

ОБЗОРЫ

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-293>

© ДОГАДОВ Д.И., КЮРЕГЯН К.К., МИНОСЯН А.А., ГОНЧАРЕНКО А.М., ШМАТ Е.В., МИХАЙЛОВ М.И., 2025



Острые респираторные вирусные инфекции у обезьян

Догадов Д.И.^{1✉}, Кюрегян К.К.²⁻⁴, Миносян А.А.¹, Гончаренко А.М.¹, Шмат Е.В.⁵, Михайлов М.И.^{2,3}

¹Курчатовский комплекс медицинской приматологии ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт», 354376, г. Сочи, Россия;

²ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора, 111123, г. Москва, Россия;

³ФГБНУ «Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова», 105064, г. Москва, Россия;

⁴ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, 125993, г. Москва, Россия;

⁵Сочинский институт (филиал) ФГАОУ ВО РУДН им. Патриса Лумумбы, 354348, г. Сочи, Россия

Резюме

Острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ) являются одной из наиболее серьезных проблем, влияющих на разведение обезьян, особенно среди импортированных и содержащихся в неволе приматов. Респираторные заболевания также являются значимой причиной заболеваемости и смертности в диких популяциях, большинство этих инфекций также могут поражать и людей. Многие виды обезьян, включая антропоидов, восприимчивы к ОРВИ. Вспышки спонтанных респираторных инфекций описаны во многих зоопарках и приматологических центрах мира. Вместе с тем изучение спонтанной и экспериментальной инфекции у лабораторных приматов представляет собой бесценный источник информации о биологии и патогенезе ОРВИ и по-прежнему является незаменимым инструментом для тестирования вакцин и лекарственных препаратов. **Целью** данного обзора литературы являлось обобщение и анализ опубликованных данных о циркуляции ОРВИ (вирусы парагриппа, аденовирусы, респираторно-синцитиальный вирус, вирусы гриппа, риновирусы, коронавирусы, метапневмовирусы, бокавирусы) среди диких и содержащихся в неволе приматов, а также результатов экспериментов по моделированию этих инфекций на обезьянах.

Ключевые слова: ОРВИ; обезьяны; обзор

Для цитирования: Догадов Д.И., Кюрегян К.К., Миносян А.А., Гончаренко А.М., Шмат Е.В., Михайлов М.И. Острые респираторные вирусные инфекции у обезьян. *Вопросы вирусологии*. 2025; 70(1): 7–24. DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-293> EDN: <https://elibrary.ru/rzmdum>

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания НИЦ «Курчатовский институт».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

REVIEW

DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-293>

Acute respiratory viral infections in monkeys

Dmitry I. Dogadov^{1✉}, Karen K. Kyuregyan²⁻⁴, Albert A. Minosyan¹, Aleksandra M. Goncharenko¹, Elena V. Shmat⁵, Mikhail I. Mikhailov^{2,3}

¹Kurchatov Complex of Medical Primatology of NRC «Kurchatov Institute», 354376, Sochi, Russia;

²Central Research Institute of Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 111123, Moscow, Russia;

³I.I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, 105064, Moscow, Russia;

⁴Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Health of Russia, 125993, Moscow, Russia;

⁵Sochi Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 354348, Sochi, Russia

Abstract

Acute respiratory viral infections (ARVI) are one of the most significant infections affecting the breeding of monkeys, especially among imported and captive primates. Respiratory diseases are also an important cause of morbidity and mortality in wild populations, and most of these infections can affect humans. Many anthropoid species,

including apes, are susceptible to ARVI. Outbreaks of spontaneous respiratory infections have been described in many zoos and primatological centers around the world. Moreover, the study of spontaneous and experimental infection in laboratory primates provides an invaluable source of information on the biology and pathogenesis of ARVI and remains an indispensable tool for testing vaccines and drugs. **The aim** of this literature review was to summarize and analyze published data on the circulation of ARVI causative agents (parainfluenza viruses, adenoviruses, respiratory syncytial virus, influenza viruses, rhinoviruses, coronaviruses, metapneumoviruses, bocaviruses) among wild and captive primates, as well as the results of experimental modeling these infections in monkeys.

Keywords: ARVI; monkeys; review

For citation: Dogadov D.I., Kyuregyan K.K., Minosyan A.A., Goncharenko A.M., Shmat E.V., Mikhailov M.I. Acute respiratory viral infections in monkeys. *Problems of Virology (Voprosy Virusologii)*. 2025; 70(1): 7–24. DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-293> EDN: <https://elibrary.ru/rzmdum>

Funding. This research was funded by the Russian Federation fundamental research program of NRC «Kurchatov Institute».

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Введение

Острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ) на сегодняшний день представляют серьезную проблему для человечества. С момента открытия вируса гриппа типа А в 1933 г. было идентифицировано около 20 респираторных вирусов. Большинство острых респираторных инфекций вызывают риновирусы (RV), респираторно-синцитиальный вирус (RSV), вирусы гриппа (FLU) типов А и В (FLU-A, FLU-B), вирусы парагриппа и аденовирусы. В XXI в. были обнаружены новые возникающие респираторные вирусы, в том числе бетакоронавирусы SARS и SARS-CoV-2, метапневмовирус (MPV) и бокавирус (BOV) [1]. Все они являются потенциальным источником новых пандемий, о чем свидетельствует недавняя пандемия COVID-19 [2]. Для России острые респираторные инфекции также являются проблемой. Так, на территории РФ на долю острых респираторных инфекций приходится около 90% всех зарегистрированных инфекционных заболеваний, что причиняет нашей стране многомиллиардные убытки [3].

ОРВИ являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на разведение обезьян, особенно среди импортированных и содержащихся в неволе приматов; эти инфекции также являются значимой причиной заболеваемости и смертности животных в дикой природе [2].

Во многих отношениях на сегодняшний день обезьяны представляют собой наиболее подходящую модель для доклинических исследований респираторных инфекционных заболеваний, поскольку патогенез этих инфекций у приматов схож с таковым у людей и, следовательно, методы лечения, оказавшиеся эффективными у обезьян, могут быть быстро и без особых коррекций введены в клиническую практику для человека [2, 4].

Целью настоящей работы являлось обобщение и анализ опубликованных данных о циркуляции ОРВИ среди обезьян, вспышках, возникших в зоопарках и приматологических центрах мира, а также результатов экспериментов по моделированию этих инфекций на обезьянах.

Вирусы парагриппа

Вирусы парагриппа человека являются основной причиной заболеваний нижних дыхательных путей у детей и пожилых. Они являются второй после RSV причиной госпитализации больных с патологией нижних дыхательных путей [5]. Эти вирусы были впервые обнаружены в конце 1950-х гг., и за последние десятилетия были накоплены значительные знания об их молекулярной структуре и функциях, что привело к большому изменению как в номенклатуре, так и в таксономии этих вирусов [6]. Вирусы парагриппа имеют РНК-геном негативной полярности и относятся к большому семейству Paramyxoviridae порядка *Mononegavirales*, которое включает вирусы парагриппа человека типов 1 (PIV-1), 2 (PIV-2), 3 (PIV-3), 4А (PIV-4А) и 4Б (PIV-4Б), а также вирус Сендай, обезьяний вирус типа 5 (SV5) и вирус парагриппа крупного рогатого скота типа 3, которые являются животными аналогами PIV-1, PIV-2 и PIV-3 соответственно, поскольку генетически близки этим вирусам. Вирусы PIV-1 и PIV-3 классифицируют как относящиеся к роду *Respirovirus*¹, а PIV-2 и PIV-4 – к роду *Orthorubulavirus*².

Природный резервуар вируса Сендай не установлен. В связи с тем что этот вирус эффективно заражает мышей и легко распространяется среди неиммунных грызунов, многие авторы предполагают, что именно грызуны являются его природным резервуаром, однако на сегодняшний день отсутствуют серологические и вирусологические доказательства наличия вируса Сендай в диких популяциях мышей. SV5 первоначально был выделен

¹ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Genus: *Respirovirus*; 2024. Доступно на: <https://ictv.global/report/chapter/paramyxoviridae/paramyxoviridae/respirovirus>: (дата обращения 06.06.2024).

²ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Genus: *Orthorubulavirus*; 2024. Доступно на: <https://ictv.global/report/chapter/paramyxoviridae/paramyxoviridae/orthorubulavirus>: (дата обращения 06.06.2024).

от обезьян, но его резервуаром, по всей видимости, являются собаки [7].

Обезьяны также восприимчивы к парамиксовирусам, вызывающим респираторные заболевания у этих животных. Об этом свидетельствуют антитела, обнаруженные у разных видов приматов (табл. 1 и 2). Как видно из табл. 1 и 2, антитела к PIV-1 обнаруживаются у всех видов высших [8], а также многих видов низших обезьян [8–11], однако в литературе на сегодняшний день отсутствует информация о патологии, вызываемой этим вирусом у обезьян. Тем не менее приматы представляют собой ценную модель для изучения патогенеза PIV-1, а также испытания вакцин против этого вируса. Было показано, что при экспериментальной инфекции обезьяны разных видов (шимпанзе, макаки, ночные обезьяны, саймири, зеленые мартышки) чувствительны как к PIV-1, так и к вирусу Сендай, однако наиболее длительное выделение обоих вирусов как при интраназальном, так и при интра-трахеальном заражении было выявлено среди зеленых мартышек (*Chlorocebus aethiops*) [7, 12]. Кроме того, было показано, что заражение вирусом Сендай защищало африканских зеленых мартышек от последующего заражения как вирусом PIV-1 [9], так и RSV [13].

J.D. Hawthorne и соавт. было проведено интраназальное заражение 4 усатых тамаринов (*Saguinus mystax*) вирусом PIV-1. К каждому из 4 животных подсаживали одно контактное животное через 4 ч, затем еще одно животное через 3 сут и далее двух животных через 7 сут. У всех зараженных, а также контактных животных, подсаженных через 4 ч и 3 сут, наблюдались признаки инфекции верхних дыхательных путей с 5-х по 2-е сутки после заражения, также у этих животных в течение 2 нед отмечалась потеря массы тела. Животные, подсаженные через 7 сут, не проявляли клинических и лабораторных признаков инфекции. У всех инфицированных животных, а также у контактного животного, подсаженного на 3-и сутки после заражения, в мазках из зева был обнаружен вирус PIV-1. Антитела выявлялись на 14–21-е сутки у всех животных, кроме контактных, подсаженных на 7-е сутки [14].

Как видно из табл. 1 и 2, антитела к PIV-2 были выявлены у всех видов высших обезьян [8, 15], а также у диких и содержащихся в неволе обезьян рода мартышки (африканские зеленые и краснохвостые мартышки) [16] и рода макак [11, 17] (макаки яванские, тонкские макаки), однако у павианов антител к PIV-2 не было выявлено [18].

Экспериментальные исследования на разных видах обезьян (шимпанзе, зеленые мартышки, саймири, ночные обезьяны, макаки резусы и лапундеры) показали, что при заражении их вирусом PIV-2 наиболее высокие уровни репликации вируса, а также длительность выделения вируса регистрировались среди шимпанзе и африканских зеленых мартышек, у остальных обезьян эти показатели были гораздо меньше. Клинических проявлений инфекции описано не было, тем не менее антитела к PIV-2 были выявлены у всех экспериментальных животных [19].

В отличие от PIV-1, патология обезьян при заражении другим представителем рода *Respirovirus* – PIV-3, а также его циркуляция в различных питомниках и местах естественного обитания описаны многими авторами [5, 8, 11, 20]. Антитела к PIV-3 были обнаружены у всех представителей высших обезьян (табл. 1) [8], а также у обезьян рода макак, павианов и зеленых мартышек (табл. 2) [8, 9, 11].

А.Е. Churchill и соавт. была описана вспышка пневмонии со смертельным исходом, когда среди 13 отловленных партий патасов (*Erythrocebus patas*) в Нигерии погибло 75% животных. При исследовании легких 33 погибших животных у 13 был обнаружен вирус PIV-3 [21].

M. Sasaki и соавт. с помощью иммуноферментного анализа (ИФА) и полимеразной цепной реакции (ПЦР) обнаружили маркеры PIV-3 у павианов и зеленых мартышек, обитающих в двух разных районах Замбии. Так, среди зеленых мартышек (*Chlorocebus pygerythrus*) антитела к PIV-3 были обнаружены у 6,7% животных, а у желтых павианов (*Papio cynocephalus*) и павианов чакма (*Papio ursinus*) – у 4 и 22% соответственно. Кроме того, РНК PIV-3 была обнаружена в образцах селезенки 3 (6%) из 50 образцов павианов чакма и в 1 (2%) из 50 образцов желтого павиана. Среди 89 исследованных образцов зеленых мартышек РНК PIV-3 обнаружена не была. Анализ полученных нуклеотидных последовательностей, выделенных от павианов, показал их принадлежность к PIV-3 человека [5].

Л.И. Корзая и соавт. было описано два смертельных случая у 2-летних павианов анубисов, содержащихся в вольере, которые погибли от тотальной двусторонней пневмонии с разницей в 2 сут, у обоих животных в паренхиме легких с помощью ПЦР была обнаружена РНК PIV-3, анализ нуклеотидных последовательностей которой также показал ее принадлежность к PIV-3 человека [9].

Экспериментальные исследования продемонстрировали, что многие приматы, включая шимпанзе, макак, саймири, ночных обезьян, патасов, являются восприимчивыми к инфекции, вызванной PIV-3 [5]. Первая работа по воспроизведению экспериментальной PIV-3-инфекции была проведена на патасах, которые были заражены материалом от погибших обезьян описанной ранее вспышки. Заражение не привело к возникновению пневмонии, но инфекция сопровождалась повышением температуры тела и размножением вируса в носоглотке. Сыворотка крови, взятой через 14 сут после заражения, содержала антитела к PIV-3 в высокой концентрации [21].

J.D. Hawthorne и соавт. было проведено экспериментальное интраназальное заражение 5 усатых тамаринов (*Saguinus mystax*) PIV-3. Через 3 сут после заражения в клетку одной из обезьян было помещено контактное животное. У 3 из 5 зараженных животных, а также у контактного животного развились незначительные признаки инфекции верхних дыхательных путей, а также была зафиксирована значительная потеря массы тела в течение первых 2 нед после зараже-

ния. Также у 3 зараженных животных в мазках из зева в течение 7–10 сут обнаруживался вирус PIV-3, а антитела к этому вирусу были выявлены у всех зараженных обезьян, включая контактное животное [22].

Что касается PIV-4, то мы не нашли в литературе данных о естественном инфицировании обезьян этим вирусом. Тем не менее М. Komada и соавт. было описано экспериментальное интраназальное заражение 6 макак японских (*Macaca fuscata*) вирусом PIV-4, из них 4 были заражены PIV-4А, а 2 – PIV-4Б [23]. Несмотря на то что у всех зараженных животных не наблюдалось клинических признаков инфекции, в эпителии носа был обнаружен антиген вируса, также у всех животных через 2 нед имелись антитела классов IgG и IgM. Через 10 нед было проведено повторное заражение животных, после которого наблюдался небольшой подъем концентрации антител класса IgM у обезьян, повторно инфицированных PIV-4Б, тогда как у животных, повторно зараженных PIV-4А, антитела класса IgM не выявлялись. Вирусоспецифические антитела классов IgA и IgE не были обнаружены в сыворотке крови после заражения и повторно заражения PIV-4, однако присутствовали в слюне и носовых экссудатах.

Аденовирусы

Семейство Adenoviridae порядка *Rowavirales* включает в себя группу икосаэдрических безоболочечных вирусов, геном которых представлен двухцепочечной ДНК. Это семейство состоит из 5 родов: *Mastadenovirus*, *Aviadenovirus*, *Atadenovirus*, *Siadenovirus* и *Ichtadenovirus*, охватывающих широкий спектр вирусов млекопитающих, амфибий, рептилий и рыб [24, 25].

Аденовирусы обезьян, как и человека, относятся к роду *Mastadenovirus*³. В настоящее время этот род включает более 50 видов; среди них 7 видов аденовирусов человека (HAdV-A–G) и 9 видов аденовирусов обезьян (SAdV-A–I) [26]. Как и у человека, они часто обуславливают латентную инфекцию, но при снижении иммунитета могут вызывать заболевания в виде конъюнктивита, пневмонии, энтерита, гепатита, а также панкреатита [27, 28].

Было показано, что антитела к аденовирусам выявляются как среди обезьян Старого [8, 9, 29], так и Нового Света [8, 30], живущих в неволе, а также поступивших из мест естественного обитания (табл. 1 и 2). Была описана вспышка со смертельным исходом, когда 4 из 9 павианов анубисов (*Papio anubis*), содержащихся в Техасском институте биомедицинских исследований, умерли от аденовирусной пневмонии [31]. Авторам не удалось типировать культуральные изоляты от погибших животных, однако была возможность секвенировать *de novo* изоляты от павианов, имеющих симптомы ОРВИ, а также от животного с бес-

симптомной инфекцией во время вспышки. Анализ нуклеотидных последовательностей показал принадлежность выделенных изолятов к SAdV-B и SAdV-C. Следует отметить, что антитела к SAdV-C были обнаружены как у павианов, так и у сотрудников центра, что указывает на потенциальную возможность межвидовой передачи аденовируса между людьми и обезьянами. Еще одним доказательством межвидовой передачи аденовируса служит исследование Z. Xiang и соавт., которое показало, что среди людей, проживающих в США и Таиланде, антитела к аденовирусам шимпанзе встречались редко, тогда как их распространенность оказалась выше в сыворотках крови людей из стран Африки к югу от Сахары, где широко распространены охота на обезьян, а употребление в пищу мяса диких животных является обычным явлением [29].

