

Обзорная статья / Review article
УДК 598.2 – 578.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-6-16

SARS-CoV-2: особенности распространения вируса и течение патогенеза коронавирусной инфекции у различных видов животных

Марина С. Федотова^{1,2}, Анастасия Ю. Филиппова^{1,2}, Магомедсаид А. Омаров³,
Ксения С. Юрченко², Марина А. Гуляева^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

²Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

³ФКУ «Главное бюро медико-социальной экспертизы по г. Москве», Москва, Россия

Контактное лицо

Марина А. Гуляева, кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник;
Новосибирский государственный университет;
630090 Россия, г. Новосибирск, Новосибирская обл., ул. Пирогова, д. 2.
Федеральное Государственное Бюджетное Научное Учреждение «Федеральный Исследовательский Центр Фундаментальной и Трансляционной Медицины»; 630117 Россия, г. Новосибирск, Новосибирская обл., ул. Тимакова, д. 2.
Тел. +79529136513
Email mgulyaeva@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

Формат цитирования

Федотова М.С., Филиппова А.Ю., Омаров М.А., Юрченко К.С., Гуляева М.А. SARS-CoV-2: особенности распространения вируса и течение патогенеза коронавирусной инфекции у различных видов животных // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 6-16. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-6-16

Получена 27 декабря 2021 г.

Прошла рецензирование 24 января 2022 г.

Принята 7 февраля 2022 г.

Резюме

Цель. Проанализировать имеющиеся литературные данные о возможности заражения коронавирусной инфекцией и тяжести протекания заболевания у различных видов животных с целью оценки значимости данного заболевания в контексте сохранения благополучия диких, домашних и сельскохозяйственных животных.

Обсуждение. Согласно литературным данным, SARS-CoV-2 произошел от коронавирусов летучих мышей. Вирус проникает в клетку посредством связывания с рецептором ACE2, аффинитет к которому отличается в зависимости от вида животного. У зараженных животных обнаруживается вирусная РНК и могут наблюдаться клинические симптомы. Известно, что вирус произошел от одних животных, а другие могут являться переносчиками. Причем, это могут быть как дикие, так и домашние и сельскохозяйственные животные, которые близко контактируют с человеком. Поэтому целесообразно провести исследование степени угрозы для людей, связанной с персистенцией вируса в животных сообществах.

Заключение. Имеется достаточное количество литературных данных, подтверждающих возможность инфицирования различных видов млекопитающих, однако их недостаточно для полного понимания того, насколько существенную роль могут играть те или иные животные в распространении коронавирусной инфекции среди людей и насколько серьезный вред для них самих она может нанести.

Ключевые слова

Коронавирусы, COVID-19, SARS-CoV-2, дикие животные, домашние животные.

SARS-CoV-2: the prospects of the virus spreading and the course of the pathogenesis of coronavirus infection in various species of animals

Marina S. Fedotova^{1,2}, Anastasia Yu. Filippova^{1,2}, Magomedsaid A. Omarov³,
Ksenia S. Yurchenko² and Marina A. Gulyaeva^{1,2}

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

²Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

³Main Bureau of Medical and Social Expertise in Moscow, Moscow, Russia

Principal contact

Marina A. Gulyaeva, PhD in Biology, Associate Professor, Research Scientist, Novosibirsk State University; 2 Pirogova St, Novosibirsk, Russia 630090;

Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine; 2 Timakova St, Novosibirsk, Russia 630117.

Tel. +79529136513

Email mgulyaeva@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>

How to cite this article

Fedotova M.S., Filippova A.Yu., Omarov M.A., Yurchenko K.S., Gulyaeva M.A. SARS-CoV-2: the prospects of the virus spreading and the course of the pathogenesis of coronavirus infection in various species of animals. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 6-16. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-6-16

Received 27 December 2021

Revised 24 January 2022

Accepted 7 February 2022

Abstract

Aim. Analyse available literature data about the possibility of coronavirus infection with and the severity of the course of infection in various animal species in order to evaluate the significance of this possibility in the context of preservation of the well-being of both wild and domestic animals.

Discussion. SARS-CoV-2 is thought to have originated from bat CoV. The virus enters the cell by binding to the ACE2 receptor, the affinity for which differs depending on the animal species. Infected animals show viral RNA and may show clinical symptoms. It is known that the virus originated from some animals, while others may be carriers. Moreover, it can be that wild as well as domestic and farm animals are in close contact with humans. Therefore, it is advisable to conduct a study of the degree of threat to humans associated with the persistence of the virus in animal communities.

Conclusion. There is ample literature on the possibility of infection in various animals. However, it is not enough to fully understand how significant is the role that animals can play in the spread of coronavirus infection among humans and how much harm it can bring to themselves.

Key Words

Coronaviruses, COVID-19, SARS-CoV-2, wild animals, domestic animals.

ВВЕДЕНИЕ

Коронавирусы (CoV) – семейство вирусов, которое на май 2021 года включает 43 вида РНК-содержащих вирусов (SARS-CoV, MERS-CoV, SARS-подобный CoV летучих мышей и др.), поражающих млекопитающих, включая человека, птиц и земноводных [1].

Коронавирусы широко распространены среди представителей животного мира. Описаны случаи их выявления у различных животных, среди которых есть птицы, различные представители семейства кошачьих, приматов, рептилий, копытных и многие другие.

В XXI в. SARS-CoV-2 стал третьим в истории коронавирусом, вызвавшим эпидемию среди людей. Особо важным моментом является то, что вызвавшие эпидемии вирусы, предположительно, перешли к человеку от животных. SARS-CoV-2 – одноцепочечный (+)РНК-вирус, относящийся к роду бета-коронавирусов (Betacoronavirus).

В настоящее время SARS-CoV-2 имеет широкое распространение среди людей, поэтому существует опасность того, что некоторые животные, например, домашние или сельскохозяйственные, могут оказаться восприимчивыми к вирусу и заразиться через близкий контакт с инфицированными людьми. Такая межвидовая передача SARS-CoV-2 от человека к другим млекопитающим может представлять угрозу животному миру, а также влиять на сохранение дикой природы. В связи с этим, целью исследований является анализ современных литературных данных по восприимчивости разных видов млекопитающих к вирусу SARS-CoV-2, изучение динамики инфицирования в популяциях восприимчивых видов животных, а также имеющихся мерах профилактики COVID-19 у животных [1].

ОБСУЖДЕНИЕ

Существуют сообщения о возможности заражения SARS-CoV-2 кошек, собак, тигров и львов. Новая коронавирусная инфекция серьезно затронула популяцию норок, и зоонозный перенос штамма SARS-CoV-2 был подтвержден в Дании, Нидерландах, США и Испании, что свидетельствует о возможности передачи патогена от животных к человеку и от животных к животным на норковых фермах. В литературе упоминаются экспериментальные исследования, подтверждающие восприимчивость различных видов животных к SARS-CoV-2, таких как мыши, золотистые (сирийские) хомячки, кошки, хорьки, нечеловекообразные приматы и землеройки [2]. Разнообразие видов, восприимчивых к инфекции SARS-CoV-2, указывает на то, что вирус способен преодолевать межвидовой барьер [3]. Следовательно, многие животные, как дикие, так и домашние, могут быть инфицированы и выступать в качестве промежуточных хозяев для вируса SARS-CoV-2 [4; 5].

