

УДК 616.9:616-074 (470.57)

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИТЕЛ К SARS-COV-2 СРЕДИ ЖИТЕЛЕЙ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА В РАЗЛИЧНЫЕ ПЕРИОДЫ ЭПИДЕМИИ

Масягутова Л.М., Ахметшина В.Т., Рафикова Л.А., Гизатуллина Л.Г., Власова Н.В., Иванова Р.Ш., Хайруллин Р.У., Аралбаев Х.Ф.

ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

Возрастает интерес к проводимым исследованиям по изучению уровня коллективного иммунитета к SARS-CoV-2, поскольку существует потребность дальнейшего прогнозирования эпидемиологической ситуации на определенных территориях, оценки своевременности, достаточности и эффективности противоэпидемических мероприятий.

К одному из основных факторов, способных приостановить либо снизить темпы распространения патогена, исследователи относят формирование у большой группы населения иммунологической невосприимчивости. Согласно имеющимся данным и опубликованным документам, пороговый уровень популяционного иммунитета, при котором можно ожидать угасание распространения инфекционной заболеваемости составляет 60-70%.

Материал и методы. Проведено определение уровня антител IgG к SARS-CoV-2. Работа выполнялась в 3 этапа: 1-й – в анализ включены исследования, проведенные с 27 мая по 27 августа 2020 года; 2-й – исследования, проведенные с 1 сентября до 1 декабря 2020 года, до начала вакцинации; 3-й – исследования, проведенные с 1 декабря 2020 года до 1 апреля 2021 года, с начала вакцинации.

Результаты. Проведенный анализ результатов первого этапа свидетельствует о том, что суммарный уровень позитивности IgG к SARS-CoV-2 составлял 20,6%. При этом установлено преобладание иммунной прослойки среди более молодых возрастных групп мужского пола. В возрасте до 25 лет - 40% положительных результатов, от 25 до 44 лет – 30,3%, относительно женщин указанной возрастной категории 18,1 и 18,8%, $\chi^2 = 1,22$ ($p \leq 0,5$) и 1,68 ($p \leq 0,05$) соответственно. На втором этапе отмечается закономерный и ожидаемый рост количества обследованных лиц с наличием антител до 29%. При этом у мужчин данный показатель составляет лишь 25,9%, тогда как среди женщин – 30,6%. Наибольшая доля иммунной прослойки (48,2%) приходится на женщин в возрастной категории от 45 до 59 лет. Третий этап проводимого тестирования характеризуется значительным количеством серопозитивных обследованных лиц – 55,4%, с преобладанием лиц женского пола до 39,2%.

Заключение. Таким образом, на момент проведения исследования выражен значительный прирост уровня популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2, который выявлен у 55,4% обследованных, что более чем в два раза превышает аналогичные показатели, полученные на первом этапе. Максимальные показатели коллективного иммунитета установлены у женщин трудоспособного возраста - от 45 до 59 лет.

Ключевые слова: SARS-CoV-2, серология, IgG, коллективный иммунитет.

Для цитирования: Масыгутова Л.М., Ахметшина В.Т., Рафикова Л.А., Гизатуллина Л.Г., Власова Н.В., Иванова Р.Ш., Хайруллин Р.У., Аралбаев Х.Ф. Результаты определения антител к SARS-CoV-2 среди жителей крупного промышленного региона в различные периоды эпидемии. Медицина труда и экология человека. 2021;2:110-118.

Для корреспонденции: Масыгутова Ляйля Марселевна, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», e-mail: kdl.ufa@rambler.ru.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2021-10210>

RESULTS OF IDENTIFYING ANTIBODIES TO SARS-COV-2 AMONG RESIDENTS OF A LARGE INDUSTRIAL REGION AT DIFFERENT EPIDEMIC PERIODS

Masyagutova L.M., Akhmetshina V.T., Rafikova L.A., Gizatullina L.G., Vlasova N.V., Ivanova R.Sh., Khairullin R.U., Aralbaev Kh.F.

Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Russia, Ufa

Introduction. There has been great interest in ongoing studies on the level of herd immunity to SARS-CoV-2 due to the existing need for further predicting the epidemiological situation in certain areas, assessment of promptness, sufficiency and effectiveness of anti-epidemic measures.

Several investigators attribute the development of immunological immunity in a large group of the population to one of the factors that can suspend or reduce the rate of the pathogen spread.

Based on the available data and published documents, the threshold level of population immunity at which the extinction of the spread of infectious diseases can be expected is 60-70%.

Material and methods.

The level of IgG antibodies to SARS-CoV-2 has been determined. The study was carried out in 3 stages: 1 - the analysis included studies carried out for the period from May 27 to August 27, 2020; 2 - studies conducted from September 1, 2020 to December 1, 2020, before the start of vaccination; Stage 3 - studies conducted from December 1, 2020 to April 1, 2021, from the beginning of vaccination.

Results.

The analysis of the results of the first stage has shown that the total level of IgG positivity to SARS-CoV-2 was 20.6%. At the same time, the predominance of the immune layer among the younger age groups among males was established. In the age group of up to 25 years - 40% of positive results, from 25 to 44 years old - 30.3%, while among women of the indicated age category 18.1% and 18.8%: $\chi^2 = 1.22$ ($p \leq 0.5$) and 1.68 ($p \leq 0.05$), respectively. At the second stage, there is a natural and expected increase in the number of examined individuals with the presence of antibodies up to 29%. At the same time, for men this indicator is only 25.9%, while for women - 30.6%. The largest share of the immune layer (48.2%) falls on women in the age category from 45 to 59 years. The third stage of testing is characterized by a significant number of seropositive examined persons - 55.4%, with a predominance of females - up to 39.2%.

Conclusion.

Thus, at the time of the study, a significant increase in the level of population immunity to the SARS-CoV-2 virus was expressed, which was detected in 55.4% of the study group, which is more than two times higher than the similar indicators obtained at the first stage. The maximum indicators of herd immunity were established among women of working age - from 45 to 59 years.

Keywords: SARS-CoV-2, serology, IgG, herd immunity.

Citation: Masyagutova L. M., Akhmetshina V. T., Rafikova L. A., Gizatullina L. G., Vlasova N. V., Ivanova R. Sh., Khairullin R. U., Aralbaev Kh.F. The results of identifying antibodies to SARS-COV-2 among residents of a large industrial region during different epidemic periods. Occupational health and human ecology. 2021; 2:110-118.

Correspondence: Lyaylya M. Masyagutova, Doctor of Medicine, Chief Researcher, Department of Occupational Health, Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, 450106, Ufa. E-mail: kdl.ufa@rambler.ru

Financing. The study had no financial support.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2021-10210>

Впервые выявленный в Китае в конце 2019 года тяжелый острый респираторный синдром распространился по всему миру и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) 11 марта 2020 года объявила о начале пандемии новой коронавирусной инфекции. На современном этапе сохраняют свою актуальность новые данные по организации профилактических, терапевтических и лечебных мероприятий [1,2,3,4].

Возрастает интерес к проводимым исследованиям по изучению уровня коллективного иммунитета к SARS-CoV-2, поскольку существует потребность дальнейшего прогнозирования эпидемиологической ситуации на определенных территориях [5,6].

На фоне смягчения ограничительных мер и открытия общественных мест особую актуальность приобретают вопросы планирования специфической и неспецифической профилактики COVID-19 и оценка формирования популяционного иммунитета [7,8,9].

К одному из основных факторов, способных приостановить либо снизить темпы распространения патогена, исследователи относят формирование у большой группы населения иммунологической невосприимчивости. Согласно имеющимся данным и опубликованным документам¹², пороговый уровень популяционного иммунитета, при котором можно ожидать угасание распространения инфекционной заболеваемости составляет 60-70% [10-18].

Исследователи-иммунологи разных стран убеждены в том, что в формировании иммунного ответа, индуцированного внедрением вируса SARS-CoV-2, выявлены типичные закономерности. Характерна выработка и выброс в кровяное русло специфических антител к SARS-CoV-2 через 1–2 недели от момента инфицирования, с максимальным нарастанием титра в 2–4 раза за время наблюдения (до 27 дней от начала симптомов).

