

# ПОПУЛЯЦИОННЫЙ ИММУНИТЕТ К ВИРУСУ SARS-CoV-2 СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В АКТИВНУЮ ФАЗУ ЭПИДЕМИИ COVID-19

А.Ю. Попова<sup>1</sup>, Е.Б. Ежлова<sup>1</sup>, А.А. Мельникова<sup>1</sup>, Н.С. Башкетова<sup>2</sup>, Р.К. Фридман<sup>3</sup>, Л.В. Лялина<sup>4</sup>, В.С. Смирнов<sup>4</sup>, И.Г. Чхинджерия<sup>2</sup>, Т.А. Гречанинова<sup>3</sup>, К.А. Агапов<sup>3</sup>, Н.А. Арсентьева<sup>4</sup>, Н.А. Баженова<sup>4</sup>, О.К. Бацунов<sup>4</sup>, Е.М. Данилова<sup>4</sup>, Е.В. Зуева<sup>4</sup>, Д.В. Комкова<sup>4</sup>, Р.Н. Кузнецова<sup>4</sup>, Н.Е. Любимова<sup>4</sup>, А.Н. Маркова<sup>4</sup>, И.В. Хамитова<sup>4</sup>, В.В. Ветров<sup>4</sup>, А.М. Миличкина<sup>4</sup>, В.Г. Дедков<sup>4</sup>, А.А. Тотолян<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

<sup>2</sup> Управление Роспотребнадзора по городу Санкт-Петербургу, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Пастера» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

## РЕЗЮМЕ

В конце 2019 – начале 2020 годов появились сообщения о вспышке инфекции, вызванной новым штаммом бета-коронавируса SARS-CoV-2, заболевание ВОЗ определила как coronavirus disease 2019 (COVID-19). В Санкт-Петербурге первый случай COVID-19 был диагностирован 2 марта 2020 г., период нарастания заболеваемости продолжался в течение 10 недель, максимальные показатели были зафиксированы в середине мая, в дальнейшем отмечалось статистически значимое снижение заболеваемости.

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

Отбор волонтеров для исследования проводили методом анкетирования и рандомизации путем случайной выборки. Критерием исключения была активная инфекция COVID-19 в момент анкетирования. На наличие специфических антител к SARS-CoV-2 обследовано 2713 человек. Возраст обследованных добровольцев варьировал от 1 года до 70 лет и старше.

Результаты исследования показали, что в Санкт-Петербурге в активную фазу заболеваемости COVID-19 наблюдалась умеренная серопревалентность к SARS-CoV-2, составившая 26%, на фоне высокой частоты (84,5%) бессимптомной инфекции у

серопозитивных лиц, не имевших в анамнезе перенесенного заболевания COVID-19, положительного результата ПЦР и симптомов ОРВИ в день обследования.

Максимальные показатели коллективного иммунитета установлены у детей 1-6 лет (31,1%), детей 7-13 лет (37,7%) и лиц старше 70 лет (30,4%), различия с уровнем серопревалентности в возрастных группах 18-49 лет статистически значимы.

В социально-профессиональной структуре населения наибольший уровень серопревалентности выявлен среди безработных (29,7%), работников здравоохранения (27,1%), образования (26,4%) и бизнеса (25%).

У реконвалесцентов COVID-19 антитела вырабатываются в 75% случаев. У лиц с позитивным результатом ПЦР-анализа, проведенного ранее, антитела выявляются в 70% случаев.

Результаты исследования о состоянии коллективного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 необходимы для разработки прогноза развития эпидемиологической ситуации, а также планирования мероприятий по специфической и неспецифической профилактике COVID-19.

