

Влияние психоэмоциональных факторов на формирование иммунного ответа на вакцинацию

А. А. Плотников, Я. Ю. Чернорыж, Д. И. Вовк, И. Е. Филатов, Т. В. Гребенникова*

ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи» Минздрава России, Москва

Резюме

Актуальность. Вариабельность индивидуального иммунного ответа на вакцинацию может быть связана не только с особенностями иммуногенеза, но и с психоэмоциональными факторами. При этом влияние психоэмоциональных факторов на формирование поствакцинального иммунитета в настоящее время изучено недостаточно. **Цель.** Оценить влияние психоэмоциональных факторов (ситуативной и личностной тревожности, информированности о вакцинации) на иммунный ответ после вакцинации. **Материалы и методы.** В исследование были включены 248 добровольцев, участвовавших в клинических испытаниях вакцины для профилактики COVID-19, в возрасте от 18 до 60 лет. Все они прошли анкетирование для оценки психоэмоционального состояния и анализа уровня осведомленности в вопросах вакцинопрофилактики. Уровень тревожности определяли стандартизированным опросником State-Trait Anxiety Inventory (STAI) в адаптации Ч. Д. Спилбергепа. Была проведена оценка напряженности гуморального иммунитета до и после вакцинации с помощью иммуноферментного анализа. Все данные обрабатывались в закодированном виде с использованием криптографического протокола V1 для обеспечения сохранения слепоты исследования. Передача промежуточных данных осуществлялась в соответствии с утвержденной формой, предусмотренной в протоколе клинического исследования. **Результаты.** Увеличение уровня антител в 4 и более раз отмечалось у 90 % добровольцев с исходно низким уровнем ситуативной тревожности, в то время как у 100 % добровольцев с высоким уровнем ситуативной тревожности увеличения титра антител не было. Факторный анализ определил две компоненты, влияющие на поствакцинальный гуморальный иммунитет: 1 – «Тревожность», которая включала в себя личностную тревожность и ситуативную тревожность до и после вакцинации (психоэмоциональные детерминанты); 2 – «Иммунно-возрастной профиль», которая включала в себя возраст и уровень титра антител на момент вакцинации (биологические детерминанты). Общий накопленный вклад двух компонент в суммарную дисперсию составил 59,7 %. Прирост антител имел отрицательную корреляционную связь с возрастом и исходным уровнем антител ($\tau = -0,267$; $p < 0,00$; 95% ДИ [-0,379; -0,141]; $n = 156$), в то время как уровень тревожности имел отрицательную корреляционную связь со степенью информированности о вакцинации ($\tau = -0,212$; $p < 0,001$; 95% ДИ [-0,324; -0,095]; $n = 156$). **Заключение.** Повышенный уровень ситуативной тревожности в момент вакцинации является фактором риска снижения поствакцинального гуморального иммунного ответа. Разработана прогностическая модель для оценки этого риска, в которой изменяемым параметром выступает информированность пациента. Целевое повышение уровня информированности о вакцинопрофилактике представляет собой практический инструмент персонализированного подхода, направленный на снижение тревожности и повышение эффективности вакцинации. В перспективе реализация такого подхода позволит увеличить не только приверженность иммунизации, но и улучшить популяционные показатели иммунопрофилактики.

Ключевые слова: COVID-19, SARS-CoV-2, вирусоподобные частицы, тревожность, стресс, психоэмоциональные факторы, вакцинопрофилактика, эпидемиология, клиническое исследование

Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Плотников А. А., Чернорыж Я. Ю., Вовк Д. И. и др. Изучение влияния психоэмоциональных факторов на формирование иммунного ответа на вакцинацию. Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2026;25(1):38-47. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2026-25-1-38-47>

Этическое утверждение. Исследование проводилось при добровольном информированном согласии пациентов. Протокол исследования одобрен на заседании Совета по этике Департамента регулирования обращения лекарственных средств и медицинских изделий Министерства здравоохранения Российской Федерации (№4293530-25-29С-2 от 14.08.2025 г.), выписка №365.

* Для переписки: Гребенникова Татьяна Владимировна, д. б. н., профессор, чл.-корр. РАН, заместитель директора по научной работе подразделения Института вирусологии им. Д. И. Ивановского, руководитель Испытательного центра ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи» Минздрава России, 123098, Москва, ул. Гамалеи, д. 18. +7 (916) 505-18-75, t_grebennikova@mail.ru. ©Плотников А. А. и др.