Аденовирус также может вызывать пневмонии и у обезьян Нового Света, подтверждением чего служит вспышка аденовирусной пневмонии среди медных прыгунов (*Callicebus cupreus*), содержащихся в Калифорнийском национальном университете, из которых 83% животных погибли. Полногеномное секвенирование подтвердило, что этиологическим агентом вспышки являлся аденовирус, геном которого отличался от предыдущих выделенных аденовирусов и был назван TAdv. У рабочего, контактирующего с заболевшими животными, наблюдались признаки респираторной инфекции, а также были выявлены антитела к TAdv, кроме того, антитела к TAdv были обнаружены и у одного из членов семьи рабочего. Эти данные свидетельствуют о возможной зоонозной передаче этого вируса, т.к. антитела к этому вирусу были также обнаружены у 2 из 81 отобранного методом случайной выборки донора крови, живущего в данном регионе [32].

Для дальнейшего изучения патогенности выделенный от медных прыгунов аденовирус был экспериментально воспроизведен на 3 игрунках обыкновенных (*Callithrix jacchus*), без предварительного скрининга их на антитела. На 5–10-е сутки после заражения у животных начали проявляться клинические признаки инфекции, которая характеризовалась субфебрильной температурой, снижением активности и обмена веществ, а также анорексией. У животных в течение 15 сут наблюдалось выделение вируса, а также были выявлены вируснейтрализующие антитела в сыворотке крови. У 2 животных, подвергнутых эвтаназии через 15 сут после выздоровления, выраженные гистологические поражения отсутствовали, возможно из-за значительного интервала между появлением клинических признаков и вскрытием. Оставшееся экспериментальное животное было повторно заражено аденовирусом для оценки вероятности более тяжелой повторной инфекции и вместе с контрольным животным наблюдалось в течение 21 сут до эвтаназии, однако клинических признаков инфекции у повторно зараженного животного не наблюдалось.

Таким образом, патогенез экспериментальной аденовирусной инфекции у игрунок обыкновенных напо-

³ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Genus: Mastadenovirus; 2024. Доступно на: <https://ictv.global/report/chapter/adenoviridae/adenoviridae/mastadenovirus>: (дата обращения 06.06.2024).

минал легкую самоизлечивающуюся респираторную инфекцию, обычно наблюдаемую у иммунокомпетентных людей, а не быстро прогрессирующую смертельную пневмонию, наблюдавшуюся у 19 из 23 медных прыгунов во время предыдущей вспышки 2009 г. Эти результаты также показывают возможность межвидовой передачи аденовируса и обеспечивают основу для разработки модели аденовирусной инфекции обезьян, полезной для оценки зоонозного потенциала аденовирусов [33].

Бокавирус

BOV – это вирус, содержащий однонитевую ДНК и принадлежащий к роду *Bocaparvovirus* семейства *Parvoviridae* порядка *Piccovirales*⁴. Этот вирус был выделен около 20 лет назад и обнаруживается во всем мире у детей в возрасте от 6 мес до 2 лет при острых респираторных заболеваниях, а также у пациентов с гастроэнтероколитами. На сегодняшний день выделяются 4 генотипа BOV (BOV-1–4). BoV-1 обнаруживается в дыхательных путях, тогда как BOV2–4 – в кишечнике [34].

BOV широко распространены среди обезьян. Так, в работе К. Sharp и соавт. были исследованы сыворотки крови от диких шимпанзе, горилл, а также ряда низших обезьян Старого Света из Камеруна. Антитела к BOV-1/2 были обнаружены у 72,6% шимпанзе, 36,4% горилл, а также в единичных образцах от мартышки Мона (*Cercopithecus mona*), дрилла (*Mandrillus leucophaeus*) и мартышки Прейса (*Cercopithecus preussi*). Кроме того, в фекальных образцах 2 шимпанзе и 2 горилл была обнаружена ДНК BOV, генетический анализ которой показал сходство с BOV-1 и -3 в разных участках геномной последовательности [35]. Также С. Kumakamba и соавт. в образцах крови и печени от 4 краснохвостых обезьян (*Cercopithecus ascanius*), мартышки Бразза (*Cercopithecus neglectus*) и мартышки Вольфа (*Cercopithecus wolffi*) из Конго была обнаружена ДНК BOV, генетический анализ которой показал сходство с BOV-2 и -3. Эти исследования говорят о возможной межвидовой передаче BOV между людьми и приматами [36].

Приматы, по-видимому, являются хорошей экспериментальной моделью для изучения BOV, учитывая их широкую распространенность среди этих животных. Однако в доступной литературе данные о подобных исследованиях на сегодняшний день отсутствуют.

Респираторно-синцитиальный вирус

RSV человека является наиболее распространенной причиной инфекций нижних дыхательных путей у детей во всем мире. Впервые этот вирус был обнаружен в 1955 г. при изучении ринита у шимпанзе, а в последствии были описаны антигенно сходные

изоляты, выделенные от человека [37]. RSV относится к роду *Orthopneumovirus* семейства *Pneumoviridae* порядка *Mononegavirales*⁵, геном вируса представлен одноцепочечной РНК негативной полярности.

На сегодняшний день случаи, когда RSV вызывал бы значительные поражения дыхательных путей со смертельным исходом среди обезьян, описаны только у шимпанзе (*Pan troglodytes*), когда в Эдинбурге при вспышке ОРВИ в колонии из 11 шимпанзе, у которых был отмечен кашель, слизисто-гнойные выделения из носа и одышка, погибла 14-месячная самка. При вскрытии погибшего животного были выявлены обширные бронхопневматические изменения, а также с помощью реакции иммунофлуоресценции был обнаружен антиген RSV [38]. Тем не менее антитела к этому вирусу с разной частотой обнаруживали среди всех видов высших обезьян (табл. 1) [8], а также зеленых мартышек (табл. 2) [16], однако смертельных исходов инфекции зафиксировано не было.

О восприимчивости обезьян к RSV свидетельствуют результаты экспериментального заражения. Такие исследования были проведены как на человекообразных обезьянах (шимпанзе) [39], у которых отмечались наиболее выраженные клинические признаки, схожие с наблюдаемыми у человека, так и на низших обезьянах Старого (обезьяны рода макак [15, 40–43], зеленые мартышки [44], павианы анубисы [45]) и Нового Света (капуцины [46], ночные обезьяны [47], беличьи саймири [39]), у которых выявлялись вирус, антитела, а также наблюдались патологические изменения в легких. В отличие от шимпанзе, успешное экспериментальное заражение низших обезьян RSV происходило только при введении высоких доз вируса. Так, у макак (*Macaca spp.*) при заражении наблюдались только лабораторные маркеры инфекции без клинических проявлений, тогда как у африканских зеленых мартышек (*Chlorocebus aethiops*), ночных обезьян (*Aotus trivirgatus*) и капуцинов (*Cebus apella* и *Cebus albifrons*) отмечались клинические признаки инфекции, такие как выделения из носа, конъюнктивит, чихание, свистящее дыхание, а также признаки интерстициальной пневмонии. Что касается павианов (*Papio anubis*), то у детенышей, зараженных высокой дозой вируса, экспериментальная инфекция сопровождалась клиническими признаками инфекции и гистологическими изменениями в легких [45].

Животные модели RSV-инфекции, в частности обезьяны, играют важную роль в доклинических испытаниях кандидатных вакцин против RSV [48]. Для оценки остаточной вирулентности и протективных свойств кандидатных вакцин на основе живого аттенуированного вируса были использованы шимпанзе [49, 50], африканские зеленые мартышки [51–56], ночные обезьяны [46] и обезьяны рода макак [43, 57]. Было установлено, что живые аттенуиро-

⁴ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Genus: Mastadenovirus; 2024. Доступно на: <https://ictv.global/report/chapter/adenoviridae/adenoviridae/mastadenovirus>: (дата обращения 06.06.2024).

⁵ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Genus: Orthopneumovirus; 2024. Доступно на: <https://ictv.global/report/chapter/pneumoviridae/pneumoviridae/orthopneumovirus>: (дата обращения 06.06.2024).

ванные вакцины защищали шимпанзе и ночных обезьян от последующего заражения RSV дикого типа, в то время как векторные вакцины вызывали только низкие уровни антител и практически не защищали от последующего заражения [58].

Метапневмовирус

MPV человека – это вирус, филогенетически близкий к RSV, вызывающий респираторную инфекцию у детей. Кроме того, он может поражать и взрослых, особенно лиц с хроническими заболеваниями, что приводит к различным клиническим проявлениям вплоть до тяжелой пневмонии [59]. MPV имеет РНК-геном негативной полярности и принадлежит к роду *Metapneumovirus* семейства *Pneumoviridae* порядка *Mononegavirales*⁶. Несмотря на то что впервые он был обнаружен в 2001 г., ретроспективные исследования показали его циркуляцию среди людей на протяжении уже более 50 лет [60].

Среди низших обезьян циркуляция MPV описана не была, однако Н. Вуйендижк и соавт. сообщили о циркуляции этого вируса среди шимпанзе, горилл и орангутанов в зоопарках и приматологических центрах мира с разной частотой [61]. Также были зарегистрированы вспышки MPV-инфекции в популяциях диких шимпанзе в 2004 г. в Кот-д'Ивуаре [62], в 2006 г. в Танзании [63], а также среди диких горилл в Руанде в 2009 г. [64]. Все эти вспышки сопровождались смертельными случаями и, скорее всего, были связаны с экотуризмом. Также была описана вспышка MPV-инфекции среди шимпанзе в приматологическом центре Чикаго, когда у 7 животных, по-видимому, заразившихся от работника центра, были описаны признаки респираторного заболевания и одно животное умерло. Гистологический анализ легких погибшего животного показал признаки метапневмовирусной инфекции. Срезы легочной ткани были положительными по результатам теста на РНК MPV и отрицательными в тестах на генетический материал аденовирусов, COV, FLU-A и -B, вирусов PIV-1–4, BOV, RV и RSV. Анализ выделенной из образца нуклеотидной последовательности продемонстрировал ее 99% сходство с MPV [65].

Обезьяны также послужили экспериментальной моделью для метапневмовирусной инфекции. Среди высших обезьян экспериментальное воспроизведение было проведено на 31 шимпанзе, из которых у 61% животных при первичном скрининге были обнаружены антитела к MPV. Серопозитивные животные не были восприимчивы к экспериментальной инфекции, тогда как у серонегативных обезьян наблюдались признаки респираторного заболевания [66].

В связи с тем, что шимпанзе по этическим причинам не могут быть использованы в экспериментах, аналогичные исследования были проведены

на низших обезьянах. Было показано, что макаки резусы (*Macaca mulatta*), макаки яванские (*Macaca fascicularis*) и африканские зеленые мартышки (*Chlorocebus aethiops*) также восприимчивы к MPV [67, 68]. Причем в то время как заражение макак резусов и макак яванских сопровождалось умеренной репликацией вируса в дыхательных путях, у африканских зеленых мартышек наблюдались более высокие уровни репликации и более высокие титры антител, в связи с чем эти животные послужили моделью *in vivo* для испытаний потенциальных вакцин и лекарственных препаратов против MPV [68, 69].

Вирусы гриппа

FLU представляют собой группу оболочечных вирусов с сегментированным РНК-геномом негативной полярности, относятся к семейству *Orthomyxoviridae* порядка *Articulavirales*, в которое входит 7 родов, из которых 3 монотипных рода (*Alphainfluenzavirus*, *Betainfluenzavirus*, *Gammainfluenzavirus*) содержат вирусы, вызывающие инфекцию человека, – FLU типов А, В и С (FLU-A, FLU-B, FLU-C)⁷.

Все виды высших обезьян, а также многие виды низших обезьян Старого и Нового Света чувствительны к вирусу FLU-A [8, 11, 70], кроме того, некоторые виды обезьян также чувствительны к FLU-B [8, 16], о чем свидетельствуют данные о наличии антител к этим вирусам (табл. 1, 2).

Было показано, что у обитающих в природе обезьян (обезьяны рода макак, зеленые мартышки, патасы) антитела к вирусу FLU-A (вирусы H1N1, H3N2, H2N2) выявляются в 6–80% случаев, что свидетельствует о циркуляции вируса в природе среди этих животных [71]. Обезьяны, которые контактируют с людьми, могут естественным образом заражаться сезонными эндемичными вирусами гриппа человека и возникающими вирусами птичьего гриппа с пандемическим риском. Так, среди обезьян рода макак, обитающих в национальных парках, а также свободноживущих обезьян в священных храмах, непосредственно контактирующих с людьми в Индонезии, Бангладеш, Сингапуре и Камбодже, было выявлено от 13 до 29% серопозитивных особей. Среди положительных образцов в основном были обнаружены антитела к штаммам вируса гриппа H1N1 и H3N2, а у двух обезьян из Бангладеш были обнаружены антитела к птичьему FLU H9N2, который также обнаруживается среди людей. Кроме того, среди 48 назальных мазков, взятых у макак яванских (*Macaca fascicularis*) из Камбоджи одно животное (2,1%) оказалось положительным на РНК вируса FLU-A. Попытки дальнейшего типирования вируса оказались безуспешными [72].

В связи с тем, что во всем мире инфицирование вирусами FLU-A связано с серьезными заболеваниями и смертями среди млекопитающих и птиц,

⁶ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Genus: *Metapneumovirus*; 2025. Доступно на: https://ictv.global/taxonomy/taxondetails?taxnode_id=202301646 & taxon_name=*Metapneumovirus*: (дата обращения 14.02.2025).

⁷ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Family: *Orthomyxoviridae*; 2024. Доступно на: https://ictv.global/report_9th/RNAneg/Orthomyxoviridae: (дата обращения 06.06.2024).

Таблица 1. Частота выявления антител к респираторным вирусам среди высших обезьян
Table 1. The frequency of detection of antibodies to respiratory viruses among apes

№	Вид обезьяны Species of monkeys	Частота выявления, % The frequency of detection, %											Источник Reference
		PIV-1	PIV-2	PIV-3	RSV	MPV	FLU-A	FLU-B	RV	SARS-CoV-2	BOV	AdV	
1	Шимпанзе Chimpanzee (<i>Pan troglodytes</i> , <i>P. paniscus</i>)	0–51	0–16	0–75	0–18	42,6–61,0	0–13	4–12	0–9	ND	72,6	44–92	S.S. Kalter, 1997 [8] M. Skiadopoulos, 2004 [66] Z. Xiang, 2006 [29] K. Sharp, 2010 [35] H. Buitendijk, 2014 [61]
2	Гориллы Gorilla (<i>Gorilla gorilla</i>)	65	47	86	33	46,8	1	1	ND	1,6	36,4	ND	S.S. Kalter, 1997 [8] K. Sharp, 2010 [35] H. Buitendijk, 2014 [61] D. Cano-Terriza, 2024 [127]
3	Орангутаны Orangutan (<i>Pongo pygmaeus</i>)	10	6	21	25	10,1	5	0	ND	ND	ND	ND	S.S. Kalter, 1997 [8] H. Buitendijk, 2014 [61]
4	Гиббоны Gibbon (<i>Hylobates lar</i>)	24	5	38	29	ND	10	10	ND	ND	ND	ND	S.S. Kalter, 1997 [8]

Примечание. ND – нет данных. PIV-1 – вирус парагриппа 1-го типа; PIV-2 – вирус парагриппа 2-го типа; PIV-3 – вирус парагриппа 3-го типа; RSV – респираторно-синцитиальный вирус; FLU-A – вирус гриппа А; FLU-B – вирус гриппа В; RV – риновирус; BOV – бокавирус; AdV – аденовирус.

Note. ND – no data. PIV-1 – parainfluenza virus type 1; PIV-2 – parainfluenza virus type 2; PIV-3 – parainfluenza virus type 3; RSV – respiratory syncytial virus; FLU-A – influenza A virus; FLU-B – influenza B virus; RV – rhinovirus; BOV – bocavirus; AdV – adenovirus.

общественное здравоохранение и научные исследования уделяют большое внимание пониманию патогенности разных штаммов вируса гриппа и характеристике новых вакцин против FLU. Поэтому обезьяны разных видов стали популярными экспериментальными моделями для изучения патогенеза сезонных и новых вирусов FLU, а также особенностей иммунного ответа на них. У обезьян быстро развивается сероконверсия после экспериментального заражения вирусом сезонного гриппа, поэтому они используются для тестирования потенциальных вакцин на основе штаммов человеческого и птичьего происхождения. Как и у людей, у обезьян, инфицированных вирусом FLU, развиваются лихорадка, недомогание, выделения из носа и кашель. Репликацию вируса можно обнаружить в носоглотке и дыхательных путях.

