Бактериология, 2026, том 11, №2, с. 104–114
Bacteriology, 2026, volume 11, No 2, p. 104–114

DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-104-114

Профилактическая вакцинация у обезьян: современные подходы, риски и перспективы формирования единого календаря вакцинации

Д.И.Догадов, В.Г.Оробей, С.А.Фокин, Г.Г.Онищенко

Курчатовский комплекс медицинской приматологии НИЦ «Курчатовский институт», Сочи, Российская Федерация

Тесные эволюционные связи между человеком и обезьянами обуславливают циркуляцию патогенов, которые характерны для обоих видов. Обезьяны подвержены многим инфекционным заболеваниям, угрожающим как их здоровью и жизни, так и здоровью людей, взаимодействующих с ними. Вакцинация обезьян в приматологических центрах предотвращает распространение заболеваний, обеспечивает защиту животных и сотрудников.

На сегодняшний день отсутствует универсальный календарь профилактических прививок и прививок по эпидемическим показаниям для обезьян, а данные об эффективности и безопасности многих человеческих вакцин применительно к различным видам приматов недостаточно изучены.

В данной статье представлен систематический обзор современных подходов к профилактике социально значимых и зоонозных инфекций, включая вирусы Эбола, кори, бешенства, гепатитов А и В, вируса гриппа, желтой лихорадки, оспы и SARS-CoV-2.

Проведенный анализ опубликованных данных свидетельствует о том, что при разработке протоколов иммунизации необходимо учитывать видовую чувствительность, возраст и статус здоровья животных, отдавать приоритет инактивированным препаратам и избегать использования живых аттенуированных вакцин, не прошедших испытания на конкретных видах, из-за риска возникновения вспышек заболеваний.

Ключевые слова: приматы, вакцинация, зоонозы, биологическая безопасность, календарь прививок, антитела

Для цитирования: Догадов Д.И., Оробей В.Г., Фокин С.А., Онищенко Г.Г. Профилактическая вакцинация у обезьян: современные подходы, риски и перспективы формирования единого календаря вакцинации. Бактериология. 2026; 11(2): 104–114. DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-104-114

Preventive vaccination in monkeys: modern approaches, risks and prospects for the formation of a unified vaccination schedule

D.I.Dogadov, V.G.Orobei, S.A.Fokin, G.G.Onishchenko

Kurchatov Complex of Medical Primatology of National Research Center “Kurchatov Institute”, Sochi, Russian Federation

The close evolutionary relationship between humans and non human primates results in the circulation of pathogens common to both species. Monkeys are susceptible to many infectious diseases that threaten their health and life, as well as the health of people who interact with them. Vaccination of monkeys in primate centers prevents the spread of diseases and protects animals and staff.

Currently, there is no universal schedule of preventive vaccinations or vaccinations for epidemic indications for monkeys, and data on the efficacy and safety of many human vaccines in various primate species are insufficiently studied.

This article presents a systematic review of current approaches to the prevention of socially significant and zoonotic infections, including Ebola, measles, rabies, hepatitis A and B, influenza, yellow fever, smallpox, and SARS-CoV-2.

An analysis of published data suggests that when developing immunization protocols, it is necessary to take into account species susceptibility, age and health status of animals, prioritize inactivated preparations and avoid the use of live attenuated vaccines that have not been tested on specific species due to the risk of disease outbreaks.

Key words: primates, vaccination, zoonoses, biological safety, vaccination schedule, antibodies

For citation: Dogadov D.I., Orobei V.G., Fokin S.A., Onishchenko G.G. Preventive vaccination in monkeys: modern approaches, risks and prospects for the formation of a unified vaccination schedule. Bacteriology. 2026; 11(2): 104–114. (In Russian). DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-104-114

Для корреспонденции:

Догадов Дмитрий Игоревич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии и вирусологии, Курчатовский комплекс медицинской приматологии НИЦ «Курчатовский институт»

Адрес: 354376, с. Весёлое, Адлерский р-н, г. Сочи, ул. Мира, стр. 177
ORCID: 0000-0003-1596-0509

Статья поступила 30.04.2026, принята к печати 30.06.2026

For correspondence:

Dmitry I. Dogadov, PhD in Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Microbiology and Virology Kurchatov Complex of Medical Primatology, National Research Center “Kurchatov Institute”

Address: 177 Mira str., Vesyoloye village, Adler district, Sochi, 354376, Russian Federation
ORCID: 0000-0003-1596-0509

The article was received 30.04.2026, accepted for publication 30.06.2026

Тесные эволюционные отношения между людьми и обезьянами являются причиной того, что микробиом обезьян включает представителей практически всех групп микроорганизмов, которые инфицируют и вызывают заболевания у человека. Это особенно актуально для приматологических центров, в которых часто происходит оборот или перемещение животных, а также для заведений и территорий, где обезьян, поступивших из мест естественного обитания, вводят в колонии восприимчивых к инфекции животных [1]. В связи с этим вакцинация является важным инструментом для профилактики и контроля инфекционных заболеваний, обеспечивая защиту людей и колоний животных.

Несмотря на то, что профилактическая вакцинация применяется во многих зоопарках и приматологических центрах мира, в литературе нет информации о календаре вакцинации обезьян. Кроме того, используемые схемы в большинстве случаев не являются универсальными и не могут быть применены в конкретных условиях того или иного учреждения. Также следует отметить, что для многих вирусных инфекций не разработаны эффективные вакцины, а в тех случаях, когда они разработаны для людей, нет информации об их эффективности для различных видов приматов.

На сегодняшний день во многих приматологических центрах мира при карантине импортированных животных тестируют, как правило, на туберкулез и латентные вирусные инфекции обезьян, которые необходимы для подтверждения SPF-статуса. Проведенные исследования свидетельствуют, что в современных условиях необходима система расширенного скрининга вирусных и бактериальных инфекций с учетом эпидобстановки как в стране импорта, так и в стране экспорта животных. Кроме того, необходима вакцинация сотрудников и обслуживающего персонала для обеспечения протективного иммунитета, а также для снижения вероятности передачи социально значимых инфекций обезьянам от человека и наоборот [1, 2].

Целью данной работы являлись систематизация и анализ имеющихся данных о применении вакцин против социально значимых и зоонозных вирусных инфекций у различных видов обезьян, а также обоснование необходимости разработки календаря профилактических прививок и календаря профилактических прививок по эпидемическим показаниям для обеспечения биологической безопасности животных в приматологических центрах и зоопарках.

Общие принципы и риски вакцинации

Вакцинация приматов является важным инструментом предотвращения инфекционных заболеваний, однако ее применение требует тщательного баланса между защитой популяций животных и минимизацией сопутствующих рисков. При вакцинации обезьян следует избегать живых вакцин, которые не были испытаны на конкретных видах приматов, так как существует риск возникновения вспышки заболевания среди животных. Из-за различного географического распространения инфекций, а также различий правил содержания обезьян в приматологических центрах и зоопарках на сегодняшний день не существует единого календаря прививок, а вакцинация зависит от эпидемиологической обстановки в том или ином регионе [3]. Несмотря на эти различия, многие авторы рекомендуют учитывать определенные факторы при разработке календаря профилактических прививок, календаря профилактических прививок по эпидемическим показаниям и порядка их проведения: вид, возраст, состояние здоровья и предыдущие вакцинации животного; эффективность, безопасность, побочные эффекты, стоимость, доступность и условия хранения иммунологических препаратов; расположение вольеров, риски для персонала в приматологическом центре или зоопарке; распространенность заболевания в регионе, пути передачи инфекции, тяжесть болезни и зоонозный риск [4].

Бактериальные инфекции

Бактериальный менингит

Грамположительная бактерия *Streptococcus pneumonia* и грамотрицательная *Haemophilus influenza* широко распространены в антропогенной среде и являются этиологическими агентами бактериального менингита у обезьян, особенно после вирусной инфекции [5]. На сегодняшний день для людей зарегистрированы вакцины как против *S. pneumonia*, так и против *H. influenza*, но применение вакцины против *S. pneumonia* у обезьян в литературе не описано, а применение конъюгированной вакцины против *H. influenza* у шимпанзе оказалось неудачным [6]. Тем не менее согласно рекомендациям Ассоциации зоопарков и аквариумов США вакцины против этих бактерий являются обязательными для молодых орангутанов [7].

В России лицензированы инактивированные вакцины против пневмококковой инфекции – «Синфлорикс» (Бельгия), «Превенар 13» (США), «Пневмовакс 23» (США), а также 3 моновакцины для защиты от гемофильной инфекции – «Хиберикс» (Бельгия), «Акт-ХИБ» (Франция) и вакцина гемофильная типа b конъюгированная (Россия), однако их применение на обезьянах в рецензируемой литературе не описано.

