

СОВРЕМЕННАЯ ВИРУСОЛОГИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ УГРОЗЫ ИНФЕКЦИОННОГО ХАРАКТЕРА



Андрей Гончаров,
директор Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН
Беларуси, кандидат
медицинских наук,
доцент

Сегодня остро стоит вопрос о разработке новых методов и средств защиты от биологических объектов инфекционной природы, которые оказывают или могут оказать негативное влияние на здоровье и благополучие населения. Современная вирусология – это не просто изучение строения и культивирования вирусов, а междисциплинарная наука на стыке клеточной биологии, иммунологии, молекулярной генетики, без которых невозможно развитие данного направления.

Поскольку вирусы являются особой формой жизни и не могут существовать без клетки-хозяина, их эффективное выделение и накопление невозможно без глубоких познаний в клеточной биологии. Достижения науки позволяют подбирать первичную или перевиваемую культуру клеток для конкретного вируса или даже видоизменять ее при помощи методов генной модификации, оптимизировать условия выращивания вирусов (питательные среды и добавки, культуральная посуда, биореакторы).

Исследования в области вирусологии и вакцинологии невозможны без применения познаний в области иммунологии и без использования иммунологических методов для детекции вирусов (иммуноферментный и иммунохроматогра-

фический анализы), определения гуморального и клеточного иммунного ответа на их компоненты с целью отбора наиболее эффективных белков и т.д.

Для выяснения генетической последовательности вирусов, в том числе происходящих мутаций, устойчивости и чувствительности к противовирусным препаратам, прогноза течения заболевания, классификации и филогенеза необходимы методы молекулярной биологии и генетики. Именно молекулярно-биологические подходы сделали в большинстве случаев ненужными методы классической вирусологии. В настоящее время специалисты гораздо чаще делают стандартные ПЦР-тесты или даже секвенируют изоляты вируса, нежели выделяют его на культурах клеток или в лабораторных животных.

Таким образом, полноценная вирусологическая лаборатория обладает возможностями выделения и накопления вируса в культурах клеток, его визуализации и распознавания вирусных антигенов, вычленения нуклеиновых кислот (ДНК/РНК) и определения последовательности генетического кода, клеточного и гуморального иммунного ответа на вирус, выявления антигенов вируса иммунологическими методами и, конечно же, возможностями разработки вакцин с помощью классических и инновационных технологий.

В 2021 г. по инициативе Председателя Президиума НАН Беларуси академика В.Г. Гусакова в составе Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси был создан Центр экспериментальной и прикладной вирусологии. Его сотрудники совместно с РНПЦ эпидемиологии и микробиологии разработали прототип первой белорусской вакцины против COVID-19, которая в предварительных доклинических исследованиях показала высокую эффективность, сравнимую с вакцинами, одобренными ВОЗ. В декабре 2022 г. завершена реконструкция Центра, и уже в 2023 г. начаты новые практические исследования, направленные на создание эффективных и востребованных вакцин для иммунопрофилактики болезней человека и животных.

К биологическим угрозам инфекционного характера можно отнести:

- *эмерджентные (внезапно возникающие) вирусные инфекции (ЭВИ) с природным резервуаром, в том числе особо опасные инфекции (ООИ);*
- *инфекции, циркулирующие в человеческой популяции и имеющие эпидемический и пандемический потенциал;*
- *антибиотикорезистентность и устойчивость вирусов к противовирусным лекарственным средствам;*

- *генетически модифицированные организмы и патогенные биологические агенты (ПБА), полученные при помощи методов синтетической биологии, в том числе в результате бесконтрольной научной деятельности;*
- *микроорганизмы, высвобождаемые в результате таяния льдов;*
- *случайные утечки ПБА из биологических лабораторий;*
- *направленное применение возбудителей инфекций в качестве биологического оружия (БО).*

Можно выделить основные факторы, влияющие на инфекционную заболеваемость и появление новых инфекций.

Продолжающиеся процессы глобализации, мобильность населения и активная миграция, туризм, а также вынужденные переселения в ходе локальных военных конфликтов и стихийных бедствий.