Разные виды макак: яванские макаки (*Macaca fascicularis*), макаки резусы (*Macaca mulatta*) и свинохвостые макаки (*Macaca nemestrina*), были инфицированы вирусами FLU-A человека [73–83]. В основном эти экспериментальные заражения сопровождались репликацией вируса в верхних дыхательных путях, при этом инфекция протекала бессимптомно, вызывая легкие клинические симптомы. Острый респираторный дистресс и летальный исход наблюдались у обезьян только после заражения птичьим вирусом H5N1 [74, 83] и вирусом H1N1 1918 г. [84].

При экспериментальном заражении беличьих сай-

мири (*Saimiri sciureus*) десятью различными штаммами птичьего FLU-A (H3N8, H4N8, H1N1, H8N4, H3N2, H10N7, H4N6, H7N8, H2N2, H3N6) для сравнения их репликации и вирулентности с вирусом человеческого FLU-A A/Udorn/307/72 (H3N2) наблюдали широкий спектр уровней репликации и вирулентности. Уровни репликации вируса и клинические проявления экспериментальной инфекции четко коррелировали, что указывает на то, что вызванное вирусом заболевание зависело от его способности к репликации в организме обезьян. Два вируса, A/Mallard/NY/6874/78 (H3N2) и A/Pintail/Alb/121/79 (H7N8), по уровню и продолжительности репликации, а также вирулентности напоминали инфекцию, вызванную штаммом вируса человека. Рентгенологические признаки пневмонии наблюдались у 1 из 4 животных, инфицированных вирусом A/Mallard/NY/6874/78 (H3N2), у 2 из 4 животных, инфицированных вирусом A/Pintail/Alb/121/79 (H7N8), и у 2 из 11 животных, инфицированных вирусом человеческого FLU-A A/Udorn/72 (H3N2). Вызванная другими вирусами птиц инфекция характеризовалась сниженной в 100–10 000 раз репликацией как в верхних, так и в нижних дыхательных путях, а также менее выраженными симптомами по сравнению с FLU человека [85].

Результаты экспериментального заражения макак резусов (*Macaca mulatta*), макак яванских (*Macaca fascicularis*) и обыкновенных игрунок (*Callithrix jacchus*) вирусом гриппа H1N1 показали, что все три вида жи-

Таблица 2. Частота выявления антител к респираторным вирусам среди низших обезьян

Table 2. The frequency of detection of antibodies to respiratory viruses among monkeys

	Вид обезьяны Species of monkeys	Частота выявления, % / The frequency of detection, %									Источник Reference
		PIV-1	PIV-2	PIV-3	RSV	MPV	FLU-A	BOV	COV обезьян COV of monkeys	AdV	
1	Макаки Macques (<i>Macaca mulatta</i> , <i>M. fascicularis</i> , <i>M. nemestrina</i> , <i>M. nigra</i> , <i>M. nigrescens</i> , <i>M. hecki</i> , <i>M. Sylvanus</i> , <i>M. tonkeana</i>)	0–9,1 0*	0–36	0–36,4 8,9*	0 0*	0 0* 13–80**	0 0*	ND	51,3	0–48 8,6*	Th C. O'Brien, 1973 [71] Е.И. Гончарук, 1994 [92] S.S. Kalter, 1997 [8] L. Jones-Engel, 2001 [11] M.A. Schillaci, 2006 [17] E.A. Karlsson, 2012 [72] L. Korzaya, 2022 [9]
2	Павианы Papio (<i>Papio hamadrias</i> , <i>P. anubis</i> , <i>P. cynocephalus</i> , <i>P. ursinus</i>)	3,8	0	4–22*	ND	ND	ND	0	51,5	0–83	Е.И. Гончарук, 1994 [92] S.S. Kalter, 1997 [8] M. Sasaki, 2013 [5] K. Sharp, 2010 [35] L. Korzaya, 2022 [9]
3	Зеленые мартышки Green monkeys (<i>Chlorocebus aethiops</i> , <i>C. pygerythrus</i>)	2,7 6,8–23**	29,6 23,3**	5,4 13,3–33,3**	0–11,1 0–19,9**	3,7 6,6–15,3**	3,7 3,3* 42**	0	40	0–7,4 3,3–14,8**	Th.C. O'Brien, 1973 [71] L.N. Mutanda, 1974 [16] Е.И. Гончарук, 1994 [92] K. Sharp, 2010 [35] L. Korzaya, 2022 [9] D. Dogadov, 2023 [10]
4	Мартышки Guenons (<i>Cercopithecus mona</i> , <i>C. preussi</i>)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	100	ND	ND	K. Sharp, 2010 [35]
	Дрил Drill (<i>Mandrillus leucophaeus</i>)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	100	ND	ND	K. Sharp, 2010 [35]
5	Игрунка Marmosets (<i>Callithrix jacchus</i>)	ND	ND	ND	ND	33	ND	ND	ND	31,3–100	S.S. Kalter, 1997 [8] J. Ersching, 2010 [30]
6	Капуцины Carpuchins (<i>Cebus libidinosus</i>)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,5	J. Ersching, 2010 [30]
7	Ночные обезьяны Three-striped night monkey (<i>Aotus trivirgatus</i>)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	78	S.S. Kalter, 1997 [8]
8	Колобусы Colobus monkey (<i>Colobus</i>)	ND	ND	ND	0	ND	ND	ND	ND	100	S.S. Kalter, 1997 [8]

Примечание. ND – нет данных; * – импортные животные; ** – животные, поступившие из мест естественного обитания. PIV-1 – вирус парагриппа 1-го типа; PIV-2 – вирус парагриппа 2-го типа; PIV-3 – вирус парагриппа 3-го типа; RSV – респираторно-синцитиальный вирус; FLU-A – вирус гриппа А; FLU-B – вирус гриппа В; RV – риновирус; BOV – бокавирус; COV – коронавирус; AdV – аденовирус.

Note. ND – no data; * – imported; ** – animals from the wild. PIV-1 – parainfluenza virus type 1; PIV-2 – parainfluenza virus type 2; PIV-3 – parainfluenza virus type 3; RSV – respiratory syncytial virus; FLU-A – influenza A virus; FLU-B – influenza B virus; RV – rhinovirus; BOV – bocavirus; COV – coronavirus; AdV – adenovirus.

вотных восприимчивы к FLU. Однако по сравнению с макаками резусами и игрунками, у яванских макак наблюдался значительно более высокий уровень репликации вируса в верхних дыхательных путях и легких как по пиковым значениям, так и по продолжительности продукции вируса, а также более выраженное повышение температуры тела. Напротив, клинические симптомы, включая респираторный дистресс, были более выражены у макак резус, чем у макак яванских и игрунок. Результаты исследования показали, что макаки яванские являются наиболее подходящими в качестве модели для исследования пандемического вируса гриппа H1N1 из-за более однородного и высокого уровня репликации вируса, а также повышения температуры, что может быть связано с более высоким уровнем экспрессии основного рецептора FLU человека в клетках эпителия трахей и бронхов [86].

Результаты этих исследований показывают, что обезьяны Старого и Нового Света восприимчивы к инфекции FLU. Учитывая тесную связь между людьми и приматами, необходим обязательный надзор за популяциями обезьян в тех регионах мира, где циркулируют вирусы птичьего и человеческого FLU. Кроме того, выявление штаммов FLU, патогенных для человека и обезьян, имеет большое значение для понимания их взаимодействия и оценки риска для общественного здравоохранения.

Риновирус

RV относятся к роду *Enterovirus* семейства *Picornaviridae* порядка *Picornavirales* и, как все пикорнавирусы, имеют РНК-геном положительной полярности⁸. На сегодняшний день все генотипы RV сгруппированы в три вида: А, В и С (RV-A, B, C) [87]. RV-C вызывают около 50% всех инфекций верхних дыхательных путей человека и связаны с гриппоподобными симптомами и острыми обострениями астмы у детей. Кроме того, этот вирус может вызывать заболевание у обезьян. Так, вспышка RV-C была зафиксирована в Уганде в 2013 г. среди диких шимпанзе, во время которой 56 животных заболели, а 5 умерли [88].

Серия экспериментальных заражений обезьян RV была проведена в 1960-х гг. Было показано, что низшие обезьяны Старого Света, такие как зеленые мартышки и патасы, не восприимчивы к заражению RV-A и -B. После заражения у этих животных не наблюдалось сероконверсии, а также не выявлялся вирус. Напротив, заражение высших обезьян (шимпанзе и гиббонов) RV-A и -B оказалось успешным, хотя, в отличие от RV-C, инфекция протекала бессимптомно и подтверждалась только лабораторными маркерами инфекции (выявление антител, выделение вируса из носоглотки) [89, 90].

В отличие от RV человека, экспериментальное заражение зеленых мартышек RV лошадей (род *Apthovi-*

rus, семейство *Picornaviridae*, порядок *Picornavirales*) сопровождалось выявлением у обезьян вируса в смывах из носоглотки, а также антител в сыворотке крови [90]. Это исследование говорит о возможности использования инфекции RV лошадей у низших приматов в качестве суррогатной модели *in vivo* риновирусной инфекции человека.

Коронавирус

COV – это оболочечные вирусы с геномом, представленным одноцепочечной РНК положительной полярности, относящиеся к подсемейству *Orthocoronavirinae* семейства *Coronaviridae* порядка *Nidovirales*⁹. Существует 4 рода COV: *Alphacoronavirus* и *Betacoronavirus*, поражающие млекопитающих, а также *Gammacoronavirus* и *Deltacoronavirus*, инфицирующие в основном птиц. Инфекции, вызванные COV человека и животных, в основном приводят к респираторным и кишечным заболеваниям [91].

Первые описания коронавирусной инфекции у приматов были сделаны в начале 90-х гг. в Сухумском приматологическом центре, где была показана высокая инфицированность обезьян этим вирусом. Так, антитела к COV обнаруживали у разных видов обезьян (павианы гамадрилы, макаки, зеленые мартышки, гелады, лангуры, мандриллы, красные обезьяны) примерно с одинаковой частотой – около 50%. Чаще всего COV выявляли методом электронной микроскопии в кишечнике (47%), поджелудочной железе (25,5%) и легких (20,8%). Было показано, что при наличии COV в легких у обезьян довольно часто наблюдается пневмония с лимфоцитарной инфильтрацией межальвеолярных перегородок, наличием многоядерных клеток и макрофагов. От больных макак резусов и павианов гамадрилов были выделены собственные штаммы COV (КВМР 281, КВМР 966, КВМР 20254, КВП 750, КВП 815), антигенно родственные штаммам COV человека (штаммы OC-43 – *Betacoronavirus* и 229E – *Alphacoronavirus*) [92].

Используя штаммы от спонтанной вспышки, удалось воспроизвести экспериментальную COV-инфекцию у макак резусов. У зараженных животных наблюдалась инфекция с длительным выделением вируса с фекалиями, а также сероконверсией. Две обезьяны из эксперимента были эвтаназированы, у одной наблюдались поражения желудочно-кишечного тракта (гастроэнтерит, дуоденит), у другой – пневмония [93].

Серия экспериментальных работ на обезьянах была посвящена вирусу SARS-CoV, вспышка которого наблюдалась в Китае в 2002 г. и более известна под названием «атипичная пневмония». Наиболее тяжело с пневмонией и поражением различных органов инфекция протекала у игрунок обыкновенных (*Callithrix jacchus*), тогда как у макак резусов, макак яванских и зеленых мартышек развивалось легкое респиратор-

⁸ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Genus: Enterovirus; 2024. Доступно на: <https://ictv.global/report/chapter/picornaviridae/picornaviridae/enterovirus>: (дата обращения 06.06.2024).

⁹ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. Family: Coronaviridae; 2024. Доступно на: https://ictv.global/report_9th/RNApos/Nidovirales/Coronaviridae: (дата обращения 06.06.2024).

ное заболевание как после интратрахеального, так и после внутривенного введения [94–97]. Однако следует отметить, что в некоторых случаях у макак яванских после заражения происходило развитие пневмонии и респираторного дистресса [98, 99].

На обезьянах серия экспериментальных работ также была проведена по воспроизведению инфекции COVID-19, вызванной вирусом SARS-CoV-2, которой в 2020 г. Всемирная организация здравоохранения присвоила статус пандемии. Экспериментальные исследования показали, что многие виды обезьян чувствительны к SARS-CoV-2. Основные исследования были проведены на макаках резусах [100–116], макаках яванских [106, 107, 110, 116–118] и зеленых мартышках [101, 116, 119–122], кроме того, единичные исследования были проведены на свиных хвостых макаках, павианах гамадрилах, павианах анубисах и обыкновенных игрунках [107, 112, 123–125].

Эти исследования сыграли важную роль в изучении патогенеза SARS-CoV-2, исследовании вакцин и терапевтических препаратов. У обезьян рода макак экспериментальная инфекция сопровождалась признаками респираторного заболевания легкой и средней тяжести с полным выздоровлением. Сравнительное экспериментальное заражение макак резусов и макак яванских показало, что наиболее восприимчивым видом являются макаки резусы. У павианов при экспериментальном заражении SARS-CoV-2 наблюдалось заболевание, аналогичное таковому у макак, однако в исследованиях на игрунках было показано, что эти животные в некоторой степени устойчивы к инфекции [107, 112].

У обезьян, как и у людей, возраст влияет на течение болезни, вызванной SARS-CoV-2. Так, в исследовании T.Z. Song и соавт. у пожилых макак резусов наблюдались более высокие титры антител и более выраженный интерстициальный рисунок на рентгенограммах, чем у молодых животных [113].

Позже были описаны спонтанные случаи инфекции SARS-CoV-2 у обезьян. Так, вирус был выявлен у равнинных горилл (*Gorilla gorilla gorilla*) в неволе после контакта с инфицированным сотрудником зоопарка Сан-Диего, не имевшим симптомов заболевания. Это стало первым подтвержденным случаем заражения SARS-CoV-2 у человекообразных обезьян [126]. Антитела к SARS-CoV-2 были также обнаружены методом ИФА у 2 из 127 (1,6%) западных равнинных горилл, содержащихся в приматологическом центре Испании, титры в положительных образцах составили 1 : 131,4 и 1 : 191,9 [127]. Следует отметить, что помимо бессимптомных случаев, в зоопарках Праги и Роттердама были зафиксированы случаи заражения SARS-CoV-2 у горилл с клиническими проявлениями – у животных отмечали усталость, сухой кашель и потерю аппетита [128, 129]. Кроме антропоидов, случаи заражения SARS-CoV-2 также были зарегистрированы и у низших обезьян – у белчьего саймири (*Saimiri sciureus*) была зафиксирована инфекция со смертельным исходом, однако роль вируса в смерти животного была не ясна [130]. Кроме того, среди

низших обезьян РНК SARS-CoV-2 была также обнаружена у 16 паукообразных обезьян (*Ateles fusciceps*) в центре спасения диких животных в Эквадоре. Вирус также был обнаружен у работников, ухаживающих за этими животными, что дает основание предполагать заражение животных от сотрудников центра. Следует отметить, что вирус как у животных, так и у людей был обнаружен не только в респираторном тракте, но и в фекальных образцах [131].

Заключение

Таким образом, за последние годы были получены данные о восприимчивости разных видов обезьян к ОРВИ и роли этих вирусов в эпизоотологии животных.

Было показано межвидовой переход ОРВИ от человека к разным видам обезьян: PIV-3 (павианы анубисы), аденовируса (шимпанзе, павианы анубисы, медные прыгуны), FLU-A (обезьяны рода макак, зеленые мартышки, патасы), RV (шимпанзе), RSV (шимпанзе), SARS-CoV-2 (гориллы, саймири, паукообразные обезьяны), MPV (шимпанзе, горилла) и BOV (шимпанзе, горилла, мартышки). Это говорит о том, что данные виды приматов являются потенциальными зоонозными резервуарами для этих инфекций.

Некоторые ОРВИ у обезьян протекали с клинически выраженными симптомами: так, у шимпанзе при инфекциях, вызванных RSV, MPV и RV, были зафиксированы смертельные случаи, а у горилл инфекция SARS-CoV-2 протекала с признаками вялости, сухого кашля и потерей аппетита. У некоторых видов низших обезьян PIV-3 и аденовирусы также вызывают инфекции, сопровождающиеся выраженными клиническими симптомами и высокой смертностью, особенно у детенышей.

Обезьяны являются важной лабораторной моделью для изучения ОРВИ. Экспериментальные исследования показали, что среди высших обезьян наиболее подходящей экспериментальной моделью ОРВИ является шимпанзе, среди низших обезьян – обезьяны рода макак, африканские зеленые мартышки и обыкновенные игрунки.