Благодарность

Авторы статьи выражают благодарность за сотрудничество ФГБНУ «Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова», Москва, ООО «Стратегические Медицинские Системы», Санкт-Петербург и ООО «Медицинские Технологии Малый», Санкт-Петербург.

Studying the Impact of Psychophysiological Factors on the Immune Response to Vaccination

AA Plotnikov, YaYu Chernoryzh, DI Vovk, IE Filatov, TV Grebennikova**

National Research Center for Epidemiology and Microbiology named after the honorary academician N. F. Gamaleya, Moscow, Russia

Abstract

Relevance. Psychoneuroimmune aspects of the formation of post-vaccination immunity against SARS-CoV-2 are of particular interest for modern virology and epidemiology. The variability of the individual immune response to vaccination may be associated not only with immunological but also with psychophysiological factors. **The aim** to evaluate the influence of psychophysiological factors (situational and personal anxiety, awareness of vaccination) on the manifestation of the immune response after immunization with a vaccine for the prevention of COVID-19 based on virus-like particles (VLP), as well as to evaluate the relationships between these factors. **Materials and methods.** A questionnaire was administered to 248 volunteers aged 18 to 60 years to assess socio-demographic characteristics and analyze the level of awareness of vaccination issues. The level of anxiety was determined by the standardized State-Trait Anxiety Inventory (STAI) questionnaire adapted by C.D. Spielberger. The intensity of humoral immunity was also assessed before and after vaccination using enzyme-linked immunosorbent assay. All data were processed in encrypted form using the V1 cryptographic protocol to ensure blinding of the study. The transfer of intermediate data were carried out in accordance with the approved form provided in the clinical trial protocol. The study was conducted with the voluntary informed consent of the patients. The study protocol was approved at a meeting of the Ethics Council of the Department of Regulation of the Circulation of Medicines and Medical Devices of the Ministry of Health of the Russian Federation (№4293530-25-23С-214.08.2025). **Results.** In the group of volunteers immunized with the VLP vaccine for COVID-19 prevention, there was a significant increase in the antibody titer ($p < 0.001$), along with an increase in the level of situational anxiety ($p < 0.001$). It is noteworthy that an increase in the antibody level by 4 times or more was noted in 90% of volunteers with a low level of state anxiety, while 100% of volunteers with a high level of state anxiety did not have an increase in the antibody titer. Factor analysis identified two components influencing post-vaccination humoral immunity: 1—"Anxiety", which included personal anxiety and state anxiety before and after vaccination (psychophysiological determinants); 2—"Immune-age profile", which included age and antibody titer level at the time of vaccination (biological determinants). The total cumulative contribution of the two components to the total variance was 59.7%. The increase in antibodies had a negative correlation with age and the initial level of antibodies ($\tau = -0,267$; $p < 0,00$; 95% CI [-0,379; -0,141]; $n = 156$), while the anxiety level had a negative correlation with the degree of awareness of vaccination ($\tau = -0,212$; $p < 0,001$; 95% CI [-0,324; -0,095]; $n = 156$). For the first time, a predictive model based on discriminant analysis was obtained. Group membership by anxiety level was used as a classification criterion, and personal anxiety indicators, degree of awareness and age served as predictors. **Conclusion.** Elevated situational anxiety at the time of vaccination is a risk factor for a diminished post-vaccination humoral immune response. A predictive model has been developed to assess this risk, with patient knowledge being its key modifiable parameter. Targeted enhancement of knowledge about vaccine prophylaxis serves as a practical tool of a personalized approach, aimed at reducing anxiety and increasing vaccination efficacy. Ultimately, this strategy may boost both individual vaccine uptake and the overall public health impact of immunization programs.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, STAI, virus-like particles, VLP, anxiety, stress, psychophysiological factors

No conflict of interest to declare.

For citation: Plotnikov AA, Chernoryzh YaYu, Vovk DI, et al. Studying the Impact of Psychophysiological Factors on the Immune Response to Vaccination. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2026;25(1):38-47 (In Russ.). <https://doi:10.31631/2073-3046-2026-25-1-38-47>

Acknowledgement

The authors of the article express their gratitude for the cooperation of the Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera", Moscow, «Strategic Medical Systems» LLC, Saint-Petersburg and «Medical Technologies Maly» LLC, Saint-Petersburg.