SARS-CoV-2 у диких животных

Летучие мыши. Существует множество исследований, подтверждающих, что летучие мыши являются главным природным резервуаром для

некоторых коронавирусов [6]. Возбудители SARS и MERS произошли от летучих мышей, и перешли к промежуточным хозяевам – пальмовым цветкам и верблюдам соответственно [7]. Поэтому было высказано предположение, что летучая мышь может быть потенциальным источником SARS-CoV-2. На основе секвенирования генома и эволюционного анализа было показано, что геном SARS-CoV-2 примерно на 96,2% идентичен геному SARS-подобного CoV (RaTG13) летучей мыши (*Rhinolophus affinis*) [8-11]. Это сходство предполагает возможность того, что SARS-CoV-2 возник от вирусов летучих мышей [10-13], таких как SARS-CoV и MERS-CoV [14]. Было высказано предположение, что, по крайней мере, два вида летучих мышей, *R. affinis* и *R. malaynus*, могут быть предполагаемыми естественными хозяевами вируса SARS-CoV-2 [15]. Из-за отсутствия прямого контакта между летучими мышами и людьми прямое заражение человека коронавирусом (CoV) летучими мышами встречается редко. Ранее предполагалось, что передача SARS-CoV-2 от летучих мышей человеку происходит через неизвестного промежуточного хозяина, который может облегчить его передачу человеку [10-12; 16]. Анализ геномных последовательностей CoVs показал, что SARS-CoV-2 – рекомбинантный вирус, который возник в результате рекомбинации CoV летучей мыши и другого коронавируса неизвестного происхождения [16]. Между тем, мутация в S-гликопротеине и N-белке SARS-CoV-2 отличает его от SARS-подобного CoV летучих мышей [11]. SARS-CoV-2 проникает в клетки в основном за счет связывания белка S вируса и рецептора клетки-хозяина, ангиотензин-превращающего фермента 2 (ACE2) [17; 18]. Хотя SARS-CoV-2 распознает ACE2 от различных видов животных, SARS-CoV-2 приобретает способность инфицировать людей, а также распространяться в человеческой популяции [18]. Его аффинность связывания с человеческим ACE2 выше, чем у SARS-CoV [17; 18], что предполагает возможность передачи человеку [19] и быстрого распространения этого вируса [17; 18]. С другой стороны, у экспериментально зараженных египетских плодовых летучих мышей не было никаких симптомов болезни, более того, они не заразили других летучих мышей [20]. То есть, несмотря на то, что летучие мыши были источником SARS-CoV-2, на данный момент, считается, что они не являются его природным резервуаром.

Панголин. Панголин является весьма вероятным кандидатом на роль промежуточного хозяина для SARS-CoV-2. Весь геном CoV, выделенного из малайского панголина (*Manis javanica*), очень похож на геном SARS-CoV-2 и CoV летучей мыши [21]. Но сходство между CoV панголина и SARS-CoV-2 выше, чем у CoV летучей мыши [22; 23]. Более того, у CoV панголина 5 идентичных аминокислот с SARS-CoV-2, тогда как CoV летучей мыши RaTG13 имеет только одну общую аминокислоту с SARS-CoV-2. Это позволяет предположить, что панголин может быть потенциальным промежуточным хозяином, который может опосредовать межвидовую передачу

SARS-CoV-2 [5; 24]. Кроме того, рецептор, связывающий домен (RBD) CoV панголина, был почти идентичен таковому у SARS-CoV-2 с высокой способностью связываться с человеческим ACE2, что может указывать на участие панголина в рекомбинации SARS-CoV-2 [21]. Однако филогенетический анализ подтверждает, что SARS-CoV-2 не возник непосредственно от CoV панголина [23; 24]. Таким образом, было высказано предположение, что SARS-CoV-2 возник в результате рекомбинации CoV панголина и вируса, подобного CoV летучей мыши (RaTG13).

Обезьяны. Первый известный случай естественной передачи SARS-CoV-2 человекообразным обезьянам был зафиксирован в зоопарке Сан-Диего (Калифорния) 25 января 2021 года. У некоторых горилл проявились такие симптомы, как легкий кашель, заложенность носа, выделения из носа и периодическая летаргия [25].

Также существуют данные о заражении нескольких видов нечеловекообразных приматов в рамках исследований, посвященных поиску животных моделей для изучения SARS-CoV-2. Были проведены исследования, свидетельствующие о возможности инфицирования макак-резусов [26-29] и африканских зеленых мартишек [29; 30].

В исследовании Shuaiyao Lu, Yuan Zhao et al. [28] участвовали представители макак-резусов (*Macaca mulatta*), макак-крабоедов (*Macaca fascicularis*) и обыкновенной игрунки (*Callithrix jacchus*). Вирусная РНК была обнаружена в крови и мазках из носовой полости, горла и анального отверстия всех 3 видов обезьян, однако выраженность клинических проявлений для представителей разных видов существенно отличалась. Так, представители *M. mulatta* оказались наиболее восприимчивыми к инфекции SARS-CoV-2 по сравнению с *M. fascicularis* и *C. jacchus* [28]. В исследовании Роберта В. Блэйера отмечается возникновение острого респираторного дистресс-синдрома, ассоциированного с инфицированием SARS-CoV-2, у двух зеленых африканских мартишек (*Chlorocebus aethiops sabaeus*), в отличие от четырех макак-резусов, чьи клинические проявления были значительно более мягкими [29].

Можно сделать вывод, что, несмотря на филогенетическую близость человека и приматов, сложно предсказать выраженность клинических проявлений даже у близкородственных видов, хотя вирусная РНК была обнаружена во всех случаях.

Тигры и львы. В марте 2020 года были зарегистрированы случаи заражения тигров и львов COVID-19, первые подтвержденные случаи естественного инфицирования среди видов, не являющихся домашними. Тест на SARS-CoV-2 у малайского тигра в зоопарке Бронкса, Нью-Йорк, США, является первым случаем заражения животных в США. Этот тигр был первым инфицированным тигром в мире и первым случаем передачи инфекции от человека не домашним животным [31; 32]. Позже инфекция была обнаружена у четырех тигров и трех

львов [33; 34], что указывает на восприимчивость различных видов кошек к инфекции SARS-CoV-2 [32]. Было показано, что эпидемиологические и геномные данные указывают на передачу вируса SARS-CoV-2 от человека тигру [35], также было выявлено, что тигры и львы были инфицированы разными генотипами SARS-CoV-2, что указывает на два независимых случая передачи патогена животным [19; 35]. Предполагалось, что один из тигров заразился от инфицированного бессимптомного сотрудника [3; 31; 34].

Хорьки. Хорьки оказались высоко восприимчивыми при искусственном заражении. Вирусная РНК была обнаружена в сыворотке крови, смывах из носа, слюне, моче, кале, носовых раковинах, трахее, легких, кишечнике и почках, при этом вирус обнаруживается в носовых смывах, слюне и моче до 7 дней после заражения. Вирус после заражения передавался естественным образом хорькам друг от друга воздушно-капельным путем [35]. После контакта инфицированных хорьков со здоровыми у последних через два дня обнаруживалась РНК вируса. Кроме того, у здоровых хорьков после непрямого контакта с инфицированными животными также были обнаружены вирусные РНК. По литературным данным у животных, зараженных SARS-CoV-2, наблюдалась пониженная активность, повышенная температура тела и иногда кашель [36; 37]. Также у животных были зафиксированы признаки острого бронхолита. Для хорьков инфекция не является летальной. Авторы предполагают, что хорьки могут представлять собой животную модель COVID-19, которая может способствовать разработке терапевтических средств и вакцин для вируса SARS-CoV-2 [37].

Енотовидные собаки. Фреулинг и др. в своем исследовании провели экспериментальное заражение SARS-CoV-2 девяти енотовидных собак и выявили вирусную нагрузку до 4,87 log₁₀ копий генома/мл в слизистой оболочке носа на 4 день. При вскрытии, серьезных повреждений в органах, вызванных инфекцией SARS-CoV-2, не обнаружилось. В первые 2 недели у всех инфицированных животных выявился легкий ринит. Антитела к SARS-CoV-2 обнаружены у 4 (57,1%) из 7 инфицированных животных на 8 день с помощью ELISA и непрямого иммунофлуоресцентного анализа (> 1:64). Титры увеличились до 1:1024 на 28 день. Данное экспериментальное исследование демонстрирует, что енотовидные собаки восприимчивы к инфекции SARS-CoV-2, при этом наблюдаются лишь незначительные клинические признаки и поражения тканей только в носовых раковинах [38]. По мнению авторов, инфицированные собаки способны передавать вирус контактным животным, что позволяет предположить, что енотовидные собаки могут быть потенциальным резервуаром для SARS-CoV-2 [38].