## **SEROPREVALENCE TO SARS-CoV-2 VIRUS AMONG POPULATION IN SAINT-PETERSBURG IN THE ACTIVE PHASE OF THE EPIDEMIC COVID-19**

A.Yu. Popova<sup>1</sup>, E.B. Ezhlova<sup>1</sup>, A.A. Melnikova<sup>1</sup>, N.S. Bashketova<sup>2</sup>, R.K. Fridman<sup>3</sup>, L.V. Lyalina<sup>4</sup>, V.S. Smirnov<sup>4</sup>, I.G. Chkhindzherya<sup>2</sup>, T.A. Grechaninova<sup>3</sup>, K.A. Agapov<sup>3</sup>, N.A. Arsentieva<sup>4</sup>, N.A. Bazhenova<sup>4</sup>, O.K. Batsunov<sup>4</sup>, E.M. Danilova<sup>4</sup>, E.V. Zueva<sup>4</sup>, D.V. Komkova<sup>4</sup>, R.N. Kuznetsova<sup>4</sup>, N.E. Lyubimova<sup>4</sup>, A.N. Markova<sup>4</sup>, I.V. Khamitova<sup>4</sup>, V.V. Vetrov<sup>4</sup>, A.M. Milichkina<sup>4</sup>, V.G. Dedkov<sup>4</sup>, A.A. Totolian<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Federal Service on Customers' Rights Protection and Human Well-Being Surveillance (Rosпотребнадзор), Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Department of the Federal Service on Customers' Rights Protection and Human Well-Being Surveillance for St. Petersburg, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup> Center for Hygiene and Epidemiology in Saint-Petersburg, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>4</sup> Saint-Petersburg Pasteur Institute, St. Petersburg, Russian Federation

### **SUMMARY**

In the late 2019 – early 2020, there were reports of an outbreak of infection caused by a new strain of beta coronavirus SARS-CoV-2, the WHO defined the disease as coronavirus disease 2019 (COVID-19). In St. Petersburg, the first case of COVID-19 was diagnosed on March 2, 2020, the period of increase in the incidence lasted for 10 weeks, the maximum rates were recorded in mid-May, and then a statistically significant decrease in incidence was noted.

The purpose of the sero-epidemiological study was to determine the level and structure of population immunity to the SARS-CoV-2 virus among the population of St. Petersburg during the period of intensive spread of COVID-19.

The selection of volunteers for the study was carried out by a questionnaire survey and randomization by random sampling. The exclusion criterion was active COVID-19 infection at the time of the survey. 2713 people were examined for the presence of specific antibodies to SARS-CoV-2. The age of the surveyed volunteers ranged from 1 year to 70 years and older.

The results of the study showed that in St. Petersburg, in the active phase of the incidence of COVID-19, 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 past COVID-19 disease, positive PCR result and ARVI symptoms on the day of the examination.

The maximum indicators of herd immunity were established in children 1-6 years old (31.1%), children 7-13 years old (37.7%) and persons over 70 years old (30.4%), differences with the level of seroprevalence in the age groups 18- 49 years are statistically significant.

In the social and professional structure of the population, the highest level of seroprevalence was found among the unemployed (29.7%), healthcare workers (27.1%), education (26.4%) and business (25%).

In COVID-19 convalescents, antibodies are produced in 75% of cases. In individuals with a positive result of the PCR analysis carried out earlier, antibodies are detected in 70% of cases.

The results of a study on the state of collective immunity to the SARS-CoV-2 virus are necessary to develop a forecast for the development of the epidemiological situation, as well as to plan measures for specific and non-specific prevention of COVID-19.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В конце 2019 – начале 2020 годов 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, 8, 9]. По данным ВОЗ, в июне 2020 г. эта инфекция выявлялась практически повсеместно, в мире зарегистрировано более 9,5 млн. заразившихся, из них 4,8 млн. выздоровели и 486 тыс. умерли. По данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 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 был диагностирован 2 марта 2020 г. период нарастания заболеваемости продолжался в течение 10 недель, максимальные показатели были 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.

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 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 % [2]. Однако в недавнем исследовании по COVID-19 было показано, что эта величина может быть снижена до 40% [3]. Это зависит от особенностей жизни людей в современных условиях, интенсивности миграции, активности контактов, своевременности и эффективности противоэпидемических мероприятий. В связи с изложенным изучение популяционного иммунитета на конкретных территориях представляет значительный интерес и может служить важным обоснованием при планировании профилактических мероприятий.