Введение

Исследования последних десятилетий продемонстрировали связь между психоэмоциональными факторами риска (депрессией, тревожными состояниями, хроническим стрессом, социальной депривацией

и маргинализацией) и повышенной уязвимостью к вирусным инфекциям [1]. Holman и соав. показали, что значительное влияние на психоэмоциональное состояние людей оказывают также страх и неизвестность [2].

* For correspondence: Grebennikova Tatiana V., Dr. Sci. (Biol.), professor, Corresponding Member RAS, Head Laboratory of Molecular Diagnostics, Head department FSBI «Federal State Budgetary Institution Scientific Center named after N.F. Gamaleya» Ministry of Health of Russia, 18 Gamaleya St., Moscow, Russia, 123098. +7 (916) 505-18-75, t_grebennikova@mail.ru. ©Plotnikov AA et al.

Вакцинация внесла значительный вклад в борьбу с инфекциями. Формирование поствакцинального иммунитета представляет собой сложный многофакторный процесс, на который оказывают влияние не только биологические (генетические, возрастные, коморбидные факторы). В настоящее время проведен ряд исследований, в которых получены данные о существенном влиянии психоэмоционального состояния, в частности хронического стресса и тревожных расстройств, на формирование иммунного ответа. Нейроэндокринные механизмы, активирующиеся при стрессе, способны существенно влиять как на гуморальный, так и клеточно-опосредованный иммунитет, что может приводить к снижению эффективности вакцинопрофилактики [3,4].

Поэтому особую актуальность приобретает комплексное изучение проблемы влияния психоэмоционального статуса человека на вакцинальный процесс. Системный анализ проблемы позволит не только усовершенствовать существующие протоколы иммунизации, но и разработать персонализированные подходы к формированию приверженности вакцинации, учитывающие психоэмоциональные особенности различных категорий населения. Особое внимание следует уделить разработке превентивных мер, направленных на коррекцию стрессовых состояний в период вакцинации, что может существенно повысить эффективность формируемого иммунного ответа. Серологические исследования поствакцинального иммунитета являются релевантным методом для выявления взаимосвязи между психоэмоциональными факторами и особенностями формирования иммунологической защиты [5].

Уровень осведомленности о вакцинации и факторы доверия новым вакцинам могут существенно влиять на успешность иммунизации [6]. Наиболее значимой для формирования иммунного ответа может являться ситуативная тревожность — переходящее состояние психофизиологического напряжения, возникающее в ответ на стрессовые события (например, сам акт вакцинации). Она может проявляться как страх перед уколom, опасения по поводу побочных эффектов или общее недоверие к медицинскому вмешательству.

В отличие от личностной (черты характера) тревожности, к которой организм адаптирован, ситуативная тревожность характеризуется кратковременными, но интенсивными изменениями в работе иммунной системы, что может оказывать значимое влияние на формирование поствакцинального иммунитета. При этом уровень ситуативной тревожности может модулироваться осведомленностью: осознанное понимание пользы вакцинации способствует снижению стресса, тогда как дезинформация или внешнее давление могут его усилить.

Для исследования взаимосвязи между субъективным восприятием стресса и его конечным иммунологическим эффектом оптимально использовать

психометрическую шкалу (например, STAI), наряду с определением титра антител до и после вакцинации. Эта методика позволяет дифференцировать ситуативную и личностную тревожность и является, по мнению ее авторов, эффективным способом измерения стресса.

Изучение влияния осведомленности на динамику тревожности при вакцинации позволит разрабатывать более эффективные стратегии информирования, способствующие повышению приверженности вакцинопрофилактике, снижению психоэмоционального дискомфорта и повышению эффективности поствакцинального иммунитета.

Цель работы — оценить влияние психоэмоциональных факторов (ситуативной и личностной тревожности, информированности о вакцинации) на иммунный ответ после вакцинации.

Материалы и методы

В клиническое исследование вакцины для профилактики COVID-19 на основе VLP (далее – вакцина) было включено 248 добровольцев мужского и женского пола в возрасте 18 – 60 лет. Выборка была однородной в отношении распределения по полу и возрасту. Все добровольцы были здоровыми, соответствовали изначально критериям включения в клинические исследование новой вакцины на основе вирусоподобных частиц для профилактики COVID-19. Вакцинация проводилась в период между визитом скрининга и визитом на 21-е сутки.

