

Динамика изменений популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 у жителей Иркутской области в условиях пандемии COVID-19

С. В. Балахонов¹, В. И. Дубровина^{*1}, А. Б. Пятидесятникова¹, Д. Д. Брюхва¹,
Н. О. Киселева¹, К. М. Корытов¹, В. В. Войткова¹, А. Н. Пережогин¹,
М. В. Черникова¹, Т. А. Гаврилова², А. А. Селедцов³

¹ ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Роспотребнадзора

² Управление Роспотребнадзора по Иркутской области

³ Управление развития системы здравоохранения министерства здравоохранения Иркутской области

Резюме

Актуальность. Пандемия COVID-19 в мире и в России была и продолжает оставаться главным событием. В связи с этим изучение закономерностей развития и проявлений эпидемического процесса новой коронавирусной инфекции COVID-19 является актуальным направлением исследований. Важная роль в борьбе с этим вирусным заболеванием отводится изучению развития популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 с целью оценки динамики серопревалентности и процесса формирования постинфекционного гуморального иммунитета, прогноза развития эпидемиологической ситуации, выявления особенностей эпидемического процесса, а также планирования мероприятий по специфической и неспецифической профилактике заболевания.

Цель исследования – определение уровня и структуры популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 среди населения Иркутской области в период пандемии COVID-19. **Материалы и методы.** В рамках проекта Роспотребнадзора по оценке популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 у населения Российской Федерации проведено обследование населения Иркутской области в периоды с 23.06.2020 г. по 19.07.2020 г. (1-й этап), с 16.09.2020 г. по 25.09.2020 г. (2-й этап) и с 7.12.2020 г. по 18.12.2020 г. (3-й этап) с учетом протокола, рекомендованного ВОЗ. Содержание антител к SARS-CoV-2 определяли методом иммуноферментного анализа с использованием набора реагентов для анализа сыворотки или плазмы крови человека на наличие специфических иммуноглобулинов класса G к нуклеокапсиду вируса SARS-CoV-2. **Результаты.** Показано, что в период эпидемического подъема заболеваемости COVID-19 сформировался невысокий уровень серопревалентности (1-й этап – $5,8 \pm 0,5\%$; 2-й этап – $12,1 \pm 0,7\%$), а в условиях длительного максимального роста заболеваемости – $25,9 \pm 1,0\%$ (3-й этап). Значительная доля бессимптомных форм инфекции на первых двух этапах исследования (1-й этап – $81,2 \pm 3,2\%$, 2-й этап – $90,9 \pm 1,9\%$) характеризует высокую интенсивность скрыто развивающегося эпидемического процесса. Высокий уровень IgG у перенесших COVID-19 сохранялся в среднем от 3 до 4,5 месяцев. **Заключение.** Результаты оценки популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 у населения Иркутской области свидетельствуют о том, что уровень серопревалентности на 3-м этапе исследования составил 25,9%. После перенесенного заболевания в среднем у 41,6% лиц антитела не выявлены. Полученные результаты следует учитывать при организации профилактических мероприятий, включая вакцинацию, и прогнозировании заболеваемости.

Ключевые слова: гуморальный иммунитет, специфические антитела, COVID-19, SARS-CoV-2

Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Балахонов С. В., Дубровина В. И., Пятидесятникова А. Б. и др. Динамика изменений популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 у жителей Иркутской области в условиях пандемии COVID-19. Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2021;20(2): 12–17. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2021-20-2-12-17>.

Dynamics of Changes in Population Immunity to the SARS-CoV-2 Virus in Residents the Irkutsk Region in the Context of the COVID-19 Pandemic

SV Balakhonov¹, VI Dubrovina^{**1}, AB Pyatidesyatnikova¹, DD Bryukhova¹, NO Kiseleva¹, KM Korytov¹, VV Voitkova¹, AN Perezhogin¹, MV Chesnokova¹, TA Gavrilova², AA Seledcov³

¹ Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, Russia

² Rosпотребнадзор Administration for Irkutsk Region, Irkutsk, Russia

³ Department of Health System Development, Ministry of Health of the Irkutsk Region, Russia

* Для переписки: Дубровина Валентина Ивановна, д. б. н., заведующая лабораторией патофизиологии, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока. 664047, Иркутск, ул. Трилиссера, 78. +7(902) 510-00-04, dubrovina-valya@mail.ru. ©Балахонов С. В. и др.

** For correspondence: Dubrovina Valentina I., Dr. Sc. (Biol.), Head of the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. +7(902) 510-00-04, dubrovinavalya@mail.ru. ©Balakhonov SV et al.