Хомяковые и скунсовые. Боско-Лаут с соавторами сообщают, что белоногие хомячки, пышнохвостые лесные хомяки и полосатые скунсы оказались

восприимчивы к вирусу SARS-CoV-2 и были заразны на протяжении 2-5 дней после инфицирования [39]. Животные в исследованиях были подвергнуты воздействию высоких доз вируса, что вряд ли возможно в естественной среде обитания. Кроме того, авторы утверждают, что экспериментальные инфекции с использованием небольшого количества, по-видимому, здоровых, иммунокомпетентных животных не дают полную характеристику по инфицированности животных данного вида, что может зависеть также от возраста и состояния здоровья животных. Однако результаты этой работы демонстрируют то, что существует возможность заражения SARS-CoV-2 у животных в дикой природе, и эта инфекция может стать эндемичной для видов, не имеющих отношения к человеку [39].

Рептилии. Анализ структурного механизма связывания рецепторов SARS-CoV-2 RBD и ACE2 показал, что черепахи (*Chrysemys picta bellii*, *Pelodiscus sinensis* и *Chelonia mydas*) и змеи могут выступать в качестве одного из потенциальных промежуточных хозяев, передающих SARS-CoV-2 в организм человека [40; 41]. Более того, эволюционный анализ и анализ предпочтения кодонов SARS-CoV-2 показали, что змеи могут быть потенциальным резервуаром диких животных для SARS-CoV-2 [9; 40]. Однако ACE2 черепахи и змеи потерял способность связываться с белком S SARS-CoV-2, поэтому эти рептилии не должны рассматриваться как потенциальные хозяева для SARS-CoV-2 [42].

SARS-CoV-2 у сельскохозяйственных животных

Норки. Норки – первые интенсивно выращиваемые виды, пострадавшие от вспышки COVID-19, что указывает на высокую восприимчивость кунных к SARS-CoV-2 [43]. Летом 2020 года сообщалось о первых случаях заражения норки коронавирусом, затем инфекция на норковых фермах стала стремительно распространяться по всему миру. Известно о заражении норки во многих странах: в Нидерландах, Дании, Испании, США, Швеции, Италии, Греции, Франции, Литве, Канаде и Польше [44-48]. Предполагалось, что вирусная инфекция передается норкам от инфицированного работника фермы [49]. Также в июне 2020 года в Дании было выявлено 214 случаев заболевания людей COVID-19 с вариантами SARS-CoV-2, связанными с выращиваемыми норками, в том числе 12 случаев с уникальным вариантом. Было установлено, что вирус может передаваться от норки человеку и наоборот. Передача вирусов от животных человеку и наоборот всегда вызывает опасения, поскольку в процессе такой передачи могут возникать генетические изменения вируса. Чтобы предотвратить дальнейшее распространение этого и других связываемых с норками штаммов среди людей, власти Дании объявили о принятии целого ряда мер и приняли решение о выбраковке норки на более чем 289 норковых фермах и запрете на последующее их разведение [46]. По сообщению Шарун и соавторов клинические и патологоанатомические признаки при новой коронавирусной инфекции у людей и норки

достаточно схожи. Авторы подтверждают это сравнением изменений в легких. У людей альвеолярные перегородки утолщены, в легких обширный гнойный инфильтрат, что свидетельствует об остром воспалении стенок бронхов. У норки при вскрытии обнаруживаются мелкие бугорки красного цвета на поверхности легкого, на гистологическом срезе видны признаки интерстициальной пневмонии [50].

Возникают опасения по поводу распространения SARS-CoV-2 среди диких кунных, поскольку они могут стать постоянными резервуарами вируса [43].

Свиньи. В исследованиях было показано, что домашние свиньи подвержены низкому риску инфицирования SARS-CoV-2. Среди 16 экспериментально зараженных животных 5 (31,3%) продемонстрировали иммунный ответ на вирус. Лишь у одной свиньи были обнаружены вирусные частицы, у двух обнаруживали РНК вируса и еще у двух животных – антитела. У одной свиньи проявлялись легкие, неспецифические клинические признаки, включая кашель и депрессию. Кроме того, у нескольких свиней были зафиксированы глазные и носовые истечения. По мнению авторов, результаты этого исследования противоречат предыдущим сообщениям о том, что свиньи не подвержены SARS-CoV-2 инфекции [51]. Предыдущие исследования не обнаруживали РНК в мазках или образцах органов, и сероконверсия не измерялась. Следует отметить, что авторы использовали в 10 раз более высокую вирусную дозу для экспериментальной инфекции, чем использовалась в предыдущих исследованиях. В исследованиях других авторов был сделан вывод о том, что свиньи не представляют угрозы в качестве переносчиков SARS-CoV-2, так как у них не была обнаружена вирусная РНК, и не было отмечено появление нейтрализующих антител [52]. В целом эти данные свидетельствуют о том, что для оценки риска заражения свиней новой коронавирусной инфекцией следует провести дальнейшие исследования на предмет восприимчивости животных.

Крупный рогатый скот. Существует предположение, что домашние и дикие жвачные животные могут потенциально выполнять функцию промежуточных хозяев или резервуаров для коронавирусов и представлять опасность для человека [53]. В своем исследовании Ульрих с соавторами проводили экспериментальное заражение крупного рогатого скота вирусом SARS-CoV-2, однако была показана низкая восприимчивость к данной инфекции исследуемой группы животных [54].

Птицы. При экспериментальном заражении SARS-CoV-2 кур, уток, индеек, перепелов и гусей не было зафиксировано клинических признаков инфекции и не было обнаружено репликации вируса или наличие антител. Авторы утверждают, что домашняя птица не восприимчива к вирусу [36]. Стоит заметить, что до настоящего времени не было

зарегистрировано ни одного случая заболевания SARS-CoV-2 у сельскохозяйственных животных, однако этой проблеме следует уделить большее внимание [51].

SARS-CoV-2 у домашних животных

Собаки. Собаки имеют низкую восприимчивость к инфекции SARS-CoV-2 как при экспериментальном, так и при естественном заражении [55; 56]. Две домашних собаки из Гонконга и еще одна из Северной Италии были инфицированы SARS-CoV-2 из-за контакта с инфицированными SARS-CoV-2 лицами. Однако клинических проявлений заболевания у данных животных не наблюдалось [3; 19; 32; 57; 58]. У собак есть рецепторы ACE2, аналогичные человеческим ACE2 (hACE2), которые функционируют как рецепторы SARS-CoV, что повышает вероятность того, что собаки могут быть потенциальным промежуточным хозяином [19]. Хотя нет никаких доказательств того, что инфицированные собаки могут передавать вирус животным или людям [58].

По мнению И.М. Донник с соавт. собаки не задействованы в трансмиссии SARS-CoV-2 и даже возможность их носительства в качестве биологического тупика крайне маловероятна [59].

Кошки. Вирус SARS-CoV-2 поража л популяции кошек в Ухане во время вспышки COVID-19. Данный вывод был сделан на основании обнаружения антител, специфичных к SARS-CoV-2, у 15/102 (14,7%) кошек, отобранных для исследования. Антитела были обнаружены у кошек, выращенных в естественных условиях, при контакте с пациентами, инфицированными SARS-CoV-2, или загрязненной окружающей средой [60]. Позднее авторы добавили, что более высокий титр антител был обнаружен у кошек, которые жили в тесном контакте с владельцами, инфицированными SARS-CoV-2. Более того, Центры США по контролю и профилактике заболеваний (CDC) впервые объявили о заражении SARS-CoV-2 у двух домашних кошек в двух разных местах Нью-Йорка. Обе кошки были протестированы после выявления легких респираторных симптомов. Одна из них могла заразиться от своего инфицированного хозяина, а другая кошка могла заразиться либо от бессимптомных членов семьи, либо при контакте с инфицированным человеком вне дома [61; 62]. Кроме того, SARS-CoV-2 был обнаружен в кале и рвоте двух инфицированных домашних кошек, живущих с инфицированными владельцами в Бельгии и Гонконге, что указывает на активную репликацию вируса [3; 32; 63]. В этом отношении сообщалось, что SARS-CoV-2 реплицируется только в верхних дыхательных путях кошек, и это воспроизведение не было связано с тяжелым заболеванием или смертью животных [64]. Следует отметить, что более молодые кошки были более толерантны к инфекции SARS-CoV-2 [64]. Более того, кошки могут передавать инфекцию другим представителям данного вида [65]. Следовательно, домашние кошки более восприимчивы к SARS-CoV-2, чем собаки – при этом болезнь протекает в легкой

форме, и способны выделять вирус в окружающую среду [66].