Лабораторные приматы по-прежнему остаются единственной моделью для испытания классических вакцин, вакцин нового поколения, а также оценки новых способов введения вакцин против ОРВИ – интраназального и с помощью пластыря с полимерными иглами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peltola V., Ruuskanen O. Editorial commentary: Respiratory viral infections in developing countries: common, severe, and unrecognized. *Clin. Infect. Dis.* 2008; 46(1): 58–60. <https://doi.org/10.1086/524020>
2. Lemaitre J., Naninck T., Delache B., Creppy J., Huber P., Holzapfel M., et al. Non-human primate models of human respiratory infections. *Mol. Immunol.* 2021; 135: 147–64. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2021.04.010>
3. Понежева Ж.Б., Николаева С.В., Турапова А.Н., Горелов А.В. Актуальные вопросы респираторных инфекций. *Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы.* 2023; 13(2): 51–5. <https://doi.org/10.18565/epidem.2023.13.2.51-5> <https://elibrary.ru/iermkv>
4. Lowenstine L.J., Osborn K.J. Respiratory system diseases of nonhuman primates. In: *Nonhuman Primates in Biomedical*

- Research*. Elsevier; 2012: 413–81. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381366-4.00009-2>
5. Sasaki M., Ishii A., Orba Y., Thomas Y., Hang'ombe B.M., Moonga L., et al. Human parainfluenza virus type 3 in wild nonhuman primates, Zambia. *Emerg. Infect. Dis.* 2013; 19(9): 1500–3. <https://doi.org/10.3201/eid1909.121404>
 6. Henrickson K.J. Parainfluenza viruses. *Clin. Microbiol. Rev.* 2003; 16(2): 242–64. <https://doi.org/10.1128/CMR.16.2.242-264.2003>
 7. Skiadopoulos M.H., Surman S.R., Riggs J.M., Elkins W.R., Claire M.S., Nishio M., et al. Sendai virus, a murine parainfluenza virus type 1, replicates to a level similar to human PIV1 in the upper and lower respiratory tract of African green monkeys and chimpanzees. *Virology*. 2002; 297(1): 153–60. <https://doi.org/10.1006/viro.2002.1416>
 8. Kalter S.S., Heberling R.L., Cooke A.W., Barry J.D., Tian P.Y., Northam W.J. Viral infections of nonhuman primates. *Lab. Anim. Sci.* 1997; 47(5): 461–7.
 9. Корзая Л.И., Догадов Д.И., Гончаренко А.М., Карлсен А.А., Кюрегян К.К., Михайлов М.И. Распространение маркёров респираторных вирусов человека среди обезьян Адлерского приматологического центра. *Вопросы вирусологии*. 2022; 66(6): 425–33. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-77> <https://elibrary.ru/cbntjrh>
 10. Догадов Д.И., Кюрегян К.К., Гончаренко А.М., Миносян А.А., Кочконян А.А., Карлсен А.А. и др. Маркеры антропонозных вирусных инфекций у зеленых мартышек, поступивших из мест естественного обитания (Танзания). *Вопросы вирусологии*. 2023; 68(5): 394–403. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-188> <https://elibrary.ru/awajxs>
 11. Jones-Engel L., Engel G.A., Schillaci M.A., Babo R., Froehlich J. Detection of antibodies to selected human pathogens among wild and pet macaques (*Macaca tonkeana*) in Sulawesi, Indonesia. *Am. J. Primatol.* 2001; 54(3): 171–8. <https://doi.org/10.1002/ajp.1021>
 12. Bailly J.E., McAuliffe J.M., Durbin A.P., Elkins W.R., Collins P.L., Murphy B.R. A recombinant human parainfluenza virus type 3 (PIV3) in which the nucleocapsid N protein has been replaced by that of bovine PIV3 is attenuated in primates. *J. Virol.* 2000; 74(7): 3188–95. <https://doi.org/10.1128/jvi.74.7.3188-3195.2000>
 13. Zhan X., Slobod K.S., Jones B.G., Sealy R.E., Takimoto T., Boyd K., et al. Sendai virus recombinant vaccine expressing a secreted, unconstrained respiratory syncytial virus fusion protein protects against RSV in cotton rats. *Int. Immunol.* 2015; 27(5): 229–36. <https://doi.org/10.1093/intimm/ixu107>
 14. Hawthorne J.D., Lorenz D., Albrecht P. Infection of marmosets with parainfluenza virus types 1 and 3. *Infect. Immun.* 1982; 37(3): 1037–41. <https://doi.org/10.1128/iai.37.3.1037-1041.1982>
 15. Rijsbergen L. C., Schmitz K.S., Begeman L., Drew-Bear J., Gommers L., Lamers M.M., et al. Modeling infection and tropism of human parainfluenza virus type 3 in ferrets. *mBio*. 2021; 13(1): e0383121. <https://doi.org/10.1128/mbio.03831-21>
 16. Mutanda L.N., Mufson M.A. Antibodies to viruses of human origin in monkeys from Uganda. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1974; 145(3): 1069–73. <https://doi.org/10.3181/00379727-145-37955>
 17. Schillaci M.A., Jones-Engel L., Engel G.A., Kyes R.C. Exposure to human respiratory viruses among urban performing monkeys in Indonesia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2006; 75(4): 716–9.
 18. Догадов Д.И., Корзая Л.И., Кюрегян К.К., Карлсен А.А., Михайлов М.И. Маркёры вирусного гепатита E (Hepereviridae, Orthoherevirus, Orthoherevirus A) у импортированных низших обезьян Старого Света. *Вопросы вирусологии*. 2021; 66(3): 182–8. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-34> <https://elibrary.ru/xvmkmz>
 19. Durbin A. African green monkeys provide a useful nonhuman primate model for the study of human parainfluenza virus types-1, -2, and -3 infection. *Vaccine*. 2000; 18(22): 2462–9. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(99\)00575-7](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(99)00575-7)
 20. Корзая Л.И., Кебурия В.В., Гончаренко А.М., Догадов Д.И., Лапин Б.А. Маркёры вирусных инфекций у лабораторных приматов. В кн.: *Материалы второй международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты медицинской приматологии»*. Сочи; 2011: 79–88. <https://elibrary.ru/xwiobb>
 21. Churchill A.E. The isolation of parainfluenza 3 virus from fatal cases of pneumonia in erythrocebus patas monkeys. *Br. J. Exp. Pathol.* 1963; 44(5): 529–37.
 22. Hawthorne J.D., Albrecht P. Sensitive plaque neutralization assay for parainfluenza virus types 1, 2, and 3 and respiratory syncytial virus. *J. Clin. Microbiol.* 1981; 13(4): 730–7. <https://doi.org/10.1128/jcm.13.4.730-737.1981>
 23. Komada H., Tsurudome M., Ueda M., Nishio M., Bando H., Ito Y. Isolation and characterization of monoclonal antibodies to human parainfluenza virus type 4 and their use in revealing antigenic relationship between subtypes 4A and 4B. *Virology*. 1989; 171(1): 28–37. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(89\)90507-2](https://doi.org/10.1016/0042-6822(89)90507-2)
 24. King A.M.Q., Adams M.J., Carstens E.B., Lefkowitz E.J. Virus taxonomy: classification and nomenclature of viruses. In: *Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*. Amsterdam: Elsevier; 2012.
 25. Lukashok S.A., Horwitz M.S. New perspectives in adenoviruses. *Curr. Clin. Top. Infect. Dis.* 1998; 18: 286–305.
 26. Benkó M., Aoki K., Arnberg N., Davison A.J., Echavarría M., Hess M., et al. ICTV virus taxonomy profile: adenoviridae 2022. *J. Gen. Virol.* 2022; 103(3): 001721. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.001721>
 27. Roy S., Vandenberghe L.H., Kryazhimskiy S., Grant R., Calcedo R., Yuan X., et al. Isolation and characterization of adenoviruses persistently shed from the gastrointestinal tract of non-human primates. *PLoS Pathogens*. 2009; 5(7): e1000503. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000503>
 28. Maluquer de Motes C., Hundesa A., Almeida F.C., Bofill-Mas S., Girones R. Isolation of a novel monkey adenovirus reveals a new phylogenetic clade in the evolutionary history of simian adenoviruses. *Virol. J.* 2011; 8: 125. <https://doi.org/10.1186/1743-422X-8-125>
 29. Xiang Z., Li Y., Cun A., Yang W., Ellenberg S., Switzer W.M., et al. Chimpanzee adenovirus antibodies in humans, sub-Saharan Africa. *Emerg. Infect. Dis.* 2006; 12(10): 1596–9. <https://doi.org/10.3201/eid1210.060078>
 30. Ersching J., Hernandez M.I.M., Cezarotto F.S., Ferreira J.D.S., Martins A.B., William M., et al. Neutralizing antibodies to human and simian adenoviruses in humans and New-World monkeys. *Virology*. 2010; 407(1): 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2010.07.043>
 31. Chiu C.Y., Yagi S., Lu X., Yu G., Chen E.C., Liu M., et al. A novel adenovirus species associated with an acute respiratory outbreak in a baboon colony and evidence of coincident human infection. *mBio*. 2013; 4(2): e00084-13. <https://doi.org/10.1128/mBio.00084-13>
 32. Chen E.C., Yagi S., Kelly K.R., Mendoza S.P., Maninger N., Rosenthal A., et al. Cross-species transmission of a novel adenovirus associated with a fulminant pneumonia outbreak in a New World monkey colony. *PLoS Pathogens*. 2011; 7(8): e1002155. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002155>
 33. Yu G., Yagi S., Carrion R., Chen E.C., Liu M., Brasky K.M., et al. Experimental cross-species infection of common marmosets by titi monkey adenovirus. *PLoS One*. 2013; 8(7): e68558. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068558>
 34. Babkin I.V., Tyumentsev A.I., Tikunov A.Yu., Kurilshikov A.M., Ryabchikova E.I., Zhirakovskaya E.V., et al. Evolutionary time-scale of primate bocaviruses. *Infect. Gen. Evol.* 2013; 14: 265–74. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.12.023>
 35. Sharp C.P., LeBreton M., Kantola K., Nana A., Le Doux Diffio J., Djoko C.F., et al. Widespread infection with homologues of human parvoviruses B19, PARV4, and human bocavirus of chimpanzees and gorillas in the wild. *J. Virol.* 2010; 84(19): 10289–96. <https://doi.org/10.1128/JVI.01304-10>
 36. Kumakamba C., Lukusa I.N., Kingebeni P.M., N’Kawa F., Losoma J.A., Mulembakani P.M., et al. DNA indicative of human bocaviruses detected in non-human primates in the Democratic Republic of the Congo. *J. Gen. Virol.* 2018; 99(5): 676–81. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.001048>
 37. Morris, J. A., R. E. Blount, and R. E. Savage. 1956. Recovery of Cytopathogenic Agent from Chimpanzees with Goryza. *Experimental Biology and Medicine* 92: 544–549. <https://doi.org/10.3181/00379727-92-22538>
 38. Clarke C.J., Watt N.J., Meredith A., McIntyre N., Burns S.M. Respiratory syncytial virus-associated bronchopneumonia in a young chimpanzee. *J. Comp. Pathol.* 1994; 110(2): 207–12. [https://doi.org/10.1016/s0021-9975\(08\)80191-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9975(08)80191-0)
 39. Belshe R.B., Richardson L.S., London W.T., Sly D.L., Lorfeld J.H., Camargo E., et al. Experimental respiratory syncytial virus infection of four species of primates. *J. Med. Virol.* 1977; 1(3): 157–62. <https://doi.org/10.1002/jmv.1890010302>
 40. Weltzin R., Traina-Dorge V., Soike K., Zhang J.Y., Mack P., Soman G., et al. Intranasal monoclonal IgA antibody to respiratory syncytial virus protects rhesus monkeys against upper and lower respiratory tract infection. *J. Infect. Dis.* 1996; 174(2): 256–61. <https://doi.org/10.1093/infdis/174.2.256>
 41. Simoes E.A., Hayward A.R., Ponnuraj E.M., Straumanis J.P., Stenmark K.R., Wilson H.L., et al. Respiratory syncytial virus infects the Bonnet monkey, *Macaca radiata*. *Pediatr. Dev. Pathol.* 1999; 2(4): 316–26. <https://doi.org/10.1007/s100249900129>
 42. McArthur-Vaughan K., Gershwin L.J. A rhesus monkey model of respiratory syncytial virus infection. *J. Med. Primatol.* 2002; 31(2):