Abstract

Background. The ongoing COVID-19 pandemic in the world and in Russia remains the main event in 2020. A comprehensive study of the patterns of development and manifestations of the epidemic process of the new coronavirus infection COVID-19 is an urgent line of research. One of the important aspects of the fight against COVID-19 is the study of population immunity to the SARS-CoV-2 virus in order to assess seroprevalence and the formation process of post-infectious humoral immunity to SARS-CoV-2, forecast the development of the epidemiological situation, identify the features of the epidemic process, as well as planning measures for specific and non-specific disease prevention. **The aim** of the research is to determine the level and structure of population immunity to SARS-CoV-2 among the humans of the Irkutsk region during the COVID-19 epidemic. **Materials and methods.** As part of the Rospotrebnadzor project to assess population immunity to SARS-CoV-2 in the population of the Russian Federation, research is being conducted among the population of the Irkutsk region in the periods from 06/23/2020 to 07/19/2020 (stage 1), from 09/16/2020 to 09/25/2020 (Stage 2) and from 12/07/2020 to 12/18/2020 (stage 3), taking into account the reacted one recommended by the WHO. The content of antibodies to SARS-CoV-2 was determined by ELISA using a set of tests for human serum or plasma for specific immunoglobulins of class G to the nucleocapsid of the SARS-CoV-2 virus produced by FBUN GNCPMiB Rospotrebnadzor (Obolensk). **The results** of a research of the humoral immunity of volunteers show that during the period of an epidemic rise in the incidence of COVID-19 in the Irkutsk region, a low level of seroprevalence was formed (stage 1 – $5.8 \pm 0.5\%$, stage 2 – $12.1 \pm 0.7\%$), and in conditions of a long-term maximum increase in the incidence rate – $25.9 \pm 1.0\%$ (stage 3). A significant proportion (stage 1 – $81.2 \pm 3.2\%$, stage 2 – $90.9 \pm 1.9\%$) of asymptomatic forms of infection characterize the high intensity of the latently developing epidemic process in the first two stages. High levels of IgG in reconvalescents of COVID-19 persisted for an average of 3 to 4.5 months. **Conclusion.** The results of assessing the population immunity to the SARS-CoV-2 virus in the population of the Irkutsk region indicate that the seroprevalence level at the 3rd stage of the research was 25.9%. After the disease, on average, 41.6% of persons did not detect antibodies. The results obtained should be taken into account when organizing preventive measures, including vaccination, and predicting morbidity.

Key words: humoral immunity, specific antibodies, COVID-19, SARS-CoV2
No conflict of interest to declare.

For citation: Balakhonov SV, Dubrovina VI, Pyatidesyatnikova AB, et al. Dynamics of changes in population immunity to the SARS-CoV-2 virus in residents the Irkutsk region in the context of the COVID-19 pandemic. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2021;20(2): 12–17 (In Russ.). <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2021-20-2-12-17>.

Введение

На данный момент в мире не прекращается пандемия COVID-19. В связи с этим важным аспектом в борьбе с COVID-19 является изучение популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 с целью оценки процесса формирования постинфекционного гуморального иммунитета, прогноза развития эпидемиологической ситуации, выявления особенностей эпидемического процесса, а также планирования мероприятий по специфической и неспецифической профилактике заболевания.

В настоящее время проводятся исследования, касающиеся различных направлений противодействия инфекции [1–4], таких как разработка методов диагностики, профилактики, лечения, а также изучение закономерностей, присущих эпидемическому процессу данного вирусного заболевания, и разработка системы эпидемиологического надзора за распространением SARS-CoV-2 на основе полученной информации.

Несмотря на рост ежедневного числа регистрируемых случаев, в настоящее время Россия занимает 55-е место как по уровню заболеваемости на 100 тыс. населения (показатель заболеваемости 1 690), так и по уровню летальности (1,7%) [5]. В Российской Федерации первые завозные случаи COVID-19 из КНР были зарегистрированы 31 января 2020 г. в г. Чита и г. Тюмень, при этом до 24 марта фиксировалась только единичная

заболеваемость в разных регионах страны, и лишь с конца марта рост приобрел практически экспоненциальный характер [6]. Максимальное число зараженных пришлось на 24.12.2020 г. и составило за сутки 29 935 человек. Наибольшее число инфицированных было выявлено в Москве, Московской области и Санкт-Петербурге – территориях с наибольшей плотностью населения [7]. Иркутская область по числу зараженных на 7 декабря 2020 г. занимала 10-е место среди 85 субъектов Российской Федерации (34 275 человека).

Общепризнанно, что напряженность коллективного иммунитета оказывает существенное влияние на уровень инфекционной заболеваемости [8], а инфекционный процесс спонтанно снижается в популяции, когда число людей, у которых содержание в крови специфических к возбудителю антител (АТ) достигает 60–70% [9]. Наиболее простым путем достижения подобного уровня гуморального иммунитета (серопревалентности) является спонтанная заболеваемость 60–70% восприимчивых лиц в популяции в отсутствие контроля за инфекцией. В свою очередь вакцинация является наиболее эффективной и безопасной мерой борьбы с инфекцией. Применительно к COVID-19 в этом направлении достигнуты определенные успехи, свидетельствующие о разработке вакцинных препаратов и их использовании для массовой вакцинации в разных странах [10–12]. Как считают D. Robison

Original Articles

и G. Lhermie, пока человечеству придется научиться жить с коронавирусом, разумно сочетая спонтанный рост серопревалентности с возможными терапевтическими средствами [11,13] и оптимальным комплексом противоэпидемических мероприятий, реализация которого не должна сопровождаться неприемлемым ущербом для экономики или мировой финансовой системы. Важным этапом в этом направлении может стать мониторинг популяционной серопревалентности [14,15].