По мнению И.М. Донник с соавт. инфицирование представителей семейства кошачьих новым коронавирусом возможно ввиду сходства молекулярного строения рецепторной мишени этого вируса, но только в условиях очень тесного и повторяющегося контакта с зараженным человеком, когда суммарный титр вируса, передающегося воздушно-капельным путем, достигает значений близких к полученным при экспериментальном моделировании. Авторы убеждены, что эти животные будут для этого вируса биологическим тупиком. Для обсуждения факта носительства SARS-CoV-2 и его трансмиссии кошками критически необходимо проведение полномасштабного кагорного клинического исследования, притом слепого и рандомизированного, что исключит влияние человеческого фактора на результаты. Также в этом исследовании необходимо применить методы обнаружения субгеномной РНК вируса, что с наибольшей вероятностью укажет на факт репликации SARS-CoV-2 в клетках животных [59].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на сегодняшний день новая коронавирусная инфекция COVID-19 продолжает оставаться важной и актуальной проблемой. В настоящее время нет доказательств того, что животные играют значительную роль в распространении SARS-CoV-2 среди людей. Однако данные о заражении норковых ферм в Нидерландах и Дании доказывают, что при определенных условиях существует возможность распространения SARS-CoV-2, например, от норок к людям [67]. Необходимы дополнительные исследования, чтобы понять, может ли COVID-19 затронуть разные виды животных, однако людям с подозрением на инфекцию или с подтвержденной инфекцией SARS-CoV-2 следует ограничить контакт с животными, включая домашних и сельскохозяйственных. Животных с подозрением на инфекцию или с подтвержденной инфекцией, вызванной SARS-CoV-2, также рекомендуется содержать отдельно от других животных и людей [1].

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00199, <https://rscf.ru/project/22-24-00199/> и гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 20-04-60010 «Изучение разнообразия, циркуляции и патогенного потенциала коронавирусов в природных резервуарах на территории Западной и Восточной Сибири».

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded by the RSF according to the research project № 22-24-00199, <https://rscf.ru/project/22-24-00199/> and research project of the Russian Foundation for Basic Research No. 20-04-60010 "The study of the diversity, circulation and

pathogenic potential of coronaviruses in natural reservoirs in Western and Eastern Siberia".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева А.В., Николаева О.Н. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19) у животных // Ветеринарный врач. 2021. Т. 2. С. 4-11. DOI: 10.33632/1998-698X.2021-2-4-11
2. Mahdy M.A.A., Younis W., Ewaida Z. An Overview of SARS-CoV-2 and Animal Infection // Frontiers in Veterinary Science. 2020. V. 7. Article ID 596391. DOI: 10.3389/fvets.2020.596391
3. Leroy E.M., Ar Gouilh M., Brugère-Picoux J. The risk of SARS-CoV-2 transmission to pets and other wild and domestic animals strongly mandates a one-health strategy to control the COVID-19 pandemic // One Health. 2020. V. 10. Article ID 100133. DOI: 10.1016/j.onehlt.2020.100133
4. Tiwari R., Dhama K., Sharun K., Iqbal Yatoo M., Malik Y.S., Singh R., et al. COVID-19: animals, veterinary and zoonotic links // Veterinary Quarterly. 2020. V. 40. Iss. 1. P. 169-182. DOI: 10.1080/01652176.2020.1766725
5. Zhao J., Cui W., Tian B. The potential intermediate hosts for SARS-CoV-2 // Frontiers in Microbiology. 2020. V. 11. Article ID 580137. DOI: 10.3389/fmicb.2020.580137
6. Chakraborty C., Sharma A.R., Bhattacharya M., Sharma G., Lee S.S. The 2019 novel coronavirus disease (COVID-19) pandemic: a zoonotic prospective // Asian Pacific Journal of Tropical Medicine. 2020. V. 13. Iss. 6. P. 242-246. DOI: 10.4103/1995-7645.281613
7. Nadeem M.S., Zamzami M.A., Choudhry H., Murtaza B.N., Kazmi I., Ahmad H., Shakoori A.R. Origin, potential therapeutic targets and treatment for coronavirus disease (COVID-19) // Pathogens. 2020. V. 9. N 4. 307 p. DOI: 10.3390/pathogens9040307
8. Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J., et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China 2019 // New England Journal of Medicine. 2020. V. 382. N 8. P. 727-733. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017
9. Ji W., Wang W., Zhao X., Zai J., Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV // Journal of medical virology. 2020. V. 92. Iss. 4. P. 433-440. DOI: 10.1002/jmv.25682
10. Zhou P., Yang X.L., Wang X.G., Hu B., Zhang L., Zhang W., et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin // Nature. 2020. V. 579. P. 270-273. DOI: 10.1038/s41586-020-2012-7
11. Benvenuto D., Giovanetti M., Ciccozzi A., Spoto S., Angeletti S., Ciccozzi M. The 2019-new coronavirus epidemic: evidence for virus evolution // Journal of Medical Virology. 2020. V. 92. P. 455-459. DOI: 10.1002/jmv.25688
12. Guo Y.R., Cao Q.D., Hong Z.S., Tan Y.Y., Chen S.D., Jin H.J., et al. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak-an update on the status // Military Medical Research. 2020. V. 7. 11 p. DOI: 10.1186/s40779-020-00240-0
13. Sharun K., Sircar S., Malik Y.S., Singh R.K., Dhama K. How close is SARS-CoV-2 to canine and feline coronaviruses? // Journal of Small Animal Practice. 2020. V. 61. P. 523-526. DOI: 10.1111/jsap.13207
14. Rabaan A.A., Al-Ahmed S.H., Haque S., Sah R., Tiwari R., Malik Y.S., et al. SARS-CoV-2, SARS-CoV, and MERS-COV: a comparative overview // Infez Med. 2020. V. 28. N 2. P. 174-184.
15. Gong G., Bi Y.H., Wang Q.H., Chen X.W., Zhang Z.G., Yao Y.G. Zoonotic origins of human coronavirus 2019 (HCoV-19/SARS-CoV-2): why is this work important? // Zoological Research. 2020. V. 41. P. 213-219. DOI: 10.24272/j.issn.2095-8137.2020.031
16. Ji W., Wang W., Zhao X., Zai J., Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV // Journal of Medical Virology. 2020. V. 92. P. 433-440. DOI: 10.1002/jmv.25682
17. Ortega J.T., Serrano M.L., Pujol F.H., Rangel H.R. Role of changes in SARS-CoV-2 spike protein in the interaction with the human ACE2 receptor: an in silico analysis // EXCLI Journal. 2020. V. 19. P. 410-417. DOI: 10.17179/excli2020-1167
18. Wan Y., Shang J., Graham R., Baric R.S., Li F. Receptor recognition by the novel coronavirus from Wuhan: an analysis based on decade-long structural studies of SARS coronavirus // Journal of Virology. 2020. V. 94. N 7. DOI: 10.1128/JVI.00127-20
19. Goumenou M., Spandidos D.A., Tsatsakis A. Possibility of transmission through dogs being a contributing factor to the extreme Covid-19 outbreak in North Italy // Molecular Medicine Reports. 2020. V. 21. N 6. P. 2293-2295. DOI: 10.3892/mmr.2020.11037
20. Schlottau K., Rissmann M., Graaf A., Schön J., Sehl J., Wylezich C., et al. SARS-CoV-2 in fruit bats, ferrets, pigs, and chickens: an experimental transmission study // Lancet Microbe. 2020. V. 1. P. E218-E225. DOI: 10.1016/S2666-5247(20)30089-6
21. Xiao K., Zhai J., Feng Y., Zhou N., Zhang X., Zou J.-J., et al. Isolation and characterization of 2019-nCoV-like coronavirus from Malayan Pangolins // bioRxiv. 2020. DOI: 10.1101/2020.02.17.951335
22. Zhang T., Wu Q., Zhang Z. Pangolin homology associated with 2019-nCoV // bioRxiv. 2020. DOI: 10.1101/2020.02.19.950253
23. Liu P., Jiang J.Z., Wan X.F., Hua Y., Li L., et al. Are pangolins the intermediate host of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2)? // PLOS Pathogens. 2020. V. 16. N 5. e1008421. DOI: 10.1371/journal.ppat.1008421
24. Li X., Zai J., Zhao Q., Nie Q., Li Y., Foley B.T., et al. Evolutionary history, potential intermediate animal host, and cross-species analyses of SARS-CoV-2 // Journal of Medical Virology. 2020. V. 92. Iss. 6. P. 602-611. DOI: 10.1002/jmv.25731
25. Brennan D.S. Gorillas at San Diego Zoo Safari Park recover from COVID-19 // Los Angeles Times. 2021. URL: <https://www.latimes.com/california/story/2021-02-13/gorillas-san-diego-zoo-covid> (дата обращения 17.01.2022)
26. Bao L., Deng W., Gao H., Xiao Ch., et al. Reinfection could not occur in SARS-CoV-2 infected rhesus macaques // bioRxiv. 2020. DOI: 10.1101/2020.03.13.990226
27. Deng W., Bao L., Liu J., Xiao Ch., et al. Primary exposure to SARS-CoV-2 protects against reinfection in rhesus macaques // Science. 2020. V. 369. P. 818-823. DOI: 10.1126/science.abc5343
28. Lu Sh., Zhao Y., Yu W., Yang Y., et al. Comparison of SARS-CoV-2 infections among 3 species of non-human primates // bioRxiv. 2020. DOI: 10.1101/2020.04.08.031807
29. Blair R.V., Vaccari M., Doyle-Meyers L.A., Roy C.J., et al. Acute Respiratory Distress in Aged, SARS-CoV-2-Infected African Green Monkeys but Not Rhesus Macaques // The American Journal of Pathology. 2021. V. 191. P. 274-282. DOI: 10.1016/j.ajpath.2020.10.016
30. Speranza E., Williamson B.N., Feldmann F., Sturdevant G.L., Pérez- Pérez L., Meade-White K., Smith B.J., Lovaglio J., Martens C., Munster V.J., Okumura A., Shaia C., Feldmann H., Best S.M., de Wit E. Single-cell RNA sequencing reveals SARS-CoV-2 infection dynamics in lungs of African green monkeys // Science Translational Medicine. 2021. V. 13. Iss. 578. DOI: 10.1126/scitranslmed.abe8146