¹² Электронный ресурс, доступно на сайте https://www.rosпотреbnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4852

Важно и то, что для большинства пациентов, перенесших COVID-19, в том числе в легкой форме, характерна выработка специфических функциональных, т.е. вируснейтрализующих антител, обеспечивающих эффективный иммунитет [19].

Цель работы - провести динамический анализ популяционного иммунитета и уровня выработки антител к SARS-CoV-2 среди жителей крупного промышленного региона.

Работа выполнялась в 3 этапа:

1-й - в анализ включены исследования, проведенные с 27 мая по 27 августа 2020 года (334 образца сыворотки);

2-й – исследования, проведенные с 1 сентября до 1 декабря 2020 года, до начала вакцинации (823 образца сыворотки);

3-й - исследования, проведенные с 1 декабря 2020 года до 1 апреля 2021 года, с начала вакцинации (521 образец сыворотки).

Всего проанализировано 1678 образцов сыворотки.

Материалы и методы.

Проведено исследование уровня антител IgG к SARS-CoV-2 в сыворотке крови методом твердофазного иммуноферментного анализа с использованием диагностических тест-систем с сорбированными в лунках планшета полноразмерным тримеризованным гликопротеином (Spikeбелок) «SARS-CoV-2-IgG-ИФА-БЕСТ», отечественного производителя АО «Вектор-Бест». Методика проведения, интерпретация результатов и предлагаемая к заполнению анкета представлены в опубликованной ранее работе, где были представлены результаты, полученные на первом этапе исследований [20].

На следующем этапе нами сохранены критерии отбора участников исследования: все лица, изъявившие желание провести исследование уровня антител IgG к SARS-CoV-2 в иммуно-бактериологической лаборатории ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», без предъявления требований к возрасту, наличию либо отсутствия в анамнезе на момент исследования заболевания COVID-19.

Обеспечено соблюдение конфиденциальности участников проведенного исследования. Для маркировки образцов каждой пробе присвоен идентификационный номер. Принадлежность идентификационного номера конкретному лицу не подлежит разглашению.

Возрастной состав обследованных лиц представлен в таблице 1.

Статистическая обработка результатов исследования выполнена с помощью программы IBM SPSS Statistica v. 21 и Microsoft Excel. Для сравнения выборок использованы непараметрические критерии Крускала-Уоллиса и χ^2 .

Таблица 1

Возрастной состав обследованных лиц

№	Возраст	1 этап (n=334)		2 этап (n=823)		3 этап (n=521)	
		Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
		Абс.	Абс.	Абс.	Абс.	Абс.	Абс.
1.	До 25 лет	12	9	20	19	10	9
2.	25-44 года	55	43	95	167	82	43
3.	45-59 лет	43	95	92	236	104	77
4.	60-64 года	22	22	43	58	50	31
5.	65+ лет	12	21	24	69	70	45
	Всего	144	190	274	549	316	205

Результаты.

Анализ результатов проведенного иммуноферментного тестирования 1678 пациентов, позволил выявить 609 проб с положительным результатом.

Возрастной и половой состав лиц, у которых результат был интерпретирован как положительный (т.е. коэффициент позитивности исследуемого образца относительно критической оптической плотности составлял $\geq 1,1$ усл. ед.), представлен на рисунках 1 и 2.