Klebsiella pneumonia

K. pneumonia – грамотрицательная бактерия, которая вызывает у обезьян тяжелые инфекции с высокой летальностью, сопровождающиеся пневмонией, менингитом и гастроэнтеритом [8].

Для контроля заболеваемости в приматологических центрах были апробированы различные подходы к иммунизации, включая использование инактивированных и капсульных полисахаридных вакцин на низших обезьянах Нового Света (*Aotus lemurinus*, *Saimiri sciureus*, *Callithrix jacchus*) [9].

Эффективность вакцинации была подтверждена на моделях ночных обезьян и беличьих саймири, где удалось достичь значительного снижения летальности. Однако вариативность реактогенности – от отсутствия побочных явлений до гибели детенышей от эндотоксинемии – указывает на то, что существующие протоколы требуют адаптации под конкретные виды приматов [9].

На сегодняшний день отсутствие лицензированных вакцин против *K. pneumoniae* и информации о безопасности для различных видов обезьян существующих человеческих вакцин ограничивает их использование в зоопарках и приматологических центрах мира.

Лептоспироз

Лептоспироз представляет собой значимый природно-очаговый зооноз, вызываемый бактериями рода *Leptospira*. На

сегодняшний день классифицировано 66 патогенных и непатогенных видов возбудителя, включающих >300 различных сероваров. Естественным резервуаром инфекции в природе выступают грызуны. Вспышки лептоспироза среди обезьян зафиксированы как в естественных условиях обитания, так и среди содержащихся в неволе животных. Клиническая картина заболевания характеризуется развитием адинамии, анорексии, диареи, рвоты и летальным исходом [10].

На сегодняшний день описан опыт успешной элиминации лептоспирозной инфекции у беличьих обезьян (*S. sciureus*) путем применения формальдегид-инактивированной вакцины. Протокол иммунизации включал двукратное подкожное введение препарата с интервалом в 3 нед. и не сопровождался побочными эффектами [11]. Тем не менее в литературе нет сведений об использовании аналогичных вакцинных препаратов у других видов обезьян.

В России для специфической профилактики лептоспироза разработана инактивированная лептоспирозная вакцина, которая содержит смесь из 4 серогрупп возбудителя. Она дает надежную защиту от распространенных в России видов *Leptospira interrogans*, однако нет данных о применении этой вакцины среди обезьян.

Столбняк

Возбудитель столбняка – грамположительная анаэробная бактерия *Clostridium tetani* – широко распространен в окружающей среде. При попадании спор бактерии в рану происходит их активация с выделением мощного нейротоксина, который вызывает патологическую гиперактивность мышц, проявляющуюся в форме тяжелых тетанических спазмов [12].

Столбняк представляет серьезную опасность для всех видов обезьян. Заболевание характеризуется высокой летальностью, достигающей 77–100%. Исторические данные показывают, что в тропических колониях макак резусов до начала применения вакцин столбняк становился причиной почти каждой 4-й смерти (24,7%). Несмотря на высокую опасность, во многих приматологических центрах мира животных не вакцинируют.

Для иммунизации обезьян применяют столбнячный анатоксин для выработки иммунитета против нейротоксина *C. tetani*. В опытах на макаках резусах было показано, что введение 2 доз столбнячного анатоксина не вызывало побочных эффектов, обеспечивало, по-видимому, пожизненный иммунитет и позволило снизить смертность от столбняка до 0% [13].

На сегодняшний день многие руководства по приматам предлагают различные схемы вакцинации для обезьян, однако исследования эффективности для многих видов обезьян не проводилось, в связи с этим все рекомендации необходимо интерпретировать с осторожностью, пока в рецензируемой литературе не появятся результаты исследования эффективности [4].

Yersinia pseudotuberculosis

Y. pseudotuberculosis представляет собой грамотрицательную аэробную бактерию, которая является возбудителем клинического иерсиниоза. Вспышки заболевания описаны у многих видов животных, в т.ч. и обезьян (*Ateles fusciceps*, *Mico argentatus*), саймири и серебристых игрунок (*Mico argentatus*). Клиническая картина у обезьян характеризуется анорексией, апатией, диареей, атаксией и внезапной гибелью [14].

На сегодняшний день в мире есть две коммерческие вакцины – Pseudovac® (Нидерланды) и Yersiniavax® (Новая Зеландия), однако отсутствуют данные об оценке эффективности этих вакцин применительно к обезьянам [4].

Вирусные инфекции

Вирусы Эбола

Геморрагическая лихорадка Эбола – острое высококонтагиозное заболевание, вызываемое вирусом Эбола (род *Orthoebolavirus*, семейство *Filoviridae*), – представляет большую угрозу для диких человекообразных обезьян. Вспышки в популяциях горилл приводили к их сокращению на 90%, а среди шимпанзе – на 98%. Заражение обезьян происходит при прямом контакте с биологическими жидкостями или телами погибших животных, а природным резервуаром считаются крыланы семейства *Pteropodidae*. Охота или разделка приматов являлись причиной заражения вирусом людей, кроме того, вспышки геморрагической лихорадки среди людей происходили одновременно со вспышками среди обезьян в Центральной и Западной Африке [15].

Существуют различные вакцины против вируса Эбола. Одна из них – ERVEBO, живая аттенуированная рекомбинантная вакцина (Merck, США). Была показана ее эффективность для макак яванских (*Macaca fascicularis*) при внутримышечном, пероральном или интраназальном введении. Недостатками данной вакцины являются необходимость хранения при температуре -70°C и риск побочных эффектов (артрит, лихорадка), зафиксированных у людей [16].

Zabdeno/Mvabea – двухкомпонентная векторная вакцина (на основе аденовируса и вируса осповакцины) производства Johnson & Johnson (США). Двукратное введение этой вакцины с интервалом в 8 нед. обеспечивало полную защиту макак яванских от штамма Эбола Заир без видимых побочных реакций [17].

В России созданы высокоэффективные вакцины для людей «ГамЭвак» и «ГамЭвакКомби», однако данных о применении этих вакцин у обезьян нет.

Продолжаются исследования новых вакцин с альтернативными способами введения, так как существующие не подходят для массовой иммунизации популяции диких обезьян. В частности, была разработана вакцина на основе цитомегаловирусного вектора макак резусов, которая может распространяться среди животных. Эта вакцина показала эффективность от летального заражения вирусом Эбола у 80% макак резусов [18]. Среди шимпанзе были проведены испытания препарата FILORAB1 – рекомбинантной бивалентной инактивированной вакцины против вируса Эболы на основе вируса бешенства. Однократное (как пероральное, так и внутримышечное) введение привело к выработке антител, сопоставимое с таким же количеством, как и при введении вакцины на основе вирусоподобных частиц, без побочных эффектов. Тем не менее после вакцинации заражение вирусом не проводилось и эффективность вакцины не подтверждена [19].

Вирус энцефаломиокардита

Вирус энцефаломиокардита (род *Cardiovrus* A, семейство *Picornaviridae*) переносится крысами, которые заражают

корма и воду своими экскрементами. Смертельные вспышки этого вируса, а также родственного с ним вируса Менго были зафиксированы у широкого круга приматов Старого и Нового Света, включая человекообразных обезьян. Данная инфекция считается зоонозной, но клинические проявления у людей встречаются редко, и заражение, по-видимому, происходит не от инфицированных обезьян, а в результате контакта с экскрементами грызунов [20].

Одним из ранних методов вакцинации обезьян была перекрестная защита с использованием аттенуированного вируса Менго, при введении которой у павианов анубисов и макак резусов вырабатывались защитные титры антител без побочных эффектов [21].

Также разработана инактивированная вакцина на основе штамма EMCV-3 (SING-M105), выделенного от орангутанов. В испытаниях на мышах она показала высокую иммуногенность и хорошую переносимость, однако данные о ее применении на приматах пока не опубликованы [22].

Опубликованы данные исследования, в ходе которого после вакцинации у шимпанзе в течение как минимум 36 мес. сохранялись антитела. Существенным недостатком данной вакцины является использование для инактивации β-пропиолактона, который считается канцерогеном [23].

На павианах гамадрилах была протестирована одна из коммерческих вакцин для свиней EMC Vac (США). Двукратное внутримышечное введение препарата с интервалом в 21 день позволило сформировать стойкие титры антител у 5 из 6 животных длительностью не менее 6 мес., при этом никаких побочных эффектов зафиксировано не было.