REVIEWS

- 61–73. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0684.2002.01006.x>
43. Ponnuraj E.M., Hayward A.R., Raj A., Wilson H., Simoes E.A.F. Increased replication of respiratory syncytial virus (RSV) in pulmonary infiltrates is associated with enhanced histopathological disease in bonnet monkeys (*Macaca radiata*) pre-immunized with a formalin-inactivated RSV vaccine. *J. Gen. Virol.* 2001; 82(Pt. 11): 2663–74. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-82-11-2663>
 44. Kakuk T.J., Soike K., Bricard R.J., Zaya R.M., Cole S.L., Zhang J.Y., et al. A human respiratory syncytial virus (RSV) primate model of enhanced pulmonary pathology induced with a formalin-inactivated RSV vaccine but not a recombinant FG subunit vaccine. *J. Infect. Dis.* 1993; 167(3): 553–61. <https://doi.org/10.1093/infdis/167.3.553>
 45. Papin J.F., Wolf R.F., Kosanke S.D., Jenkins J.D., Moore S.N., Anderson M.P., et al. Infant baboons infected with respiratory syncytial virus develop clinical and pathological changes that parallel those of human infants. *Am. J. Physiol. Lung. Cell Mol. Physiol.* 2013; 304(8): L530–9. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00173.2012>
 46. Richardson L.S., Belshe R.B., Sly D.L., London W.T., Prevar D.A., Camargo E., et al. Experimental respiratory syncytial virus pneumonia in cebus monkeys. *J. Med. Virol.* 1978; 2(1): 45–59. <https://doi.org/10.1002/jmv.1890020108>
 47. Koff W.C., Caplan F.R., Case S., Halstead S.B. Cell-mediated immune response to respiratory syncytial virus infection in owl monkeys. *Clin. Exp. Immunol.* 1983; 53(2): 272–80.
 48. Taylor G. Animal models of respiratory syncytial virus infection. *Vaccine.* 2017; 35(3): 469–80. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.11.054>
 49. Crowe J.E., Collins P.L., London W.T., Chanock R.M., Murphy B.R. A comparison in chimpanzees of the immunogenicity and efficacy of live attenuated respiratory syncytial virus (RSV) temperature-sensitive mutant vaccines and vaccinia virus recombinants that express the surface glycoproteins of RSV. *Vaccine.* 1993; 11(14): 1395–404. [https://doi.org/10.1016/0264-410X\(93\)90168-W](https://doi.org/10.1016/0264-410X(93)90168-W)
 50. Crowe Jr J.E., Bui P., Davis A., Chanock R., Murphy B. A further attenuated derivative of a cold-passaged temperature-sensitive mutant of human respiratory syncytial virus retains immunogenicity and protective efficacy against wild-type challenge in seronegative chimpanzees. *Vaccine.* 1994; 12(9): 783–90. [https://doi.org/10.1016/0264-410X\(94\)90286-0](https://doi.org/10.1016/0264-410X(94)90286-0)
 51. Jin H., Cheng X., Traina-Dorge V.L., Park H.J., Zhou H., Soike K., et al. Evaluation of recombinant respiratory syncytial virus gene deletion mutants in African green monkeys for their potential as live attenuated vaccine candidates. *Vaccine.* 2003; 21(25-26): 3647–52. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(03\)00426-2](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(03)00426-2)
 52. Le Nouën C., Brock L.G., Luongo C., McCarty T., Yang L., Mehedi M., et al. Attenuation of human respiratory syncytial virus by genome-scale codon-pair deoptimization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2014; 111(36): 13169–74. <https://doi.org/10.1073/pnas.1411290111>
 53. Jones B.G., Sealy R.E., Rudraraju R., Traina-Dorge V.L., Finneyfrock B., Cook A., et al. Sendai virus-based RSV vaccine protects African green monkeys from RSV infection. *Vaccine.* 2012; 30(5): 959–68. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2011.11.046>
 54. Tang R.S., MacPhail M., Schickli J.H., Kaur J., Robinson C.L., Lawlor H.A., et al. Parainfluenza virus type 3 expressing the native or soluble fusion (F) Protein of Respiratory Syncytial Virus (RSV) confers protection from RSV infection in African green monkeys. *J. Virol.* 2004; 78(20): 11198–207. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.20.11198-11207.2004>
 55. Eyles J.E., Johnson J.E., Megati S., Roopchand V., Cockle P.J., Weeratna R., et al. Nonreplicating vaccines can protect African green monkeys from the Memphis 37 strain of respiratory syncytial virus. *J. Infect. Dis.* 2013; 208(2): 319–29. <https://doi.org/10.1093/infdis/jit169>
 56. Bates J.T., Pickens J.A., Schuster J.E., Johnson M., Tollefson S.J., Williams J.V., et al. Immunogenicity and efficacy of alphavirus-derived replicon vaccines for respiratory syncytial virus and human metapneumovirus in nonhuman primates. *Vaccine.* 2017; 34(7): 950–6. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.12.045>
 57. De Swart R.L., Kuiken T., Timmerman H.H., van Amerongen G., Van Den Hoogen B.G., Vos H.W., et al. Immunization of macaques with formalin-inactivated respiratory syncytial virus (RSV) induces interleukin-13-associated hypersensitivity to subsequent RSV infection. *J. Virol.* 2002; 76(22): 11561–9. <https://doi.org/10.1128/jvi.76.22.11561-11569.2002>
 58. Richardson L.S., Belshe R.B., London W.T., Sly D.L., Prevar D.A., Camargo E., et al. Evaluation of five temperature-sensitive mutants of respiratory syncytial virus in primates: I. Viral shedding, immunologic response, and associated illness. *J. Med. Virol.* 1978; 3(2): 91–100. <https://doi.org/10.1002/jmv.1890030202>
 59. Philippot Q., Rammaert B., Dauriat G., Daubin C., Schlemmer F., Costantini A., et al. 2024. Human metapneumovirus infection is associated with a substantial morbidity and mortality burden in adult inpatients. *Heliyon.* 2024; 10(13): e33231. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33231>
 60. De Graaf M., Osterhaus A.D.M.E., Fouchier R.A.M., Holmes E.C. Evolutionary dynamics of human and avian metapneumoviruses. *J. Gen. Virol.* 2008; 89(12): 2933–42. <https://doi.org/10.1099/vir.0.2008/006957-0>
 61. Buitendijk H., Fagrouch Z., Niphuis H., Bogers W., Warren K., Verschoor E. Retrospective serology study of respiratory virus infections in captive great Apes. *Viruses.* 2014; 6(3): 1442–53. <https://doi.org/10.3390/v6031442>
 62. Köndgen S., Kühl H., N'Goran P.K., Walsh P.D., Schenk S., Ernst N., et al. Pandemic Human viruses cause decline of endangered great Apes. *Curr. Biol.* 2008; 18(4): 260–4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.01.012>
 63. Kaur T., Singh J., Tong S., Humphrey C., Clevenger D., Tan W., et al. Descriptive epidemiology of fatal respiratory outbreaks and detection of a human-related metapneumovirus in wild chimpanzees (*Pan troglodytes*) at Mahale Mountains National Park, Western Tanzania. *Am. J. Primatol.* 2008; 70(8): 755–65. <https://doi.org/10.1002/ajp.20565>
 64. Palacios G., Lowenstine L.J., Cranfield M.R., Gilardi K.V.K., Spelman L., Lukasiuk-Braun M. Human metapneumovirus infection in wild mountain gorillas, Rwanda. *Emerg. Infect. Dis.* 2011; 17(4): 711–3. <https://doi.org/10.3201/eid1704.100883>
 65. Slater O.M., Terio K.A., Zhang Y., Erdman D.D., Schneider E., Kuypers J.M., et al. Human metapneumovirus infection in chimpanzees, United States. *Emerg. Infect. Dis.* 2014; 20(12): 2115–8. <https://doi.org/10.3201/eid2012.140408>
 66. Skiadopoulos M.H., Biacchesi S., Buchholz U.J., Riggs J.M., Surman S.R., Amaro-Carambot E., et al. The two major human metapneumovirus genetic lineages are highly related antigenically, and the fusion (F) protein is a major contributor to this antigenic relatedness. *J. Virol.* 2004; 78(13): 6927–37. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.13.6927-6937.2004>
 67. Kuiken T., Van Den Hoogen B.G., Van Riel D.A.J., Laman J.D., Van Amerongen G., Sprong L., et al. Experimental human metapneumovirus infection of cynomolgus macaques (*Macaca fascicularis*) results in virus replication in ciliated epithelial cells and pneumocytes with associated lesions throughout the respiratory tract. *Am. J. Pathol.* 2004; 164(6): 1893–900. [https://doi.org/10.1016/S0002-9440\(10\)63750-9](https://doi.org/10.1016/S0002-9440(10)63750-9)
 68. MacPhail M., Schickli J.H., Tang R.S., Kaur J., Robinson C., Fouchier R.A.M. Identification of small-animal and primate models for evaluation of vaccine candidates for human metapneumovirus (hMPV) and implications for hMPV vaccine design. *J. Gen. Virol.* 2004; 85(6): 1655–63. <https://doi.org/10.1099/vir.0.79805-0>
 69. Schildgen O., Simon A., Williams J. Animal models for human Metapneumovirus (HMPV) infections. *Vet. Res.* 2007; 38(1): 117–26. <https://doi.org/10.1051/vetres:2006051>
 70. Thompson I.M., Goodman P.J., Tangen C.M., Lucia M.S., Miller G.J., Ford L.G., et al. The influence of finasteride on the development of prostate cancer. *N. Engl. J. Med.* 2003; 349(3): 215–24. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa030660>
 71. O'Brien T.C., Tauraso N.M. Antibodies to type A influenza viruses in sera from nonhuman primates. *Arch. Gesamte. Virusforsch.* 1973; 40(3): 359–65. <https://doi.org/10.1007/BF01242556>
 72. Karlsson E.A., Engel G.A., Feeroz M.M., San S., Rompis A., Lee B.P., et al. Influenza virus infection in nonhuman primates. *Emerg. Infect. Dis.* 2012; 18(10): 1672–5. <https://doi.org/10.3201/eid1810.120214>
 73. Bodewes R., Rimmelzwaan G.F., Osterhaus A.D. Animal models for the preclinical evaluation of candidate influenza vaccines. *Expert. Rev. Vaccines.* 2010; 9(1): 59–72. <https://doi.org/10.1586/erv.09.148>
 74. Baskin C.R., Bielefeldt-Ohmann H., Tumpey T.M., Sabourin P.J., Long J.P., Garcia-Sastre A., et al. Early and sustained innate immune response defines pathology and death in nonhuman primates infected by highly pathogenic influenza virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2009; 106(9): 3455–60. <https://doi.org/10.1073/pnas.0813234106>
 75. Baskin C.R., Garcia-Sastre A., Tumpey T.M., Bielefeldt-Ohmann H., Carter V.S., Nistal-Villán E., et al. Integration of clinical data, pathology, and cDNA microarrays in influenza virus-infected

- pigtailed macaques (*Macaca nemestrina*). *J. Virol.* 2004; 78(19): 10420–32. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.19.10420-10432.2004>
76. Carroll T.D., Matzinger S.R., Barro M., Fritts L., McChesney M.B., Miller C.J., et al. Alphavirus replicon-based adjuvants enhance the immunogenicity and effectiveness of Fluzone® in rhesus macaques. *Vaccine.* 2010; 29(5): 931–40. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.11.024>
 77. Chen Y., Deng W., Jia C., Dai X., Zhu H., Kong Q., et al. Pathological lesions and viral localization of influenza A (H5N1) virus in experimentally infected Chinese rhesus macaques: implications for pathogenesis and viral transmission. *Arch. Virol.* 2009; 154(2): 227–33. <https://doi.org/10.1007/s00705-008-0277-5>
 78. Shinya K., Gao Y., Cilloniz C., Suzuki Y., Fujie M., Deng G., et al. Integrated clinical, pathologic, virologic, and transcriptomic analysis of H5N1 influenza virus-induced viral pneumonia in the rhesus macaque. *J. Virol.* 2012; 86(11): 6055–66. <https://doi.org/10.1128/JVI.00365-12>
 79. Itoh Y., Ozaki H., Tsuchiya H., Okamoto K., Torii R., Sakoda Y., et al. A vaccine prepared from a non-pathogenic H5N1 avian influenza virus strain confers protective immunity against highly pathogenic avian influenza virus infection in cynomolgus macaques. *Vaccine.* 2008; 26(4): 562–72. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2007.11.031>
 80. Jegaskanda S., Weinfurter J.T., Friedrich T.C., Kent S.J. Antibody-dependent cellular cytotoxicity is associated with control of pandemic H1N1 influenza virus infection of macaques. *J. Virol.* 2013; 87(10): 5512–22. <https://doi.org/10.1128/JVI.03030-12>
 81. Matzinger S.R., Carroll T.D., Fritts L., McChesney M.B., Miller C.J. Exogenous IFN- α administration reduces influenza A virus replication in the lower respiratory tract of rhesus macaques. *PLoS One.* 2011; 6(12): e29255. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029255>
 82. Rimmelzwaan G.F., Baars M., Van Amerongen G., Van Beek R., Osterhaus A.D.M.E. A single dose of an ISCOM influenza vaccine induces long-lasting protective immunity against homologous challenge infection but fails to protect cynomolgus macaques against distant drift variants of influenza A (H3N2) viruses. *Vaccine.* 2001; 20(1-2): 158–63. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(01\)00262-6](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(01)00262-6)
 83. Rimmelzwaan G.F., Kuiken T., Van Amerongen G., Bestebroer T.M., Fouchier R.A.M., Osterhaus A.D.M.E. Pathogenesis of influenza A (H5N1) virus infection in a primate model. *J. Virology.* 2001; 75(14): 6687–91. <https://doi.org/10.1128/JVI.75.14.6687-6691.2001>
 84. Cillóniz C., Shinya K., Peng X., Korth M.J., Proll S.C., Aicher L.D., et al. Lethal influenza virus infection in macaques is associated with early dysregulation of inflammatory related genes. *PLoS Pathog.* 2009; 5(10): e1000604. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000604>
 85. Murphy B.R., Hinshaw V.S., Sly D.L., London W.T., Hosier N.T., Wood F.T., et al. Virulence of avian influenza A viruses for squirrel monkeys. *Infect. Immun.* 1982; 37(3): 1119–26. <https://doi.org/10.1128/iai.37.3.1119-1126.1982>
 86. Mooij P., Koopman G., Mortier D., van Heteren M., Oostermeijer H., Fagrouch Z., et al. Pandemic swine-origin H1N1 influenza virus replicates to higher levels and induces more fever and acute inflammatory cytokines in cynomolgus versus rhesus monkeys and can replicate in common marmosets. *PLoS One.* 2015; 10(5): e0126132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126132>
 87. Jacobs S.E., Lamson D.M., George K.St., Walsh T.J. Human rhinoviruses. *Clin. Microbiol. Rev.* 2013; 26(1): 135–62. <https://doi.org/10.1128/CMR.00077-12>
 88. Negrey J.D., Reddy R.B., Scully E.J., Phillips-Garcia S., Owens L.A., Kevin E., et al. Simultaneous outbreaks of respiratory disease in wild chimpanzees caused by distinct viruses of human origin. *Emerg. Microb. Infect.* 2019; 8(1): 139–49. <https://doi.org/10.1080/22221751.2018.1563456>
 89. Pinto C.A., Haff R.F. Experimental infection of gibbons with rhinovirus. *Nature.* 1969; 224(526): 1310–1.
 90. Martin G.V., Heath R.B. Rhinovirus infection of vervet monkeys. *Br. J. Exp. Pathol.* 1969; 50(5): 516–9.
 91. V'kovski P., Kratzel A., Steiner S., Stalder H., Thiel V. Coronavirus biology and replication: implications for SARS-CoV-2. *Nat. Rev. Microbiol.* 2021; 19(3): 155–70. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00468-6>
 92. Гончарук Е.И., Шевцова З.В., Румель Н.Б., Крылова Р.И. Спонтанная коронавирусная инфекция у обезьян. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии.* 1994; (Прил. 1): 109–14.
 93. Гончарук Е.И., Шевцова З.В., Крылова Р.И., Румель Н.Б., Стеценко В.И. Экспериментальная коронавирусная инфекция обезьян. *Микробиологический журнал (Киев).* 1994; 56(3): 65–71.
 94. Greenough T.C., Carville A., Coderre J., Somasundaran M., Sulli-
van J.L., Luzuriaga K., et al. Pneumonitis and multi-organ system disease in common marmosets (*Callithrix jacchus*) infected with the severe acute respiratory syndrome-associated coronavirus. *Am. J. Pathol.* 2005; 167(2): 455–63. [https://doi.org/10.1016/S0002-9440\(10\)62989-6](https://doi.org/10.1016/S0002-9440(10)62989-6)
 95. McAuliffe J., Vogel L., Roberts A., Fahle G., Fischer S., Shieh W.J., et al. Replication of SARS coronavirus administered into the respiratory tract of African Green, rhesus and cynomolgus monkeys. *Virology.* 2004; 330(1): 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.viro.2004.09.030>
 96. Qin C., Wang J., Wei Q., She M., Marasch W.A., Jiang H., et al. An animal model of SARS produced by infection of *Macaca mulatta* with SARS coronavirus. *J. Pathol.* 2005; 206(3): 251–9. <https://doi.org/10.1002/path.1769>
 97. Rowe T., Gao G., Hogan R.J., Crystal R.G., Voss T.G., Grant R.L., et al. Macaque model for severe acute respiratory syndrome. *J. Virol.* 2004; 78(20): 11401–4. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.20.11401-11404.2004>
 98. Kobinger G.P., Figueredo J.M., Rowe T., Zhi Y., Gao G., Sanmiguél J.C., et al. Adenovirus-based vaccine prevents pneumonia in ferrets challenged with the SARS coronavirus and stimulates robust immune responses in macaques. *Vaccine.* 2007; 25(28): 5220–31. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2007.04.065>
 99. Kuiken T., Am Fouchier R., Schutten M., Rimmelzwaan G.F., Van Amerongen G., Van Riel D., et al. Newly discovered coronavirus as the primary cause of severe acute respiratory syndrome. *Lancet.* 2023; 362(9380): 263–70. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)13967-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)13967-0)
 100. Aid M., Busman-Sahay K., Vidal S.J., Maliga Z., Bondoc S., Starke C., et al. Vascular disease and thrombosis in SARS-CoV-2-infected rhesus macaques. *Cell.* 2020; 183(5): 1354–66.e13. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.10.005>
 101. Blair R.V., Vaccari M., Doyle-Meyers L.A., Roy C.J., Russell-Lodrigue K., Fahlberg M., et al. Acute respiratory distress in aged, SARS-CoV-2-infected African green monkeys but not rhesus macaques. *Am. J. Pathol.* 2021; 191(2): 274–82. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2020.10.016>
 102. Chandrashekar A., Liu J., Martinot A.J., McMahan K., Mercado N.B., Peter L., et al. SARS-CoV-2 infection protects against rechallenge in rhesus macaques. *Science.* 2020; 369(6505): 812–7. <https://doi.org/10.1126/science.abc4776>
 103. Deng W., Bao L., Liu J., Xiao C., Liu J., Xue J., et al. Primary exposure to SARS-CoV-2 protects against reinfection in rhesus macaques. *Science.* 2020; 369(6505): 818–23. <https://doi.org/10.1126/science.abc5343>
 104. Deng W., Bao L., Gao H., Xiang Z., Qu Y., Song Z., et al. Ocular conjunctival inoculation of SARS-CoV-2 can cause mild COVID-19 in rhesus macaques. *Nat. Commun.* 2020; 11(1): 4400. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18149-6>
 105. Fahlberg M.D., Blair R.V., Doyle-Meyers L.A., Midkiff C.C., Zenere G., Russell-Lodrigue K.E., et al. Cellular events of acute, resolving or progressive COVID-19 in SARS-CoV-2 infected non-human primates. *Nat. Commun.* 2020; 11(1): 6078. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19967-4>
 106. Koo B.S., Oh H., Kim G., Hwang E.H., Jung H., Lee Y., et al. Transient lymphopenia and interstitial pneumonia with endotheliitis in SARS-CoV-2-infected macaques. *J. Infect. Dis.* 2020; 222(10): 1596–600. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa486>
 107. Lu S., Zhao Y., Yu W., Yang Y., Gao J., Wang J., et al. Comparison of nonhuman primates identified the suitable model for COVID-19. *Signal. Transduct. Target. Ther.* 2020; 5(1): 157. <https://doi.org/10.1038/s41392-020-00269-6>
 108. Munster V.J., Feldmann F., Williamson B.N., Van Doremalen N., Pérez-Pérez L., Schulz J., et al. Respiratory disease in rhesus macaques inoculated with SARS-CoV-2. *Nature.* 2020; 585(7824): 268–72. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2324-7>
 109. Rosa B.A., Ahmed M., Singh D.K., Choreño-Parra J.A., Cole J., Jiménez-Alvarez L.A., et al. IFN signaling and neutrophil degranulation transcriptional signatures are induced during SARS-CoV-2 infection. *Commun. Biol.* 2021; 4(1): 290. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01829-4>
 110. Salguero F.J., White A.D., Slack G.S., Fotheringham S.A., Bewley K.R., Gooch K.E., et al. Comparison of rhesus and cynomolgus macaques as an infection model for COVID-19. *Nat. Commun.* 2021; 12(1): 1260. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21389-9>
 111. Shan C., Yao Y.F., Yang X.L., Zhou Y.W., Gao G., Peng Y., et al. Infection with novel coronavirus (SARS-CoV-2) causes pneumonia in Rhesus macaques. *Cell Res.* 2020; 30(8): 670–7. <https://doi.org/10.1038/s41422-020-0364-z>