31. Rodriguez-Morales A.J., Dhama K., Sharun K., Tiwari R., Bonilla-Aldana D.K. Susceptibility of felids to coronaviruses // The Veterinary Record. 2020. V. 186. 21 p. DOI: 10.1136/vr.m1671
32. Csiszar A., Jakab F., Valencak T.G., Lanszki Z., Tóth G.E., Kemenesi G., et al. Companion animals likely do not spread COVID-19 but may get infected themselves // GeroScience. 2020. V. 42. P. 1229-1236. DOI: 10.1007/s11357-020-00248-3
33. Salajegheh Tazerji S., Magalhães Duarte P., Rahimi P., Shahabinejad F., Dhakal S., Singh Malik Y., et al. Transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) to animals: an updated review // Journal of Translational Medicine. 2020. V. 18. Article number: 358. DOI: 10.1186/s12967-020-02534-2
34. Daly N. Seven more big cats test positive for coronavirus at Bronx Zoo // Animals. Coronavirus coverage. 2020. URL: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/tiger-coronavirus-covid19-positive-test-bronx-zoo> (дата обращения: 17.01.2022)
35. McAloose D., Laverack M., Wang L., Killian M.L., Caserta L.C., et al. From People to *Panthera*: Natural SARS-CoV-2 Infection in Tigers and Lions at the Bronx Zoo // American society for microbiology. 2020. V. 11. N 5. DOI: 10.1128/mBio.02220-20
36. Abdel-Moneim A.S., Abdelwhab E.M. Evidence for SARS-CoV-2 Infection of Animal Hosts // Pathogens. 2020. V. 9. N 7. 529 p. DOI: 10.3390/pathogens9070529
37. Kim Y.I., Kim S.G., Kim S.M., Kim E.H., Park S.J., Yu K.M., Chang J.H., Kim E.J., Lee S., Casel M.A.B., et al. Infection and rapid transmission of SARS-CoV-2 in ferrets // Cell Host Microbe. 2020. V. 27. P. 704-709. DOI: 10.1016/j.chom.2020.03.023
38. Freuling C.M., Breithaupt A., Müller T., Sehl J., Balkema-Buschmann A., Rissmann M., Klein A., Wylezich C., Höper D., Wernike K., Aebischer A., Hoffmann D., Friedrichs V., Dorhoi A., Groschup M.H., Beer M., Mettenleiter T.C. Susceptibility of Raccoon Dogs for Experimental SARS-CoV-2 Infection // Emerging Infectious Diseases. 2020. V. 26. N 12. P. 2982-2985. DOI: 10.3201/eid2612.203733
39. Bosco-Lauth A.M., et al. Peridomestic Mammal Susceptibility to Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Infection // Emerging Infectious Diseases. 2021. V. 27. N 8. P. 2073-2080. DOI: 10.3201/eid2708.210180
40. Liu Z., Xiao X., Wei X., Li J., Yang J., Tan H., et al. Composition and divergence of coronavirus spike proteins and host ACE2 receptors predict potential intermediate hosts of SARS-CoV-2 // Journal of Medical Virology. 2020. V. 92. P. 595-601. DOI: 10.1002/jmv.25726
41. Chen Y., Guo Y., Pan Y., Zhao Z.J. Structure analysis of the receptor binding of 2019-nCoV // Biochemical and Biophysical Research Communications. 2020. V. 525. Iss. 1. P. 135-140. DOI: 10.1016/j.bbrc.2020.02.071
42. Luan J., Jin X., Lu Y., Zhang L. SARS-CoV-2 spike protein favors ACE2 from Bovidae and Cricetidae // Journal of Medical Virology. 2020. V. 92. Iss. 9. P. 1649-1656. DOI: 10.1002/jmv.25817
43. Manes C., Gollakner R., Capua I. Could Mustelids spur COVID-19 into a panzootic? // Veterinaria Italiana. 2020. V. 56. P. 65-66. DOI: 10.12834/VetIt.2375.13627.1
44. Shaart E. 6 countries have coronavirus on mink farms // UN Health Agency. 2020. URL: <https://www.politico.eu/article/6-countries-coronavirus-mink-farm-un-health-agency/> (дата обращения: 17.01.2022)
45. Tiwari R., Dhama K., Sharun Kh., Iqbal Yatoo M., et al. COVID-19: animals, veterinary and zoonotic links // Veterinary Quarterly. 2020. V. 40. N 1. P. 169-182. DOI: 10.1080/01652176.2020.1766725
46. SARS-CoV-2 mink- associated variant strain – Denmark // Word Health Organization. 2020. URL: <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2020-DON301#:~:text=On%205%20November%2C%20the%20Danish,from%20August%20to%20September%202020> (дата обращения: 17.01.2022)
47. Opriessnig T., Huang Y.W. Further information on possible animal sources for human COVID-19 // Xenotransplantation. 2020. V. 27. Iss. 6. e12651. DOI: 10.1111/xen.12651
48. Cahan E. COVID-19 hits US mink farms after ripping through Europe // Science. 2020. DOI: 10.1126/science.abe3870
49. Oreshkova N., Molenaar R.J., Vreman S., Harders F., Oude Munnink B.B., et al. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, the Netherlands, April and May 2020 // Euro Surveillance. 2020. V. 25. N 23. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.23.2001005
50. Sharun Kh., Tiwari R., Natesan S., Dhama K. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, associated zoonotic concerns, and importance of the One Health approach during the ongoing COVID-19 pandemic // Veterinary Quarterly. 2021. V. 41. N 1. 50 p. DOI: 10.1080/01652176.2020.1867776
51. Pickering B.S., Smith G., Pinette M.M., Embury-Hyatt C., Moffat E., Marszal P. Susceptibility of Domestic Swine to Experimental Infection with Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 // Emerging Infectious Diseases. 2021. V. 27. N 1. 104 p. URL: <https://dx.doi.org/10.3201/eid2701.203399> (дата обращения: 17.01.2022)
52. Meekins D.A., Morozov I., Trujillo J.D., Gaudreault N.N., Bold D., Carossino M., Artiaga B.L., Indran S.V., Kwon T., Balaraman V., Madden D.W., Feldmann H., Henningson J., Ma W., Balasuriya U.B.R., Richt J.A. Susceptibility of swine cells and domestic pigs to SARS-CoV-2 // Emerging Microbes & Infections. 2020. V. 1. P. 2278-2288. DOI: 10.1080/22221751.2020.1831405
53. Lorusso A., Calistri P., Petrini A., Savini G., Decaro N. Novel coronavirus (SARS-CoV-2) epidemic: a veterinary perspective Article // Veterinaria Italiana. 2020. V. 56. DOI: 10.12834/VetIt.2173.11599.1
54. Lorenz U. et al. Experimental Infection of Cattle with SARS-CoV-2 // Emerging Infectious Diseases. 2020. V. 26. N 12. P. 2979-2981. DOI: 10.3201/eid2612.203799
55. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2 // Science. 2020. V. 368. P. 1016-1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
56. Актуальные данные МЭБ о COVID-19 у животных // Россельхознадзор. 2020. URL: <https://fsvps.gov.ru/fsvps/news/35884.html> (дата обращения: 07.02.2021)
57. Loeb J. Pet dog confirmed to have coronavirus // The Veterinary Record. 2020. V. 186. 265 p. DOI: 10.1136/vr.m892
58. Sit T.H.C., Brackman C.J., Ip S.M., Tam K.W.S., Law P.Y.T., To E.M.W., et al. Infection of dogs with SARS-CoV-2 // Nature. 2020. V. 586. P. 776-778. DOI: 10.1038/s41586-020-2334-5
59. Донник И.М., Попов И.В., Середа С.В., Попов Ил.В., Чикиндас М.Л., Ермаков А.М. Коронавирусные инфекции животных: будущие риски для человека // Известия РАН. Серия биологическая. 2021. N 1. С. 30-43. DOI: 10.31857/S0002332921010057