Следует отметить, что в Российской Федерации вакцин против вируса энцефаломиокардита пока не зарегистрировано.

Вирус кори (ВК)

Корь – это высококонтагиозное, потенциально смертельное, но вакциноуправляемое заболевание, вызываемое РНК-содержащим вирусом, относящимся к семейству *Paramyxoviridae*, роду *Morbillivirus*.

Многие виды африканских и азиатских обезьян, включая антропоидов, восприимчивы к ВК. Вспышки спонтанной кори описаны во многих приматологических центрах мира. Как и у людей, корь у обезьян высококонтагиозна. Источником инфекции для обезьян считается человек. Являются ли обезьяны резервуаром инфекции для человека, до конца не изучено [2].

В современных условиях единственным способом защиты обезьян от кори является вакцинация. Она необходима не только животным, содержащимся в неволе (зоопарки, приматологические центры), но и популяциям обезьян, обитающим в естественных условиях в различных национальных парках мира, так как эти животные подвергаются постоянному контакту с людьми (туристы, наблюдающие за животными ученые) и тем самым имеют потенциальный риск заражения. Особенно это касается человекообразных обезьян, которые находятся на грани вымирания, имеют большое генетическое сходство с людьми и поэтому особенно подвержены антропонозным инфекциям. Было показано, что вакцинация препаратом Attenuvax вызывает у обезьян стойкий иммунитет, в частности, вакцинация у горилл способствовала выработке стойкого иммунитета минимум до 11 лет [24]. Исследование моновалентной вакцины MVac® (Serum Institute of India) показало наличие антител у 100% макак резусов и 87,5% свинохвостых макак, побочных эффектов не наблюдалось [25].

Экспериментальные исследования, проведенные на макаках резусах, показали, что вакцинировать животных необходимо с 6-месячного возраста, так как животные младше 6 мес. на вакцинацию практически не отвечают. У животных в возрасте 6–14 мес. стойкий иммунитет вырабатывается после введения 2 доз вакцины с перерывом 6–8 мес., тогда как у животных старше 14 мес. защитный титр антител вырабатывается после однократного введения антикоревой вакцины [26].

Для вакцинации используются как моновалентные вакцины, так и комбинированные препараты против кори, паротита и краснухи. В России разрешены к применению следующие вакцины против кори: вакцина паротитно-коревая культуральная живая (НПО «Микроген»), «Вактривир» (НПО «Микроген»), MMP® II (MSD), «Приорикс» (GSK), вакцина против кори, паротита и краснухи живая аттенуированная (Serum Institute of India) [27]. Мы не нашли информацию о применении этих вакцин на обезьянах и изучение последующего поствакцинального иммунитета. В литературе также нет данных об использовании поливалентных вакцин для человека (корь, краснуха, паротит) у обезьян, тем не менее использовать эти вакцины рекомендуется, так как они признаны безопасными для человекообразных обезьян. Рекомендуемый протокол включает вакцинацию в возрасте 15 мес. с последующей ревакцинацией через 6–7 лет [4].

Имеются данные, что вакцинация от ВК защищает обезьян от других вирусов рода *Morbillivirus*. Известно, что вирус чумы плотоядных (ВЧП) способен вызывать инфекцию у обезьян, в т.ч. клинически выраженную и даже с летальным исходом, и может вызывать вспышки среди обезьян рода макак с летальностью от 5 до 30% [28]. Было установлено, что макаки яванские, вакцинированные против кори, демонстрировали увеличение титра антител к ВК при экспериментальном заражении ВЧП. Также вакцинация против кори приводила к сокращению продолжительности выделения вируса при инфекции ВЧП. Чувствительность обезьян к ВЧП указывает на потенциальную возможность межвидового перехода этого вируса на человека, который, по-видимому, ограничен кросс-специфическим иммунитетом к ВК в человеческой популяции. Тем не менее данные исследований *in silico* и *in vitro* свидетельствуют о потенциальной возможности ВЧП инфицировать клетки человека [29]. Таким образом, вакцинация против ВК позволяет контролировать и зоонозные морбилливирусные инфекции у обезьян и человека.

Следует отметить, что не только вакцинация против ВК защищает от ВЧП, но и вакцина от ВЧП может защитить от ВК. Экспериментальные исследования на макаках резусах показали, что вакцинация 1 или 2 дозами Vangurd-DM против чумы собак способствовала выработке антител, реактивных в тесте на антитела к ВК, а также через год защищала от заражения ВК. Это исследование показало, что более дешевая вакцина против CDV не менее эффективна, чем

противокоревая вакцина Attenuvax, что делает вакцинацию против кори более доступной в больших приматологических центрах [30].

В настоящее время лабораторные приматы используются для оценки вакцин нового поколения, а также новых способов вакцинации против ВК. Так, чтобы упростить введение вакцины, был разработан пластырь, содержащий полимерные иглы микронного размера для инкапсулирования стандартной дозы коревой вакцины. Сравнительный анализ иммуногенности этого пластыря с подкожной инъекцией у макак резусов показал выработку защитного уровня антител в обеих группах животных. Также была разработана однодозовая сухая порошковая аттенуированная вакцина против ВК для респираторного введения. В эксперименте на макаках резусах было показано, что данная вакцина способствовала выработке защитных антител, которые защищали от заражения ВК дикого типа через год. Данные способы дают возможность однократной вакцинации и отказа от шприцев, а главное, обе вакцины являются термостабильными, это снижает зависимость от холодовой цепи хранения, что необходимо для массовой вакцинации в развивающихся странах [2].

Гепатит А

Гепатит А – широко распространенная высококонтагиозная антропонозная вирусная инфекция, вызываемая вирусом гепатита А (ВГА), описанная многими авторами у различных видов обезьян [31]. ВГА на сегодняшний день относится к роду *Hepatovirus,* семейству *Picornaviridae*.

Инфекция ВГА у обезьян часто протекает без клинических проявлений и сопровождается выделением вируса с фекалиями, появлением антител, а также повышением уровня аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ). Однако у импортированных животных в период акклиматизации заболевание часто протекает с клиническими проявлениями: снижение двигательной активности, появление жидкого стула, анорексия и нарастание печеночных ферментов (АЛТ, АСТ) в крови. Заболевание в этих случаях может закончиться летально [32].

Так как изоляты ВГА, полученные от обезьян, имеют различия с вариантами, выделенными от людей, эффективность человеческих вакцин против обезьяньих вариантов остается неизученной. В настоящее время вакцинация приматов против ВГА не рекомендуется из-за отсутствия явных клинических симптомов при естественном заражении и отсутствия в литературе данных о безопасности препаратов для этих животных. Вместо этого акцент делается на вакцинации персонала, что позволяет минимизировать риск зоонозной и обратной зоонозной передачи [33].

Гепатит В

Гепатит В – антропонозная инфекция. Возбудитель – ДНК-содержащий вирус семейства *Hepadnaviridae* рода *Orthohepadnavirus*. Вирус гепатита В (ВГВ), выделенный от человека, тесно связан с вариантами ВГВ, выделенным у человекообразных обезьян [34].

Низшие обезьяны малочувствительны к ВГВ. Первое исследование по характеристике штамма ДНК ВГВ было проведено на Маврикии в 2013 г. [35], в нем сообщалось о распространенности ВГВ в образцах сыворотки крови и образцах печени макак яванских. Что еще более важно, идентифицированные штаммы принадлежали к человеческому генотипу D, что демонстрирует возможность передачи между людьми и обезьянами. В Камеруне ВГВ был обнаружен у мартышки Прейса (*Cercopithecus preussi*). Эти данные убедительно свидетельствуют о межвидовой передаче ВГВ [36].

Несмотря на то, что вакцинация шимпанзе была рекомендована Европейской ассоциацией зоопарков и аквариумов, в литературе нет данных о регулярной вакцинации этого вида обезьян. Опыт применения бельгийской рекомбинантной вакцины Energix B у серебристых гиббонов (*Hylobates moloch*) показал, что введение препарата в сочетании с иммуноглобулином сразу после рождения и последующая ревакцинация обеспечивают сохранение иммунного ответа в течение 4,5 лет. Имеющиеся данные позволяют предположить, что даже однократная ревакцинация может быть достаточной. Тем не менее из-за ограниченности информации об эффективности защиты при реальном заражении основной рекомендацией остается иммунизация сотрудников учреждений [4].