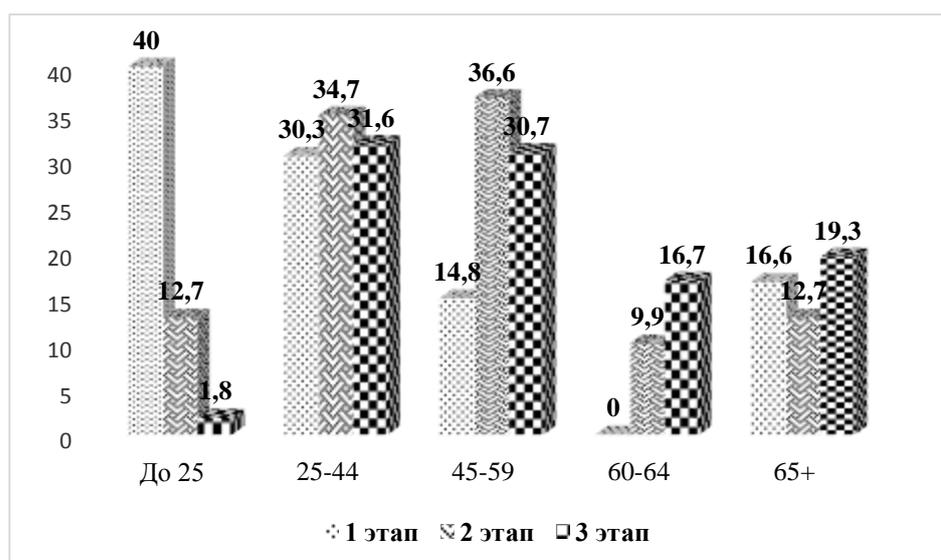


Рис. 1. Динамика антител IgG к SARS-CoV-2 на различных этапах обследования у мужчин различного возраста

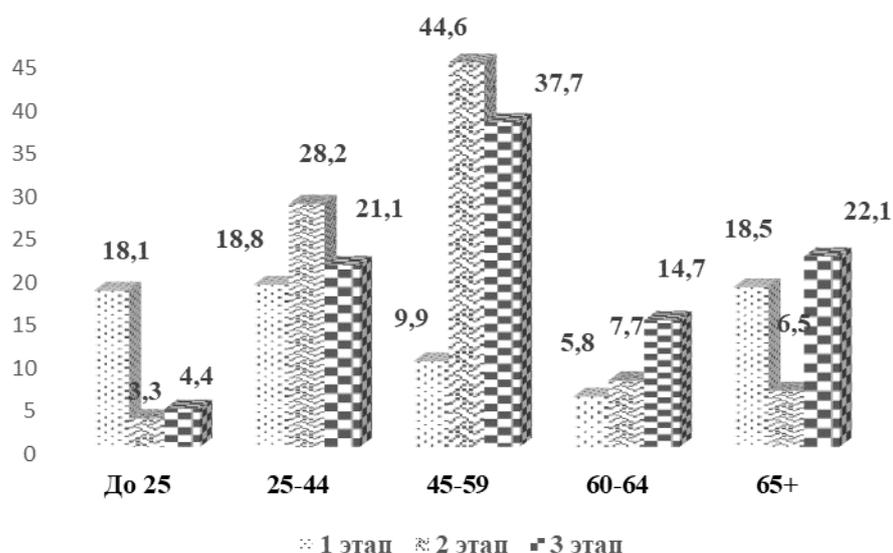


Рис. 2. Динамика антител IgG к SARS-CoV-2 на различных этапах обследования у женщин различного возраста

Согласно данным, полученным из заполненных анкет, часть пациентов имели контакт с больными короновирусной инфекцией, но при этом у них отсутствовали клинические симптомы заболевания. Суммарно за весь период исследования выявлено 189 человек (10,9%), ответивших утвердительно на вопрос «Имелся ли у Вас контакт с человеком, больным COVID-19?», при этом на вопрос «Имеются ли у Вас в настоящее время симптомы ОРВИ?» был получен отрицательный ответ. В данной группе обследованных получено 154 (81,4%) отрицательных и 35 (18,5%) положительных результатов.

Обсуждение. Проведенный анализ результатов первого этапа свидетельствует о том, что суммарный уровень позитивности IgG к SARS-CoV-2 составлял 20,6%. При этом установлено преобладание иммунной прослойки среди более молодых возрастных групп мужского пола. В возрасте до 25 лет - 40% положительных результатов, от 25 до 44 лет – 30,3%, относительно женщин указанной возрастной категории 18,1 и 18,8 %; $\chi^2 = 1,22$ ($p \leq 0,5$) и 1,68 ($p \leq 0,05$) соответственно.

На втором этапе отмечается закономерный и ожидаемый рост количества обследованных лиц с наличием антител до 29%. При этом у мужчин данный показатель составляет лишь 25,9%, тогда как среди женщин – 30,6%. Наибольшая доля иммунной прослойки (48,2%) приходится на женщин в возрастной категории от 45 до 59 лет.