Цель работы – определение уровня и структуры популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 среди населения Иркутской области в период эпидемии COVID-19.

Материалы и методы

В Иркутской области первый больной COVID-19 выявлен 23 марта 2020 г. (завозной случай из Объединенных Арабских Эмиратов). Определение серопревалентности к COVID-19 было организовано в период первого максимального подъема с 23.06.2020 по 19.07.2020 г. (1-й этап), на фоне снижения заболеваемости с 16.09.2020 по 25.09.2020 г. (2-й этап) и в период максимальной стабилизации уровня заболеваемости с 07.12.2020 по 18.12.2020 г. (3-й этап). Работа проводилась в рамках проекта Роспотребнадзора по оценке популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 у населения Российской Федерации с учетом протокола, рекомендованного ВОЗ [15].

В работе с добровольцами соблюдались этические принципы, предъявляемые Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Исследование одобрено локальным этическим комитетом института. Все волонтеры или их юридические представители ознакомились с целью и методикой исследования и подписали информированное согласие на участие в нем. Отбор добровольцев для тестирования проводили методом анкетирования и рандомизации путем случайной выборки. В каждом этапе участвовали одни и те же волонтеры.

В исследовании по оценке гуморального иммунитета к SARS-CoV-2 приняли участие 2674 (1-й этап), 1911 (2-й этап) и 1943 (3-й этап) добровольцев, распределенных на 7 возрастных групп. Доля волонтеров, принявших участие во 2-м этапе от общего числа участников 1-го этапа, составила 71,5%, а в 3 этапе 74,8%. По гендерному признаку группа включала 796 мужчин и 1804 женщины (1-й этап), во 2-м этапе – 537 и 1374, а в 3-м этапе – 532 и 1411 соответственно. Участие женщин в исследовании было в 2,3–2,7 раза активнее.

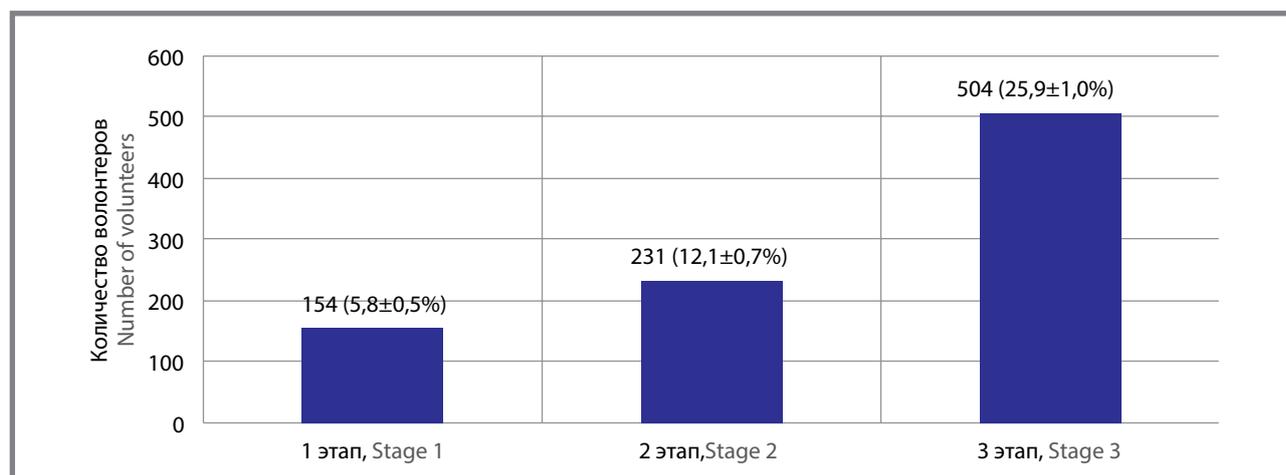
Содержание антител к SARS-CoV-2 определяли в сыворотке крови методом ИФА с использованием набора реагентов для анализа сыворотки или плазмы крови человека на наличие специфических иммуноглобулинов класса G к нуклеокапсиду SARS-CoV-2 (производство ФБУН ГНЦПМИБ Роспотребнадзора, г. Оболensk). Результаты учитывали качественным методом и считали положительными при превышении уровня индекса позитивности (ИП) > 1, расчет которого осуществлялся в соответствии с инструкцией к тест-системе.

Статистическую обработку проводили с использованием методов вариационной статистики с помощью статистического пакета Excel и программного продукта «WinPeri» (версия 11.65). Для оценки достоверности различий сравниваемых показателей использовали уровень вероятности $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Доля переболевших COVID-19 с диагнозом, установленным в медицинских организациях, в 1-м этапе исследования составила 1,8% (49 человек), во 2-м – 2,3% (43 человека), а в 3-м этапе – 14,9% (291 человек), среди них осложнения пневмонией отмечены у 79 волонтеров (27,2%). Кроме того, доля волонтеров, имевших признаки ОРЗ в день обследования, – 0,4% (10 человек), 4,7% (90 человек) и 3,8 для 1-го, 2-го и 3-го этапов соответственно.