Возрастающая урбанизация с формированием крупных агломераций и изменением социальных условий проживания приводит к огромной скученности населения, что способствует интенсивному загрязнению атмосферного воздуха, почвы и воды. Из-за плохого качества последней возникают вспышки острых кишечных инфекций, а огромное количество свалок, не отвечающих санитарно-техническим и экологическим требованиям, способствует формированию ареалов обитания различных грызунов – переносчиков опасных инфекций.

Антропогенные изменения климата, преобразования природы приводят к росту контактов населения с дикой природой, а вырубка лесов, распашка полей, осушение болот, постройка городов, прокладка новых дорог заставляет животных искать новые места обитания.

Масштабирование животноводства позволяет вирусам находить новый резервуар, преодолевая межвидовой барьер.

Военные конфликты приводят к нарушению санитарно-эпидемиологической обстановки, снижению иммунитета населения вследствие психогенного стресса и проблем с питанием.

Учащение природных катаклизмов.

Недостаточный охват населения профилактическими прививками. Бесспорно, что иммунизация – одна из наиболее успешных мер предотвращения инфекций, и распространение многих заболеваний контролируется почти исключительно вакцинацией (корь, полиомиелит). В этой связи антивакцинизаторство представляет собой серьезную угрозу.

Совершенствование методов диагностики, позволяющих выявлять ранее неизвестные заболевания инфекционной природы.

По ряду причин именно вирусы – одна из наиболее опасных угроз XXI в. Эти универсальные патогены встречаются у всех живых организмов, присутствуют во всех экологических нишах, характеризуются чрезвычайным разнообразием, высокой способностью к изменчивости и адаптации.

Известно, что большая часть современных эпидемий и пандемий вызвана РНК-содержащими вирусами, что связано с высокими темпами их эволюции. Наиболее значимые связаны с вирусами гриппа А («свиной» грипп в 2009–2010 гг., «птичий» грипп), коронавирусами (SARS в 2002–2003 гг., MERS в 2012 г., текущая пандемия COVID-19), вирусами лихорадки Эбола (2014–2015 гг., 2018–2019 гг.), лихорадки Зика (2015 г.), оспы обезьян (2022 г.). Наиболее вероятно, что такая тенденция сохранится и в ближайшем будущем. Большинство возбудителей новых инфекций являются зоонозами, что связано с огромным разнообразием животного мира.

Источники зоонозных инфекций

К источникам зоонозных инфекций относят птиц, особенно перелетных, грызунов, рукокрылых, кровососущих членистоногих. Птицы способны переносить возбудителей инфекций на большие расстояния, причем разные виды взаимодействуют между собой во время остановок, контаминируют водоемы. Грызуны – наиболее значимые из млекопитающих, являющихся источниками зоонозных заболеваний (порядка 2600 видов). Рукокрылые также распространены по всему миру (более 1450 видов). Летучие мыши – серьезный резервуар особо опасных инфекций. Кровососущие членистоногие – переносчики вирусных и бактериальных болезней среди птиц и млекопитающих.

ПБА, представляющие наибольшую угрозу для формирования эпидемий и пандемий

Хотя в настоящее время невозможно точно предсказать потенциальную пандемию, однако среди возбудителей инфекцион-

ных заболеваний, которые представляют наибольшую угрозу, можно выделить следующие:

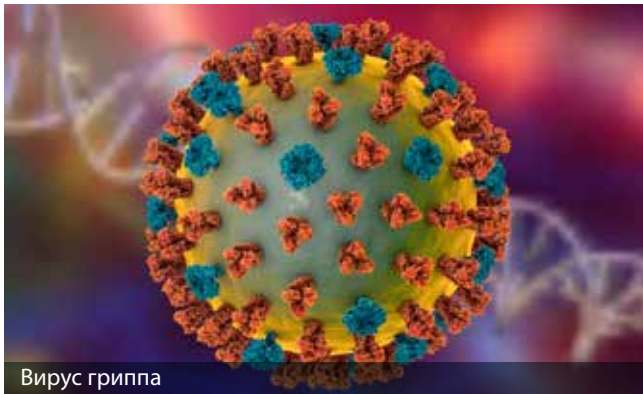
- ортомиксовирусы (вирусы гриппа А);
- коронавирусы;
- филовирусы (возбудители геморрагических лихорадок Эбола и Марбург);
- аренавирусы – возбудители геморрагических лихорадок Ласса, Мачуто, Хунин, Гуанарито;
- флавивирусы – возбудители широкого спектра опасных геморрагических лихорадок и энцефалитов;
- поксвирусы (оспа обезьян, натуральная оспа);
- парамиксовирусы (вирусы Нипа, Хендра).