Третий этап проводимого тестирования характеризуется значительным количеством серопозитивных обследованных лиц. Положительный результат определения антител IgG выявлен в 55,4% случаев, с преобладанием лиц женского пола - до 39,2%.

Заключение. Таким образом, на момент проведения исследования установлен значительный прирост уровня популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2, который выявлен у 55,4% обследованных, что более чем в два раза превышает аналогичные показатели, полученные на первом этапе.

Максимальные показатели коллективного иммунитета установлены у женщин трудоспособного возраста - от 45 до 59 лет.

Список литературы:

1. Korth J, Wilde B, Dolff S, Anastasiou OE, et al SARS-CoV-2-specific antibody detection in healthcare workers in Germany with direct contact to COVID-19 patients. *J Clin Virol.* 2020 Jul; 128: 104437. Published online 2020 May 13. doi: 10.1016/j.jcv.2020.
2. Fanfan Zeng, Chan Dai, Pengcheng Cai, Jinbiao Wang, Lei Xu, Jianyu Li, Guoyun Hu, Zheng Wang, Fang Zheng, Lin Wang A comparison study of SARS-CoV-2 IgG antibody between male and female COVID-19 patients: A possible reason underlying different outcome between sex *J Med Virol.* 2020 May 22: 10.1002/jmv.25989. doi: 10.1002/jmv.25989 [Epub ahead of print]
3. Sequential SARS-CoV-2 IgG assays as confirmatory strategy to confirm equivocal results: Hospital-wide antibody screening in 3,569 staff health care workers in Paris H el ene P er e, Maxime Wack, Benoit V edie, Nathalie Demory Guinet, Najiby Kassis Chikani, Laurence Janot, Laurent B elec, David Veyer *J Clin Virol.* 2020 Nov; 132: 104617. Published online 2020 Sep 3. doi: 10.1016/j.jcv.2020.104617
4. Кулешова С.В., Григорьева Е.В., Мухараева А.Д., Минушкина Л.О. Опыт определения антител к SARS CoV-2 – возбудителю новой коронавирусной инфекции. *Справочник заведующего КДЛ;* 2020: 9-16.
5. Josh Reifer, Nosson Hayum, Benzion Heszkel, Ikey Klagsbald, Vincent A. Strega. SARS-CoV-2 IgG antibody responses in New York City. *Diagn Microbiol Infect Dis.* 2020 Nov; 98(3): 115128. Published online 2020 Jul 21. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2020.115128
6. Попова А.Ю., Ежлова Е.Б., Мельникова А.А., и др. Популяционный иммунитет к SARS-CoV-2 среди населения Санкт-Петербурга в период эпидемии COVID-19. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2020;(3):124-130. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2020-3-124-130>
7. Маянский Н. А. Иммунитет к COVID-19 и вопросы проведения скрининговых исследований антител к SARS-COV-2. *BULLETIN OF RSMU* 3, 2020: 27-30.
8. Попова А.Ю., Ежлова Е.Б., Мельникова А.А., и др. Распределение серопревалентности к SARS-CoV-2 среди жителей Тюменской области в эпидемическом периоде COVID-19. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии.* 2020; 97(5): 392–400. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2020-97-5-1>
9. Попова А.Ю., Ежлова Е.Б., Мельникова А.А., Оглезнева Е.Е. и др. Серопревалентность к SARS-CoV-2 среди населения Белгородской области на фоне эпидемии COVID-19. *Эпидемиология и инфекционные болезни;* 2021;1: DOI: <https://dx.doi.org/10.18565/epidem.2021.1.18-24>
10. Di Giambenedetto S, Ciccullo A, Posteraro B, Lombardi F, Borghetti A, Sanguinetti M. Still Much to Learn About the Diagnostic Role of SARS-CoV-2 Antibody Detection. *Clin Infect Dis.* 2020 Nov 19;71(16):2299-2300. doi: 10.1093/cid/ciaa532.PMID: 32358955.
11. Robert D. Kirkcaldy, Brian A. King; John T. Brooks COVID-19 and Postinfection Immunity Limited Evidence, Many Remaining Questions *JAMA.* 2020;323(22):2245-2246. doi:10.1001/jama.2020.7869