Оспа коров

Коровья оспа представляет собой инфекционное заболевание, вызываемое вирусом, относящимся к роду *Orthopoxvirus*, семейству *Poxviridae*. Основным резервуаром инфекции в естественной среде обитания являются грызуны. Заболевание встречается среди обезьян как Старого, так и Нового Света, при этом у обезьян Нового Света данная инфекция протекает в тяжелой форме и сопровождается высоким уровнем смертности [37]. Важным аспектом является зоонозная природа заболевания. В литературе описана передача вируса не только от грызунов, но и бессимптомная зоонозная передача от обезьяны к человеку [38].

Для борьбы с распространением инфекции и защиты восприимчивых видов обезьян применяется вакцинация. Так, Европейской ассоциацией зоопарков и аквариумов был зафиксирован опыт вакцинации капуцинов [4]. Кроме того, вакцина MVA-BN (Bavarian Nordic, Дания) применялась для защиты тонкеанских макак (*Macaca tonkeana*) во время вспышки в зоопарке Италии. Здесь вакцина вводилась дважды с интервалом 1 мес., согласно инструкции производителя. При этом у всех вакцинированных животных наблюдалось 2–5-кратное увеличение титра антител класса G, побочных эффектов зарегистрировано не было [39].

Несмотря на то, что в литературе не описана безопасность использования вакцин против оспы коров для других видов приматов, вышеперечисленные исследования обнадеживают, и, по-видимому, использование вакцины MVA-BN возможно для обезьян, подверженных риску заражение вирусом.

Вирус оспы обезьян

Вирус оспы обезьян, принадлежащий к роду *Orthopoxvirus*, семейства *Poxviridae*, в последние годы является актуальным зоонозным вирусом. Резервуар заболевание точно не определен, но предположительно им являются грызуны. Среди обезьян это заболевание впервые было описано у

макак яванских в условиях неволи [40]. Позднее восприимчивость была подтверждена у макак резусов, беличьих саймири, обыкновенных игрунок, а также у человекообразных обезьян (горилл, шимпанзе, орангутанов) [41].

У макак инфекция проявляется в виде везикулопустулезных и папулезных кожных поражений, отека лица и шеи, одышки и геморрагического энтероколита. Описана вспышка среди шимпанзе, при которой заболеваемость и летальность составили 87 и 10% соответственно. Клинические признаки включали экзантему, абсцедирование кожных покровов, ринит и дисфагию [42].

Для борьбы с инфекцией исследуются вакцины различных поколений. Так, разработанный на основе оспавакцины препарат ACAM2000 (Emergent BioSolutions, США), введенный методом скарификации, значительно снижал уровень виремии и тяжесть клинических проявлений оспы обезьян у макак яванских. После скарификации у всех животных через 4 дня наблюдались красные пятна в месте вакцинации. Сухие корочки сохранялись примерно 3 нед., других побочных эффектов не наблюдалось [43].

Однократное введение вакцины LC16m8, также путем скарификации, обеспечивало защиту от заражения оспой обезьян как минимум в течение года после вакцинации. Кроме того, эта вакцина считается более безопасной, чем ACAM2000, из-за риска возникновения инфекции [44].

Коммерческая репликативно-дефективная вакцина на основе оспавакцины JYNNEOS (Bavarian Nordic, Германия) эффективно применялась у людей во время вспышки 2022 г. в США [45]. Вакцина Imvamune, производства этой же компании, также основанная на штамме оспавакцины, при подкожном введении макакам яванским обеспечивала защиту от оспы обезьян.

Применение мРНК-вакцины (mRNA-1769), представляющей собой липидные наночастицы, экспрессирующие поверхностные белки вируса оспы обезьян подобно вирусу оспавакцины обеспечило защиту от заражения, при этом продемонстрировало 10-кратное снижение количества кожных поражений, сокращение длительности заболевания и более сильный гуморальный ответ, который обеспечивал защиту не только от вируса оспы обезьян, но и от других ортопоксвирусов [46].

Экспериментальное исследование векторной вакцины на основе аденовируса 35, кодирующей антигены вируса оспавакцины, продемонстрировало лучшую защиту по сравнению с вакцинами на основе вируса оспавакцины, но худшую, чем ACAM2000, при двукратном внутримышечном введении с интервалом в 4 нед.

Сравнительный анализ вакцин показал, что вакцина ACAM2000 обеспечивает практически полную защиту от вируса оспы обезьян, тогда как вирус оспавакцины и вакцина LC16m8 обеспечивают значительную, но неполную защиту [47].

В Российской Федерации нет зарегистрированной вакцины против оспы обезьян, однако, основываясь на вышеприведенных исследованиях, по-видимому, для вакцинации обезьян можно рекомендовать использовать отечественные вакцины против натуральной оспы, так как они обеспечивают перекрестный иммунитет.

Бешенство

Вирус бешенства является наиболее известным видом рода *Lyssavirus* семейства *Rhabdoviridae*. У приматов бешенство является актуальной проблемой общественного здравоохранения, особенно в эндемичных странах, так как обезьяны занимают второе место после собак среди животных, наносящих травмы, а наличие задокументированных случаев передачи бешенства от приматов к человеку позволяет предположить, что постконтактная профилактика бешенства показана пациентам, пострадавшим от приматов в странах, где бешенство является эндемичным [48].

Бешенство зарегистрировано у различных видов обезьян, и на сегодняшний день в литературе описано >100 лабораторно подтвержденных случаев. Тем не менее среди национальных рекомендаций по постконтактной профилактике бешенства после травм, полученных от обезьян, не достигнуто единой позиции. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует проводить вакцинацию и введение иммуноглобулина против бешенства после контакта с любым диким млекопитающим, включая обезьян, как при тяжелых травмах, так и при незначительных [49].

Аттенуированные живые вакцины против бешенства широко доступны, однако их не рекомендуется использовать у обезьян, поскольку их эффективность и безопасность на обезьянах не изучены. Инактивированные вирусные препараты для вакцинации против бешенства считаются более безопасными. В литературе мало данных об оценке эффективности вакцин, однако было показано, что подкожная вакцинация 2 дозами вакцины Defensor (Smith Kline, США) с интервалом в 30 дней приводила к выработке значительного количества нейтрализующих антител у макак резусов и макак яванских без наблюдаемых побочных эффектов [50].

Другое исследование, проведенное Marte et al. на гибридах макак резусов и макак яванских, показало, что однократная подкожная инъекция вакцины Rabisin (Boehringer Ingelheim, Гонконг) приводила к сероконверсии у 72% (26/36) животных через 2,5–6 лет после однократной иммунизации, без побочных эффектов [51]. Однако остается неясным, обеспечивают ли эти титры защиту от естественного заражения вирусом бешенства.

На сегодняшний день существуют различные календари прививок от бешенства для разных видов обезьян, но их эффективность и безопасность не подтверждены экспериментальными исследованиями. Протокол Европейской ассоциации зоопарков и аквариумов для вакцинации колобусов и павианов гамадрилов рекомендует введение инактивированной вакцины против бешенства 1 мл внутримышечно в возрасте 6–12 мес. с последующей ревакцинацией каждые 1–3 года [3], такой же календарь рекомендован и для капуцинов с ревакцинацией каждые 3 года [4]. Для человекообразных обезьян рекомендуется следовать режиму вакцинации, применяемому у человека, с ревакцинацией каждые 3 года [52]. Тем не менее эти рекомендации следует интерпретировать с осторожностью до тех пор, пока не появятся исследования об эффективности вакцин. Кроме того, при вакцинации крайне важно использовать инактивированные вакцины, поскольку они считаются безопасными и эффективными для обезьян.

Желтая лихорадка

Желтая лихорадка (ЖЛ) – это инфекционное заболевание, вызываемое вирусом, относящимся к семейству *Flaviviridae*, роду *Orthoflavivirus*. Заболевание является эндемичным для тропических регионов Африки и Южной Америки. Вирус является арбовирусом, передается преимущественно через укусы инфицированных комаров родов *Haemagogus* и *Sabethes* в Южной Америке и *Aedes* в Африке [53].

В то время как обезьяны Старого Света переносят ЖЛ бессимптомно, обезьяны Нового Света крайне чувствительны к вирусу. Так, вспышки со смертельными случаями зарегистрированы среди ревунов, паукообразных обезьян и беличьих саймири [54].

Экспериментальные исследования показывают, что у восприимчивых видов обезьян инфекция проходит те же стадии, что и у людей: после инкубационного периода могут развиться лихорадка, рвота, печеночная и почечная недостаточность, а также геморрагические проявления, приводящие к смерти [55].

