

DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-124-130

УДК 616.98:578.2

А.Ю. Попова^{1,2}, Е.Б. Ежлова¹, А.А. Мельникова¹, Н.С. Башкетова³, Р.К. Фридман⁴, Л.В. Лялина⁵,
В.С. Смирнов⁵, И.Г. Чхинджерия³, Т.А. Гречанинова⁴, К.А. Агапов⁴, Н.А. Арсентьева⁵, Н.А. Баженова⁵,
О.К. Бацунов⁵, Е.М. Данилова⁵, Е.В. Зуева⁵, Д.В. Комкова⁵, Р.Н. Кузнецова⁵, Н.Е. Любимова⁵,
А.Н. Маркова⁵, И.В. Хамитова⁵, В.И. Ломоносова⁵, В.В. Ветров⁵, А.М. Миличкина⁵, В.Г. Дедков⁵,
А.А. Тотолян⁵

ПОПУЛЯЦИОННЫЙ ИММУНИТЕТ К SARS-COV-2 СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В ПЕРИОД ЭПИДЕМИИ COVID-19

¹Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Российская Федерация;

²Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация;

³Управление Роспотребнадзора по городу Санкт-Петербургу, Санкт-Петербург, Российская Федерация; ⁴ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», Санкт-Петербург, Российская Федерация; ⁵ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Пастера», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В Санкт-Петербурге первый случай COVID-19 диагностирован 2 марта 2020 г., период нарастания заболеваемости продолжался в течение 10 недель, максимальные показатели зафиксированы в середине мая, и в дальнейшем отмечалось статистически значимое снижение заболеваемости. **Цель** – определение уровня и структуры популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 среди населения Санкт-Петербурга в период интенсивного распространения COVID-19. **Материалы и методы.** Отбор волонтеров для исследования проводили методом анкетирования и рандомизации. Критерием исключения являлась активная инфекция COVID-19 в момент анкетирования. На наличие специфических антител к SARS-CoV-2 обследовано 2713 человек в возрасте от 1 года до 70 лет и старше. Антитела определяли иммуноферментным методом. **Результаты и обсуждение.** Исследования показали, что в Санкт-Петербурге в активную фазу заболеваемости COVID-19 наблюдались умеренная серопревалентность к SARS-CoV-2, составившая 26 %, и высокая частота (84,5 %) бессимптомной инфекции у серопозитивных лиц, не имевших в анамнезе перенесенного заболевания COVID-19, положительного результата ПЦР и симптомов ОРЗ в день обследования. Максимальные показатели коллективного иммунитета установлены у детей 1–6 лет (31,1 %), 7–13 лет (37,7 %) и лиц старше 70 лет (30,4 %). Различия с уровнем серопревалентности в возрастных группах 18–49 лет статистически значимы. Наибольший уровень серопревалентности выявлен среди безработных (29,7 %), работников здравоохранения (27,1 %), образования (26,4 %) и бизнеса (25 %). У реконвалесцентов COVID-19 антитела обнаружены в 75 % случаев. У лиц с позитивным результатом ПЦР-анализа, проведенного ранее, антитела выявлены в 70 % случаев. Результаты исследования коллективного иммунитета к SARS-CoV-2 необходимы для разработки прогноза развития эпидемиологической ситуации, а также для планирования мероприятий по специфической и неспецифической профилактике COVID-19.

Ключевые слова: коронавирус SARS-CoV-2, COVID-19, серопревалентность, заболеваемость, бессимптомная инфекция.

Корреспондирующий автор: Смирнов Вячеслав Сергеевич, e-mail: vssmi@mail.ru.

Для цитирования: Попова А.Ю., Ежлова Е.Б., Мельникова А.А., Башкетова Н.С., Фридман Р.К., Лялина Л.В., Смирнов В.С., Чхинджерия И.Г., Гречанинова Т.А., Агапов К.А., Арсентьева Н.А., Баженова Н.А., Бацунов О.К., Данилова Е.М., Зуева Е.В., Комкова Д.В., Кузнецова Р.Н., Любимова Н.Е., Маркова А.Н., Хамитова И.В., Ломоносова В.И., Ветров В.В., Миличкина А.М., Дедков В.Г., Тотолян А.А. Популяционный иммунитет к SARS-CoV-2 среди населения Санкт-Петербурга в период эпидемии COVID-19. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2020; 3:124–130. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-124-130

Поступила 21.09.20. Принята к публ. 23.09.20.