Целью проведенного сероэпидемиологического исследования было определение уровня и структуры популяционного иммунитета к вирусу 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 вирусу 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 были ознакомлены с целью, методикой исследования и подписали информированное согласие.

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

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

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%

Расчет объема возрастной группы:  $n = 1,962 \times 0,5(1-0,5) / 0,052 = 384$  человека

По результатам анкетирования было 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 (табл.1).

Таблица 1. Распределение волонтеров по возрасту

Возрастная группа	Количество	%	
1 – 17 лет	377	13,9	
В том числе:	1 – 6 лет	106	3,9
	7 – 13 лет	146	5,4
	14 – 17 лет	125	4,6
18 – 29 лет	390	14,4	
30 – 39 лет	416	15,3	
40 – 49 лет	395	14,6	
50 – 59 лет	413	15,2	
60 – 69 лет	442	16,3	
70 лет и более	280	10,3	
<b>ИТОГО:</b>	<b>2713</b>	<b>100</b>	

Количество волонтеров во всех возрастных группах было сопоставимым, за исключением группы 70 лет и старше, однако ее численность является репрезентативной. Учитывая особенности детского возраста, первую группу разделили на три подгруппы: 1-6 лет, 7-13 лет и 14-17 лет. Из всей когорты 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 вакуутайнеры 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 ФБУН ГНЦПМиБ Роспотребнадзора (г.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  $p \leq 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Уровень серопревалентности среди населения Санкт-Петербурга.

Число жителей города, содержащих IgG антитела к вирусу SARS-CoV-2, в целом составило  $26,0 \pm 0,8\%$  (705/2713), гендерные различия в серопозитивности не установлены. Среди мужчин IgG антитела выявлены у  $24,4 \pm 2,7\%$  волонтеров, у женщин –  $26,9 \pm 2,1\%$  ( $p > 0,05$ ).

При оценке серопревалентности в различных возрастных группах волонтеров (табл. 2) установлено, что среди детей в возрасте до 17 лет показатели более высокие по сравнению с возрастными группами 18-59 лет, различия статистически значимы ( $p < 0,05$ ). Различия в уровнях серопревалентности среди детей и возрастных категорий 60 лет и старше не существенны ( $p > 0,05$ ).

Таблица 2. Серопозитивность к SARS-CoV-2 жителей Санкт-Петербурга разных возрастных групп

Возрастная группа	Позитивны на IgG SARS-CoV-2	Негативны на IgG SARS-CoV-2	Серопревалентность, % (M±m)
1 – 17 лет	121	256	$32,1 \pm 2,4$

В том числе:	1 – 6 лет	33	73	31,1 ± 4,5
	7 – 13 лет	55	91	37,7 ± 4,0
	14 – 17 лет	33	92	26,4 ± 3,9
18 – 29 лет		83	307	21,3 ± 2,1
30 – 39 лет		95	321	22,8 ± 2,1
40 – 49 лет		88	307	22,3 ± 2,1
50 – 59 лет		105	308	25,4 ± 2,1
60 – 69 лет		128	314	29,0 ± 2,2
70 лет и более		85	195	30,4 ± 2,7
<b>ИТОГО:</b>		<b>705</b>	<b>2008</b>	<b>26,0 ± 0,8</b>

Важным показателем является уровень серопревалентности к SARS-CoV-2 среди населения разных районов города (табл. 3). 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 10 районах города показатели серопревалентности были достоверно выше и варьировали от 24,2% в Приморском районе до 39,5% в Петродворцовом районе.