Рисунок 1. Количество серопозитивных волонтеров
Figure 1. The amount of seropositive volunteers



Результаты исследования показали, что коллективный иммунитет совокупного населения Иркутской области составил на 1-м этапе – $5,8 \pm 0,5\%$ (154/2674 человека), на 2-м этапе – $12,1 \pm 0,7\%$ (231/1911 человек), на 3-м этапе – $25,9 \pm 1,0\%$ (504/1943 человека) (рис. 1).

Его максимальный уровень установлен на 1-м этапе исследования среди детей 14–17 лет ($13,8 \pm 3,5\%$) и 1–6 лет ($11,8 \pm 3,2\%$), на 2-м этапе – $20,1 \pm 2,5\%$ (1–17 лет), а на 3-м этапе – среди лиц возрастной группы 60–69 лет ($31,4 \pm 2,5\%$).

Серопревалентность не имела гендерных различий и составила: среди мужчин – $6,3 \pm 0,9\%$ (1-й этап), $13,1 \pm 4,0\%$ (2-й этап) и $24,8 \pm 1,9\%$ (3-й этап), женщин – $5,5 \pm 0,5\%$, $11,7 \pm 2,5\%$ и $26,4 \pm 1,2\%$ соответственно. Показано, что при наличии контактов с больными COVID-19 риск инфицирования возрастает в 3,1 раза (1-й этап) и в 1,6 раза (2-й этап). После перенесенной COVID-19 антитела вырабатываются в $56,5 \pm 7,7\%$ случаев (1-й этап), в $46,5 \pm 7,6\%$ (2-й этап) и в $59,8 \pm 3,7\%$ случаев (3-й этап). Доля бессимптомных форм течения инфекции среди серопозитивных жителей Иркутской области $81,2 \pm 3,2\%$ (1-й этап), $90,9 \pm 1,9\%$ (2-й этап) и $39,9 \pm 3,5\%$ (3-й этап). Количество серонегативных лиц с диагнозом COVID-19 (сроки наблюдения до 2,5 месяца) составило $32,9 \pm 2,7\%$, а после 3,5–4,5 месяца – $4,2 \pm 1,1\%$.

Среди районов и муниципальных образований Иркутской области серопревалентность (2-й этап) находилась в диапазоне от $4,9 \pm 1,5\%$

(Ангарский р-н) до $19,4 \pm 7,1\%$ (Иркутский р-н). Низкий уровень серопозитивности был установлен также в г. Саянск ($6,7 \pm 4,6\%$), Шелеховском районе ($6,7 \pm 7,3\%$), а наиболее высокий – в Усть-Кутском ($14,0 \pm 4,9\%$) и Боханском районах ($13,9 \pm 3,9\%$).

На 3-м этапе исследования серопревалентность находилась в диапазоне от $18,3 \pm 4,6\%$ (Усть-Илимский р-н) до $38,3 \pm 6,3\%$ (Усть-Кутский р-н). Серопозитивность в Боханском районе составила $19,1 \pm 4,8\%$, в г. Саянск – $20,9 \pm 6,2\%$, в Тайшетском районе – $22,8 \pm 5,6\%$. Более высокий уровень регистрировался в Усольском ($25,0 \pm 3,8\%$), Иркутском ($25,2 \pm 1,3\%$), Братском ($28,7 \pm 3,5\%$) и Ангарском ($29,9 \pm 3,0\%$) районах.

На рисунке 2 показано, что у волонтеров с установленной COVID-19 в ранние сроки наблюдения (до 5-го дня) IgG к SARS-CoV-2 не обнаруживались. На 5–10-й день с момента подтверждения диагноза специфические IgG определялись в диагностических титрах (1:400). При этом ИП варьировал от 1,0 до 2,5. С 15-х до 25-е сутки ИП был в диапазоне от 1,1 до 4,9, а в более поздние сроки наблюдения (30–145-е сутки) IgG по-прежнему обнаруживались, при этом уровень специфических IgG к SARS-CoV-2 оставался в пределах ИП 1,1–4,6. Максимальный уровень IgG был отмечен на 16–25-е сутки от даты установления диагноза (ИП 2,7–4,9).

Необходимо отметить, что доля серонегативных волонтеров, перенесших COVID-19, (сроки

Рисунок 2. Динамика выработки антител класса IgG у перенесших COVID-19 на разных сроках от начала заболевания по Иркутской области
Figure 2. Dynamics of the level of IgG antibodies in patients with COVID-19 at different times from the onset of the disease in the Irkutsk region