A.Yu. Popova^{1,2}, E.B. Ezhlova¹, A.A. Mel'nikova¹, N.S. Bashketova³, R.K. Fridman⁴, L.V. Lyalina⁵,
V.S. Smirnov⁵, I.G. Chkhindzheriya³, T.A. Grechaninova⁴, K.A. Agapov⁴, N.A. Arsent'eva⁵,
N.A. Bazhenova⁵, O.K. Batsunov⁵, E.M. Danilova⁵, E.V. Zueva⁵, D.V. Komkova⁵, R.N. Kuznetsova⁵,
N.E. Lyubimova⁵, A.N. Markova⁵, I.V. Khamitova⁵, V.I. Lomonosova⁵, V.V. Vetrov⁵, A.M. Milichkina⁵,
V.G. Dedkov⁵, A.A. Totolyan⁵

Herd Immunity to SARS-CoV-2 among the Population in Saint-Petersburg during the COVID-19 Epidemic

¹Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Right Protection and Human Welfare, Moscow, Russian Federation;

²Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russian Federation;

³Rospotrebnadzor Administration in Saint-Petersburg, St. Petersburg, Russian Federation;

⁴Center of Hygiene and Epidemiology in Saint-Petersburg, St. Petersburg, Russian Federation;

⁵Saint-Petersburg Pasteur Research Institute of Epidemiology and Microbiology, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The first case of COVID-19 was diagnosed in St. Petersburg on March 2, 2020; the period of increase in the incidence lasted for 10 weeks, the maximum rates were recorded in mid-May, and subsequently there was a statistically significant decrease in the incidence. **Objective:** to determine the level and structure of community immunity to SARS-CoV-2 among the population of St. Petersburg during the period of intensive spread of COVID-19. **Materials and methods.** Selection of volunteers for the study was carried out through interviewing and randomization. The exclusion criterion was active COVID-19 infection at the time of the survey. 2713 people aged 1 to 70 years and above were

examined for the presence of specific antibodies to SARS-CoV-2. Antibodies were detected by enzyme immunoassay. **Results and discussion.** Studies have shown that in St. Petersburg, in the active phase of COVID-19 epidemic, there was a moderate seroprevalence to SARS-CoV-2, which amounted to 26 %, against the background of a high frequency (84.5 %) of asymptomatic infection in seropositive individuals who did not have a history of COVID-19 disease, positive PCR result and ARI symptoms on the day of examination. The maximum indicators of herd immunity were established in children 1–6 years old (31.1 %), 7–13 years old (37.7 %) and people over 70 years old (30.4 %). Differences in the level of seroprevalence in the age groups of 18–49 years are statistically significant. The highest level of seroprevalence was found among the unemployed (29.7 %), healthcare workers (27.1 %), education sector (26.4 %) and business sector personnel (25 %). In convalescents, COVID-19 antibodies are produced in 75 % of cases. In individuals with positive result of PCR analysis carried out earlier, antibodies are detected in 70 % of the cases. The results of the study of herd immunity to SARS-CoV-2 are essential to forecast the development of the epidemiological situation, as well as to plan measures for specific and non-specific prevention of COVID-19.

Key words: Coronavirus SARS-CoV-2, COVID-19, seroprevalence, incidence, asymptomatic infection.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Corresponding author: Vyacheslav S. Smirnov, e-mail: vssmi@mail.ru.

Citation: Popova A.Yu., Ezhlova E.B., Mel'nikova A.A., Bashketova N.S., Fridman R.K., Lyalina L.V., Smirnov V.S., Chkhindzheriya I.G., Grechaninova T.A., Agapov K.A., Arsent'eva N.A., Bazhenova N.A., Batsunov O.K., Danilova E.M., Zueva E.V., Komkova D.V., Kuznetsova R.N., Lyubimova N.E., Markova A.N., Khamitova I.V., Lomonosova V.I., Vetrov V.V., Milichkina A.M., Dedkov V.G., Totolyan A.A. Herd Immunity to SARS-CoV-2 among the Population in Saint-Petersburg during the COVID-19 Epidemic. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2020; 3:124–130. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-124-130
Received 21.09.20. Accepted 23.09.20.

Popova A.Yu., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4315-5307>
Lyalina L.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9921-3505>
Smirnov V.S., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2723-1496>
Kuznetsova R.N., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4932-6733>
Dedkov V.G., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5500-0169>
Totolyan A.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4571-8799>

В конце 2019 – начале 2020 г. появились сообщения о вспышке инфекции, вызванной новым штаммом бета-коронавируса SARS-CoV-2, а заболевание Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определила как coronavirus disease 2019 (COVID-19) [1–3]. По данным ВОЗ, в июне 2020 г. эта инфекция выявлялась практически повсеместно, в мире зарегистрировано более 9,5 млн заразившихся, из которых 4,8 млн выздоровели, 486 тыс. летальных исходов. В Российской Федерации по состоянию на середину июня заболели COVID-19 493657 человек, показатель заболеваемости составил 336,18 на 100 тыс. населения.