REVIEWS

112. Singh D.K., Singh B., Ganatra S.R., Gazi M., Cole J., Thippeshappa R., et al. Responses to acute infection with SARS-CoV-2 in the lungs of rhesus macaques, baboons and marmosets. *Nat. Microbiol.* 2020; 6(1): 73–86. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-00841-4>
113. Song T.Z., Zheng H.Y., Han J.B., Jin L., Yang X., Liu F.L., et al. Delayed severe cytokine storm and immune cell infiltration in SARS-CoV-2-infected aged Chinese rhesus macaques. *Zool. Res.* 2020; 41(5): 503–16. <https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2020.202>
114. Yu P., Qi F., Xu Y., Li F., Liu P., Liu J., et al. Age-related rhesus macaque models of COVID-19. *Animal Model Exp. Med.* 2020; 3(1): 93–7. <https://doi.org/10.1002/ame2.12108>
115. Zheng H., Li H., Guo L., Liang Y., Li J., Wang X., et al. Virulence and pathogenesis of SARS-CoV-2 infection in rhesus macaques: A nonhuman primate model of COVID-19 progression. *PLoS Pathog.* 2020; 16(11): e1008949. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008949>
116. Johnston S.C., Ricks K.M., Jay A., Raymond J.L., Rossi F., Zeng X., et al. Development of a coronavirus disease 2019 nonhuman primate model using airborne exposure. *PLoS One.* 2021; 16(2): e0246366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246366>
117. Ishigaki H., Nakayama M., Kitagawa Y., Nguyen C.T., Hayashi K., Shiohara M., et al. Neutralizing antibody-dependent and -independent immune responses against SARS-CoV-2 in cynomolgus macaques. *Virology.* 2021; 554: 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2020.12.013>
118. Rockx B., Kuiken T., Herfst S., Bestebroer T., Lamers M.M., Munnink B.B.O., et al. Comparative pathogenesis of COVID-19, MERS, and SARS in a nonhuman primate model. *Science.* 2020; 368(6494): 1012–5. <https://doi.org/10.1126/science.abb7314>
119. Cross R.W., Agans K.N., Prasad A.N., Borisevich V., Woolsey C., Deer D.J., et al. Intranasal exposure of African green monkeys to SARS-CoV-2 results in acute phase pneumonia with shedding and lung injury still present in the early convalescence phase. *Viol. J.* 2020; 17(1): 125. <https://doi.org/10.1186/s12985-020-01396-w>
120. Hartman A.L., Nambulli S., McMillen C.M., White A.G., Tilston-Lunel N.L., Albe J.R., et al. SARS-CoV-2 infection of African green monkeys results in mild respiratory disease discernible by PET/CT imaging and shedding of infectious virus from both respiratory and gastrointestinal tracts. *PLoS Pathog.* 2020; 16(9): e1008903. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008903>
121. Speranza E., Williamson B.N., Feldmann F., Sturdevant G.L., Pérez-Pérez L., Meade-White K., et al. Single-cell RNA sequencing reveals SARS-CoV-2 infection dynamics in lungs of African green monkeys. *Sci. Transl. Med.* 2021; 13(578): eabe8146. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.abe8146>
122. Woolsey C., Borisevich V., Prasad A.N., Agans K.N., Deer D.J., Dobias N.S., et al. Establishment of an African green monkey model for COVID-19 and protection against re-infection. *Nat. Immunol.* 2021; 22(1): 86–98. <https://doi.org/10.1038/s41590-020-00835-8>
123. Erasmus J.H., Khandhar A.P., O'Connor M.A., Walls A.C., Hemann E.A., Murapa P., et al. An Alphavirus-derived replicon RNA vaccine induces SARS-CoV-2 neutralizing antibody and T cell responses in mice and nonhuman primates. *Sci. Transl. Med.* 2020; 12: eabc9396. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.abc9396>
124. Tian J.H., Patel N., Haupt R., Zhou H., Weston S., Hammond H., et al. SARS-CoV-2 spike glycoprotein vaccine candidate NVX-CoV2373 immunogenicity in baboons and protection in mice. *Nat. Commun.* 2021; 12(1): 372. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20653-8>
125. Walls A.C., Fiala B., Schäfer A., Wrenn S., Pham M.N., Murphy M., et al. Elicitation of potent neutralizing antibody responses by designed protein nanoparticle vaccines for SARS-CoV-2. *Cell.* 2020; 183(5): 1367–82.e17. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.10.043>
126. Liu Z.J., Qian X.K., Hong M.H., Zhang J.L., Li D.Y., Wang T.H., et al. Global view on virus infection in non-human primates and implications for public health and wildlife conservation. *Zool. Res.* 2021; 42(5): 626–32. <https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2021.080>
127. Cano-Terriza D., Beato-Benítez A., Fernández-Bastit L., Segalés J., Vergara-Alert J., Martínez-Navado E., et al. SARS-CoV-2 in captive nonhuman primates, Spain, 2020–2023. *Emerg. Infect. Dis.* 2024; 30(6): 1253–7. <https://doi.org/10.3201/eid3006.231247>
128. Dusseldorp F., Bruins-van-Sonsbeek L.G.R., Buskermolen M., Niphuis H., Dirven M., Whelan J., et al. SARS-CoV-2 in lions, gorillas and zookeepers in the Rotterdam Zoo, the Netherlands, a One Health investigation, November 2021. *Euro Surveill.* 2023; 28(28): 2200741. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.28.2200741>
129. Nagy A., Stará M., Vodička R., Černíková L., Jiřincová H., Křivda V., et al. Reverse-zoonotic transmission of SARS-CoV-2 lineage alpha (B.1.1.7) to great apes and exotic felids in a zoo in the Czech Republic. *Arch. Virol.* 2022; 167(8): 1681–5. <https://doi.org/10.1007/s00705-022-05469-9>
130. Yaglom H.D., Roth A., Alvarez C., Corbus E., Ghai R.R., Ferguson S., et al. Detection of SARS-CoV-2 in a squirrel monkey (*Saimiri sciureus*): a one health investigation and response. *J. Zoo Wildl. Med.* 2024; 55(2): 471–8. <https://doi.org/10.1638/2023-0052>
131. Carvajal M., Saenz C., Fuentes N., Guevara R., Muñoz E., Prado-Vivar B., et al. SARS-CoV-2 infection in brown-headed spider monkeys (*Ateles fusciceps*) at a wildlife rescue center on the coast of Ecuador-South America. *Microbiol. Spectr.* 2024; 12(4): e0274123. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02741-23>

REFERENCES

- Peltola V., Ruuskanen O. Editorial commentary: Respiratory viral infections in developing countries: common, severe, and unrecognized. *Clin. Infect. Dis.* 2008; 46(1): 58–60. <https://doi.org/10.1086/524020>
- Lemaitre J., Naninck T., Delache B., Creppy J., Huber P., Holzapfel M., et al. Non-human primate models of human respiratory infections. *Mol. Immunol.* 2021; 135: 147–64. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2021.04.010>
- Ponezheva Zh.B., Nikolaeva S.V., Turapova A.N., Gorelov A.V. Topical problems of respiratory infections. *Epidemiologiya i infektsionnye bolezni. Aktual'nye voprosy.* 2023; 13(2): 51–5. <https://doi.org/10.18565/epidem.2023.13.2.51-5> <https://elibrary.ru/iernkv> (in Russian)
- Lowenstine L.J., Osborn K.J. Respiratory system diseases of nonhuman primates. In: *Nonhuman Primates in Biomedical Research*. Elsevier; 2012: 413–81. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381366-4.00009-2>
- Sasaki M., Ishii A., Orba Y., Thomas Y., Hang'ombe B.M., Moonga L., et al. Human parainfluenza virus type 3 in wild nonhuman primates, Zambia. *Emerg. Infect. Dis.* 2013; 19(9): 1500–3. <https://doi.org/10.3201/eid1909.121404>
- Henrickson K.J. Parainfluenza viruses. *Clin. Microbiol. Rev.* 2003; 16(2): 242–64. <https://doi.org/10.1128/CMR.16.2.242-264.2003>
- Kiadiopoulos M.H., Surman S.R., Riggs J.M., Elkins W.R., Claire M.S., Nishio M., et al. Sendai virus, a murine parainfluenza virus type 1, replicates to a level similar to human PIV1 in the upper and lower respiratory tract of African green monkeys and chimpanzees. *Virology.* 2002; 297(1): 153–60. <https://doi.org/10.1006/viro.2002.1416>
- Kalter S.S., Heberling R.L., Cooke A.W., Barry J.D., Tian P.Y., Northam W.J. Viral infections of nonhuman primates. *Lab. Anim. Sci.* 1997; 47(5): 461–7.
- Korzaya L.I., Dogadov D.I., Goncharenko A.M., Karlsen A.A., Kyuregyan K.K., Mikhailov M.I. Prevalence of laboratory markers of human respiratory viruses in monkeys of Adler primate center. *Voprosy virusologii.* 2022; 66(6): 425–33. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-77> <https://elibrary.ru/cbntjh> (in Russian)
- Dogadov D.I., Kyuregyan K.K., Alexandra G.M., Minosyan A.A., Kochkonyan A.A., Karlsen A.A., et al. Markers of antroponotic viral infections in vervet monkeys arrived from their natural habitat (Tanzania). *Voprosy virusologii.* 2023; 68(5): 394–403. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-188> <https://elibrary.ru/awajxs> (in Russian)
- Jones-Engel L., Engel G.A., Schillaci M.A., Babo R., Froehlich J. Detection of antibodies to selected human pathogens among wild and pet macaques (*Macaca tonkeana*) in Sulawesi, Indonesia. *Am. J. Primatol.* 2001; 54(3): 171–8. <https://doi.org/10.1002/ajp.1021>
- Bailly J.E., McAuliffe J.M., Durbin A.P., Elkins W.R., Collins P.L., Murphy B.R. A recombinant human parainfluenza virus type 3 (PIV3) in which the nucleocapsid N protein has been replaced by that of bovine PIV3 is attenuated in primates. *J. Virol.* 2000; 74(7): 3188–95. <https://doi.org/10.1128/jvi.74.7.3188-3195.2000>
- Zhan X., Slobod K.S., Jones B.G., Sealy R.E., Takimoto T., Boyd K., et al. Sendai virus recombinant vaccine expressing a secreted, unconstrained respiratory syncytial virus fusion protein protects against RSV in cotton rats. *Int. Immunol.* 2015; 27(5): 229–36. <https://doi.org/10.1093/intimm/ixi107>
- Hawthorne J.D., Lorenz D., Albrecht P. Infection of marmosets with parainfluenza virus types 1 and 3. *Infect. Immun.* 1982; 37(3): 1037–41. <https://doi.org/10.1128/iai.37.3.1037-1041.1982>
- Rijsbergen L. C., Schmitz K.S., Begeman L., Drew-Bear J., Gommers L., Lamers M.M., et al. Modeling infection and tropism of human parainfluenza virus type 3 in ferrets. *mBio.* 2021; 13(1): e0383121. <https://doi.org/10.1128/mbio.03831-21>

16. Mutanda L.N., Mufson M.A. Antibodies to viruses of human origin in monkeys from Uganda. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1974; 145(3): 1069–73. <https://doi.org/10.3181/00379727-145-37955>
17. Schillaci M.A., Jones-Engel L., Engel G.A., Kyes R.C. Exposure to human respiratory viruses among urban performing monkeys in Indonesia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2006; 75(4): 716–9.
18. Dogadov D.I., Korzaya L.I., Kyuregyan K.K., Karlsen A.A., Mikhailov M.I. Markers of viral hepatitis E (Hepeviridae, Orthohepevirus, Orthohepevirus A) in the imported Old World monkeys. *Voprosy virusologii.* 2021; 66(3): 182–8. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-34> <https://elibrary.ru/xvmkmz> (in Russian)
19. Durbin A. African green monkeys provide a useful nonhuman primate model for the study of human parainfluenza virus types-1, -2, and -3 infection. *Vaccine.* 2000; 18(22): 2462–9. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(99\)00575-7](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(99)00575-7)
20. Korzaya L.I., Keburiya V.V., Goncharenko A.M., Dogadov D.I., Lapin B.A. Markers of laboratory primates' viral infections. In: *Materials of the 2nd International Scientific Conference «Fundamental and Applied Aspects of Medical Primatology» [Materialy vtoroi mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Fundamental'nye i prikladnye aspekty meditsinskoi primatologii»]*. Sochi; 2011: 79–88. <https://elibrary.ru/xwiobb> (in Russian)
21. Churchill A.E. The isolation of parainfluenza 3 virus from fatal cases of pneumonia in erythrocebus patas monkeys. *Br. J. Exp. Pathol.* 1963; 44(5): 529–37.
22. Hawthorne J.D., Albrecht P. Sensitive plaque neutralization assay for parainfluenza virus types 1, 2, and 3 and respiratory syncytial virus. *J. Clin. Microbiol.* 1981; 13(4): 730–7. <https://doi.org/10.1128/jcm.13.4.730-737.1981>
23. Komada H., Tsurudome M., Ueda M., Nishio M., Bando H., Ito Y. Isolation and characterization of monoclonal antibodies to human parainfluenza virus type 4 and their use in revealing antigenic relation between subtypes 4A and 4B. *Virology.* 1989; 171(1): 28–37. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(89\)90507-2](https://doi.org/10.1016/0042-6822(89)90507-2)
24. King A.M.Q., Adams M.J., Carstens E.B., Lefkowitz E.J. Virus taxonomy: classification and nomenclature of viruses. In: *Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*. Amsterdam: Elsevier; 2012.
25. Lukashok S.A., Horwitz M.S. New perspectives in adenoviruses. *Curr. Clin. Top. Infect. Dis.* 1998; 18: 286–305.
26. Benkő M., Aoki K., Arberg N., Davison A.J., Echavarría M., Hess M., et al. ICTV virus taxonomy profile: adenoviridae 2022. *J. Gen. Virol.* 2022; 103(3): 001721. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.001721>
27. Roy S., Vandenberghe L.H., Kryazhimskiy S., Grant R., Calcedo R., Yuan X., et al. Isolation and characterization of adenoviruses persistently shed from the gastrointestinal tract of non-human primates. *PLoS Pathogens.* 2009; 5(7): e1000503. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000503>
28. Maluquer de Motes C., Hundesa A., Almeida F.C., Bofill-Mas S., Girones R. Isolation of a novel monkey adenovirus reveals a new phylogenetic clade in the evolutionary history of simian adenoviruses. *Virol. J.* 2011; 8: 125. <https://doi.org/10.1186/1743-422X-8-125>
29. Xiang Z., Li Y., Cun A., Yang W., Ellenberg S., Switzer W.M., et al. Chimpanzee adenovirus antibodies in humans, sub-Saharan Africa. *Emerg. Infect. Dis.* 2006; 12(10): 1596–9. <https://doi.org/10.3201/eid1210.060078>
30. Ersching J., Hernandez M.I.M., Cezarotto F.S., Ferreira J.D.S., Martins A.B., William M., et al. Neutralizing antibodies to human and simian adenoviruses in humans and New-World monkeys. *Virology.* 2010; 407(1): 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2010.07.043>
31. Chiu C.Y., Yagi S., Lu X., Yu G., Chen E.C., Liu M., et al. A novel adenovirus species associated with an acute respiratory outbreak in a baboon colony and evidence of coincident human infection. *mBio.* 2013; 4(2): e00084-13. <https://doi.org/10.1128/mBio.00084-13>
32. Chen E.C., Yagi S., Kelly K.R., Mendoza S.P., Maninger N., Rosenthal A., et al. Cross-species transmission of a novel adenovirus associated with a fulminant pneumonia outbreak in a New World monkey colony. *PLoS Pathogens.* 2011; 7(8): e1002155. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002155>
33. Yu G., Yagi S., Carrion R., Chen E.C., Liu M., Brasky K.M., et al. Experimental cross-species infection of common marmosets by titi monkey adenovirus. *PLoS One.* 2013; 8(7): e68558. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068558>
34. Babkin I.V., Tyumentsev A.I., Tikunov A.Yu., Kurilshikov A.M., Ryabchikova E.I., Zhirakovskaya E.V., et al. Evolutionary time-scale of primate bocaviruses. *Infect. Gen. Evol.* 2013; 14: 265–74. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.12.023>
35. Sharp C.P., LeBreton M., Kantola K., Nana A., Le Doux Diffo J., Djoko C.F., et al. Widespread infection with homologues of human parvoviruses B19, PARV4, and human bocavirus of chimpanzees and gorillas in the wild. *J. Virol.* 2010; 84(19): 10289–96. <https://doi.org/10.1128/JVI.01304-10>
36. Kumakamba C., Lukusa I.N., Kingebeni P.M., N'Kawa F., Losoma J.A., Mulembakani P.M., et al. DNA indicative of human bocaviruses detected in non-human primates in the Democratic Republic of the Congo. *J. Gen. Virol.* 2018; 99(5): 676–81. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.001048>
37. Morris, J. A., R. E. Blount, and R. E. Savage. 1956. Recovery of Cytopathogenic Agent from Chimpanzees with Goryza. *Experimental Biology and Medicine* 92: 544–549. <https://doi.org/10.3181/00379727-92-22538>
38. Clarke C.J., Watt N.J., Meredith A., McIntyre N., Burns S.M. Respiratory syncytial virus-associated bronchopneumonia in a young chimpanzee. *J. Comp. Pathol.* 1994; 110(2): 207–12. [https://doi.org/10.1016/s0021-9975\(08\)80191-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9975(08)80191-0)
39. Belshe R.B., Richardson L.S., London W.T., Sly D.L., Lorfeld J.H., Camargo E., et al. Experimental respiratory syncytial virus infection of four species of primates. *J. Med. Virol.* 1977; 1(3): 157–62. <https://doi.org/10.1002/jmv.1890010302>
40. Weltzin R., Traina-Dorge V., Soike K., Zhang J.Y., Mack P., Soman G., et al. Intranasal monoclonal IgA antibody to respiratory syncytial virus protects rhesus monkeys against upper and lower respiratory tract infection. *J. Infect. Dis.* 1996; 174(2): 256–61. <https://doi.org/10.1093/infdis/174.2.256>
41. Simoes E.A., Hayward A.R., Ponnuraj E.M., Straumanis J.P., Stenmark K.R., Wilson H.L., et al. Respiratory syncytial virus infects the Bonnet monkey, *Macaca radiata*. *Pediatr. Dev. Pathol.* 1999; 2(4): 316–26. <https://doi.org/10.1007/s100249900129>
42. McArthur-Vaughan K., Gershwin L.J. A rhesus monkey model of respiratory syncytial virus infection. *J. Med. Primatol.* 2002; 31(2): 61–73. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0684.2002.01006.x>
43. Ponnuraj E.M., Hayward A.R., Raj A., Wilson H., Simoes E.A.F. Increased replication of respiratory syncytial virus (RSV) in pulmonary infiltrates is associated with enhanced histopathological disease in bonnet monkeys (*Macaca radiata*) pre-immunized with a formalin-inactivated RSV vaccine. *J. Gen. Virol.* 2001; 82(Pt. 11): 2663–74. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-82-11-2663>
44. Kakuk T.J., Soike K., Brideau R.J., Zaya R.M., Cole S.L., Zhang J.Y., et al. A human respiratory syncytial virus (RSV) primate model of enhanced pulmonary pathology induced with a formalin-inactivated RSV vaccine but not a recombinant FG subunit vaccine. *J. Infect. Dis.* 1993; 167(3): 553–61. <https://doi.org/10.1093/infdis/167.3.553>
45. Papin J.F., Wolf R.F., Kosanke S.D., Jenkins J.D., Moore S.N., Anderson M.P., et al. Infant baboons infected with respiratory syncytial virus develop clinical and pathological changes that parallel those of human infants. *Am. J. Physiol. Lung. Cell Mol. Physiol.* 2013; 304(8): L530–9. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00173.2012>
46. Richardson L.S., Belshe R.B., Sly D.L., London W.T., Prevar D.A., Camargo E., et al. Experimental respiratory syncytial virus pneumonia in cebus monkeys. *J. Med. Virol.* 1978; 2(1): 45–59. <https://doi.org/10.1002/jmv.1890020108>
47. Koff W.C., Caplan F.R., Case S., Halstead S.B. Cell-mediated immune response to respiratory syncytial virus infection in owl monkeys. *Clin. Exp. Immunol.* 1983; 53(2): 272–80.
48. Taylor G. Animal models of respiratory syncytial virus infection. *Vaccine.* 2017; 35(3): 469–80. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.11.054>
49. Crowe J.E., Collins P.L., London W.T., Chanock R.M., Murphy B.R. A comparison in chimpanzees of the immunogenicity and efficacy of live attenuated respiratory syncytial virus (RSV) temperature-sensitive mutant vaccines and vaccinia virus recombinants that express the surface glycoproteins of RSV. *Vaccine.* 1993; 11(14): 1395–404. [https://doi.org/10.1016/0264-410X\(93\)90168-W](https://doi.org/10.1016/0264-410X(93)90168-W)
50. Crowe Jr J.E., Bui P., Davis A., Chanock R., Murphy B. A further attenuated derivative of a cold-passaged temperature-sensitive mutant of human respiratory syncytial virus retains immunogenicity and protective efficacy against wild-type challenge in seronegative chimpanzees. *Vaccine.* 1994; 12(9): 783–90. [https://doi.org/10.1016/0264-410X\(94\)90286-0](https://doi.org/10.1016/0264-410X(94)90286-0)
51. Jin H., Cheng X., Traina-Dorge V.L., Park H.J., Zhou H., Soike K., et al. Evaluation of recombinant respiratory syncytial virus gene deletion mutants in African green monkeys for their potential as live attenuated vaccine candidates. *Vaccine.* 2003; 21(25-26): 3647–52. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(03\)00426-2](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(03)00426-2)
52. Le Nouën C., Brock L.G., Luongo C., McCarty T., Yang L., Me-