12. 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
13. Sethuraman N, Jeremiah SS, Ryo A. Interpreting Diagnostic Tests for SARS-CoV-2. *JAMA*. 2020 May 6. DOI: 10.1001/jama.2020.8259.
14. Long QX, Liu BZ, Deng HJ, Wu GC, Deng K, Chen YK, et al. Antibody responses to SARS-CoV-2 in patients with COVID-19. *Nat Med*. 2020 Apr 29. DOI: 10.1038/s41591-020-0897-1.
15. Kellam P, Barclay W. The dynamics of humoral immune responses following SARS-CoV-2 infection and the potential for reinfection. *J Gen Virol*. 2020 May 20. DOI: 10.1099/jgv.0.001439.
16. Randolph H.E., Barreiro L.B. Herd immunity: understanding COVID-19 immunity. 2020; 52(5): 737–41. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2020.04.012>
17. Gomes M.G.M., Corder R.M, King. J.G., Langwig K.E., Souto-Maior C., Carneiro J., et al. Individual variation in susceptibility or exposure to SARS-CoV-2 lowers the herd immunity threshold. *medRxiv*. 2020; 2020.04.27.20081893. Preprint. <https://doi.org/10.1101/2020.04.27.20081893>
18. Смирнов В.С., Зарубаев В.В., Петленко С.В. Биология возбудителей и контроль гриппа и ОРВИ. СПб.: Гиппократ, 2020.
19. Wu F, Wang A, Liu M, Wang Q, Chen J, Xia S, et al. Neutralizing antibody responses to SARS-CoV-2 in a COVID-19 recovered patient cohort and their implications. Preprint at medRxiv. Available from: <https://doi.org/10.1101/2020.03.30.20047365>.
20. Масыгутова Л.М., Бакиров А.Б., Ахметшина В.Т., Власова Н.В., Гизатуллина Л.Г., Абдрахманова Е.Р., Иванова Р.Ш., Хайруллин Р.У., Аралбаев Х.Ф., Рафикова Л.А. Опыт и первые результаты определения антител к SARS-CoV-2. *Медицина труда и экология человека*. 2020; 4:153-160.

References:

1. Korth J, Wilde B, Dolff S, Anastasiou OE, et al. SARS-CoV-2-specific antibody detection in healthcare workers in Germany with direct contact to COVID-19 patients. *J Clin Virol*. 2020 Jul; 128: 104437. Published online 2020 May 13. doi: 10.1016/j.jcv.2020.
2. Fanfan Zeng, Chan Dai, Pengcheng Cai, Jinbiao Wang, Lei Xu, Jianyu Li, Guoyun Hu, Zheng Wang, Fang Zheng, Lin Wang A comparison study of SARS-CoV-2 IgG antibody between male and female COVID-19 patients: A possible reason underlying different outcome between sex *J Med Virol*. 2020 May 22 : 10.1002/jmv.25989. doi: 10.1002/jmv.25989 [Epubaheadofprint]
3. Sequential SARS-CoV-2 IgG assays as confirmatory strategy to confirm equivocal results: Hospital-wide antibody screening in 3,569 staff health care workers in Paris H el ene P er e, Maxime Wack, Benoit V edie, Nathalie Demory Guinet, Najiby Kassis Chikani, Laurence Janot, Laurent B elec, David Veyer *J Clin Virol*. 2020 Nov; 132: 104617. Published online 2020 Sep 3. doi: 10.1016/j.jcv.2020.104617
4. Kuleshova S.V., Grigorieva E.V., Mukharaeva A.D., Minushkina L.O. Experience in determining antibodies to SARS-CoV-2, the causative agent of a new coronavirus infection. *Directory of the CDL head*; 2020:9-16.