Вакцина против ЖЛ человека (аттенуированный вирус) успешно используется уже более 80 лет [56]. Вакцина 17DD (Bio-Manguinhos, Бразилия) является одним из ключевых препаратов для предотвращения ЖЛ, особенно в эндемичных регионах; иммунитет у людей после однократной вакцинации сохраняется по меньшей мере 35 лет и, вероятно, является пожизненным [57]. Обезьяны рода макак (*Macaca mulatta*, *M. fascicularis*) являются одобренными ВОЗ животными, на которых разрешено моделирование вакцин против ЖЛ, следовательно, безопасность и эффективность коммерческих вакцин доказана для этих видов обезьян [58]. Кроме того, была описана вакцинация обезьян Нового Света – различных видов тамаринов (*Leontopithecus rosalia*, *Leontopithecus chrysomelas*, *Leontopithecus chrysopygus*) и ревунов вакциной 17DD. Несмотря на то, что безопасность и эффективность вакцины не была подтверждена заражением вирусом вакцинированных животных, титр выработанных антител был аналогичен тем, которые наблюдали у макак резусов [59].

Информации о применении коммерческих вакцин для многих видов обезьян сегодня недостаточно, но исследования показывают, что вакцины против ЖЛ человека на основе субштамма 17DD являются безопасными и эффективными для обезьян Старого и Нового Света, поэтому их использование следует рассматривать в эндемичных районах для предотвращения эпизоотических вспышек среди обезьян, а также изоляции резервуара вируса ЖЛ, тем самым способствуя охране общественного здравоохранения.

Вакцинация против ЖЛ в России проводится живой сухой вакциной (ФНЦИРИП им. М.П.Чумакова) для выезжающих в эндемичные страны [60], однако безопасность и эффективность ее на обезьянах не изучены.

Ретровирусы обезьян

Ретровирусы обезьян (SRV), исторически известные как обезьяньи ретровирусы типа D, относятся к роду *Betaretrovirus* семейства *Retroviridae*. Эта инфекция в основном распространена среди азиатских обезьян рода Macaca. Случаи заболевания были зарегистрированы в различных приматологических центрах мира, при этом распространенность вируса в эндемичных районах составляет >50% популяции [61]. У инфицированных животных может развиться СПИД-подобный синдром в результате подавления лимфоцитов [62].

Для борьбы с SRV у макак были разработаны две основные стратегии вакцинации, которые показали эффективность при экспериментальном заражении животных. Первоначально была создана вакцина на основе инактивированного вируса SRV-1, которая эффективно защищала макак [63]. Вторая стратегия заключалась в использовании рекомбинантной вакцины на основе вируса оспы, которая экспрессирует гликопротеин оболочки SRV gp70 и gp22 и обеспечивает защиту инфицированных животных путем индукции связывающих и нейтрализующих антител. Несмотря на достигнутые результаты, эти вакцины не получили широкого применения из-за стоимости и недостатка данных об их безопасности и эффективности *in vivo* [64].

Гаммагерпесвирус беличьих саймири

Гаммагерпесвирус саймири 2, более известный как герпесвирус саймири, относится к роду *Rhadinovirus* семейства *Orthoherpesviridae*. Исследования показывают, что беличьи саймири заражаются естественным путем в течение первых двух лет жизни [65]. После заражения вирус персистирует в организме хозяина на протяжении всей жизни, в основном в Т-лимфоцитах. Несмотря на то, что вирусная инфекция протекает у беличьих саймири бессимптомно, он может вызывать Т-клеточный лейкоз и лимфому у различных видов обезьян Старого Света [66].

Хотя в мире не существует коммерческих вакцин против герпесвируса саймири, Melender et al. была описана иммунизация тамаринов с помощью инактивированных частиц этого вируса, что позволило предотвратить у этих животных образование опухолей [67].

SARS-CoV-2

SARS-CoV-2 представляет собой оболочечный РНК-вирус, принадлежащий к роду *Betacoronavirus* семейства *Coronaviridae*, спонтанные случаи выявления которого были описаны у разных видов как высших, так и низших обезьян. Вирус был выявлен у равнинных горилл (*Gorilla gorilla gorilla*) в неволе после контакта с инфицированным сотрудником зоопарка Сан-Диего, у которого заболевание протекало бессимптомно. 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. У беличьего саймири (*S. sciureus*) была зафиксирована инфекция со смертельным исходом, однако роль вируса в смерти животного была не ясна. Экспериментальная инфекция была воспроизведена на обезьянах рода макак и павианах. У всех животных инфекция сопровождалась признаками респираторного заболевания легкой и средней степени тяжести с полным выздоровлением [68, 69].

На сегодняшний день для защиты обезьян от SARS-CoV-2 рекомендуется использовать вакцины для человека, так как есть исследования, в которых введение экспериментальной рекомбинантной вакцины производства Zoetis International не вызывало у животных побочных эффектов [70]. Тем не

менее эффективность вакцин для человека у обезьян остается недостаточно изученной, и вакцинация зависит от эпидемиологической ситуации в регионе и индивидуальной восприимчивости того или иного вида обезьян. Кроме того, профилактической мерой также может служить вакцинация сотрудников приматологических центров и зоопарков [71].

Вирусы гриппа

Вирусы гриппа представляют собой группу оболочечных вирусов с сегментированным РНК-геномом негативной полярности, относятся к семейству *Orthomyxoviridae*, в которое входят 7 родов, из которых 3 монотипных рода (*Alphainfluenzavirus*, *Betainfluenzavirus*, *Gammainfluenzavirus*) содержат вирусы, вызывающие инфекцию человека: вирусы гриппа А, В и С.

Все виды высших обезьян, а также многие виды низших обезьян Старого и Нового Света чувствительны к вирусу гриппа А. Некоторые виды также чувствительны к вирусу гриппа В [72]. Было показано, что у обитающих в природе обезьян (*Macaca* spp., *Chlorocebus aethiops*, *Erythrocebus patas*) антитела к вирусу гриппа А (вирусы H1N1, H3N2, H2N2) выявляются в 6–80% случаев, что свидетельствует о циркуляции вируса в природе среди этих животных [73]. Среди человекообразных обезьян также была зафиксирована широкая распространенность антител к вирусам гриппа: у горилл, содержащихся в неволе, – к вирусу гриппа А H3N2 – 3,9% (3/77), гриппа А H1N1 – 3,9% (3/77), гриппа В – 58,4% (45/77); у орангутанов – к вирусу гриппа А H3N2 – 5,6% (10/179), гриппа А H1N1 – 19,0% (34/179), гриппа В – 75,4% (135/179); у шимпанзе – к вирусу гриппа А H3N2 – 11,2% (34/305), гриппа А H1N1 – 71,5% (218/305), гриппа В – 26,2% (80/305) [74].

Различные виды макак (*M. fascicularis*, *M. mulatta*, *Macaca nemestrina*) использовались в экспериментальном воспроизведении гриппа А человека. В основном эти заражения сопровождались бессимптомной инфекцией, иногда с незначительными клиническими проявлениями. Острая инфекция с летальным исходом наблюдалась у обезьян только после заражения птичьим вирусом H5N1 [75] и вирусом H1N1 1918 г. [76].

Несмотря на то, что эффективность различных вакцин против гриппа была экспериментально оценена на обезьянах, на сегодняшний день в литературе нет информации о восприимчивости и эффективности существующих коммерческих вакцин для обезьян как в естественных условиях обитания, так и в условиях неволи. В связи с этим вакцинация персонала, работающего с различными видами приматов, является важной мерой и может оказаться более практичной и эффективной, чем вакцинация обезьян [4].

Обсуждение

Обезьяны играют важную роль в исследовании вакцин и поэтому часто выступают в качестве моделей для изучения эффективности и безопасности препаратов, предназначенных для человека. Однако, несмотря на широкое использование этих животных в научных целях, имеется мало данных относительно вакцинации самих обезьян. Сведения о вакцинах для обезьян, их эффективности, безопасности для различных видов крайне малочисленны. Большинство опубликованных исследований проводилось на небольшом количестве особей и охватывало единичные виды. Отсутствие достаточного количества исследований затрудняет разработку универсальных рекомендаций по вакцинации, учитывающих особенности различных видов и условий содержания.

Вместе с тем в ряде стран разработаны рекомендации по вакцинации обезьян, направленные на предотвращение инфекционных заболеваний среди этих животных. Рекомендациями предписывается: проведение кампании массовой вакцинации обезьян в национальных парках, заповедниках, питомниках; ведение мониторинга состояния вакцинированных животных и обновление схем вакцинаций; исключение применения живых вакцин, которые не были испытаны на конкретных видах приматов, из-за высокого риска возникновения вспышек заболевания среди животных; использование для определенных инфекций, например бешенства, только инактивированных вакцин, так как они считаются безопасными и эффективными для обезьян; необходимость создания протективного иммунитета у сотрудников и обслуживающего персонала, работающего с обезьянами, для предотвращения передачи инфекций от человека к животным и наоборот.