Таблица 3. Уровень серопозитивности к SARS-CoV-2 среди жителей разных районов Санкт-Петербурга

Район города	Позитивные на IgG SARS-CoV-2	Негативные на IgG SARS-CoV-2	Доля серопозитивных (%)
Центральный	27	94	22,3 ± 3,8
Фрунзенский	25	127	16,4 ± 3,0
Пушкинский	28	61	31,5 ± 4,9
Приморский	103	326	24,2 ± 2,1
Петродворцовый	11	17	39,3 ± 9,2
Петроградский	46	122	27,4 ± 3,4
Невский	64	161	28,4 ± 3,0
Московский	44	143	23,5 ± 3,1
Курортный	6	9	40,0 ± 13,1
Кронштадский*	1	1	-
Красносельский	30	101	22,9 ± 3,7
Красногвардейский	58	140	29,3 ± 3,2
Колпинский	8	28	22,2 ± 6,9
Кировский	34	93	26,8 ± 3,9
Калининский	80	228	26,0 ± 2,5
Выборгский	87	199	30,4 ± 2,7
Василеостровский	35	96	26,7 ± 3,9
Адмиралтейский	18	62	22,5 ± 4,7
<b>Итого по Санкт-Петербургу:</b>	<b>705</b>	<b>2008</b>	<b>26,0±0,8</b>

Примечание: \* Доля серопозитивных для Кронштадского района не определялась ввиду крайне малого объема выборки.

При анализе результатов исследования была проведена оценка уровня серопревалентности в разных профессиональных и социальных группах населения (табл. 4).

Таблица 4. Уровень серопозитивности к SARS-CoV-2 в различных профессиональных и социальных группах населения

Обследованная группа	Позитивны на IgG SARS-CoV-2	Негативны на IgG SARS-CoV-2	Процент позитивности
Медики	109	294	27,1 ± 2,2
Работники науки	11	56	16,4 ± 4,5
Бизнесмены	44	132	25,0 ± 3,3
Работники образования	62	173	26,4 ± 2,9
Творческие работники	21	68	23,6 ± 4,5
Работники производств	43	157	21,5 ± 2,9
Работники транспорта	15	57	20,8 ± 4,8
Военнослужащие	2	19	9,5 ± 6,4
Госслужащие	18	63	22,2 ± 4,6
Офисные работники	97	325	23,0 ± 2,1
Дети	86	208	29,3 ± 2,6
Безработные	109	261	29,5 ± 2,4
Прочие	87	193	31,1 ± 2,8

Исследование показало, что наибольший уровень серопозитивности был выявлен у безработных (29,5%), детей (29,3%), работников здравоохранения (27,1%), образования (26,4%), бизнесменов (25,0%). Статистически значимые различия в показателях серопревалентности установлены среди работников науки (16,4%) по сравнению с первыми тремя социально-профессиональными группами ( $p < 0,05$ ). Наименьший уровень серопревалентности отмечался среди военнослужащих, однако к этим результатам вследствие небольшой выборки стоит относиться с известной долей осторожности. С другой стороны, при независимом подтверждении этих данных, они требуют повышенного внимания, поскольку могут свидетельствовать о низкой вовлеченности 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.

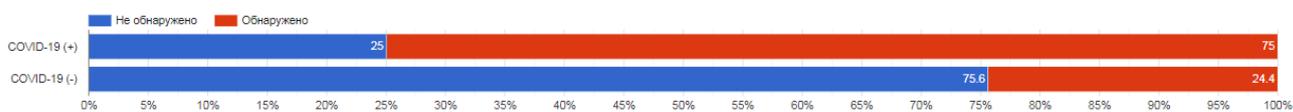
#### **Уровень серопозитивности у лиц, переболевших или имевших контакт с больными COVID-19.**

Особенностью COVID-19 является значительная гетерогенность антительного ответа, как в процессе заболевания, так и в период реконвалесценции [6], причем далеко не всегда удается связать серопозитивность реконвалесцента с тяжестью перенесенного заболевания и продолжительностью постинфекционного анамнеза. В этой связи 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  $22,6 \pm 1,9$ , а при наличии подобных контактов этот показатель был почти в два раза выше –  $42,1 \pm 4,4$  ( $p < 0,05$ ), 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), было названо инаппарантной сероконверсией, предотвращающей манифестное заболевание [2]. Что касается лиц, перенесших а анамнезе COVID-19, доля серопозитивных в этой группе возросла до  $75,0 \pm 9,3\%$ , в подгруппе COVID-19 (-)  $24,4 \pm 0,8\%$  лиц не имели регистрируемой сероконверсии (Рис 1А).