Все данные обрабатывались в закодированном виде с использованием криптографического протокола V1 для обеспечения сохранения слепоты исследования. Передача данных осуществлялась в соответствии с утвержденной формой подтверждения получения данных от 30.04.2025.

Оценку гуморального иммунитета проводили с помощью иммуноферментного анализа (ИФА). Отбирали кровь на скрининге и на 21-е сутки после вакцинации. ИФА проводили набором реагентов для иммуноферментного выявления IgG к вакцинальным антигенам.

Оценка психоэмоционального состояния

Для оценки уровня тревожности участников исследования использовался стандартизированный опросник State-Trait Anxiety Inventory (STAI) в адаптации Ч.Д. Спилбергера [7]. Методика обеспечивает дифференцированную оценку двух видов тревожности: ситуативной (отражающей текущее эмоциональное состояние) и личностной (характеризующей устойчивую индивидуальную особенность). Применялась русскоязычная версия опросника, валидизированная Ю. Л. Ханиным [8], которая включает 40 утверждений (20 для каждой шкалы), оценка производится по 4-балльной шкале Лайкерта, время заполнения – 8–10 минут. Оценка ситуативной тревожности проводилась перед

процедурой вакцинации и на 21-е сутки (3 недели после вакцинации).

На этапе скрининга всем участникам исследования было предложено заполнить стандартизованную анкету для сбора базовых данных об участниках и анализа уровня осведомленности в вопросах вакцинопрофилактики (знание принципов действия вакцин, понимание показаний и противопоказаний к иммунизации, осведомленность о ресурсе «Япривит.ру»).

Исследование проводилось при добровольном информированном согласии пациентов. Протокол исследования одобрен на заседании Совета по этике Департамента регулирования обращения лекарственных средств и медицинских изделий Министерства здравоохранения Российской Федерации (№4293530-25-2ЭС-2 от 14.08.2025 г.) выписка № 365. Перед анализом данные были проверены на полноту. Анкеты с пропущенными или некорректными ответами были исключены из итоговой выборки.

Для статистического анализа полученных результатов исследования использовался комплекс методов параметрической и непараметрической статистики. Углубленный статистический анализ проводился с использованием профессионального пакета IBM SPSS Statistics v.27 (IBM Corp., США). Нормальность распределения количественных показателей проверяли с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Поскольку распределение большинства показателей отличалось от нормального, данные описаны в виде медианы и интерквартильного размаха (Ме [Q1–Q3]). Для оценки однородности (гомогенности) выборки по демографическим параметрам (пол, возрастная группа) использовали критерий хи-квадрат (χ^2). Сравнение зависимых выборок (показатели до и после вакцинации) выполняли с помощью парного критерия Уилкоксона. Взаимосвязь между переменными оценивали с помощью коэффициента ранговой корреляции τ -Кендалла. Для выявления латентных факторов, определяющих иммунный ответ, был применён метод анализа главных компонент (факторный анализ). Адекватность данных для факторного анализа подтверждалась удовлетворительным значением меры Кайзера-Мейера-Олкина (КМО = 0,65) и значимым критерием сферичности Бартлетта ($p < 0,001$), для визуализации использовали Jupyter Notebook (Python Software Foundation, США). Для построения прогностической модели, классифицирующей добровольцев по уровню ситуативной тревожности, использовали дискриминантный анализ с принудительным включением предикторов; для визуализации результатов классификации построена территориальная карта в программе IBM SPSS Statistics v.27 (IBM Corp., США). Во всех видах анализа статистически значимыми считали различия и корреляции при уровне $p < 0,05$.

Результаты

Было установлено, что медианный титр специфических IgG после вакцинации статистически значимо вырос с максимальных показателей в 3200 [1600–3200] до 6400 [3200–6400] ($p < 0,001$). Одновременно с этим был зафиксирован значимый рост уровня тревожности: медианный показатель увеличился с 18 [14–23] до 23 [17–35] баллов ($p < 0,001$), что подтверждает развитие иммунного ответа после однократной вакцинации и сопутствующее повышение ситуативной тревожности.

В результате статистической обработки при помощи метода анализа главных компонент после вращения методом варимакс были отобраны 2 ведущих компоненты.

Общий накопленный вклад двух компонент в суммарную дисперсию составил 59,7 %, исходя из чего можно сделать вывод о более чем половине изменчивости показателей оценки величины титра антител (IgG) после вакцинации, объясняемой значениями отобранных компонент. Факторная нагрузка для каждой из исследуемых переменных, позволяющая оценить корреляцию с отобранными компонентами, представлена на рисунке 1.