Рассмотрим некоторые биологические угрозы инфекционного характера более подробно.

Вирусы гриппа

Вирусы гриппа А широко распространены в человеческой популяции и среди диких, домашних животных и птиц, они стали причиной 5 пандемий в XX и XXI вв. Известно 18 подтипов гемагглютинаина и 11 – нейраминидазы, что дает в результате многочисленные варианты вируса. Кроме того, вирусы гриппа обладают чрезвычайно высокой генетической изменчивостью за счет мутаций и реассортации геномов, что также способствует легкому преодолению межвидового барьера. Так, с начала века официально зарегистрировано более 900 случаев заболевания человека гриппом птиц с летальностью более 50%.

Несмотря на наличие вакцин и лекарственных средств, специфически подавляющих активность вируса, – ингибиторов нейраминидазы, возможности борьбы с гриппом до сих пор ограничены. Так, болезнь, вызываемая новой разновидностью вируса гриппа А, нередко протекает настолько тяжело, что от момента появления первых симптомов до летального исхода проходит всего 1–3 суток. В этой связи особое внимание сосредоточено на необходимости профилактики болезни, и особенно вакцинации широких слоев населения. Существующие инактивированные вакцины против гриппа 2-го и 3-го поколения достаточно хорошо предотвращают тяжелые случаи болезни (до 90%), но в то же время их эффективность в профилактике легких и среднетяжелых форм колеблется от 40 до 70%. Эффективность рекомбинантных и векторных вакцин против гриппа, которые только начали появляться на мировом рынке, еще предстоит изучить.



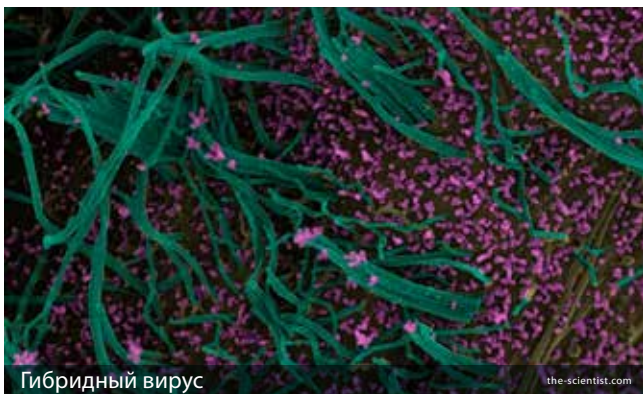
Вирус гриппа



Филовирус



Ортопоксвирус



Гибридный вирус

Одним из действенных способов борьбы с гриппом могла бы стать разработка универсальной вакцины, направленной на формирование иммунитета к консервативным белкам вируса. Несмотря на проводимую работу и имеющиеся прототипы вакцины, эффективность таких препаратов пока оставляет желать лучшего. Все вышесказанное дает основания полагать, что новая пандемия гриппа – лишь вопрос времени.

Филовирусы

Из 8 родов этого семейства патогенными для человека являются вирусы Марбург и 3 представителя рода Эболавирус, вызывающие тяжелейшие геморрагические лихорадки с высокой летальностью, достигающей 90%. По этой причине, а также вследствие их способности передаваться от человека к человеку и отсутствия высокоэффективной противовирусной терапии вирусы Марбург и Эбола классифицируются как патогены уровня BSL-4. К счастью, в отличие от многих РНК-содержащих вирусов, возбудители лихорадки Эбола характеризуются достаточно высокой генетической стабильностью.

Начало века ознаменовалось открытием нового рода филовирусов – *Cuevavirus* – и первого представителя вируса Ллови (LLOV), который был обнаружен во время исследования погибших летучих мышей на севере Испании, во Франции и Португалии. Несмотря на отсутствие до настоящего времени зарегистрированных случаев заболевания человека, вызванного новым филовирусом Ллови, межвидовой барьер считается потенциально преодолимым: установлено, что LLOV способен заражать клетки человека и реплицироваться в них. В этой связи необходимо проведение постоянного эпидемиологического и эпизоотологического мониторинга в эндемичных для вируса Ллови и других филовирусов регионах.