Для проведения качественной вакцинации особенно важным представляется расширение линейки специализированных вакцин для обезьян, разработка и внедрение национального календаря профилактических прививок, календаря профилактических прививок по эпидемическим показаниям, порядка проведения профилактических прививок, учетных форм для регистрации и планирования прививок у обезьян. Это позволит исключить субъективность в процессе иммунизации, обеспечить своевременное введение вакцины животным, провести ревакцинацию при необходимости, обеспечить каждого животного паспортом (сертификатом) прививок. В конечном итоге это приведет к сохранению здоровья и жизни как самих обезьян, так и обслуживающего персонала, минимизирует риски заражения инфекционными заболеваниями.

Заключение

В данной работе обобщены сведения о вакцинации содержащихся в неволе обезьян. На сегодняшний день для многих заболеваний, возникающих у различных видов обезьян, эффективные вакцины не разработаны. И даже в тех случаях, когда вакцины разработаны, имеется мало информации об их безопасности и эффективности.

Авторы обосновали необходимость создания безопасных вакцин для обезьян, разработки и внедрения национального календаря профилактических прививок, календаря профилактических прививок по эпидемическим показаниям, порядка проведения профилактических прививок, учетных форм для регистрации и планирования прививок у обезьян.

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках госзадания НИЦ «Курчатовский институт».

Funding

The work was carried out within the framework of a state assignment for the National Research Center "Kurchatov Institute".

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими организациями), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Conflict of interest

The authors have no relationships, activities, or interests with third parties (commercial or non-commercial organizations) to declare that could have influenced the work reported in this paper in the last three years.

Вклад авторов

Догадов Д.И. – обзор публикаций на тему статьи, написание и научное редактирование текста; Оробей В.Г. – обзор публикаций на тему статьи, научное редактирование текста; Фокин С.А. – обзор публикаций на тему статьи, научное редактирование текста; Онищенко Г.Г. – обзор публикаций на тему статьи, научное редактирование текста.

Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты настоящей работы, гарантируют надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Author contribution

Dogadov D.I. – review of publications on the topic of the article, writing and scientific editing of the text; Orobey V.G. – review of publications on the topic of the article, scientific editing of the text; Fokin S.A. – review of publications on the topic of the article, scientific editing of the text; Onishchenko G.G. – review of publications on the topic of the article, scientific editing of the text.

All authors have read and approved the final manuscript and agree to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Генеративный искусственный интеллект

При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Generative artificial intelligence

No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this article.

Литература / References

1. Догадов ДИ, Кюрегян КК, Гончаренко АМ, Миносян АА, Кочконян АА, Карлсен АА, и др. Маркеры антропонозных вирусных инфекций у зеленых мартышек, поступивших из мест естественного обитания (Танзания). Вопросы вирусологии. 2023;68(5):394-403. / Dogadov DI, Kyuregyan KK, Alexandra GM, Minosyan AA, Kochkonyan AA, Karlsen AA, et al. Markers of antroponotic viral infections in vervet monkeys arrived from their natural habitat (Tanzania). Problems of Virology. 2023;68(5):394-403. DOI: 10.36233/0507-4088-188 (In Russian).
2. Dogadov DI, Kyuregyan KK, Goncharenko AM, Mikhailov MI. Measles in non-human primates. J of Medical Primatology. 2023 Apr;52(2):135-43. DOI: 10.1111/jmp.12630
3. Wiley JN, Rousser M, Webb T, Zoo T, Devoe R, Delk K et al. Hamadryas Baboon Care Manual; AZA Baboon Species Survival Plan: Silver Spring, MD, USA, 2020.
4. Nederlof RA, Sainmaa S, Wissink-Argilaga N, Koo BS, Bakker J. Preventative Vaccination of Nonhuman Primates. JZBG. 2025 Fev;6(1):8. DOI: 10.3390/jzbg6010008
5. Fox JG, Wikse SE. Bacterial meningoencephalitis in rhesus monkeys: clinical and pathological features. Lab Anim Sci. 1971 Aug;21(4):558-63.
6. Jones EE, Alford PL, Reingold AL, Russell H, Keeling ME, Broome CV. Predisposition to invasive pneumococcal illness following parainfluenza type 3 virus infection in chimpanzees. J Am Vet Med Assoc. 1984 Dec;185(11):1351-3.
7. Maggioncalda AN, Weber B, Lester B, Schaefer B, Sodaro S, Casella SM, et al. Orangutan (*Pongo*) Care Manual. USA: Association of Zoos and Aquariums: Silver Spring; 2017.
8. Lawson B, Garriga R, Galdikas BMF. Airsacculitis in fourteen juvenile southern Bornean orangutans (*Pongo pygmaeus wurmbii*). J of Medical Primatology. 2006 Jun;35(3):149-54. DOI: 10.1111/j.1600-0684.2006.00153.x
9. Obaldia N. Detection of *Klebsiella pneumoniae* antibodies in *Aotus l. lemurinus* (Panamanian Owl Monkey) using an enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) test. Lab Anim. 1991 Apr.;25(2):133-41. DOI: 10.1258/002367791781082603
10. González AV, Peña SJ, Bustamante RJ, Astudillo HM. Terminal leptospirosis in a woolly monkey (*Lagothrix lagothricha*) in Colombia. Rev MVZ Córdoba. 2015 Jan;20(1):4505-10. DOI: 10.21897/rmvz.81
11. Vieira AS, Lilenbaum W. Leptospirosis on captive wild animals in Latin America. Res Vet Sci. 2017 Dec;115:496-500. DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.08.001
12. Popoff MR. Tetanus in animals. J Vet Diagn Invest. 2020 Mar;32(2):184-91. DOI: 10.1177/1040638720906814
13. Kessler MJ, Summer JW, Baer GM. Evaluation of a Killed Rabies Vaccine for Rhesus Monkeys (*Macaca mulatta*). The Journal of Zoo Animal Medicine. 1982 Jun;13(2):74. DOI: 10.2307/20094575
14. Nakamura S, Hayashidani H, Sotohira Y, Une Y. Yersiniosis caused by *Yersinia pseudotuberculosis* in captive toucans (*Ramphastidae*) and a Japanese squirrel (*Sciurus lis*) in zoological gardens in Japan. The Journal of Veterinary Medical Science. 2016 Feb;78(2):297-9. DOI: 10.1292/jvms.15-0298
15. Formenty P, Boesch C, Wyers M, Steiner C, Donati F, Dind F, et al. Ebola Virus Outbreak among Wild Chimpanzees Living in a Rain Forest of Cote d'Ivoire. J Infect Dis. 1999 Feb;179(s1):120-6. DOI: 10.1086/514296
16. Jones SM, Feldmann H, Ströher U, Geisbert JB, Fernando L, Grolla A, et al. Live attenuated recombinant vaccine protects nonhuman primates against Ebola and Marburg viruses. Nat Med. 2005 Jul;11(7):786-90. DOI: 10.1038/nm1258
17. Callendret B, Vellinga J, Wunderlich K, Rodriguez A, Steigerwald R, Dirmeier U, et al. A prophylactic multivalent vaccine against different filovirus species is immunogenic and provides protection from lethal infections with Ebolavirus and Marburgvirus species in non-human primates. PLoS ONE. 2018 Feb;13(2):e0192312. DOI: 10.1371/journal.pone.0192312
18. Marzi A, Murphy AA, Feldmann F, Parkins CJ, Haddock E, Hanley PW, et al. Cytomegalovirus-based vaccine expressing Ebola virus glycoprotein protects nonhuman primates from Ebola virus infection. Sci Rep. 2016 Feb;6(1):21674. DOI: 10.1038/srep21674
19. Warfield KL, Goetzmann JE, Biggins JE, Kasda MB, Unfer RC, Vu H, et al. Vaccinating captive chimpanzees to save wild chimpanzees. Proc Natl Acad Sci USA. 2014 Jun;111(24):8873-6. DOI: 10.1073/pnas.1316902111
20. Hill AG, Mackie JT. Encephalomyocarditis virus in a capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). Vet Record Case Reports. 2023 Dec;11(4):e736. DOI: 10.1002/vrc2.736
21. Osorio JE, Hubbard GB, Soike KF, Girard M, Van Der Werf S, Moulin JC, et al. Protection of non-murine mammals against encephalomyocarditis virus using a genetically engineered Mengo virus. Vaccine. 1996 Feb;14(2):155-61. DOI: 10.1016/0264-410X(95)00129-O
22. Tong C, Tan BH, Sugrue R. Evaluation of a BE-inactivated whole virus preparation using an encephalomyocarditis virus strain that was isolated from fatal infection in orangutans. BioRxiv. 2023 Aug. DOI: 10.1101/2023.07.29.551122
23. Španinger E, Bren U. Carcinogenesis of β-Propiolactone: A Computational Study. Chem Res Toxicol. 2020 Mar;33(3):769-81. DOI: 10.1021/acs.chemrestox.9b00389