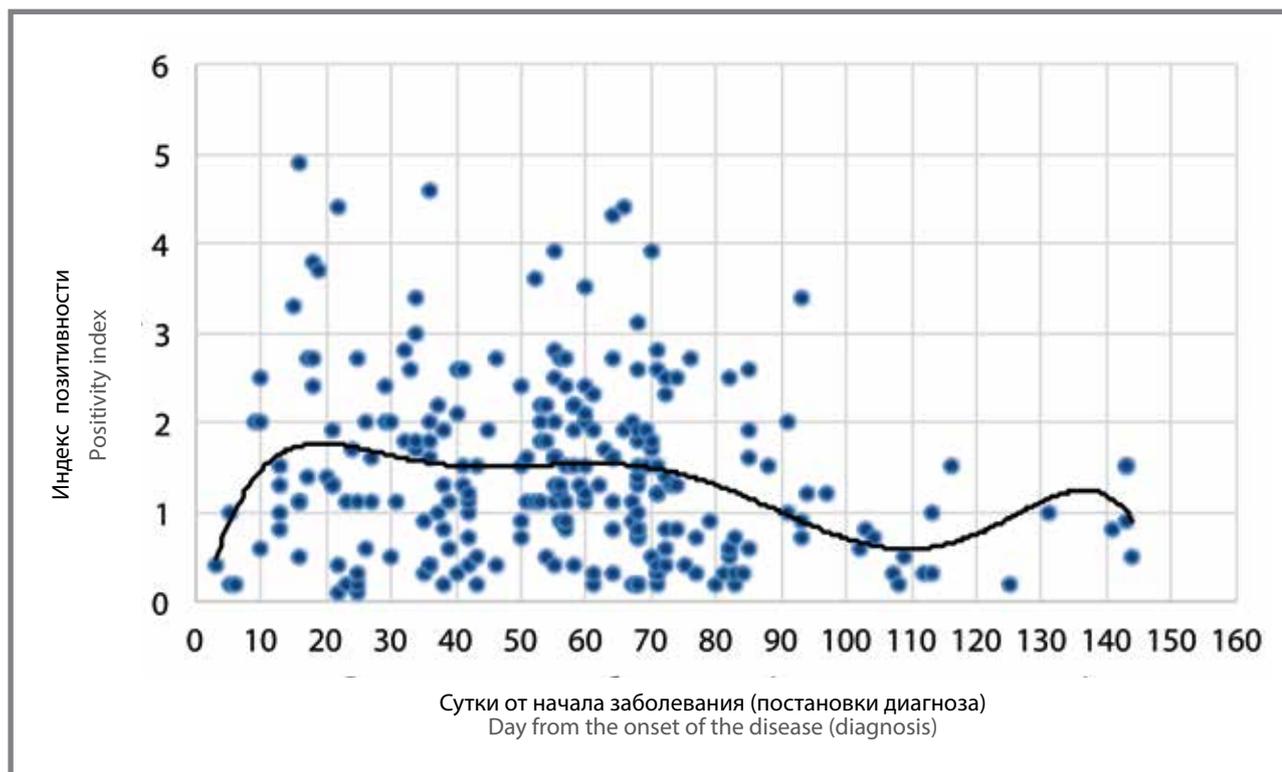
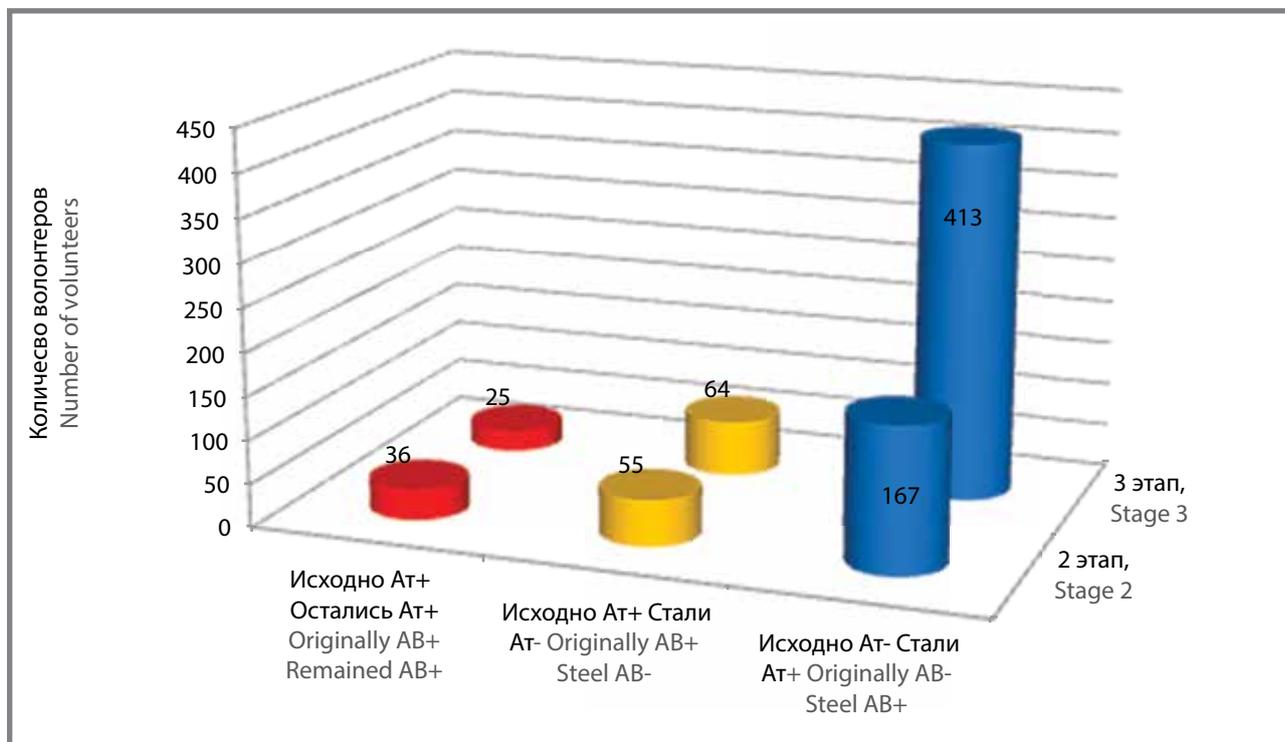