Ортопоксвирусы

Большой интерес для здравоохранения представляют вирусы рода *Orthopoxvirus* семейства *Poxviridae*. По данным Международного комитета по таксономии вирусов (ICTV), род *Orthopoxvirus* насчитывает 12 видов, в том числе вирус-возбудителей натуральной оспы и оспы обезьян. Особенностью многих вирусов данного рода является достаточно широкий круг живых организмов, которые подвержены болезни. Несмотря на то, что

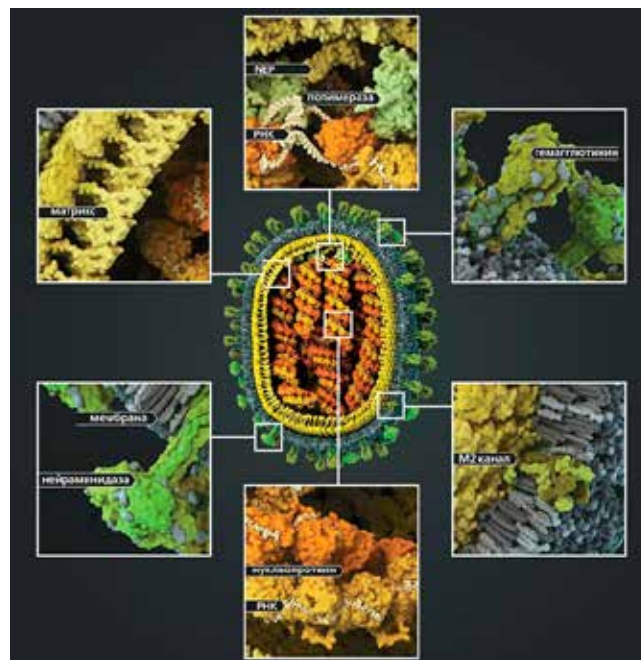
натуральная оспа ликвидирована 45 лет назад, как минимум в 2 странах сохраняются запасы живого возбудителя болезни. Кроме того, специалисты не исключают, что в результате мутации одного из ортопоксвирусов животных может возникнуть возбудитель, способный заражать человека и похожий по своим биологическим свойствам на вирус натуральной оспы. Так, известно, что за последние 20 лет заметно увеличилось число случаев болезни человека оспоподобными вирусами, в том числе вирусом оспы верблюдов в Индии (2011 г.), Северном Судане (2014 г.). Опасность мутаций этого вируса состоит в его высокой гомологии вирусу натуральной оспы (более 99%), что дает специалистам основание считать, что до превращения безопасного вируса в имеющий пандемический потенциал осталось буквально несколько мутаций. С учетом, что большая часть населения (старше 45 лет) уже не имеет иммунной защиты от поксвирусов, которая ранее формировалась в результате поголовной вакцинации, появление нового патогена может привести к биологической угрозе, намного более серьезной, чем «свиной», «птичий» грипп или COVID-19.

Гибридные вирусы

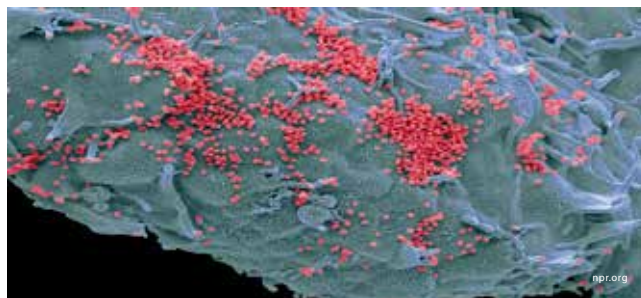
В октябре 2022 г. стало известно, что в ходе лабораторных экспериментов сотрудники Университета Глазго получили гибридный вирус, состоящий из фрагментов вируса гриппа и респираторно-синцитиального вируса (РСВ). Поскольку эти вирусы относятся к разным семействам, ранее считалось, что подобное слияние невозможно в принципе. Установлено, что гибридный вирус поражает более широкий спектр клеток, чем вирусы гриппа и РСВ, а также обладает способностью «ускользать» от иммунной системы хозяина. Открытие возможности гибридизации вирусов разных родов и даже семейств может объяснить случаи атипичного и тяжелого течения инфекций, особенно с поражением респираторного тракта. Существование других гибридных вирусов, их биологические свойства и медицинские последствия еще предстоит установить.