- heddi M., et al. Attenuation of human respiratory syncytial virus by genome-scale codon-pair deoptimization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2014; 111(36): 13169–74. <https://doi.org/10.1073/pnas.1411290111>
53. Jones B.G., Sealy R.E., Rudraraju R., Traina-Dorge V.L., Finneyfrock B., Cook A., et al. Sendai virus-based RSV vaccine protects African green monkeys from RSV infection. *Vaccine.* 2012; 30(5): 959–68. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2011.11.046>
 54. Tang R.S., MacPhail M., Schickli J.H., Kaur J., Robinson C.L., Lawlor H.A., et al. Parainfluenza virus type 3 expressing the native or soluble fusion (F) Protein of Respiratory Syncytial Virus (RSV) confers protection from RSV infection in African green monkeys. *J. Virol.* 2004; 78(20): 11198–207. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.20.11198-11207.2004>
 55. Eyles J.E., Johnson J.E., Megati S., Roopchand V., Cockle P.J., Weeratna R., et al. Nonreplicating vaccines can protect African green monkeys from the Memphis 37 strain of respiratory syncytial virus. *J. Infect. Dis.* 2013; 208(2): 319–29. <https://doi.org/10.1093/infdis/jit169>
 56. Bates J.T., Pickens J.A., Schuster J.E., Johnson M., Tollefson S.J., Williams J.V., et al. Immunogenicity and efficacy of alphavirus-derived replicon vaccines for respiratory syncytial virus and human metapneumovirus in nonhuman primates. *Vaccine.* 2017; 34(7): 950–6. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.12.045>
 57. De Swart R.L., Kuiken T., Timmerman H.H., van Amerongen G., Van Den Hoogen B.G., Vos H.W., et al. Immunization of macaques with formalin-inactivated respiratory syncytial virus (RSV) induces interleukin-13-associated hypersensitivity to subsequent RSV infection. *J. Virol.* 2002; 76(22): 11561–9. <https://doi.org/10.1128/jvi.76.22.11561-11569.2002>
 58. Richardson L.S., Belshe R.B., London W.T., Sly D.L., Prevar D.A., Camargo E., et al. Evaluation of five temperature-sensitive mutants of respiratory syncytial virus in primates: I. Viral shedding, immunologic response, and associated illness. *J. Med. Virol.* 1978; 3(2): 91–100. <https://doi.org/10.1002/jmv.1890030202>
 59. Philippot Q., Rammaert B., Dauriat G., Daubin C., Schlemmer F., Costantini A., et al. 2024. Human metapneumovirus infection is associated with a substantial morbidity and mortality burden in adult inpatients. *Heliyon.* 2024; 10(13): e33231. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33231>
 60. De Graaf M., Osterhaus A.D.M.E., Fouchier R.A.M., Holmes E.C. Evolutionary dynamics of human and avian metapneumoviruses. *J. Gen. Virol.* 2008; 89(12): 2933–42. <https://doi.org/10.1099/vir.0.2008/006957-0>
 61. Buitendijk H., Fagrouch Z., Niphuis H., Bogers W., Warren K., Verschoor E. Retrospective serology study of respiratory virus infections in captive great Apes. *Viruses.* 2014; 6(3): 1442–53. <https://doi.org/10.3390/v6031442>
 62. Köndgen S., Kühl H., N'Goran P.K., Walsh P.D., Schenk S., Ernst N., et al. Pandemic Human viruses cause decline of endangered great Apes. *Curr. Biol.* 2008; 18(4): 260–4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.01.012>
 63. Kaur T., Singh J., Tong S., Humphrey C., Clevenger D., Tan W., et al. Descriptive epidemiology of fatal respiratory outbreaks and detection of a human-related metapneumovirus in wild chimpanzees (Pan troglodytes) at Mahale Mountains National Park, Western Tanzania. *Am. J. Primatol.* 2008; 70(8): 755–65. <https://doi.org/10.1002/ajp.20565>
 64. Palacios G., Lowenstine L.J., Cranfield M.R., Gilardi K.V.K., Spelman L., Lukasik-Braun M. Human metapneumovirus infection in wild mountain gorillas, Rwanda. *Emerg. Infect. Dis.* 2011; 17(4): 711–3. <https://doi.org/10.3201/eid1704.100883>
 65. Slater O.M., Terio K.A., Zhang Y., Erdman D.D., Schneider E., Kuypers J.M., et al. Human metapneumovirus infection in chimpanzees, United States. *Emerg. Infect. Dis.* 2014; 20(12): 2115–8. <https://doi.org/10.3201/eid2012.140408>
 66. Skiadopoulos M.H., Biacchesi S., Buchholz U.J., Riggs J.M., Surman S.R., Amaro-Carambot E., et al. The two major human metapneumovirus genetic lineages are highly related antigenically, and the fusion (f) protein is a major contributor to this antigenic relatedness. *J. Virol.* 2004; 78(13): 6927–37. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.13.6927-6937.2004>
 67. Kuiken T., Van Den Hoogen B.G., Van Riel D.A.J., Laman J.D., Van Amerongen G., Sprong L., et al. Experimental human metapneumovirus infection of cynomolgus macaques (*Macaca fascicularis*) results in virus replication in ciliated epithelial cells and pneumocytes with associated lesions throughout the respiratory tract. *Am. J. Pathol.* 2004; 164(6): 1893–900. [https://doi.org/10.1016/S0002-9440\(10\)63750-9](https://doi.org/10.1016/S0002-9440(10)63750-9)
 68. MacPhail M., Schickli J.H., Tang R.S., Kaur J., Robinson C., Fouchier R.A.M. Identification of small-animal and primate models for evaluation of vaccine candidates for human metapneumovirus (hMPV) and implications for hMPV vaccine design. *J. Gen. Virol.* 2004; 85(6): 1655–63. <https://doi.org/10.1099/vir.0.79805-0>
 69. Schildgen O., Simon A., Williams J. Animal models for human Metapneumovirus (HMPV) infections. *Vet. Res.* 2007; 38(1): 117–26. <https://doi.org/10.1051/vetres:2006051>
 70. Thompson I.M., Goodman P.J., Tangen C.M., Lucia M.S., Miller G.J., Ford L.G., et al. The influence of finasteride on the development of prostate cancer. *N. Engl. J. Med.* 2003; 349(3): 215–24. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa030660>
 71. O'Brien T.C., Tauraso N.M. Antibodies to type A influenza viruses in sera from nonhuman primates. *Arch. Gesamte. Virusforsch.* 1973; 40(3): 359–65. <https://doi.org/10.1007/BF01242556>
 72. Karlsson E.A., Engel G.A., Feeroz M.M., San S., Rompis A., Lee B.P., et al. Influenza virus infection in nonhuman primates. *Emerg. Infect. Dis.* 2012; 18(10): 1672–5. <https://doi.org/10.3201/eid1810.120214>
 73. Bodewes R., Rimmelzwaan G.F., Osterhaus A.D. Animal models for the preclinical evaluation of candidate influenza vaccines. *Expert. Rev. Vaccines.* 2010; 9(1): 59–72. <https://doi.org/10.1586/erv.09.148>
 74. Baskin C.R., Bielefeldt-Ohmann H., Tumpey T.M., Sabourin P.J., Long J.P., Garcia-Sastre A., et al. Early and sustained innate immune response defines pathology and death in nonhuman primates infected by highly pathogenic influenza virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2009; 106(9): 3455–60. <https://doi.org/10.1073/pnas.0813234106>
 75. Baskin C.R., Garcia-Sastre A., Tumpey T.M., Bielefeldt-Ohmann H., Carter V.S., Nistal-Villán E., et al. Integration of clinical data, pathology, and cDNA microarrays in influenza virus-infected pigtailed macaques (*Macaca nemestrina*). *J. Virol.* 2004; 78(19): 10420–32. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.19.10420-10432.2004>
 76. Carroll T.D., Matzinger S.R., Barro M., Fritts L., McChesney M.B., Miller C.J., et al. Alphavirus replicon-based adjuvants enhance the immunogenicity and effectiveness of Fluzone® in rhesus macaques. *Vaccine.* 2010; 29(5): 931–40. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.11.024>
 77. Chen Y., Deng W., Jia C., Dai X., Zhu H., Kong Q., et al. Pathological lesions and viral localization of influenza A (H5N1) virus in experimentally infected Chinese rhesus macaques: implications for pathogenesis and viral transmission. *Arch. Virol.* 2009; 154(2): 227–33. <https://doi.org/10.1007/s00705-008-0277-5>
 78. Shinya K., Gao Y., Cilloniz C., Suzuki Y., Fujie M., Deng G., et al. Integrated clinical, pathologic, virologic, and transcriptomic analysis of H5N1 influenza virus-induced viral pneumonia in the rhesus macaque. *J. Virol.* 2012; 86(11): 6055–66. <https://doi.org/10.1128/JVI.00365-12>
 79. Itoh Y., Ozaki H., Tsuchiya H., Okamoto K., Torii R., Sakoda Y., et al. A vaccine prepared from a non-pathogenic H5N1 avian influenza virus strain confers protective immunity against highly pathogenic avian influenza virus infection in cynomolgus macaques. *Vaccine.* 2008; 26(4): 562–72. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2007.11.031>
 80. Jegaskanda S., Weinfurter J.T., Friedrich T.C., Kent S.J. Antibody-dependent cellular cytotoxicity is associated with control of pandemic H1N1 influenza virus infection of macaques. *J. Virol.* 2013; 87(10): 5512–22. <https://doi.org/10.1128/JVI.03030-12>
 81. Matzinger S.R., Carroll T.D., Fritts L., McChesney M.B., Miller C.J. Exogenous IFN- α administration reduces influenza A virus replication in the lower respiratory tract of rhesus macaques. *PLoS One.* 2011; 6(12): e29255. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029255>
 82. Rimmelzwaan G.F., Baars M., Van Amerongen G., Van Beek R., Osterhaus A.D.M.E. A single dose of an ISCOM influenza vaccine induces long-lasting protective immunity against homologous challenge infection but fails to protect cynomolgus macaques against distant drift variants of influenza A (H3N2) viruses. *Vaccine.* 2001; 20(1-2): 158–63. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(01\)00262-6](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(01)00262-6)
 83. Rimmelzwaan G.F., Kuiken T., Van Amerongen G., Bestebroer T.M., Fouchier R.A.M., Osterhaus A.D.M.E. Pathogenesis of influenza A (H5N1) virus infection in a primate model. *J. Virology.* 2001; 75(14): 6687–91. <https://doi.org/10.1128/JVI.75.14.6687-6691.2001>
 84. Cillóniz C., Shinya K., Peng X., Korth M.J., Proll S.C., Aicher L.D., et al. Lethal influenza virus infection in macaques is associated with early dysregulation of inflammatory related genes. *PLoS Pathog.* 2009; 5(10): e1000604. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000604>
 85. Murphy B.R., Hinshaw V.S., Sly D.L., London W.T., Hosier N.T., Wood F.T., et al. Virulence of avian influenza A viruses for squirrel