Рисунок 3. Динамика выработки антител класса IgG у перенесших COVID-19 на разных сроках от начала заболевания по Иркутской области

Figure 3. Dynamics of the level of IgG antibodies in patients with COVID-19 at different times from the onset of the disease in the Irkutsk region



наблюдения до 2,5 месяца) составила в среднем 38,4% (антитела не вырабатывались или были ниже диагностического титра), а после 3,5–4,5 месяца – 4,2%. Среди серопозитивных участников исследования 70,7% были с бессимптомной формой инфекции.

В зависимости от исходного статуса (наличие антител или их отсутствие) уровень IgG к SARS-CoV-2 среди 91 серопозитивного волонтера из первого этапа исследования популяционного иммунитета на территории Иркутской области лишь у 36 человек IgG по-прежнему выявлялись на 2-м этапе, а у 55 (60,4%) – ниже диагностических титров или не определялись. При этом 167 (10,4%) серонегативных волонтеров первого этапа стали серопозитивными на 2-м этапе (рис. 3). На 3 этапе из 91 серопозитивного волонтера 1-го этапа исследований антитела по-прежнему выявлялись только у 25 человек.

Установлено, что сероположительный статус сохранен у 27,5% волонтеров. Отсутствие антител у исходно сероположительных волонтеров 1-го этапа установлено на 3-м этапе в 70,3% случаях (64 человека). Доля вновь выявленных сероположительных волонтеров (сероотрицательные на 1-м

и 2-м этапах стали серопозитивными на 3-м этапе) составила 81,9% (413 человек).

Закключение

Таким образом, результаты оценки популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 у населения Иркутской области свидетельствуют о том, что в начальный период развития эпидемической вспышки и на фоне снижения заболеваемости COVID-19 сформировался невысокий уровень серопревалентности (1-й этап – 5,8%; 2-й этап – 12,1%). В период повторного роста заболеваемости серопревалентность достигла 25,9% (3-й этап), что в 4,5 раза больше по сравнению с 1-м этапом исследования. После перенесенной инфекции COVID-19 антитела в среднем выявлялись у 54,3% переболевших. Спустя 3,5–4,5 месяца от начала заболевания сохранялся высокий уровень IgG (выше диагностического титра 1:400), доля серонегативных волонтеров с диагнозом COVID-19 составила 4,2%. Доля бессимптомных форм инфекции среди серопозитивных жителей Иркутской области составила в среднем 70,7%. Полученные результаты можно учитывать при планировании профилактических мероприятий, включая вакцинацию, и прогнозирования заболеваемости.

Литература

1. Wu P, Hao X, Lau EHY, Wong JY, Leung KSM, et al. Real-time tentative assessment of the epidemiological characteristics of novel coronavirus infections in Wuhan, China, as at 22 January 2020. *Euro Surveill.* 2020;25(3):2000044. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000044.
2. World Health Organization Statement Regarding Cluster of Pneumonia Cases in Wuhan, China. Beijing: WHO; 9 Jan 2020. Доступно на: <https://www.who.int/china/news/detail/09-01-2020-who-statement-regarding-cluster-of-pneumonia-cases-in-wuhan-china>.
3. Cui J, Li F, Shi ZL. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nat. Rev. Microbiol.* 2019;17: 181–192. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0118-9>.