Микроорганизмы из прошлого

Еще одна биологическая угроза инфекционного характера, про которую не следует забывать, – древние микроорганизмы, высвобождаемые в результате таяния льдов Арктики и Антарктики.



Первая в мире полная достоверная модель вируса гриппа A/H1N1 с атомным разрешением, созданная в рамках проекта Viral Park компании Visual Science при участии Национального центра биотехнологии в Мадриде



Клетка с вирионами ВГА на своей поверхности. Фотография сделана с помощью сканирующего электронного микроскопа и раскрашена



Вирионы РСВ (вытянутые голубые образования) на фоне культуры клеток эпителия легких человека. Желтые точки – специальные антитела, при помощи которых помечают поверхностные белки вирионов. Микрофотография сделана с помощью сканирующего электронного микроскопа и раскрашена

Их изучение находится пока на начальной стадии, но уже подтвержден факт наличия жизнеспособных вирусов и бактерий. Так, к примеру, в 2021 г. исследователи Университета штата Огайо расшифровали геномы 33 вирусов, обнаруженных в образцах льда возрастом 15 тыс. лет из Тибетского нагорья. Четыре из них оказались бактериофагами, а остальные не были похожи ни на один известный науке инфекционный агент. В 2022 г. ученые университета Экс-Марсель обнаружили 7 пандоравирусов в образцах вечной мерзлоты из Якутии, их возраст – от 27 до 48 тыс. лет. Несмотря на то, что обнаруженные гигантские ДНК-вирусы поражают только амёб, существует вероятность выявления патогенных также для человека и животных.

Некоторые успехи в изучении этой проблемы не дают возможности адекватно оценить потенциальные риски «возвращения» микроорганизмов прошлого и их эпидемический потенциал. В этой связи научные исследования по этой теме представляют большой интерес и практическую значимость.

Утечки ПБА из лабораторий

В последние годы все чаще появляется информация об утечках патогенных биологических агентов из лабораторий. Так, к примеру, считается, что возбудитель натуральной оспы хранится лишь в лабораториях ГНЦ ВБ «Вектор» (Россия) и Центрах по контролю и профилактике заболеваний (США). Однако получили широкую огласку случаи выявления «забытых» образцов этого вируса в лабораториях Института здравоохранения в Мэриленде (2014 г.) и компании Merck (2021 г.). Остается лишь предполагать, сколько таких образцов, в том числе возбудителей других ООИ, осталось по всему миру и как они могут быть использованы.

Следует также обращать особое внимание на наличие возбудителей ООИ в сопредельных странах. В СССР, а позднее в РФ, велась активная работа с инфекционными агентами высокой группы риска. В настоящее время крупнейшие центры (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии) занимаются мониторингом и диагностикой ООИ. Из официальных источников известно, что в них хранятся образцы высокопатогенных вирусов и бактерий, потенциально способных

вызвать эпидемии и пандемии опасных заболеваний с высоким процентом летальности (10–90%), специфические средства лечения и медицинской профилактики которых отсутствуют.

В Украине функционируют научные организации, в которых велись работы с возбудителями ПБА, имеются коллекции вирусов (г. Киев, г. Львов). Факт того, что на территории этой страны проходят военные действия, предполагает риск высвобождения ПБА и попадания их в руки злоумышленников.

Биотерроризм и биологическое оружие

Не исключено использование патогенных биологических агентов и с целью биотерроризма. К ним относят бактерии (*Bacillus anthracis*, *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*, *Vibrio cholerae*, *Coxiella burnetii*, *Brucella suis* и др.), вирусы (натуральная оспа, вирусы-возбудители геморрагических лихорадок, вирус желтой лихорадки), токсины (ботулотоксин, холерный токсин и др.). Нельзя исключать, что некоторые страны до сих пор продолжают разработки БО.

По поражающему действию на человека биологическое оружие приближается к ядерному. Так, по расчетам экспертов ВОЗ, через 3 дня после применения 50 кг спор возбудителя сибирской язвы по направлению ветра в сторону города с населением 500 тыс. человек будут поражены 25% жителей, а 76% из них умрут.