60. Zhang Q., Zhang H., Gao J., Huang K., Yang Y., Hui X., et al. A serological survey of SARS-CoV-2 in cat in Wuhan // *Emerging Microbes & Infections*. 2020. V. 9. P. 2013-2019. DOI: 10.1080/22221751.2020.1817796
 61. Newman A., Smith D., Ghai R.R., Wallace R.M., Torchetti M.K., Loiacono C., et al. First reported cases of SARS-CoV-2 infection in companion animals—New York, March–April 2020 // *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2020. V. 69. N23. P. 710-713. DOI: 10.15585/mmwr.mm6923e3
 62. Confirmation of COVID-19 in Two Pet Cats in New York // Centers for Disease Control and Prevention Newsroom. 2020. URL: <https://www.cdc.gov/media/releases/2020/s0422-covid-19-cats-NYC.html> (дата обращения: 17.01.2022)
 63. Garigliany M., Van Laere A.S., Clercx C., Giet D., Escriviou N., Huon C., et al. SARS-CoV-2 natural transmission from human to cat, Belgium, March 2020 // *Emerging Infectious Diseases*. 2020. V. 26. N 12. P. 3069-3071. DOI: 10.3201/eid2612.202223
 64. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., Huang B., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2 // *Science*. 2020. V. 368. N 6494. P. 1016-1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
 65. Mallapaty S. Coronavirus can infect cats-dogs, not so much // *Nature*. 2020. DOI: 10.1038/d41586-020-00984-8
 66. Abdel-Moneim A.S., Abdelwhab E.M. Evidence for SARS-CoV-2 infection of animal hosts // *Pathogens*. 2020. V. 9. N 7. 529 p. DOI: 10.3390/pathogens9070529
 67. Gautam A., Kaphle K., Shrestha B., Phuyal S. Susceptibility to SARS, MERS, and COVID-19 from animal health perspective // *Open Veterinary Journal*. 2020. V. 10. N 2. 164 p. DOI: 10.4314/ovj.v10i2.6
- REFERENCES**
1. Andreeva A.V., Nikolaeva O.N. New coronavirus infection (COVID-19) in animals. *Veterinary doctor*, 2021, vol. 2, pp. 4-11. (In Russian) DOI: 10.33632/1998-698X.2021-2-4-11
 2. Mahdy M.A.A., Younis W., Ewaida Z. An Overview of SARS-CoV-2 and Animal Infection. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, vol. 7. Article ID 596391. DOI: 10.3389/fvets.2020.596391
 3. Leroy E.M., Ar Gouilh M., Brugère-Picoux J. The risk of SARS-CoV-2 transmission to pets and other wild and domestic animals strongly mandates a one-health strategy to control the COVID-19 pandemic. *One Health*, 2020, vol. 10. Article ID 100133. DOI: 10.1016/j.onehlt.2020.100133
 4. Tiwari R., Dhama K., Sharun K., Iqbal Yatoo M., Malik Y.S., Singh R., et al. COVID-19: animals, veterinary and zoonotic links. *Veterinary Quarterly*, 2020, vol. 40, iss. 1, pp. 169-182. DOI: 10.1080/01652176.2020.1766725
 5. Zhao J., Cui W., Tian B. The potential intermediate hosts for SARS-CoV-2. *Frontiers in Microbiology*, 2020, vol. 11, article ID 580137. DOI: 10.3389/fmicb.2020.580137
 6. Chakraborty C., Sharma A.R., Bhattacharya M., Sharma G., Lee S.S. The 2019 novel coronavirus disease (COVID-19) pandemic: a zoonotic prospective. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 2020, vol. 13, iss. 6, pp. 242-246. DOI: 10.4103/1995-7645.281613
 7. Nadeem M.S., Zamzami M.A., Choudhry H., Murtaza B.N., Kazmi I., Ahmad H., Shakoori A.R. Origin, potential therapeutic targets and treatment for coronavirus disease (COVID-19). *Pathogens*, 2020, vol. 9, no. 4, 307 p. DOI: 10.3390/pathogens9040307
 8. Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J., et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China 2019. *New England Journal of Medicine*, 2020, vol. 382, no. 8, pp. 727-733. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017
 9. Ji W., Wang W., Zhao X., Zai J., Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV. *Journal of medical virology*, 2020, vol. 92, iss. 4, pp. 433-440. DOI: 10.1002/jmv.25682
 10. Zhou P., Yang X.L., Wang X.G., Hu B., Zhang L., Zhang W., et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 2020, vol. 579, pp. 270-273. DOI: 10.1038/s41586-020-2012-7
 11. Benvenuto D., Giovanetti M., Ciccozzi A., Spoto S., Angeletti S., Ciccozzi M. The 2019-new coronavirus epidemic: evidence for virus evolution. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, pp. 455-459. DOI: 10.1002/jmv.25688
 12. Guo Y.R., Cao Q.D., Hong Z.S., Tan Y.Y., Chen S.D., Jin H.J., et al. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak—an update on the status. *Military Medical Research*, 2020, vol. 7, 11 p. DOI: 10.1186/s40779-020-00240-0
 13. Sharun K., Sircar S., Malik Y.S., Singh R.K., Dhama K. How close is SARS-CoV-2 to canine and feline coronaviruses? *Journal of Small Animal Practice*, 2020, vol. 61, pp. 523-526. DOI: 10.1111/jsap.13207
 14. Rabaan A.A., Al-Ahmed S.H., Haque S., Sah R., Tiwari R., Malik Y.S., et al. SARS-CoV-2, SARS-CoV, and MERS-CoV: a comparative overview. *Infez Med*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 174-184.
 15. Wong G., Bi Y.H., Wang Q.H., Chen X.W., Zhang Z.G., Yao Y.G. Zoonotic origins of human coronavirus 2019 (HCoV-19/SARS-CoV-2): why is this work important? *Zoological Research*, 2020, vol. 41, pp. 213-219. DOI: 10.24272/j.issn.2095-8137.2020.031
 16. Ji W., Wang W., Zhao X., Zai J., Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, pp. 433-440. DOI: 10.1002/jmv.25682
 17. Ortega J.T., Serrano M.L., Pujol F.H., Rangel H.R. Role of changes in SARS-CoV-2 spike protein in the interaction with the human ACE2 receptor: an in silico analysis. *EXCLI Journal*, 2020, vol. 19, pp. 410-417. DOI: 10.17179/excli2020-1167
 18. Wan Y., Shang J., Graham R., Baric R.S., Li F. Receptor recognition by the novel coronavirus from Wuhan: an analysis based on decade-long structural studies of SARS coronavirus. *Journal of Virology*, 2020, vol. 94, no. 7. DOI: 10.1128/JVI.00127-20
 19. Goumenou M., Spandidos D.A., Tsatsakis A. Possibility of transmission through dogs being a contributing factor to the extreme Covid-19 outbreak in North Italy. *Molecular Medicine Reports*, 2020, vol. 21, no. 6, pp. 2293-2295. DOI: 10.3892/mmr.2020.11037
 20. Schlottau K., Rissmann M., Graaf A., Schön J., Sehl J., Wylezich C., et al. SARS-CoV-2 in fruit bats, ferrets, pigs, and chickens: an experimental transmission study. *Lancet Microbe*, 2020, vol. 1, pp. E218-E225. DOI: 10.1016/S2666-5247(20)30089-6
 21. Xiao K., Zhai J., Feng Y., Zhou N., Zhang X., Zou J.-J., et al. Isolation and characterization of 2019-nCoV-like coronavirus from Malayan Pangolins. *bioRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.02.17.951335
 22. Zhang T., Wu Q., Zhang Z. Pangolin homology associated with 2019-nCoV. *bioRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.02.19.950253
 23. Liu P., Jiang J.Z., Wan X.F., Hua Y., Li L., et al. Are pangolins the intermediate host of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2)? *PLOS Pathogens*, 2020, vol. 16, no. 5. e1008421. DOI: 10.1371/journal.ppat.1008421