- Новиков Д.В., Мохонов В.В., Мохонова Е.В. и др. Разработка вакцины против коронавирусной инфекции на базе норовирусной молекулярной платформы. COVID19-PREPRINTS.MICROBE.RU. <https://doi.org/10.21055/preprints-3111910>.
- Доклад главного государственного санитарного врача Российской Федерации А.Ю. Половой на Международной научно-практической конференции по вопросам противодействия новой коронавирусной инфекции и другим инфекционным заболеваниям, г. Санкт-Петербург, 9 декабря 2020 г. Доступно на: <https://www.pasteur.org.ru>
- Выступление Генерального директора ВОЗ на пресс-брифинге по коронавирусной инфекции 2019-nCoV, 11 февраля 2020 г. Доступно на: <https://www.who.int/ru/dg/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020>.
- Оперативные данные. Доступно на: <https://xn--80aesfpebagmflbc0a.xn--p1ai/>.
- Online map of coronavirus COVID-19 distribution. Доступно на: <https://coronavirus-monitor.info/>.
- Lourenço J, Paton R, Ghafari M, Kraemer M, Thompson C, et al. Fundamental principles of epidemic spread highlight the immediate need for large-scale serological surveys to assess the stage of the SARS-CoV-2 epidemic. 2020. medRxiv 2020.03.24.20042291. DOI: 10.1101/2020.03.24.20042291.
- Corey L, Mascola JR, Fauci AS, Collins FS. A strategic approach to COVID-19 vaccine R&D. Science. 2020; 368(6494): 948–950. <https://doi.org/10.1126/science.abc5312>.
- Смирнов В.С., Тотолян А.А. Некоторые возможности иммунотерапии при коронавирусной инфекции. Инфекция и иммунитет. 2020; 10(3): 446–458. DOI: 10.15789/2220-7619-SPO-1470.
- Wu SC. Progress and Concept for COVID-19 Vaccine Development. Biotechnol. J. 2020; 15(6): 1–3. DOI: 10.1002/biot.202000147.
- Robison D, Lhermie G. Living With COVID-19: A Systemic and Multi-Criteria Approach to Enact Evidence-Based Health Policy. Front Public Health. 2020; 8: 294. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00294>.
- Попова А. Ю., Ежлова Е. Б., Мельникова А. А. и др. 2020. Популяционный иммунитет к вирусу SARS-CoV-2 среди населения Санкт-Петербурга в активную фазу эпидемии COVID-19. Доступно на: <https://covid19-preprints.microbe.ru>. DOI: 10.21055/preprints-3111752.
- Попова А. Ю., Ежлова Е. Б., Мельникова А. А. и др. 2020. Опыт оценки популяционного иммунитета к sars-cov-2 среди населения Ленинградской области в период эпидемии COVID-19. Доступно на: <https://covid19-preprints.microbe.ru>. DOI: 10.21055/preprints-3111753.
- Population-based age-stratified seroepidemiological investigation protocol for COVID-19 infection. WHO/2019-nCoV/Seroepidemiology/2020.2. Доступно на: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV/Seroepidemiology-2020.2>.

References

- Wu P, Hao X, Lau EHY, Wong JY, Leung KSM, et al. Real-time tentative assessment of the epidemiological characteristics of novel coronavirus infections in Wuhan, China, as at 22 January 2020. Euro Surveill. 2020 Jan 23; 25(3): 2000044. DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000044.
- World Health Organization (WHO). WHO Statement Regarding Cluster of Pneumonia Cases in Wuhan, China. Beijing: WHO; 9 Jan 2020. Available at: <https://www.who.int/china/news/detail/09-01-2020-who-statement-regarding-cluster-of-pneumonia-cases-in-wuhan-china>.
- Cui J, Li F, Shi ZL. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. Nat. Rev. Microbiol. 2019; 17: 181–192. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0118-9>.
- Novikov DV, Mokhonov VV, Mokhonova EV, Lapin VA, Melentev DA, Novikov VV. 2020. Development of a vaccine against coronavirus infection based on a norovirus molecular platform. COVID19-PREPRINTS.MICROBE.RU (In Russ.). <https://doi.org/10.21055/preprints-3111910>.
- Report of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation A. Yu. Popova at the International Scientific and Practical Conference on Counteracting Novel Coronavirus Infection and Other Infectious Diseases, St. Petersburg; 9 Dec 2020 r. (In Russ.). Available at: <https://www.pasteur.org.ru>.
- Statement by the WHO Director-General at the press briefing on coronavirus infection 2019-nCoV; 11 Feb 2020 z. Available at: <https://www.who.int/ru/dg/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020>.
- Online map of coronavirus COVID-19 distribution. Available at: <https://coronavirus-monitor.info/>.
- Operational data. Available at: <https://xn--80aesfpebagmflbc0a.xn--p1ai/>.
- Lourenço J, Paton R, Ghafari M, et al. Fundamental principles of epidemic spread highlight the immediate need for large-scale serological surveys to assess the stage of the SARS-CoV-2 epidemic. 2020. medRxiv 2020.03.24.20042291. DOI: 10.1101/2020.03.24.20042291.
- Corey L, Mascola JR, Fauci AS, Collins FS. A strategic approach to COVID-19 vaccine R&D. Science. 2020; 368(6494): 948–950. <https://doi.org/10.1126/science.abc5312>.
- Смирнов VS, Totonian AA. Some opportunities for immunotherapy in coronavirus infection. Russian Journal of Infection and Immunity. 2020; 10(3): 446–458. (In Russ.). DOI: 10.15789/2220-7619-SPO-1470.
- Wu SC. Progress and Concept for COVID-19 Vaccine Development. Biotechnol. J. 2020; 15(6): 1–3. DOI: 10.1002/biot.202000147.
- Robison D, Lhermie G. Living With COVID-19: A Systemic and Multi-Criteria Approach to Enact Evidence-Based Health Policy. Front Public Health. 2020; 8: 294. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00294>.
- Popova AY, Ezhlova EB, Melnikova AA, et al. 2020. Population immunity to the SARS-CoV-2 virus among the population of St. Petersburg in the active phase of the COVID-19 epidemic. (In Russ.). Available at: <https://covid19-preprints.microbe.ru>. DOI: 10.21055/preprints-3111752.
- Popova AY, Ezhlova EB, Melnikova AA, et al. Experience of assessing population immunity to sars-cov-2 among the population of the Leningrad region during the COVID-19 epidemic. 2020. (In Russ.). Available at: <https://covid19-preprints.microbe.ru>. DOI: 10.21055/preprints-3111753.
- Population-based age-stratified seroepidemiological investigation protocol for COVID-19 infection. WHO/2019-nCoV/Seroepidemiology/2020.2. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV/Seroepidemiology-2020.2>.