Значительно упростилась и удешевилась задача получения биомассы патогенных микроорганизмов, которые могут быть использованы с противозаконными целями. Для организации такой лаборатории не требуется много средств: минимальная стоимость комплекта оборудования для изготовления компонентов БО составляет примерно 100–200 тыс. долл. Кроме того, в мире в последние десятилетия активно развиваются такие направления, как вирусология и биотехнологии. Это привело к тому, что за 30–40 лет число специалистов в этих областях знаний увеличилось в десятки раз, в том числе тех, кто способен освоить технологии накопления биомассы возбудителей ООИ. Общедоступность подробной информации о патогенах 3–4-й группы риска, их генетической структуре, способах культивирования, новейшие технологии модификации геномов

и методы синтетической биологии развязывают руки потенциальным злоумышленникам.

Бесконтрольная научная деятельность

Один их самых свежих примеров такой деятельности, несущей угрозу благополучию населения, относится к 2022 г., когда группа ученых Бостонского университета создала рекомбинантный вирус, сочетающий Омикрон и оригинальный Уханьский штамм. Эксперименты на мышах показали 80%-ный уровень летальности после воздействия данного «комбинированного» вируса, хотя в контрольной группе грызунов, которых заразили штаммом Омикрон, ни одна особь не умерла [7]. Возникают закономерные вопросы касательно истинных целей проведенного эксперимента и чрезвычайной опасности таких научных изысканий. Очевидно, что подобные эксперименты по целенаправленному усилению вирулентных свойств микроорганизмов представляют большую опасность ввиду возможности утечки модифицированных ПБА из лабораторий и возникновения пандемии невиданного до сих пор масштаба. Даже новая коронавирусная инфекция с относительно невысокой смертностью около 0,5–1,0% внесла существенные негативные коррективы в жизнь общества, на годы затормозив развитие многих отраслей экономики. Распространение же микроорганизмов с более высокой летальностью может реально поставить под угрозу существование человечества как такового.

Генетическая модификация микроорганизмов и методы синтетической биологии

Не менее серьезной угрозой может стать создание генетически модифицированных организмов и микроорганизмов, полученных методами синтетической биологии. Это новое направление исследований, представляющее собой следующий шаг в развитии геной инженерии – от модификации или перемещения нескольких генов между организмами к построению уникальных биологических систем с «запрограммированными» функциями и свойствами. Впервые термин «синтетическая биология» был предложен немецким биохимиком Барбарой Хобом в 1980 г. для описания трансгенной бактерии. Основные достижения в данной области связаны с именем американ-

ского генетика Крейга Вентера, которому в 2003 г. удалось синтезировать геномную ДНК бактериофага phiX174, в 2008 г. – полный бактериальный геном *Mycoplasma genitalium*, а в 2010 г. – геном *Mycoplasma mycoides*. В 2010 г. в институте Крейга Вентера на основе искусственно синтезированного генома была создана первая живая клетка, способная к размножению. Исследователи называют результат своего эксперимента гибридной живой клеткой, так как она была использована в качестве реципиента генома, созданного искусственно. В 2016 г. ученые сконструировали полностью искусственную клетку с минимальным набором генов, необходимых для ее функционирования. Считается, что в перспективе могут появиться искусственные геномы уже не на основе природных аналогов – ДНК и РНК, а базирующиеся на иных принципах кодирования.

Противодействовать вирусным угрозам можно по нескольким научно-практическим направлениям. Одно из них – разработка современных систем и средств мониторинга вирусных инфекций, в том числе особо опасных и эмерджентных в окружающей среде. Такие устройства могут быть использованы для постоянного мониторинга возбудителей инфекций в воздухе для применения на пограничных пунктах, в аэропортах, местах скопления людей, в пищевой продукции, на упаковке и др. Требуется разработка биосенсоров, ультрамобильных лабораторий для экспресс-диагностики, позволяющих получать результаты в течение кратчайшего времени.

В Республике Беларусь будет осуществляться скрининг потенциальных носителей инфекций, представляющих наибольшую опасность: высокопатогенных вирусов гриппа (птицы, млекопитающие), фило- и аренавирусов (рукокрылые), флавивирусов (кровососущие насекомые) и др. Данные мероприятия будут направлены на своевременное выявление опасных для человека инфекций у диких животных. Это позволит эффективно предотвращать эпидемии болезней у человека и сохранять популяции животных.