24. Li X., Zai J., Zhao Q., Nie Q., Li Y., Foley B.T., et al. Evolutionary history, potential intermediate animal host, and cross-species analyses of SARS-CoV-2. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, iss. 6, pp. 602-611. DOI: 10.1002/jmv.25731
25. Brennan D.S. Gorillas at San Diego Zoo Safari Park recover from COVID-19 // Los Angeles Times. 2021. Available at: <https://www.latimes.com/california/story/2021-02-13/gorillas-san-diego-zoo-covid> (accessed 17.01.2022)
26. Bao L., Deng W., Gao H., Xiao Ch., et al. Reinfection could not occur in SARS-CoV-2 infected rhesus macaques. *bioRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.03.13.990226
27. Deng W., Bao L., Liu J., Xiao Ch., et al. Primary exposure to SARS-CoV-2 protects against reinfection in rhesus macaques. *Science*, 2020, vol. 369, pp. 818-823. DOI: 10.1126/science.abc5343
28. Lu Sh., Zhao Y., Yu W., Yang Y., et al. Comparison of SARS-CoV-2 infections among 3 species of non-human primates. *bioRxiv*, 2020. DOI: 10.1101/2020.04.08.031807
29. Blair R.V., Vaccari M., Doyle-Meyers L.A., Roy C.J., et al. Acute Respiratory Distress in Aged, SARS-CoV-2-Infected African Green Monkeys but Not Rhesus Macaques. *The American Journal of Pathology*, 2021, vol. 191, pp. 274-282. DOI: 10.1016/j.ajpath.2020.10.016
30. Speranza E., Williamson B.N., Feldmann F., Sturdevant G.L., Pérez- Pérez L., Meade-White K., Smith B.J., Lovaglio J., Martens C., Munster V.J., Okumura A., Shaia C., Feldmann H., Best S.M., de Wit E. Single-cell RNA sequencing reveals SARS-CoV-2 infection dynamics in lungs of African green monkeys. *Science Translational Medicine*, 2021, vol. 13, iss. 578. DOI: 10.1126/scitranslmed.abe8146
31. Rodriguez-Morales A.J., Dhama K., Sharun K., Tiwari R., Bonilla-Aldana D.K. Susceptibility of felids to coronaviruses. *The Veterinary Record*, 2020, vol. 186, 21 p. DOI: 10.1136/vr.m1671
32. Csiszar A., Jakab F., Valencak T.G., Lanszki Z., Tóth G.E., Kemenesi G., et al. Companion animals likely do not spread COVID-19 but may get infected themselves. *GeroScience*, 2020, vol. 42, pp. 1229-1236. DOI: 10.1007/s11357-020-00248-3
33. Salajegheh Tazerji S., Magalhães Duarte P., Rahimi P., Shahabinejad F., Dhakal S., Singh Malik Y., et al. Transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) to animals: an updated review. *Journal of Translational Medicine*, 2020, vol. 18, article number: 358. DOI: 10.1186/s12967-020-02534-2
34. Daly N. Seven more big cats test positive for coronavirus at Bronx Zoo [Animals. Coronavirus coverage]. Available at: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/tiger-coronavirus-covid19-positive-test-bronx-zoo> (accessed 17.01.2022)
35. McAloose D., Laverack M., Wang L., Killian M.L., Caserta L.C., et al. From People to *Panthera*: Natural SARS-CoV-2 Infection in Tigers and Lions at the Bronx Zoo. *American society for microbiology*, 2020, vol. 11, no. 5. DOI: 10.1128/mBio.02220-20
36. Abdel-Moneim A.S., Abdelwhab E.M. Evidence for SARS-CoV-2 Infection of Animal Hosts. *Pathogens*, 2020, vol. 9, no. 7, 529 p. DOI: 10.3390/pathogens9070529
37. Kim Y.I., Kim S.G., Kim S.M., Kim E.H., Park S.J., Yu K.M., Chang J.H., Kim E.J., Lee S., Casel M.A.B., et al. Infection and rapid transmission of SARS-CoV-2 in ferrets. *Cell Host Microbe*, 2020, vol. 27, pp. 704-709. DOI: 10.1016/j.chom.2020.03.023
38. Freuling C.M., Breithaupt A., Müller T., Sehl J., Balkema-Buschmann A., Rissmann M., Klein A., Wylezich C., Höper D., Wernike K., Aebischer A., Hoffmann D., Friedrichs V., Dorhoi A., Groschup M.H., Beer M., Mettenleiter T.C. Susceptibility of Raccoon Dogs for Experimental SARS-CoV-2 Infection. *Emerging Infectious Diseases*, 2020, vol. 26, no. 12, pp. 2982-2985. DOI: 10.3201/eid2612.203733
39. Bosco-Lauth A.M., et al. Peridomestic Mammal Susceptibility to Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Infection. *Emerging Infectious Diseases*, 2021, vol. 27, no. 8, pp. 2073-2080. DOI: 10.3201/eid2708.210180
40. Liu Z., Xiao X., Wei X., Li J., Yang J., Tan H., et al. Composition and divergence of coronavirus spike proteins and host ACE2 receptors predict potential intermediate hosts of SARS-CoV-2. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, pp. 595-601. DOI: 10.1002/jmv.25726
41. Chen Y., Guo Y., Pan Y., Zhao Z.J. Structure analysis of the receptor binding of 2019-nCoV. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2020, vol. 525, iss. 1, pp. 135-140. DOI: 10.1016/j.bbrc.2020.02.071
42. Luan J., Jin X., Lu Y., Zhang L. SARS-CoV-2 spike protein favors ACE2 from Bovidae and Cricetidae. *Journal of Medical Virology*, 2020, vol. 92, iss. 9, pp. 1649-1656. DOI: 10.1002/jmv.25817
43. Manes C., Gollakner R., Capua I. Could Mustelids spur COVID-19 into a panzootic? *Veterinaria Italiana*, 2020, vol. 56, pp. 65-66. DOI: 10.12834/VetIt.2375.13627.1
44. Shaart E. 6 countries have coronavirus on mink farms [UN Health Agency]. Available at: <https://www.politico.eu/article/6-countries-coronavirus-mink-farm-un-health-agency/> (accessed 17.01.2022)
45. Tiwari R., Dhama K., Sharun Kh., Iqbal Yatoo M., et al. COVID-19: animals, veterinary and zoonotic links. *Veterinary Quarterly*, 2020, vol. 40, no. 1, pp. 169-182. DOI: 10.1080/01652176.2020.1766725
46. SARS-CoV-2 mink- associated variant strain – Denmark [Word Health Organization]. 2020. Available at: <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2020-DON301#:~:text=On%205%20November%2C%20the%20Danish,from%20August%20to%20September%202020> (accessed 17.01.2022)
47. Opriessnig T., Huang Y.W. Further information on possible animal sources for human COVID-19. *Xenotransplantation*, 2020, vol. 27, iss. 6, e12651. DOI: 10.1111/xen.12651
48. Cahan E. COVID-19 hits US mink farms after ripping through Europe. *Science*, 2020. DOI: 10.1126/science.abe3870
49. Oreshkova N., Molenaar R.J., Vreman S., Harders F., Oude Munnink B.B., et al. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, the Netherlands, April and May 2020. *Euro Surveillance*, 2020, vol. 25, no. 23. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.23.2001005
50. Sharun Kh., Tiwari R., Natesan S., Dhama K. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, associated zoonotic concerns, and importance of the One Health approach during the ongoing COVID-19 pandemic. *Veterinary Quarterly*, 2021, vol. 41, no. 1, 50 p. DOI: 10.1080/01652176.2020.1867776
51. Pickering B.S., Smith G., Pinette M.M., Embury-Hyatt C., Moffat E., Marszal P. [Susceptibility of Domestic Swine to Experimental Infection with Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2]. *Emerging Infectious Diseases*, 2021, vol. 27, no. 1, 4 p. Available at: <https://dx.doi.org/10.3201/eid2701.203399> (accessed 17.01.2022)
52. Meekins D.A., Morozov I., Trujillo J.D., Gaudreault N.N., Bold D., Carossino M., Artiaga B.L., Indran S.V., Kwon T., Balaraman V., Madden D.W., Feldmann H., Henningson J., Ma W., Balasuriya U.B.R., Richt J.A. Susceptibility of swine