Аналогичная закономерность наблюдалась при определении специфических IgG антител в группе с положительными результатами тестирования вируса в полимеразной цепной реакции (Рис 1Б)

А



Б

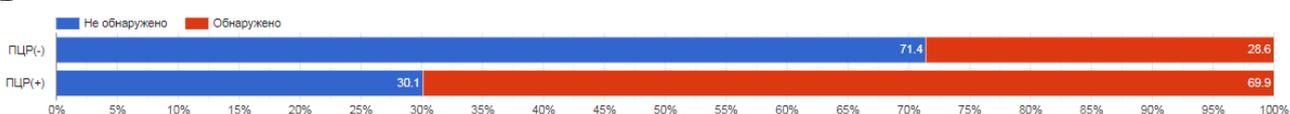


Рис.1. Наличие антител к SARS CoV-2 у жителей Санкт-Петербурга в зависимости от перенесенной инфекции COVID-19 (А) и от результатов ПЦР (Б)

Как видно из рис. 1, в группе с положительными результатами ПЦР доля серопозитивных лиц составила в среднем  $69,9 \pm 10,5\%$  (63 человека), при отрицательной ПЦР – только  $28,6 \pm 3,5$  ( $p < 0,05$ ).

В обследованной когорте 97,4% лиц не имели признаков ОРВИ и доля сероположительных в ней не отличалась от средней по всей популяции –  $25,2 \pm 1,6\%$ . Иная ситуация наблюдалась у добровольцев (70 человек), имевших на момент обследования проявления ОРВИ неуточненной этиологии. В этой группе доля сероположительных проб увеличилась до  $55,0 \pm 11,6\%$  ( $p < 0,05$ ).

Исследование популяционного иммунитета было бы неполным без анализа сероконверсии среди лиц с бессимптомным течением инфекции. Считается, что до 80% всех случаев инфицирования COVID-19 может протекать бессимптомно [5]. Некоторые авторы считают это состояние бессимптомным носительством, при котором в мазках из зева или плазме крови методом ПЦР выделяется РНК вируса. Такое состояние чаще всего квалифицируется как бессимптомное течение инфекции и/или бессимптомное носительство [7]. 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. 5).

Таблица 5. Доля лиц с бессимптомным течением COVID-19 из общего числа серопозитивных жителей разных возрастных групп Санкт-Петербурга

Возрастная группа	Выявлено серопозитивных волонтеров	Число лиц с бессимптомным течением	Доля лиц с бессимптомным течением %
1 – 17 лет	121	104	85,95±3,2
18 – 29 лет	83	68	81,9±4,2
30 – 39 лет	95	87	91,6±2,8
40 – 49 лет	88	78	88,6±3,4
50 – 59 лет	105	84	80,0±3,9
60 – 69 лет	128	105	82,0±3,4
70 лет и более	85	70	82,4±4,1
<b>ИТОГО:</b>	<b>705</b>	<b>596</b>	<b>84,5±1,4</b>

Всего в рамках популяционного исследования было 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 были 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.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что общий уровень сероконверсии к SARS-CoV-2 варьирует в пределах 26,0±0,8% и сравнительно

равномерно распределяется в большинстве районов города. Некоторая тенденция к повышению серопревалентности была 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 были статистически не достоверны. Однако по сравнению с показателями серопревалентности среди взрослых в возрасте 18-49 лет различия среди детей и 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.6). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил -0,188, критическое значение коэффициента – 0,503, поскольку расчетное значение существенно ниже порогового, зависимость признаков статистически не значима. Наибольшее число подтвержденных случаев COVID-19 диагностировано в Невском, Петроградском, Фрунзенском и Приморском районах, 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.