Планируется совершенствовать молекулярно-биологические методы диагностики и разрабатывать инновационные средства детекции ООИ и ЭВИ, выявлять в биологических образцах пациентов новые, еще не описанные и не изученные вирусы, представляющие высокую опасность, относящиеся к семействам фило-, арена-, флави-, поксвирусов и других (за последние десятилетия описаны десятки

опасных вирусов, относящихся к ним). Средства диагностики, имеющиеся в арсенале врачей, позволяют диагностировать лишь известные вирусы. Ранее не описанные будут с высокой вероятностью «пропущены». Предлагается создать инновационные методы, которые позволят обнаруживать их путем определения «консервативных» последовательностей генов, специфичных для целых родов и семейств вирусов.

Разработка новых способов и средств лечения вирусных инфекций

В последние два десятилетия на мировом фармацевтическом рынке появились новые противовирусные лекарственные средства для лечения таких хронических вирусных инфекций, как ВИЧ, вирусные гепатиты В и С, COVID-19. Несмотря на их высокую эффективность, приобретение вирусами лекарственной устойчивости практически неизбежно, что вынуждает исследователей моделировать структуру, синтезировать и испытывать все новые препараты, механизм действия которых отличается от относящихся к старому поколению.

Нужно отметить, что против многих вирусных инфекций отсутствуют как вакцины, так и специфические препараты. Имеется возможность разработать универсальное средство для профилактики и лечения инфекционных заболеваний, основанное на способности Т-лимфоцитов и дендритных клеток стимулировать иммунитет против вирусных и микробных антигенов. Так, у сотрудников Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси имеется успешный опыт лечения хронического гепатита В и туберкулеза легких при помощи дендритных клеток, что вселяет надежду на возможность разработки такой терапии против многих других инфекций. Применение вирусспецифических Т-лимфоцитов и дендритных клеток может не обладать очень высокой эффективностью, но в отсутствие иных лечебных и профилактических средств станет единственной альтернативой для спасения пациента.

Кроме того, клеточные технологии активно используются для лечения вирусных инфекций, при которых выявляется гиперактивация системы иммунитета: грипп, COVID-19. Проведенные в 2021 г. БГМУ и Институтом биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси клинические испытания по примене-

нию пулированных донорских мезенхимальных стволовых клеток в комбинированном лечении тяжелых форм новой коронавирусной инфекции показали хорошие результаты, что позволило Министерству здравоохранения утвердить инструкцию по применению.

Разработка вакцин против актуальных инфекционных заболеваний

В немалой степени благодаря пандемии COVID-19 на рынок массово вышли вакцины нового поколения на основе аденовирусных векторов, мРНК, ДНК, кодирующих иммуногенные белки SARS-CoV-2. Данные технологии разработаны достаточно давно, но ввиду определенного недоверия медицинского сообщества (которое достаточно консервативно) к новым подходам долгое время широко не использовались. Однако страх перед последствиями COVID-19 затмил предубеждения к новым типам вакцин, преимуществом которых перед старыми вариантами является более высокая иммуногенность и простота модификации состава препарата.

Все больший интерес вызывают универсальные и комбинированные вакцины против гриппа, COVID-19 и других вирусных инфекций, ведутся дискуссии о проведении в будущем индивидуальной вакцинации смесями антигенов, подобранными для каждого конкретного индивидуума после иммунологического обследования.

Нужно отметить, что наличие специалистов и биологических лабораторий для разработки и производства вакцин – важнейшая составляющая биобезопасности страны. Только при наличии возможности создать в кратчайшие сроки вакцину против любой инфекции и обеспечить ею в полной мере все население можно говорить об инфекционной безопасности. Опыт 2020 г. показал, что лишь несколько стран (РФ, КНР, Куба) были готовы поставлять нам вакцины против COVID-19 без лишних проволочек, не помещая нашу страну в долгий лист ожидания.

Поскольку в целом Беларусь полностью обеспечена качественными вакцинами, одним из важных направлений деятельности лабораторий вирусологии в нашей стране может стать разработка вакцин для профилактики вирусных инфекций, специфичных для стран Африки и Азии, что представляет значительный экспортный потенциал. ■