В Санкт-Петербурге первый случай COVID-19 диагностирован 2 марта 2020 г., период нарастания заболеваемости продолжался в течение 10 недель, максимальные показатели зафиксированы в середине мая, в дальнейшем отмечалось статистически значимое снижение заболеваемости. Указанная динамика развития эпидемического процесса инфекции, обусловленной SARS-CoV-2, и опубликованные данные о сроках формирования антител класса IgG к вирусу в течение 2–4 недель [4] послужили основанием для

выбора оптимального срока проведения исследования по определению серопревалентности к COVID-19 среди населения Санкт-Петербурга (рисунок).

Вопросы популяционного иммунитета к COVID-19 вызывают большой интерес и имеют важное научное и практическое значение. Результаты исследования о состоянии коллективного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 необходимы для разработки прогноза развития эпидемиологической ситуации, а также для планирования мероприятий по специфической и неспецифической профилактике COVID-19. Наличие широкой иммунной прослойки среди населения может служить эффективным фактором снижения темпов распространения возбудителя. Согласно опубликованным данным, пороговый уровень популяционного иммунитета, необходимый для угасания ряда инфекций, составляет 60–70 % [5]. Однако в недавнем исследовании по COVID-19 показано, что эта величина может быть снижена до 40 % [6]. Это зависит от особенностей жизни людей в современных условиях, интенсивности миграции, активности контактов, своевременности и эффективности противоэпидемических мероприятий. В связи с изложенным



Понедельная суммарная заболеваемость (число зараженных) COVID-19 в Санкт-Петербурге в 2020 г.

Примечание: стрелкой отмечен период, в который проведены исследования на серопревалентность (15.06.2020 – 20.06.2020).

Weekly total COVID-19 incidence (number of infected) in St. Petersburg in 2020

Note: the arrow indicates the beginning and the end of the study (June 15 – June 20, 2020).

изучение популяционного иммунитета на конкретных территориях представляет значительный интерес и может служить важным обоснованием при планировании профилактических мероприятий.

Целью проведенного сероэпидемиологического исследования явилось определение уровня и структуры популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 среди населения Санкт-Петербурга в период интенсивного распространения COVID-19.

Материалы и методы

Работа проводилась в рамках широкомасштабного проекта Роспотребнадзора по оценке популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 у населения Российской Федерации с учетом протокола, рекомендованного ВОЗ. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера. Перед началом исследования все участники или их юридические представители ознакомились с целью и методикой исследования и подписали информированное согласие.

Отбор добровольцев для исследования проводили методом анкетирования и случайной выборки. Критерием исключения являлась активная инфекция COVID-19 в момент анкетирования. Объем выборки определяли по формуле:

$$n = \frac{t^2 \cdot p(1-p)}{m^2},$$

где n – объем выборки;

t – уровень точности (для 95 % ДИ $t=1,96$);

p – оценочная распространенность изучаемого явления (в данном случае при 50 % = 0,5);

m – допустимая ошибка – 5 % [7].

Расчет объема возрастной группы:

$$n = 1,962 \cdot 0,5(1 - 0,5) / 0,052 = 384 \text{ человека.}$$

По результатам анкетирования отобрано 3806 волонтеров, из них у 2713 человек отбирали пробы крови из вены для последующего исследования на наличие специфических антител к SARS-CoV-2.

Возраст обследованных добровольцев варьировал от 1 года до 70 лет и старше. Количество волонтеров во всех возрастных группах являлось сопоставимым (от 377 до 442), за исключением группы 70 лет и старше, однако ее численность является репрезентативной. Учитывая особенность детского возраста, первую группу разделили на три подгруппы: 1–6 лет, 7–13 лет и 14–17 лет. Из всего количества волонтеров доля лиц с наличием в анамнезе верифицированного диагноза COVID-19 составила 3,1 % (84 человека), лиц с признаками ОРВИ неуточненной этиологии в день обследования – 2,6 % (70 человек).

Пробы крови волонтеров отбирали в вакутейнеры с ЭДТА и обрабатывали методом центрифугирования. Плазму отделяли от клеточных элементов, переносили в пластиковые пробирки и хранили до исследования при температуре 4 °С. Содержание антител к SARS-CoV-2 определяли методом ИФА с использованием набора реагентов для анализа сыворотки

или плазмы крови человека на наличие специфических иммуноглобулинов класса G к нуклеокапсиду вируса SARS-CoV-2 производства Государственного научного центра прикладной микробиологии и биотехнологии (Оболensk). Результаты учитывали качественным методом и считали положительными при превышении уровня cut-off.