- monkeys. *Infect. Immun.* 1982; 37(3): 1119–26. <https://doi.org/10.1128/iai.37.3.1119-1126.1982>
86. Mooij P., Koopman G., Mortier D., van Heteren M., Oostermeijer H., Fagrouch Z., et al. Pandemic swine-origin H1N1 influenza virus replicates to higher levels and induces more fever and acute inflammatory cytokines in cynomolgus versus rhesus monkeys and can replicate in common marmosets. *PLoS One.* 2015; 10(5): e0126132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126132>
 87. Jacobs S.E., Lamson D.M., George K.St., Walsh T.J. Human rhinoviruses. *Clin. Microbiol. Rev.* 2013; 26(1): 135–62. <https://doi.org/10.1128/CMR.00077-12>
 88. Negrey J.D., Reddy R.B., Scully E.J., Phillips-Garcia S., Owens L.A., Kevin E., et al. Simultaneous outbreaks of respiratory disease in wild chimpanzees caused by distinct viruses of human origin. *Emerg. Microb. Infect.* 2019; 8(1): 139–49. <https://doi.org/10.1080/22221751.2018.1563456>
 89. Pinto C.A., Haff R.F. Experimental infection of gibbons with rhinovirus. *Nature.* 1969; 224(526): 1310–1.
 90. Martin G.V., Heath R.B. Rhinovirus infection of vervet monkeys. *Br. J. Exp. Pathol.* 1969; 50(5): 516–9.
 91. V'kovski P., Kratzel A., Steiner S., Stalder H., Thiel V. Coronavirus biology and replication: implications for SARS-CoV-2. *Nat. Rev. Microbiol.* 2021; 19(3): 155–70. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00468-6>
 92. Goncharuk E.I., Shevtsova Z.V., Rumel' N.B., Krylova R.I. Spontaneous coronavirus infection in monkeys. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii.* 1994; (Suppl. 1): 109–14. (in Russian)
 93. Goncharuk E.I., Shevtsova Z.V., Krylova R.I., Rumel' N.B., Stetsenko V.I. The experimental coronavirus infection of monkeys. *Mikrobiologicheskii zhurnal (Kiev).* 1994; 56(3): 65–71. (in Russian)
 94. Greenough T.C., Carville A., Coderre J., Somasundaran M., Sullivan J.L., Luzuriaga K., et al. Pneumonitis and multi-organ system disease in common marmosets (*Callithrix jacchus*) infected with the severe acute respiratory syndrome-associated coronavirus. *Am. J. Pathol.* 2005; 167(2): 455–63. [https://doi.org/10.1016/S0002-9440\(10\)62989-6](https://doi.org/10.1016/S0002-9440(10)62989-6)
 95. McAuliffe J., Vogel L., Roberts A., Fahle G., Fischer S., Shieh W.J., et al. Replication of SARS coronavirus administered into the respiratory tract of African Green, rhesus and cynomolgus monkeys. *Virology.* 2004; 330(1): 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2004.09.030>
 96. Qin C., Wang J., Wei Q., She M., Marasco W.A., Jiang H., et al. An animal model of SARS produced by infection of *Macaca mulatta* with SARS coronavirus. *J. Pathol.* 2005; 206(3): 251–9. <https://doi.org/10.1002/path.1769>
 97. Rowe T., Gao G., Hogan R.J., Crystal R.G., Voss T.G., Grant R.L., et al. Macaque model for severe acute respiratory syndrome. *J. Virol.* 2004; 78(20): 11401–4. <https://doi.org/10.1128/JVI.78.20.11401-11404.2004>
 98. Kobinger G.P., Figueredo J.M., Rowe T., Zhi Y., Gao G., Sanmiguell J.C., et al. Adenovirus-based vaccine prevents pneumonia in ferrets challenged with the SARS coronavirus and stimulates robust immune responses in macaques. *Vaccine.* 2007; 25(28): 5220–31. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2007.04.065>
 99. Kuiken T., Am Fouchier R., Schutten M., Rimmelzwaan G.F., Van Amerongen G., Van Riel D., et al. Newly discovered coronavirus as the primary cause of severe acute respiratory syndrome. *Lancet.* 2023; 362(9380): 263–70. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)13967-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)13967-0)
 100. Aid M., Busman-Sahay K., Vidal S.J., Maliga Z., Bondoc S., Starke C., et al. Vascular disease and thrombosis in SARS-CoV-2-infected rhesus macaques. *Cell.* 2020; 183(5): 1354–66.e13. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.10.005>
 101. Blair R.V., Vaccari M., Doyle-Meyers L.A., Roy C.J., Russell-Lodrigue K., Fahlberg M., et al. Acute respiratory distress in aged, SARS-CoV-2-infected African green monkeys but not rhesus macaques. *Am. J. Pathol.* 2021; 191(2): 274–82. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2020.10.016>
 102. Chandrashekar A., Liu J., Martinot A.J., McMahan K., Mercado N.B., Peter L., et al. SARS-CoV-2 infection protects against rechallenge in rhesus macaques. *Science.* 2020; 369(6505): 812–7. <https://doi.org/10.1126/science.abc4776>
 103. Deng W., Bao L., Liu J., Xiao C., Liu J., Xue J., et al. Primary exposure to SARS-CoV-2 protects against reinfection in rhesus macaques. *Science.* 2020; 369(6505): 818–23. <https://doi.org/10.1126/science.abc5343>
 104. Deng W., Bao L., Gao H., Xiang Z., Qu Y., Song Z., et al. Ocular conjunctival inoculation of SARS-CoV-2 can cause mild COVID-19 in rhesus macaques. *Nat. Commun.* 2020; 11(1): 4400. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18149-6>
 105. Fahlberg M.D., Blair R.V., Doyle-Meyers L.A., Midkiff C.C., Zenere G., Russell-Lodrigue K.E., et al. Cellular events of acute, resolving or progressive COVID-19 in SARS-CoV-2 infected non-human primates. *Nat. Commun.* 2020; 11(1): 6078. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19967-4>
 106. Koo B.S., Oh H., Kim G., Hwang E.H., Jung H., Lee Y., et al. Transient lymphopenia and interstitial pneumonia with endotheliitis in SARS-CoV-2-infected macaques. *J. Infect. Dis.* 2020; 222(10): 1596–600. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa486>
 107. Lu S., Zhao Y., Yu W., Yang Y., Gao J., Wang J., et al. Comparison of nonhuman primates identified the suitable model for COVID-19. *Signal. Transduct. Target. Ther.* 2020; 5(1): 157. <https://doi.org/10.1038/s41392-020-00269-6>
 108. Munster V.J., Feldmann F., Williamson B.N., Van Doremalen N., Pérez-Pérez L., Schulz J., et al. Respiratory disease in rhesus macaques inoculated with SARS-CoV-2. *Nature.* 2020; 585(7824): 268–72. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2324-7>
 109. Rosa B.A., Ahmed M., Singh D.K., Choreño-Parra J.A., Cole J., Jiménez-Álvarez L.A., et al. IFN signaling and neutrophil degranulation transcriptional signatures are induced during SARS-CoV-2 infection. *Commun. Biol.* 2021; 4(1): 290. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01829-4>
 110. Salguero F.J., White A.D., Slack G.S., Fotheringham S.A., Bewley K.R., Gooch K.E., et al. Comparison of rhesus and cynomolgus macaques as an infection model for COVID-19. *Nat. Commun.* 2021; 12(1): 1260. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21389-9>
 111. Shan C., Yao Y.F., Yang X.L., Zhou Y.W., Gao G., Peng Y., et al. Infection with novel coronavirus (SARS-CoV-2) causes pneumonia in Rhesus macaques. *Cell Res.* 2020; 30(8): 670–7. <https://doi.org/10.1038/s41422-020-0364-z>
 112. Singh D.K., Singh B., Ganatra S.R., Gazi M., Cole J., Thippeshappa R., et al. Responses to acute infection with SARS-CoV-2 in the lungs of rhesus macaques, baboons and marmosets. *Nat. Microbiol.* 2020; 6(1): 73–86. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-00841-4>
 113. Song T.Z., Zheng H.Y., Han J.B., Jin L., Yang X., Liu F.L., et al. Delayed severe cytokine storm and immune cell infiltration in SARS-CoV-2-infected aged Chinese rhesus macaques. *Zool. Res.* 2020; 41(5): 503–16. <https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2020.202>
 114. Yu P., Qi F., Xu Y., Li F., Liu P., Liu J., et al. Age-related rhesus macaque models of COVID-19. *Animal Model Exp. Med.* 2020; 3(1): 93–7. <https://doi.org/10.1002/ame.12108>
 115. Zheng H., Li H., Guo L., Liang Y., Li J., Wang X., et al. Virulence and pathogenesis of SARS-CoV-2 infection in rhesus macaques: A nonhuman primate model of COVID-19 progression. *PLoS Pathog.* 2020; 16(11): e1008949. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008949>
 116. Johnston S.C., Ricks K.M., Jay A., Raymond J.L., Rossi F., Zeng X., et al. Development of a coronavirus disease 2019 nonhuman primate model using airborne exposure. *PLoS One.* 2021; 16(2): e0246366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246366>
 117. Ishigaki H., Nakayama M., Kitagawa Y., Nguyen C.T., Hayashi K., Shiohara M., et al. Neutralizing antibody-dependent and -independent immune responses against SARS-CoV-2 in cynomolgus macaques. *Virology.* 2021; 554: 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2020.12.013>
 118. Rockx B., Kuiken T., Herfst S., Bestebroer T., Lamers M.M., Munnink B.B.O., et al. Comparative pathogenesis of COVID-19, MERS, and SARS in a nonhuman primate model. *Science.* 2020; 368(6494): 1012–5. <https://doi.org/10.1126/science.abb7314>
 119. Cross R.W., Agans K.N., Prasad A.N., Borisevich V., Woolsey C., Deer D.J., et al. Intranasal exposure of African green monkeys to SARS-CoV-2 results in acute phase pneumonia with shedding and lung injury still present in the early convalescence phase. *Virology.* 2020; 17(1): 125. <https://doi.org/10.1186/s12985-020-01396-w>
 120. Hartman A.L., Nambulli S., McMillen C.M., White A.G., Tilston-Lunel N.L., Albe J.R., et al. SARS-CoV-2 infection of African green monkeys results in mild respiratory disease discernible by PET/CT imaging and shedding of infectious virus from both respiratory and gastrointestinal tracts. *PLoS Pathog.* 2020; 16(9): e1008903. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008903>
 121. Speranza E., Williamson B.N., Feldmann F., Sturdevant G.L., Pérez-Pérez L., Meade-White K., et al. Single-cell RNA sequencing reveals SARS-CoV-2 infection dynamics in lungs of African green monkeys. *Sci. Transl. Med.* 2021; 13(578): eabe8146. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.abe8146>
 122. Woolsey C., Borisevich V., Prasad A.N., Agans K.N., Deer D.J., Dobias N.S., et al. Establishment of an African green monkey model

- for COVID-19 and protection against re-infection. *Nat. Immunol.* 2021; 22(1): 86–98. <https://doi.org/10.1038/s41590-020-00835-8>
123. Erasmus J.H., Khandhar A.P., O'Connor M.A., Walls A.C., Hemann E.A., Murapa P., et al. An Alphavirus -derived replicon RNA vaccine induces SARS-CoV-2 neutralizing antibody and T cell responses in mice and nonhuman primates. *Sci. Transl. Med.* 2020; 12: eabc9396. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.abc9396>
 124. Tian J.H., Patel N., Haupt R., Zhou H., Weston S., Hammond H., et al. SARS-CoV-2 spike glycoprotein vaccine candidate NVX-CoV2373 immunogenicity in baboons and protection in mice. *Nat. Commun.* 2021; 12(1): 372. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20653-8>
 125. Walls A.C., Fiala B., Schäfer A., Wrenn S., Pham M.N., Murphy M., et al. Elicitation of potent neutralizing antibody responses by designed protein nanoparticle vaccines for SARS-CoV-2. *Cell.* 2020; 183(5): 1367–82.e17. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.10.043>
 126. Liu Z.J., Qian X.K., Hong M.H., Zhang J.L., Li D.Y., Wang T.H., et al. Global view on virus infection in non-human primates and implications for public health and wildlife conservation. *Zool. Res.* 2021; 42(5): 626–32. <https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2021.080>
 127. Cano-Terriza D., Beato-Benitez A., Fernández-Bastit L., Segalés J., Vergara-Alert J., Martínez-Nevado E., et al. SARS-CoV-2 in captive nonhuman primates, Spain, 2020–2023. *Emerg. Infect. Dis.* 2024; 30(6): 1253–7. <https://doi.org/10.3201/eid3006.231247>
 128. Dusseldorp F., Bruins-van-Sonsbeek L.G.R., Buskermolen M., Niphuis H., Dirven M., Whelan J., et al. SARS-CoV-2 in lions, gorillas and zookeepers in the Rotterdam Zoo, the Netherlands, a One Health investigation, November 2021. *Euro Surveill.* 2023; 28(28): 2200741. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.28.2200741>
 129. Nagy A., Stará M., Vodička R., Černíková L., Jiřincová H., Křivda V., et al. Reverse-zoonotic transmission of SARS-CoV-2 lineage alpha (B.1.1.7) to great apes and exotic felids in a zoo in the Czech Republic. *Arch. Virol.* 2022; 167(8): 1681–5. <https://doi.org/10.1007/s00705-022-05469-9>
 130. Yaglom H.D., Roth A., Alvarez C., Corbus E., Ghai R.R., Ferguson S., et al. Detection of SARS-CoV-2 in a squirrel monkey (*Saimiri sciureus*): a one health investigation and response. *J. Zoo Wildl. Med.* 2024; 55(2): 471–8. <https://doi.org/10.1638/2023-0052>
 131. Carvajal M., Saenz C., Fuentes N., Guevara R., Muñoz E., Prado-Vivar B., et al. SARS-CoV-2 infection in brown-headed spider monkeys (*Ateles fusciceps*) at a wildlife rescue center on the coast of Ecuador-South America. *Microbiol. Spectr.* 2024; 12(4): e0274123. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02741-23>

Информация об авторах:

Догодов Дмитрий Игоревич ✉ – канд. биол. наук, начальник лаборатории инфекционных вирусов Курчатовского комплекса медицинской приматологии НИЦ «Курчатовский институт», Сочи, Россия. E-mail: dima_loko86@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1596-0509>

Кюрегян Карен Каренович – д-р биол. наук, профессор РАН, заведующий лабораторией молекулярной эпидемиологии вирусных гепатитов ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, ведущий научный сотрудник лаборатории вирусных гепатитов ФГБНУ «НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова», Москва, Россия. E-mail: karen-kyuregyan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3599-117X>

Миносян Альберт Артурович – лаборант-исследователь лаборатории инфекционных вирусов Курчатовского комплекса медицинской приматологии НИЦ «Курчатовский институт», Сочи, Россия. E-mail: malbert97@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0007-6459-1451>

Гончаренко Александра Михайловна – научный сотрудник лаборатории инфекционных вирусов Курчатовского комплекса медицинской приматологии НИЦ «Курчатовский институт», Сочи, Россия. E-mail: morgan_123@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6979-9784>

Шмат Елена Викторовна – канд. тех. наук, доцент, заведующая кафедрой ветеринарной медицины и ветеринарно-санитарной экспертизы Сочинского института (филиал) ФГАОУ ВО РУДН им. Патриса Лумумбы, Сочи, Россия. E-mail: shmatlena@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-0610-7131>

Михайлов Михаил Иванович – д-р мед. наук, профессор, член-корр. РАН, главный научный сотрудник лаборатории молекулярной эпидемиологии вирусных гепатитов ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, заведующий лабораторией вирусных гепатитов, ФГБНУ «НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова», Москва, Россия. E-mail: michmich2@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6636-6801>

Участие авторов: Догодов Д.И. – обзор публикаций на тему статьи, написание и научное редактирование текста; Кюрегян К.К. – обзор публикаций на тему статьи, написание и научное редактирование текста; Миносян А.А. – обзор публикаций на тему статьи, научное редактирование текста; Гончаренко А.М. – обзор публикаций на тему статьи, научное редактирование текста; Шмат Е.В. – обзор публикаций на тему статьи, научное редактирование текста; Михайлов М.И. – обзор публикаций на тему статьи, научное редактирование текста.

Поступила 14.01.2025
Принята в печать 24.02.2025
Опубликована 28.02.2025

Information about the authors:

Dmitry I. Dogadov ✉ – Ph.D. (Biol.), Head of the Laboratory of Infection Virology of Kurchatov Complex of Medical Primatology, Kurchatov Institute Scientific Research Center, Sochi, Russia. E-mail: dima_loko86@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1596-0509>

Karen K. Kyuregyan – D.Sci. (Biol.), Professor of the RAS, Head of the Laboratory of Molecular Epidemiology of Viral Hepatitis Central Research Institute of Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Moscow, Russia, Leading Researcher at the Laboratory of Viral Hepatitis, I.I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russia. E-mail: karen-kyuregyan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3599-117X>

Albert A. Minosyan – research laboratory assistant at the Laboratory of Infection Virology, Kurchatov Complex of Medical Primatology, Kurchatov Institute Scientific Research Center, Sochi, Russia. E-mail: malbert97@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0007-6459-1451>

Aleksandra M. Goncharenko – researcher at the Laboratory of Infection Virology, Kurchatov Complex of Medical Primatology, Kurchatov Institute Scientific Research Center, Sochi, Russia. E-mail: morgan_123@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6979-9784>

Elena V. Shmat – Ph.D. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Veterinary Medicine and Veterinary-Sanitary Expertise of the Sochi Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Sochi, Russia. E-mail: shmatlena@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-0610-7131>

Mikhail I. Mikhailov – D.Sci. (Biol.), Professor, Academician of RAS, Chief Researcher at the Laboratory of Molecular Epidemiology of Viral Hepatitis Central Research Institute of Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Head of the Laboratory of Viral Hepatitis, I.I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russia. E-mail: michmich2@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6636-6801>

Contribution: Dogadov D.I. – review of publications on the topic of the article, writing and editing of manuscript; Kyuregyan K.K. – review of publications on the topic of the article, manuscript review and editing; Minosyan A.A. – review of publications on the topic of the article, manuscript editing; Goncharenko A.M. – review of publications on the topic of the article, manuscript editing; Shmat E.V. – review of publications on the topic of the article, text editing; Mikhailov M.I. – review of publications on the topic of the article, manuscript editing.

Received 14 January 2025
Accepted 24 February 2025
Published 28 February 2025