(1):010306. doi: 10.18287/JBPE23.09.010306
13. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. Accessed 15 Sep 2024.
14. National Concept for the Prevention of Infections Associated with the Provision of Medical Care (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on November 6, 2011)
15. Pursell E, Gould D, Chudleigh J. Impact of isolation on hospitalised patients who are infectious: systematic review with meta-analysis. *BMJ Open*. 2020;10(2):e030371. doi: 10.1136/bmjopen-2019-030371.
16. Ben-Abraham R, Keller N, Szold O, et al. Do isolation rooms reduce the rate of nosocomial infections in the pediatric intensive care unit? *J Crit Care*. 2002;17(3):176–80. doi: 10.1053/jcrc.2002.35809.
17. Sanitary rules SP 3.3686-21 «Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases». Approved by the resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021 No. 4.
18. Fregonese L, Currie K, Elliott L. Hospital patient experiences of contact isolation for antimicrobial resistant organisms in relation to health care-associated infections: A systematic review and narrative synthesis of the evidence. *Am J Infect Control*. 2023;51(11):1263–1271. doi: 10.1016/j.ajic.2023.04.011.

Об авторах

- **Николай Валентинович Саперкин** – к. м. н., доцент кафедры эпидемиологии, микробиологии и доказательной медицины, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России. +7 (903) 847-45-89, saperkinv@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3629-4712.
- **Людмила Юрьевна Послова** – к. м. н., заведующая эпидемиологическим отделом, ГБУЗ НО «НОДКБ». +7 (901) 801-09-60, lploslova@nodkb.ru. ORCID: 0009-0009-8699-4969.
- **Михаил Юрьевич Кириллин** – к. ф.-м. н., ст. н. с., ФИЦ Институт прикладной физики РАН. +7 (920) 024-99-42, mkirillin@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-6804-6369.
- **Максим Евгеньевич Гарбуз** – студент 6-го курса медико-профилактического факультета, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России. +7 (904) 904-25-04, maxgarbuz30@gmail.com.
- **Ольга Васильевна Ковалишена** – д. м. н., профессор, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России. +7 (903) 608-39-08, kovalishena@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6152-2943.

Поступила: 04.10.2024. Принята к печати: 23.01.2025.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- **Nikolai V. Saperkin** – Cand. Sci. (Med.), associate professor, Privolzhsky Research Medical University. +7 (903) 847-45-89, saperkinv@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3629-4712.
- **Ljudmila Ju. Poslova** – Cand. Sci. (Med.), Head of the Epidemiological Department, State Budgetary Institution of Healthcare of the Nizhny Novgorod Region «Nizhny Novgorod Regional Children's Clinical Hospital». +7 (901) 801-09-60, lploslova@nodkb.ru. ORCID: 0009-0009-8699-4969.
- **Mihail Ju. Kirillin** – Cand. Sci. (F.-M.), Senior Research, A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences. +7 (920) 024-99-42, mkirillin@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-6804-6369.
- **Maksim Ye. Garbuz** – 6th year student of the Faculty of Preventive Medicine, Privolzhsky Research Medical University. +7 (904) 904-25-04, maxgarbuz30@gmail.com.
- **Olga V. Kovalishena** – Dr. Sci. (Med.), professor, Privolzhsky Research Medical University, +7 (903) 608-39-08, kovalishena@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6152-2943.

Received: 04.10.2024. Accepted: 23.01.2025.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.