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

Уровень серопревалентности среди населения Санкт-Петербурга. Число жителей города, содержащих IgG антитела к SARS-CoV-2, в целом составило 26,0 % (705/2713), гендерные различия в серопозитивности не установлены. Среди мужчин IgG антитела выявлены у 24,4 % волонтеров, у женщин – 26,9 % ($p > 0,05$).

При оценке серопревалентности в различных возрастных группах волонтеров (табл. 1) установлено, что среди детей в возрасте до 17 лет показатели являлись более высокими по сравнению с возрастными группами 18–49 лет, различия статистически значимы ($p < 0,05$). Различия в уровнях серопревалентности среди детей и возрастных категорий 50 лет и старше не существенны ($p > 0,05$).

Важным показателем является уровень серопревалентности к SARS-CoV-2 среди населения разных районов города (табл. 2). Как следует из представленных данных, наименьший уровень серопозитивности выявлен среди обследованных жителей Фрунзенского района, однако этот показатель существенно не отличался еще в пяти районах (Адмиралтейский, Колпинский, Красносельский, Московский, Центральный). В десяти районах города показатели серопревалентности оказались достоверно выше и варьировали от 24,2 % в Приморском районе до 39,5 % в Петродворцовом районе.

При анализе результатов исследования проведена оценка уровня серопревалентности в разных профессиональных и социальных группах населения (табл. 3).

Исследование показало, что наибольший уровень серопозитивности выявлен у безработных (29,5 %), детей (29,3 %), работников здравоохранения (27,1 %), образования (26,4 %), бизнесменов (25,0 %), различия показателей серопревалентности в социально-профессиональных группах оказались статистически незначимы ($p > 0,05$). Наименьший уровень серопревалентности отмечался среди военнослужащих, однако к этим результатам вследствие небольшой выборки стоит относиться с известной долей осторожности. С другой стороны, эти данные требуют повышенного внимания при их независимом подтверждении, поскольку могут свидетельствовать о низкой вовлечен-

Таблица 1 / Table 1

Серопозитивность к SARS-CoV-2 жителей Санкт-Петербурга в разных возрастных группах

Seropositivity to SARS-CoV-2 among the residents of St. Petersburg in different age groups

Возрастная группа Age group, years	Общее кол-во обследованных Total number of the examined people	Серопозитивные Seropositive	Серонегативные Seronegative	Серопревалентность, % (95 % доверительный интервал) Seroprevalence, % (95 % confidence interval)	
1–17	377	121	256	32,1 (27,4–37,1)	
В том числе: Including:	1–6	106	33	73	31,1 (22,5–40,7)
	7–13	146	55	91	37,7 (29,8–46,1)
	14–17	125	33	92	26,4 (18,9–35,0)
18–29	390	83	307	21,3 (17,3–25,7)	
30–39	416	95	321	22,8 (18,9–27,2)	
40–49	395	88	307	22,3 (18,3–26,7)	
50–59	413	105	308	25,4 (21,3–29,9)	
60–69	442	128	314	29,0 (24,8–33,4)	
70 и старше 70 and more	280	85	195	30,4 (25,0–36,1)	
Итого: Total:	2713	705	2008	26,0 (24,3–27,7)	

ности военнослужащих в процессы формирования популяционного иммунитета к COVID-19, что может быть обусловлено известной закрытостью воинских коллективов и связанной с этим изолированностью от эпидемического процесса в городе.

Уровень серопозитивности у лиц, переболевших или имевших контакт с больными COVID-19.

Особенностью COVID-19 является значительная гетерогенность антительного ответа как в процессе заболевания, так и в период реконвалесценции [2], причем далеко не всегда удается связать серопозитивность реконвалесцента с тяжестью перенесенного заболевания и продолжительностью постинфекционного анамнеза. В связи с этим анализ анамнестической серопозитивности к COVID-19 у переболевших и имевших или не имевших контакт с больными COVID-19 представляет существенное эпидемиологическое значение. Так, в группе лиц, никогда не имевших явного контакта с больными COVID-19, доля серопозитивных лиц составила 22,6 %, а при наличии подобных контактов этот показатель оказывался почти в два раза выше – 42,1 % ($p < 0,05$), причем контакт с больным, как правило, не сопровождался развитием каких-либо клинических проявлений заболевания. Такое явление, при котором возникает серологический ответ в отсутствие манифестации, применительно к гриппу и острым респираторным вирусным инфекциям (ОРВИ) названо инаппарантной сероконверсией, предотвращающей манифестное заболевание [5]. Что касается лиц, перенесших COVID-19, доля серопозитивных в этой группе возросла до 75,0 %, а в подгруппе не имевших в анамнезе COVID-19 24,4 % лиц не имели регистрируемой сероконверсии.