- cells and domestic pigs to SARS-CoV-2. *Emerging Microbes & Infections*, 2020, vol. 1, pp. 2278-2288. DOI: 10.1080/22221751.2020.1831405
53. Lorusso A., Calistri P., Petrini A., Savini G., Decaro N. Novel coronavirus (SARS-CoV-2) epidemic: a veterinary perspective Article. *Veterinaria Italiana*, 2020, vol. 56. DOI: 10.12834/VetIt.2173.11599.1
54. Lorenz U. et al. Experimental Infection of Cattle with SARS-CoV-2. *Emerging Infectious Diseases*, 2020, vol. 26, no. 12, pp. 2979-2981. DOI: 10.3201/eid2612.203799
55. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2. *Science*, 2020, vol. 368, pp. 1016-1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
56. Aktual'nye dannye MJeB o COVID-19 u zhivotnyh [Actual Office International des Epizooties' data on COVID-19 in animals]. Available at: <https://fsvps.gov.ru/fsvps/news/35884.html> (accessed 07.02.2021)
57. Loeb J. Pet dog confirmed to have coronavirus. *The Veterinary Record*, 2020, vol. 186, 265 p. DOI: 10.1136/vr.m892
58. Sit T.H.C., Brackman C.J., Ip S.M., Tam K.W.S., Law P.Y.T., To E.M.W., et al. Infection of dogs with SARS-CoV-2. *Nature*, 2020, vol. 586, pp. 776-778. DOI: 10.1038/s41586-020-2334-5
59. Donnik I.M., Popov I.V., Sereda S.V., Popov I.I.V., Chikindas M.L., Ermakov A.M. Coronavirus infections in animals: future risks for humans. *The Russian Academy of Sciences News. Biological series*, 2021, no. 1, pp. 30-43. (In Russian) DOI: 10.31857/S0002332921010057
60. Zhang Q., Zhang H., Gao J., Huang K., Yang Y., Hui X., et al. A serological survey of SARS-CoV-2 in cat in Wuhan. *Emerging Microbes & Infections*, 2020, vol. 9, pp. 2013-2019. DOI: 10.1080/22221751.2020.1817796
61. Newman A., Smith D., Ghai R.R., Wallace R.M., Torchetti M.K., Loiacono C., et al. First reported cases of SARS-CoV-2 infection in companion animals - New York, March-April 2020. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2020, vol. 69, no. 23, pp. 710-713. DOI: 10.15585/mmwr.mm6923e3
62. Confirmation of COVID-19 in Two Pet Cats in New York [Centers for Disease Control and Prevention Newsroom]. Available at: <https://www.cdc.gov/media/releases/2020/s0422-covid-19-cats-NYC.html> (accessed 17.01.2022)
63. Garigliani M., Van Laere A.S., Clercx C., Giet D., Escriviou N., Huon C., et al. SARS-CoV-2 natural transmission from human to cat, Belgium, March 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 2020, vol. 26, no. 12, pp. 3069-3071. DOI: 10.3201/eid2612.202223
64. Shi J., Wen Z., Zhong G., Yang H., Wang C., Huang B., et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2. *Science*, 2020, vol. 368, no. 6494, pp. 1016-1020. DOI: 10.1126/science.abb7015
65. Mallapaty S. Coronavirus can infect cats—dogs, not so much. *Nature*, 2020. DOI: 10.1038/d41586-020-00984-8
66. Abdel-Moneim A.S., Abdelwhab E.M. Evidence for SARS-CoV-2 infection of animal hosts. *Pathogens*, 2020, vol. 9, no. 7, 529 p. DOI: 10.3390/pathogens9070529
67. Gautam A., Kaphle K., Shrestha B., Phuyal S. Susceptibility to SARS, MERS, and COVID-19 from animal health perspective. *Open Veterinary Journal*, 2020, vol. 10, no. 2, 164 p. DOI: 10.4314/ovj.v10i2.6

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Марина С. Федотова провела поиск литературы, проанализировала литературные данные. Анастасия Ю. Филиппова и Магомедсайд А. Омаров провели поиск литературы, подготовили печатный материал. Ксения С. Юрченко упорядочила материал. Марина А. Гуляева разработала концепцию статьи, отредактировала рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Marina S. Fedotova undertook literature search and analysis of literature data. Anastasia Yu. Filippova and Magomedsaid A. Omarov undertook literature search and the preparation of material. Ksenia S. Yurchenko organised the data. Marina A. Gulyaeva developed the concept of the article and corrected the manuscript before submission to the Editor. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Марина С. Федотова / Marina S. Fedotova <https://orcid.org/0000-0002-5364-9159>
 Анастасия Ю. Филиппова / Anastasia Yu. Filippova <https://orcid.org/0000-0002-7403-3089>
 Магомедсайд А. Омаров / Magomedsaid A. Omarov <https://orcid.org/0000-0003-3624-7542>
 Ксения С. Юрченко / Ksenia S. Yurchenko <https://orcid.org/0000-0002-0679-8493>
 Марина А. Гуляева / Marina A. Gulyaeva <https://orcid.org/0000-0003-3945-5339>