Таблица 6. Сравнительные данные по заболеваемости COVID-19 и серопревалентности к SARS-CoV-2 по районам Санкт-Петербурга

Район	Заболеваемость COVID-19 на 100 000 населения	Доля серопозитивных (%)
Курортный	1204,4	40,0 ± 13,1
Невский	469,4	28,4 ± 3,0
Петроградский	463,6	27,4 ± 3,4
Фрунзенский	437,5	16,4 ± 3,0
Приморский	425,1	24,2 ± 2,1
Колпинский	421,7	22,2 ± 6,9
Кировский	393,8	26,8 ± 3,9
Калининский	385,1	26,0 ± 2,5
Красногвардейский	379,0	29,3 ± 3,2
Красносельский	353,1	22,9 ± 3,7
Адмиралтейский	327,3	22,5 ± 4,7
Василеостровский	313,4	26,7 ± 3,9
Пушкинский	308,7	31,5 ± 4,9
Выборгский	299,8	30,4 ± 2,7
Центральный	297,3	22,3 ± 3,8
Петродворцовый	276,6	39,3 ± 9,2
Московский	261,5	23,5 ± 3,1

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.

### **Выводы**

1. Уровень популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 совокупного населения Санкт-Петербурга в период интенсивного распространения инфекции COVID-19 составил 26%.
2. 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%).
3. В социально-профессиональной структуре населения наибольший уровень серопревалентности выявлен среди безработных (29,7%), работников здравоохранения (27,1%), образования (26,4%) и бизнеса (25%).
4. У лиц, перенесших инфекцию COVID-19, антитела в плазме крови обнаруживаются в 75% случаев.
5. У лиц с позитивным результатом ПЦР-анализа, полученным ранее, антитела выявляются в 70% случаев.
6. Среди серопозитивных к вирусу SARS-CoV-2 жителей Санкт-Петербурга доля бессимптомных форм инфекции составила 84,5%.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность сотрудникам Медицинского центра ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера за техническую помощь при организации и проведении исследования: Бобкова И.Ю., Бурцева Г.Ф., Васильева Е.В., Гольмгрейн А.Б., Зорина О.Ф., Кондауров С.В., Кравцова Л.В., Кузнецова Ю.В., Макарова Е.Ю., Монахова О.Л., Никандрова Т.А., Нилова Л.В., Пирумов Д.Р., Ракитянская Н.В., Расшивкина Л.Г., Саблина И.Б., Степанова Л.О., Фрейман А.Б., Яицкая И.Н.

### **Список литературы**

1. Выступление Генерального директора ВОЗ на пресс-брифинге по коронавирусной инфекции 2019-nCoV, 11 февраля 2020 г. <https://www.who.int/ru/dg/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020>
2. Смирнов В.С., Зарубаев В.В., Петленко С.В. Биология возбудителей и контроль гриппа и ОРВИ. СПб: Гиппократ, 2020.
3. Britton T., Ball F., Trapman P. A mathematical model reveals the influence of population heterogeneity on herd immunity to SARS-CoV-2 *Science* 23 Jun 2020 p.eabc6810 DOI: 10.1126/science.abc6810
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 (Basel)*. 2020. vol. 8, no. 2. P.E236. doi: 10.3390/vaccines8020236.

5. Felsenstein S., Herbert J.A., McNamara P.S., Hedrich COVID-19: Immunology and treatment options *Clin. Immunol.* 2020 Jun; 215: 108448. doi: 10.1016/j.clim.2020.108448

6. 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, vol. 9, no 5, p. e01136. doi: 10.1002/cti2.1136

7. 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 Jun; 53(3): 404–412. doi: 10.1016/j.jmii.2020.02.012

8. Wu P., Hao X., Lau E.H.Y Wong J.Y., Leung K.S.M., Wu J.T., Cowling B.J., Leung G.M 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

9. 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 doi.org/10.1007/s11427-020-1637-5