5. Josh Reifer, Nosson Hayum, Benzion Heszkel, Ikey Klagsbald, Vincent A. Strevia. SARS-CoV-2 IgG antibody responses in New York City. *Diagn Microbiol Infect Dis.* 2020 Nov; 98(3): 115128. Published online 2020 Jul 21. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2020.115128
6. Popova A.Yu., Ezhlova E.B., Melnikova A.A., et al. Population immunity to SARS-CoV-2 among the population of St. Petersburg during the COVID-19 epidemic. *Problems of especially dangerous infections.* 2020; (3): 124-130. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2020-3-124-130>
7. Mayansky N. A. Immunity to COVID-19 and issues of screening antibodies to SARS-COV-2. *BULLETIN OF RSMU 3,* 2020: 27-30
8. Popova A.Yu., Ezhlova E.B., Melnikova A.A., et al. Distribution of seroprevalence to SARS-CoV-2 among residents of the Tyumen region in the epidemic period of COVID-19. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology.* 2020; 97 (5): 392-400. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2020-97-5-1>
9. Popova A.Yu., Ezhlova E.B., Melnikova A.A., Oglezneva EE, et al. Seroprevalence to SARS-CoV-2 among the population of the Belgorod region against the background of the COVID-19 epidemic. *Epidemiology and infectious diseases;* 2021; 1: DOI: <https://dx.doi.org/10.18565/epidem.2021.1.18-24>
10. Di Giambenedetto S, Ciccullo A, Posteraro B, Lombardi F, Borghetti A, Sanguinetti M. Still Much to Learn About the Diagnostic Role of SARS-CoV-2 Antibody Detection. *Clin Infect Dis.* 2020 Nov 19;71(16):2299-2300. doi: 10.1093/cid/ciaa532.PMID: 32358955.
11. Robert D. Kirkcaldy, Brian A. King; John T. Brooks COVID-19 and Postinfection Immunity Limited Evidence, Many Remaining Questions. *JAMA.* 2020;323(22):2245-2246. doi:10.1001/jama.2020.7869
12. 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
13. Sethuraman N, Jeremiah SS, Ryo A. Interpreting Diagnostic Tests for SARS-CoV-2. *JAMA.* 2020 May 6. DOI: 10.1001/jama.2020.8259.
14. Long QX, Liu BZ, Deng HJ, Wu GC, Deng K, Chen YK, et al. Antibody responses to SARS-CoV-2 in patients with COVID-19. *Nat Med.* 2020 Apr 29. DOI: 10.1038/s41591-020-0897-1.
15. Kellam P, Barclay W. The dynamics of humoral immune responses following SARS-CoV-2 infection and the potential for reinfection. *J Gen Virol.* 2020 May 20. DOI: 10.1099/jgv.0.001439.
16. Randolph H.E., Barreiro L.B. Herd immunity: understanding COVID-19 immunity. 2020; 52(5): 737–41. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2020.04.012>
17. Gomes M.G.M., Corder R.M, King. J.G., Langwig K.E., Souto-Maior C., Carneiro J., et al. Individual variation in susceptibility or exposure to SARS-CoV-2 lowers the herd immunity threshold. *medRxiv.* 2020; 2020.04.27.20081893. Preprint. <https://doi.org/10.1101/2020.04.27.20081893>
18. Smirnov V.S., Zarubaev V.V., Petlenko S.V. *Biology of pathogens and control of influenza and ARVI.* Saint Petersburg: Hippocrates, 2020.
19. Wu F, Wang A, Liu M, Wang Q, Chen J, Xia S, et al. Neutralizing antibody responses to SARS-CoV-2 in a COVID-19 recovered patient cohort and their implications. Preprint at medRxiv. Available : <https://doi.org/10.1101/2020.03.30.20047365>.
20. Masyagutova L.M., Bakirov A.B., Akhmetshina V.T., Vlasova N.V., Gizatullina L.G., Abdrakhmanova E.R., Ivanova R.Sh., Khairullin R.U., Aralbaev Kh.F., Rafikova L.A. Experience and initial results of the determination of antibodies to SARS-CoV-2. *Occupational health and human ecology.* 2020; 4: 153-160.

Поступила/Received: 19.04.2021

Принята в печать/Accepted: 26. 05.2021