Об авторах

- Сергей Владимирович Балахонов** – д. м. н., профессор, директор Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. 8 (395) 222-02-35, balakhonov.irk@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4201-5828. Scopus ID 6602291694.
- Валентина Ивановна Дубровина** – д. б. н., заведующая лабораторией патобиологии Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. 8 (395) 222-02-35, dubrovina-valya@mail.ru. ORCID: 0000-0001-8561-6207. ScopusID 6603504416.
- Анна Борисовна Пятидесятникова** – младший научный сотрудник лаборатории патобиологии Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. 8 (395) 222-02-35, adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0002-6381-4517. ScopusID 57202586158.
- Дарья Дмитриевна Брюхова** – младший научный сотрудник лаборатории патобиологии Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. 8 (924) 704-26-57, darabrukhov@mail.ru. ORCID: 0000-0002-5589-9522.
- Наталья Олеговна Киселева** – лаборант-исследователь лаборатории патобиологии Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. 8 (983) 412-27-00, nata13026@yandex.ru. ORCID: 0000-0001-6678-2998. ScopusID 57194283188.
- Константин Михайлович Корытов** – научный сотрудник лаборатории патобиологии Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. 8 (395) 222-02-35, adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0003-1137-6049.
- Валентина Владимировна Войткова** – к. б. н., старший научный сотрудник лаборатории патобиологии Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. 8 (395) 222-02-35, adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0002-0685-7625.
- Алексей Николаевич Пережогин** – заведующий отделом санитарной охраны и мониторинга чрезвычайных ситуаций Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. 8 (395) 222-02-35, adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0002-5678-468X.
- Маргарита Валентиновна Чеснокова** – д. м. н., заведующая отделом научного и учебно-методического обеспечения Иркутского научно-исследовательского противочумного института, 664047, Иркутск, ул. Триллссера, 78. +7 (964) 653-72-38, mar_chumin@mail.ru. ORCID 0000-0001-5489-9363. ScopusID 660266613.
- Татьяна Анатольевна Гаврилова** – заместитель начальника отдела эпидемиологического надзора Управления Роспотребнадзора по Иркутской области, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 8. epid@38.rosptrebnadzor.ru.
- Александр Анатольевич Селедцов** – начальник управления развития системы здравоохранения министерства здравоохранения Иркутской области, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 29. guizio@guizio.ru.

Поступила: 21.01.2021. Принята к печати: 17.03.2021.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- Sergey V. Balakhonov** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Director of Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0003-4201-5828. ScopusID 6602291694.
- Valentina I. Dubrovina** – Dr. Sc. (Biol.), Head of the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. dubrovina-valya@mail.ru. ORCID: 0000-0001-8561-6207. ScopusID 6603504416.
- Anna B. Pyatidesyatnikova** – Junior Research Officer at the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0002-6381-4517.
- Daria D. Briukhova** – Junior Research Officer at the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. darabrukhov@mail.ru. ORCID: 0000-0002-5589-9522.
- Natalia O. Kiseleva** – laboratory assistant-researcher at the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. nata13026@yandex.ru. ORCID: 0000-0001-6678-2998.
- Konstantin M. Korytov** – Research Officer at the Laboratory of Pathophysiology, Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0003-1137-6049.
- Valentina V. Voitkova** – Cand. Sc. (Biol.), Senior Research Officer at the Laboratory of Pathophysiology, Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0002-0685-7625.
- Alexey N. Perezogin** – head of the department of sanitary protection and monitoring of emergency situations, Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russia. adm@chumin.irkutsk.ru. ORCID: 0000-0002-5678-468X.
- Margarita V. Chesnokova** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Scientific and Educational-Methodological Support, Irkutsk Anti-plague Research Institute of Siberia and Far East of Rosptrebnadzor. mar_chumin@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5489-9363, ScopusID 660266613.
- Tatyana A. Gavrilova** – Deputy Head of the Epidemiological Surveillance Department of the Rosptrebnadzor Directorate for the Irkutsk Region. 8, Karla Marksa St., Irkutsk, 664003, Russia. epid@38.rosptrebnadzor.ru.
- Alexander A. Seledtsov** – Head of the Department of Health System Development of the Ministry of Health of the Irkutsk Region. 29, Karla Marksa St., Irkutsk, 664003, Russia. guizio@guizio.ru.

Received: 21.01.2021. Accepted: 17.03.2021.
Creative Commons Attribution CC BY 4.0.