24. Blasier MW, Travis DA, Barbiers R. Retrospective evaluation of measles antibody titers in vaccinated captive gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*). Journal of Zoo and Wildlife Medicine. 2005 Jun;36(2):198-203. DOI: 10.1638/03-030.1
25. Yee JL, NPRC Breeding Colony Management Consortium, McChesney MB, Christe KL. Multicenter Safety and Immunogenicity Trial of an Attenuated Measles Vaccine for NHP. Comp Med. 2015 Oct;65(5):448-54.
26. MacArthur JA, Mann PG, Oreffo V, Scott GBD. The effect of measles vaccination in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). Lab Anim. 1982 Jul;16(3):267-70. DOI: 10.1258/002367782780891831
27. Kostinov MP. The Combination Vaccine against Measles. Epidemiology and Vaccinal Prevention. 2020 Sep;19(4):57-62. DOI: 10.31631/2073-3046-2020-19-4-57-62
28. Yoshikawa Y, Ochikubo F, Matsubara Y, Tsuruoka H, Ishii M, Shirota K, et al. Natural infection with canine distemper virus in a Japanese monkey (*Macaca fuscata*). Veterinary Microbiology. 1989 Jul;20(3):193-205. DOI: 10.1016/0378-1135(89)90043-6
29. Rendon-Marin S, Quintero-Gil C, Guerra D, Muskus C, Ruiz-Saenz J. Canine Morbillivirus from Colombian Lineage Exhibits *In Silico* and *In Vitro* Potential to Infect Human Cells. 2021 Sep; 10(9):1199. DOI: 10.3390/pathogens10091199
30. Christe KL, McChesney MB, Spinner A, Rosenthal AN, Allen PC, Valverde CR, et al. Comparative Efficacy of a Canine Distemper-Measles and a Standard Measles Vaccine for Immunization of Rhesus Macaques (*Macaca mulatta*). Comparative Medicine. 2002 Oct;52(5):6.
31. Dogadov DI, Korzaya LI, Kyuregyan KK, Karlsen AA, Mikhailov MI, Lapin BA. Markers of hepatitis A in the monkeys of the Adlers primate center. Problems of Virology. 2019 Oct;64(5):246-9. DOI: 10.36233/0507-4088-2019-64-5-246-249
32. Dogadov DI, Kyuregyan KK, Mikhailov MI. Enteral viral hepatitis in monkeys. Problems of Virology. 2022 Sep;67(3):173-84. DOI: 10.36233/0507-4088-110
33. Kondova-Perseng I, Mansfield KG, Miller AD. Atlas of Diagnostic Pathology in Nonhuman Primates. Cham: Springer International Publishing; 2024. DOI: 10.1007/978-3-031-41280-6
34. Lanford RE, Chavez D, Rico-Hesse R, Mootnick A. Hepadnavirus Infection in Captive Gibbons. J Virol. 2000 Mar;74(6):2955-9. DOI: 10.1128/JVI.74.6.2955-2959.2000
35. Dupinay T, Gheit T, Roques P, Cova L, Chevallier-Queyron P, Tasahsu S, et al. Discovery of naturally occurring transmissible chronic hepatitis B virus infection among *Macaca fascicularis* from Mauritius island. Hepatology. 2013 Nov;58(5):1610-20. DOI: 10.1002/hep.26428
36. Foupouapouognigni Y, Mba SAS, Njouom R. Prevalence of hepatitis B virus infection among *Cercopithecidae* monkeys in Cameroon: Short Paper. Journal of Medical Primatology. 2011 Jun;40(3):194-6. DOI: 10.1111/j.1600-0684.2011.00471.x
37. Girling SJ, Pizzi R, Cox A, Beard PM. Fatal cowpox virus infection in two squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*). Veterinary Record. 2011 Aug;169(6):156-156. DOI: 10.1136/vr.d4005
38. Puro V, Fusco FM, Castilletti C, Carletti F, Colavita F, Agrati C, et al. Occupational transmission of an Orthopoxvirus infection during an outbreak in a colony of Macaca tonkeana in Lazio Region, Italy, 2015. Zoonoses and Public Health. 2018 Aug;65(5):578-83. DOI: 10.1111/zph.12459
39. Cardeti G, Gruber CEM, Eleni C, Carletti F, Castilletti C, Manna G, Rosone F, et al. Fatal Outbreak in Tonkean Macaques Caused by Possibly Novel Orthopoxvirus, Italy, January 2015. Emerg Infect Dis. 2017 Dec;23(12):1941-9. DOI: 10.3201/eid2312.162098
40. Magnus PV, Andersen EK, Petersen KB, Birch-Andersen A. A pox-like disease in cynomolgus monkeys. Acta Pathologica Microbiologica Scandinavica. 1959 Sep;46(2):156-76. DOI: 10.1111/j.1699-0463.1959.tb00328.x
41. Patrono LV, Pléh K, Samuni L, Ulrich M, Röthemeier C, Sachse A, et al. Monkeypox virus emergence in wild chimpanzees reveals distinct clinical outcomes and viral diversity. Nat Microbiol. 2020 Apr;5(7):955-65. DOI: 10.1038/s41564-020-0706-0
42. Brien SC, LeBreton M, Doty JB, Mauldin MR, Morgan CN, Pieracci EG, et al. Clinical Manifestations of an Outbreak of Monkeypox Virus in Captive Chimpanzees in Cameroon, 2016. The Journal of Infectious Diseases. 2024 Mar;229:275-84. DOI: 10.1093/infdis/jiad601
43. Hatch GJ, Graham VA, Bewley KR, Tree JA, Dennis M, Taylor I, et al. Assessment of the Protective Effect of Imvamune and Acam2000 Vaccines against Aerosolized Monkeypox Virus in Cynomolgus Macaques. J Virol. 2013 Jul;87(14):7805-15. DOI: 10.1128/JVI.03481-12
44. Gordon SN, Cecchinato V, Andresen V, Heraud JM, Hryniewicz A, Parks RW, et al. Smallpox Vaccine Safety Is Dependent on T Cells and Not B Cells. The Journal of Infectious Diseases. 2011 Apr;203(8):1043-53. DOI: 10.1093/infdis/jiq162
45. Deputy NP, Deckert J, Chard AN, Sandberg N, Moulia DL, Barkley E, et al. Vaccine Effectiveness of JYNNEOS against Mpox Disease in the United States. N Engl J Med. 2023 Jun;388(26):2434-43. DOI: 10.1056/NEJMoa2215201
46. Mucker EM, Freyn AW, Bixler SL, Cizmeci D, Atyeo C, Earl PL, et al. Comparison of protection against mpox following mRNA or modified vaccinia Ankara vaccination in nonhuman primates. Cell. 2024 Oct;187(20):5540-5553.e10. DOI: 10.1016/j.cell.2024.08.043
47. Jacob-Dolan C, Ty D, Hope D, McMahan K, Liu J, Powers OC, et al. Comparison of the immunogenicity and protective efficacy of ACAM2000, MVA, and vectored subunit vaccines for Mpox in rhesus macaques. Sci Transl Med. 2024 Mar;16(740):eadl4317. DOI: 10.1126/scitranslmed.adl4317
48. Blaise A, Parola P, Brouqui P, Gautret P. Rabies Postexposure Prophylaxis for Travelers Injured by Nonhuman Primates, Marseille, France, 2001–2014. Emerg Infect Dis. 2015 Aug;21(8):1473-6. DOI: 10.3201/eid2108.150346
49. Gautret P, Blanton J, Dacheux L, Ribadeau-Dumas F, Brouqui P, Parola P, et al. Rabies in Nonhuman Primates and Potential for Transmission to Humans: A Literature Review and Examination of Selected French National Data. Carabin H. PLoS Negl Trop Dis. 2014 May;8(5):e2863. DOI: 10.1371/journal.pntd.0002863
50. Nieves P, Rodriguez JF, Kessler MJ, Bercovitch F. Subcutaneous rabies vaccination of pigtail macaques. J of Medical Primatology. 1996 Jan;25(1):14-6. DOI: 10.1111/j.1600-0684.1996.tb00187.x
51. Martelli P, St-Hilaire S, Hui WS, Krishnasamy K, Magouras I, Nekouei O. Evaluation of Vaccination Strategy Against Rabies in Hong Kong Macaques. Front Vet Sci. 2022 Mar;9:859338. DOI: 10.3389/fvets.2022.859338
52. Lukas K, Stoinski T. Gorilla Care Manual; AZA Gorilla Species Survival Plan: Silver Spring, MD, USA, 2017.
53. Nederlof RA, Virgilio T, Stemkens HJJ, Da Silva LCCP, Montagna DR, Abdussamad AM, et al. Yellow Fever in Non-Human Primates: A Veterinary Guide from a One Health Perspective. Veterinary Sciences. 2025 Apr;12(4):339. DOI: 10.3390/vetsci12040339
54. Dietz JM, Hankerson SJ, Alexandre BR, Henry MD, Martins AF, Ferraz LP, et al. Yellow fever in Brazil threatens successful recovery of endangered golden lion tamarins. Sci Rep. 2019 Sep;9(1):12926. DOI: 10.1038/s41598-019-49199-6
55. Fernandes NCCDA, Cunha MS, Guerra JM, Réssio RA, Cirqueira CDS, Iglezias SD, et al. Outbreak of Yellow Fever among Nonhuman Primates, Espirito Santo, Brazil, 2017. Emerg Infect Dis. 2017 Dec;23(12):2038-41. DOI: 10.3201/eid2312.170685
56. De Miranda RM, Fernandes RS, Da Silva-Fernandes AT, Ferreira-de-Brito A, Moreira SB, Pereira RC, et al. Neotropical Sylvatic Mosquitoes and *Aedes aegypti* Are Not Competent to Transmit 17DD Attenuated Yellow Fever Virus from Vaccinated Viremic New World Non-Human Primates. Viruses. 2022 Oct;14(10):2231. DOI: 10.3390/v14102231
57. Wieten RW, Jonker EFF, Van Leeuwen EMM, Remmerswaal EBM, Ten Berge IJM, De Visser AW, et al. A Single 17D Yellow Fever Vaccination Provides Lifelong Immunity; Characterization of Yellow-Fever-Specific Neutralizing Antibody and T-Cell Responses after Vaccination. PLoS ONE. 2016 Mar;11(3):e0149871. DOI: 10.1371/journal.pone.0149871