Аналогичная закономерность наблюдалась при определении специфических IgG антител у лиц с различными результатами тестирования на вирус SARS-CoV-2 в полимеразной цепной реакции (ПЦР). В группе с положительными результатами ПЦР доля серопозитивных лиц составила в среднем 69,9 % (63 человека), при отрицательной ПЦР – только 28,6 % ($p < 0,05$).

В обследованной когорте 97,4 % лиц не имели признаков ОРВИ и доля сероположительных в ней не отличалась от средней по всей популяции – 25,2 %. Иная ситуация наблюдалась у добровольцев (70 человек), имевших на момент обследования проявления ОРВИ неуточненной этиологии. В этой группе доля сероположительных проб увеличилась до 55,0 % ($p < 0,05$).

Исследование популяционного иммунитета оказалось бы неполным без анализа сероконверсии среди лиц с бессимптомным течением инфекции. Считается, что до 80 % всех случаев инфицирования COVID-19 может протекать бессимптомно [8]. Некоторые авторы считают это состояние бессимптомным носительством, при котором в мазках из зева или плазме крови методом ПЦР выявляется РНК вируса. Такое состояние чаще всего квалифицируется как бессимптомное течение инфекции и/или бессимптомное носительство [9]. На подобное носительство может формироваться иммунный, в том числе адаптивный, ответ. Эти носители чаще всего попадают в поле зрения исследователей только в случае проведения каких-либо массовых обследований, либо с целью определения уровней инфицированности, либо, как в данном случае, с целью анализа популяционного иммунитета (табл. 4).

Таблица 2 / Table 2

Серопревалентность к SARS-CoV-2 жителей разных районов Санкт-Петербурга
Seroprevalence to SARS-CoV-2 in residents of different districts of St. Petersburg

Район города District of the city	Серопозитивные Seropositive	Серонегативные Seronegative	Серопревалентность, % (95 % доверительный интервал) Seroprevalence, % (95 % confidence interval)	Заболеваемость, $\frac{0}{0000}$ Morbidity, $\frac{0}{0000}$
Адмиралтейский Admiralteysky	18	62	22,5 (13,9–33,2)	327,3
Василеостровский Vasileostrovsky	35	96	26,7 (19,4–35,2)	313,4
Выборгский Vyborgsky	87	199	30,4 (25,1–36,1)	299,8
Калининский Kalininsky	80	228	26,0 (21,2–31,3)	385,1
Кировский Kirovsky	34	93	26,8 (19,3–35,4)	393,8
Колпинский Kolpinsky	8	28	22,2 (10,1–39,2)	421,7
Красногвардейский Krasnogvardeisky	58	140	29,3 (23,1–36,2)	379,0
Красносельский Krasnoselsky	30	101	22,9 (10,5–20,9)	353,1
Кронштадский* Kronshtadsky*	1	1	-	1204,4
Курортный Kurgortny	6	9	40,0 (16,3–67,7)	261,5
Московский Moskovsky	44	143	23,5 (17,7–30,3)	469,4
Невский Nevsky	64	161	28,4 (22,7–34,8)	463,6
Петроградский Petrogradsky	46	122	27,4 (20,78–34,8)	276,6
Петродворцовый Petrodvortsovy	11	17	39,3 (21,5–59,4)	425,1
Приморский Primorsky	103	326	24,2 (20,0–28,3)	308,7
Пушкинский Pushkinsky	28	61	31,5 (22,02–42,17)	437,5
Фрунзенский Frunzensky	25	127	16,4 (10,9–23,3)	297,3
Центральный Central	27	94	22,3 (15,3–30,8)	297,3
<i>Итого:</i> <i>Total:</i>	705	2008	26,0 (24,3–27,7)	328,3

Примечание: *Доля серопозитивных для Кронштадского района не определялась в связи с малым объемом выборки.

Note: *The proportion of seropositive persons for Kronstadsky district was not determined due to the extremely small sample size.

Всего в рамках популяционного исследования выявлено 705 серопозитивных добровольцев, из них у 84,5 % не установлено каких-либо симптомов, характерных для COVID-19. Учитывая, что они не имели ни клинических, ни серологических признаков текущего инфекционного процесса и не отнесены к реконвалесцентам после COVID-19, с высокой долей вероятности можно утверждать, что эти лица могли перенести заболевание в инapparантной форме и обладают адаптивным ответом на этот анамнестический процесс. Таким образом, данное состояние с достаточным на то основанием можно отнести к феномену инapparантной сероконверсии как проявлению общепопуляционного иммунитета, столь необходимого для успешного преодоления коронавирусной инфекции.