58. Hansen CA, Barrett ADT. The Present and Future of Yellow Fever Vaccines. Pharmaceuticals. 2021 Sep;14(9):891. DOI: 10.3390/ph14090891
59. Mason RA, Tauraso NM, Ginn RK, O'Brien TC, Trimmer RW. Yellow Fever Vaccine. V. Antibody Response in Monkeys Inoculated with Graded Doses of the 17D Vaccine. Appl Microbiol. 1972 May;23(5):908-13. DOI: 10.1128/am.23.5.908-913.1972
60. Pushko P, Ishmukhametov AA, Bredenbeek PP, Lukashevich IS. Experimental DNA-Launched Live-Attenuated Vaccines Against Yellow Fever. Epidemiology and Vaccinal Prevention. 2019 Mar;18(1):18-25. DOI: 10.31631/2073-3046-2019-18-1-18-25
61. Lerche NW, Osborn KG. Simian Retrovirus Infections: Potential Confounding Variables in Primate Toxicology Studies. Toxicol Pathol. 2003 Jan;31:103-10. DOI: 10.1080/01926230390174977
62. Lerche NW. Simian retroviruses: Infection and disease – implications for immunotoxicology research in primates. J of Immunotoxicology. 2010 Jun;7(2):93-101. DOI: 10.3109/15476911003657406
63. Marx PA, Pedersen NC, Lerche NW, Osborn KG, Lowenstine LJ, Lackner AA, et al. Prevention of simian acquired immune deficiency syndrome with a formalin-inactivated type D retrovirus vaccine. J Virol. 1986 Nov;60(2):431-5. DOI: 10.1128/jvi.60.2.431-435.1986
64. Montiel NA. Review article: An updated review of simian betaretrovirus (SRV) in macaque hosts. J of Medical Primatology. 2010 Oct;39(5):303-14. DOI: 10.1111/j.1600-0684.2010.00412.x
65. Fleckenstein B, Ensser A, Arvin A, Campadelli-Fiume G, Mocarski E, Moore PS, et al. Gammaherpesviruses of New World primates. Cambridge: Cambridge University Press; 2007.
66. Damania B. Oncogenic γ-herpesviruses: comparison of viral proteins involved in tumorigenesis. Nat Rev Microbiol. 2004 Aug;2(8):656-68. DOI: 10.1038/nrmicro958
67. Melendez LV, Hunt RD, Garcia FG, Daniel MD, Fraser CEO. Prevention of Lymphoma in Cotton-Top Marmosets by Herpesvirus saimiri Antiserum. J Med Primatol. 1974;3(4):213-20. DOI: 10.1159/000460007
68. 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. Sig Transduct Target Ther. 2020 Aug;5(1):157. DOI: 10.1038/s41392-020-00269-6
69. Singh DK, Singh B, Ganatra SR, 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 Dec;6(1):73-86. DOI: 10.1038/s41564-020-00841-4
70. Allender MC, Adkesson MJ, Langan JN, Delk KW, Meehan T, Aitken-Palmer C, et al. Multi-species outbreak of SARS-CoV-2 Delta variant in a zoological institution, with the detection in two new families of carnivores. Transbound Emerg Dis. 2022 Sep;69(5):e3060-e3075. DOI: 10.1111/tbed.14662
71. Nederlof RA, De La Garza MA, Bakker J. Perspectives on SARS-CoV-2 Cases in Zoological Institutions. Veterinary Sciences. 2024 Feb;11(2):78. DOI: 10.3390/vetsci11020078
72. Kalter SS, Heberling RL, Cooke AW, Barry JD, Tian PY, Northam WJ. Viral Infections of Nonhuman Primates. Laboratory Animal Science. 1997 Oct;47(5):7.
73. O'brien ThC, Tauraso NM. Antibodies to type A influenza viruses in sera from nonhuman primates. Archiv f Virusforschung. 1973 Sep;40(3-4):359-65. DOI: 10.1007/BF01242556
74. Paungpin W, Thongdee M, Ketchim N, Chaiwattanarungruengpaisan S, Saechin A, Sariya L, et al. Evidence of Influenza A Virus Infection in Cynomolgus Macaques, Thailand. Veterinary Sciences. 2022 Mar;9(3):132. DOI: 10.3390/vetsci9030132
75. Rimmelzwaan GF, Baars M, Van Amerongen G, Van Beek R, Osterhaus ADME. 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 Oct;20(1-2):158-63. DOI: 10.1016/S0264-410X(01)00262-6
76. Cillóniz C, Shinya K, Peng X, Korth MJ, Proll SC, Aicher LD, et al. Lethal Influenza Virus Infection in Macaques Is Associated with Early Dysregulation of Inflammatory Related Genes. PLoS Pathog. 2009 Oct;5(10):e1000604. DOI: 10.1371/journal.ppat.1000604

Информация о соавторах:

Оробей Владимир Григорьевич, кандидат медицинских наук, помощник руководителя по санитарно-эпидемиологическому надзору и контролю Курчатовского комплекса медицинской приматологии НИЦ «Курчатовский институт» по санитарно-эпидемиологическому надзору и контролю»; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
ORCID: 0009-0001-3062-2826

Фокин Станислав Александрович, руководитель Курчатовского комплекса медицинской приматологии НИЦ «Курчатовский институт»; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
ORCID: 0009-0003-8236-5440

Онищенко Геннадий Григорьевич, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заместитель директора по технологиям биобезопасности, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
ORCID: 0000-0003-0135-7258

Information about co-authors:

Vladimir G. Orobei, PhD, MD, Assistant to the Head of Sanitary and Epidemiological Supervision and Control of the Kurchatov Complex of Medical Primatology, National Research Center "Kurchatov Institute"; National Research Center "Kurchatov Institute"
ORCID: 0009-0001-3062-2826

Stanislav A. Fokin, Head of the Kurchatov Complex of Medical Primatology, National Research Center "Kurchatov Institute"; National Research Center "Kurchatov Institute"
ORCID: 0009-0003-8236-5440

Gennady G. Onishchenko, MD, PhD, DSc, Professor, Academician of RAS, Deputy Director for Biosafety Technologies of National Research Center "Kurchatov Institute"