Результаты проведенного исследования показав-

ли, что в Санкт-Петербурге общий уровень сероконверсии к SARS-CoV-2 составил 26,0 % и сравнительно равномерно распределялся в большинстве районов города. Некоторая тенденция к повышению серопревалентности отмечена среди детей в возрасте 1–6, 7–13 лет и жителей в возрасте 50 лет и старше, различия в серопозитивности в этих возрастных группах статистически недостоверны. В то же время различия показателей серопревалентности среди взрослых 18–49 лет и среди детей, а также лиц старших возрастных групп оказались статистически значимы.

При сопоставлении уровней заболеваемости COVID-19 и серопозитивности к SARS-CoV-2 очевидной связи между двумя показателями не установлено (табл. 2). Наибольшее число подтвержденных случаев COVID-19 диагностировано в Невском, Петроградском, Фрунзенском и Приморском районах,

Таблица 3 / Table 3

Серопозитивность к SARS-CoV-2 в различных профессиональных и социальных группах населения
Seropositivity to SARS-CoV-2 in various professional and social groups of the population

Обследованная группа Surveyed group	Серопозитивные Seropositive	Серонегативные Seronegative	Серопревалентность, % (95 % доверительный интервал) Seroprevalence, % (95 % confidence interval)
Медицинские работники Medical workers	109	294	27,1 (22,8–31,7)
Работники науки Academic workers	11	56	16,4 (8,5–27,5)
Бизнесмены Businessmen	44	132	25,0 (18,8–32,1)
Работники образования Education workers	62	173	26,4 (20,9–32,5)
Творческие деятели Creative figures	21	68	23,6 (15,2–33,8)
Промышленные работники Industrial workers	43	157	21,5 (16,0–27,9)
Работники транспорта Transport workers	15	57	20,8 (12,2–32,0)
Военнослужащие Military personnel	2	19	9,5 (1,2–30,4)
Госслужащие Civil servants	18	63	22,2 (13,7–32,8)
Офисные работники Office workers	97	325	23,0 (19,1–27,3)
Дети Children	86	208	29,3 (24,1–34,8)
Безработные Unemployed	109	261	29,5 (24,9–34,4)
Прочие Other	87	193	31,1 (25,7–36,9)

тогда как максимальная серопозитивность отмечалась в Петродворцовом, Пушкинском и Выборгском районах. Наиболее высокий уровень заболеваемости в Курортном районе может быть связан с расположением двух крупных лечебно-профилактических организаций для больных и контактных по COVID-19.

Таким образом, в Санкт-Петербурге в активную фазу развития эпидемического процесса COVID-19

наблюдается умеренная серопревалентность к SARS-CoV-2, несмотря на подавляющее число случаев (84,5 %) инapparантной формы течения инфекционного процесса. Отсутствие явных симптомов заболевания не позволяет с достаточной степенью достоверности оценить реальное распространение инфекции и сроки формирования прочного популяционного иммунитета.

Таблица 4 / Table 4

Доля лиц с бессимптомным течением COVID-19 из общего числа серопозитивных жителей разных возрастных групп Санкт-Петербурга
The share of people with asymptomatic COVID-19 infection out of the total number of seropositive residents of different age groups in St. Petersburg

Возрастная группа Age group	Выявлено серопозитивных лиц Identified seropositive persons	В том числе с бессимптомным течением Including asymptomatic	Доля лиц с бессимптомным течением, % (95 % доверительный интервал) Proportion of asymptomatic individuals, % (95 % confidence interval)
1–17	121	104	85,9 (78,5–91,6)
18–29	83	68	81,9 (72,0–89,5)
30–39	95	87	91,6 (84,1–96,3)
40–49	88	78	88,6 (80,1–94,4)
50–59	105	84	80,0 (70,1–87,2)
60–69	128	105	82,0 (74,3–88,3)
70 и старше 70 and more	85	70	82,4 (72,6–89,8)
<i>Итого:</i> <i>Total:</i>	705	596	84,5 (81,7–87,1)

Таким образом, уровень популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 среди населения Санкт-Петербурга в период интенсивного распространения инфекции COVID-19 составил 26 %. Максимальные показатели коллективного иммунитета установлены у детей 1–6 лет (31,1 %), 7–13 лет (37,7 %) и лиц старше 60 лет (29,0–30,4 %). В социально-профессиональной структуре населения наибольший уровень серопревалентности выявлен среди безработных (29,7 %), работников здравоохранения (27,1 %), образования (26,4 %) и бизнеса (25 %). У лиц, перенесших инфекцию COVID-19, антитела в плазме крови обнаружены в 75 % случаев. У лиц с позитивным результатом ПЦР-анализа, полученным ранее, антитела выявлены в 70 % случаев. Среди серопозитивных к SARS-CoV-2 жителей Санкт-Петербурга доля бессимптомных форм инфекции составила 84,5 %.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Медицинского центра ФБУН ИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера за техническую помощь при организации и проведении исследования: Бобковой И.Ю., Бурцевой Г.Ф., Васильевой Е.В., Гольмгрейн А.Б., Зориной О.Ф., Кондаурову С.В., Кравцовой Л.В., Кузнецовой Ю.В., Макаровой Е.Ю., Монахову О.Л., Никандрову Т.А., Ниловой Л.В., Пирумову Д.Р., Ракитянской Н.В., Расшивкиной Л.Г., Саблиной И.Б., Степановой Л.О., Фрейман А.Б., Яицкой И.Н.

Список литературы

1. Выступление Генерального директора ВОЗ на пресс-брифинге по коронавирусной инфекции 2019-nCoV, 11 февраля 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru/dg/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020> (дата обращения 15.09.2020).
2. Hou H., Wang T., Zhang B., Luo Y., Mao L., Wang F., Wu S., Sun Z. Detection of IgM and IgG antibodies in patients with coronavirus disease 2019. *Clin. Transl. Immunology*. 2020; 9(5):e01136. DOI: 10.1002/cti2.1136.
3. Xu X., Chen P., Wang J., J. Feng, H. Zhou, Li X., Zhong W., Hao P. Evolution of the novel coronavirus from the ongoing Wuhan outbreak and modeling of its spike protein for risk of human transmission. *Sci. China Life Sci.* 2020; 63(3):457–60. DOI: 10.1007/s11427-020-1637-5.
4. Clemente-Suárez V.J., Hormeño-Holgado A., Jiménez M., Benitez-Agudelo J.C., Navarro-Jiménez E., Perez-Palencia N., Maestre-Serrano R., Laborde-Cárdenas C.C., Tornero-Aguilera J.F. Dynamics of population immunity due to the herd effect in the COVID-19 pandemic. *Vaccines*. 2020; 8(2):236. DOI: 10.3390/vaccines8020236.
5. Смирнов В.С., Зарубаев В.В., Петленко С.В. Биология возбудителей и контроль гриппа и ОРВИ. СПб: Гиппократ; 2020. 336 с.
6. Britton T., Ball F., Trapman P. A mathematical model reveals the influence of population heterogeneity on herd immunity to SARS-CoV-2. *Science*. 369(6505):846–9. DOI: 10.1126/science.abc6810.
7. Newcombe R.G. Two-Sided Confidence Intervals for the single proportion: Comparison of seven methods. *Stat. Med.* 1998; 17(8):857–72. DOI: 10.1002/(sici)1097-0258-(19980430)17:8<857::aid-sim777>3.0.co;2-e.
8. Felsenstein S., Herbert J.A., McNamara P.S., Hedrich C.M. COVID-19: Immunology and treatment options. *Clin. Immunol.* 2020; 215:108448. DOI: 10.1016/j.clim.2020.108448.
9. Lai C.-C., Liu Y.H., Wang C.-Y., Wang Y.-H., Hsueh S.-C., Yen M.-Y., W.-C. Ko, Hsueh P.-R. Asymptomatic carrier state, acute respiratory disease, and pneumonia due to severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2): Facts and myths. *J. Microbiol. Immunol. Infect.* 2020; 53(3):404–12. DOI: 10.1016/j.jmii.2020.02.012.

References

1. WHO Director-General's remarks at the media briefing on 2019-nCoV on 11 February 2020. (Cited 15 Sep 2020) [Internet]. Available from: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020>.
2. Hou H., Wang T., Zhang B., Luo Y., Mao L., Wang F., Wu S., Sun Z. Detection of IgM and IgG antibodies in patients with coronavirus disease 2019. *Clin. Transl. Immunology*. 2020; 9(5):e01136. DOI: 10.1002/cti2.1136.
3. Xu X., Chen P., Wang J., J. Feng, H. Zhou, Li X., Zhong W., Hao P. Evolution of the novel coronavirus from the ongoing Wuhan outbreak and modeling of its spike protein for risk of human transmission. *Sci. China Life Sci.* 2020; 63(3):457–60. DOI: 10.1007/s11427-020-1637-5.
4. Clemente-Suárez V.J., Hormeño-Holgado A., Jiménez M., Benitez-Agudelo J.C., Navarro-Jiménez E., Perez-Palencia N., Maestre-Serrano R., Laborde-Cárdenas C.C., Tornero-Aguilera J.F. Dynamics of population immunity due to the herd effect in the COVID-19 pandemic. *Vaccines*. 2020; 8(2):236. DOI: 10.3390/vaccines8020236.
5. Smirnov V.S., Zarubaev V.V., Petlenko S.V. [Biology of pathogens and control of influenza and ARVI]. Saint Petersburg: Hippocrates; 2020. 336 p.
6. Britton T., Ball F., Trapman P. A mathematical model reveals the influence of population heterogeneity on herd immunity to SARS-CoV-2. *Science*. 369(6505):846–9. DOI: 10.1126/science.abc6810.
7. Newcombe R.G. Two-Sided Confidence Intervals for the single proportion: Comparison of seven methods. *Stat. Med.* 1998; 17(8):857–72. DOI: 10.1002/(sici)1097-0258-(19980430)17:8<857::aid-sim777>3.0.co;2-e.
8. Felsenstein S., Herbert J.A., McNamara P.S., Hedrich C.M. COVID-19: Immunology and treatment options. *Clin. Immunol.* 2020; 215:108448. DOI: 10.1016/j.clim.2020.108448.
9. Lai C.-C., Liu Y.H., Wang C.-Y., Wang Y.-H., Hsueh S.-C., Yen M.-Y., W.-C. Ko, Hsueh P.-R. Asymptomatic carrier state, acute respiratory disease, and pneumonia due to severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2): Facts and myths. *J. Microbiol. Immunol. Infect.* 2020; 53(3):404–12. DOI: 10.1016/j.jmii.2020.02.012.

Authors:

Popova A.Yu. Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights Protection and Human Welfare; 18, Bld. 5 and 7, Vadkovsky Pereulok, Moscow, 127994, Russian Federation. Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; 2/1, Barrikadnaya St., Moscow, 125993, Russian Federation.

Ezhlova E.B., Mel'nikova A.A. Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights Protection and Human Welfare. 18, Bld. 5 and 7, Vadkovsky Pereulok, Moscow, 127994, Russian Federation.

Bashketova N.S., Chkhindzheriya I.G. Rospotrebnadzor Administration in Saint-Petersburg. 19, Stremyannaya St., St. Petersburg, 191025, Russian Federation. E-mail: uprav@78rospotrebznadzor.ru.

Fridman R.K., Grechaninova T.A., Agapov K.A. Center of Hygiene and Epidemiology in Saint-Petersburg. 77, Volkovsky Avenue, St. Petersburg, 192102, Russian Federation. E-mail: centr@78ce.ru.

Lyalina L.V., Smirnov V.S., Arsent'eva N.A., Bazhenova N.A., Batsunov O.K., Danilova E.M., Zueva E.V., Komkova D.V., Kuznetsova R.N., Lyubimova N.E., Markova A.N., Khamitova I.V., Lomonosova V.I., Vetrov V.V., Milichkina A.M., Dedkov V.G., Totolyan A.A. Saint-Petersburg Pasteur Research Institute of Epidemiology and Microbiology. 14, Mira St., St. Petersburg, 197101, Russian Federation. E-mail: pasteur@pasteurorg.ru.

Об авторах:

Попова А.Ю. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; Российская Федерация, 127994, Москва, Вадковский переулок, дом 18, строение 5 и 7. Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования; Российская Федерация, 125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1.

Ежлова Е.Б., Мельникова А.А. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Российская Федерация, 127994, Москва, Вадковский переулок, дом 18, строение 5 и 7.

Баикетова Н.С., Чхинджерия И.Г. Управление Роспотребнадзора по городу Санкт-Петербургу. Российская Федерация, 191025, Санкт-Петербург, ул. Стремянная, 19. E-mail: uprav@78rospotrebznadzor.ru.

Фридман Р.К., Гречанинова Т.А., Агапов К.А. Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге. Российская Федерация, 192102, Санкт-Петербург, Волковский пр., 77. E-mail: centr@78ce.ru.

Лялина Л.В., Смирнов В.С., Арсентьева Н.А., Баженова Н.А., Батунов О.К., Данилова Е.М., Зueva E.B., Комкова Д.В., Кузнецова Р.Н., Любимова Н.Е., Маркова А.Н., Хамитова И.В., Ломоносова В.И., Ветров В.В., Милчкина А.М., Дедков В.Г., Тотолян А.А. Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Пастера. Российская Федерация, 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 14. E-mail: pasteur@pasteurorg.ru.