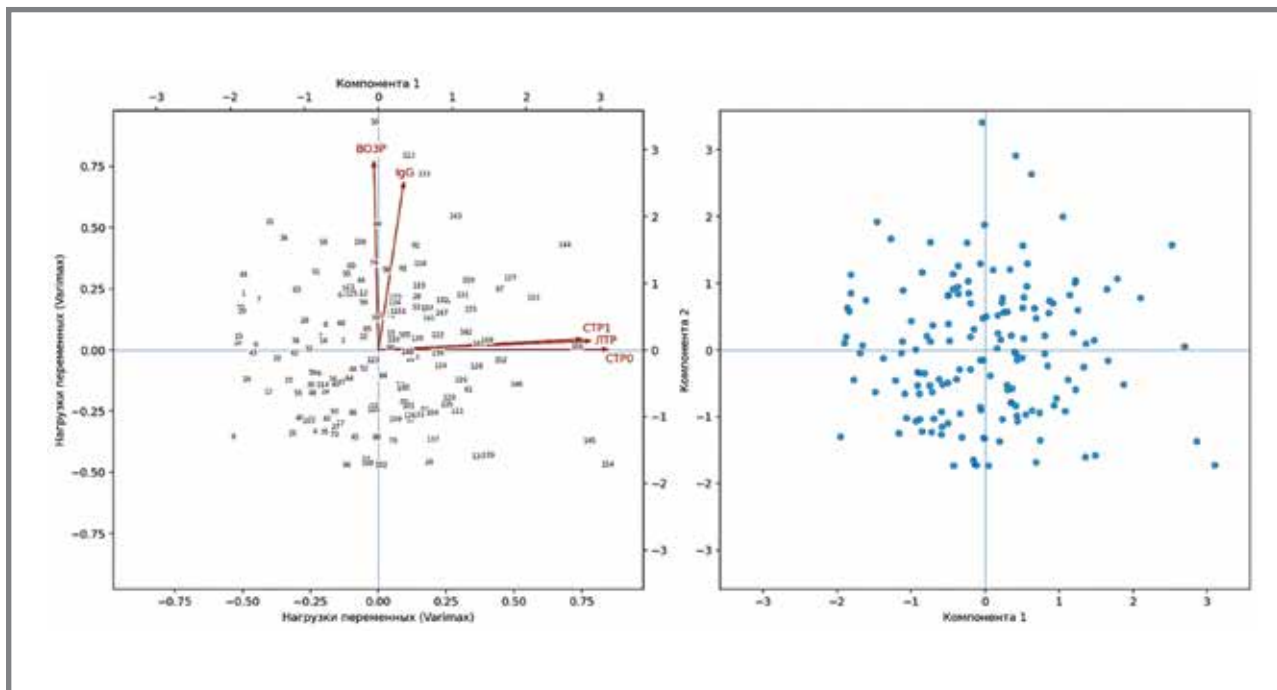
На рисунке 1 представлен уровень ситуативной тревожности до (СТРО) и после (СТР1) вакцинации, уровень личностной тревожности (ЛТР), возраст (ВОЗР), уровень специфических иммуноглобулинов до вакцинации (IgG). Направление и длина стрелки отражают её корреляцию (факторную нагрузку) с компонентом 1 – «Тревожность» (горизонтальная ось) и с компонентом 2 – «Иммунно-возрастной профиль» (вертикальная ось). Синие точки соответствуют индивидуальным наблюдениям ($n = 156$). Близкое расположение точек указывает на схожий профиль по выделенным компонентам.

Как видно из рисунка 1, первому компоненту соответствовали высокие значения набранных баллов в тесте Спилберга по личностной тревожности и ситуативной тревожности до и после вакцинации, что позволяет обозначить её как компонент 1 – «Тревожность». Второй компонент имел наиболее выраженные корреляции с двумя показателями базового иммунного статуса: возрастом и исходным уровнем IgG, поэтому был интерпретирован как компонент 2 – «Иммунно-возрастной профиль». Возможность подобного вербального объяснения компонент свидетельствует о результативности проведенного факторного анализа. Исходя из значения меры выборочной адекватности Кайзера-Мейера-Олкина, составляющей 0,65, была установлена удовлетворительная адекватность применимости факторного анализа к исследуемой выборке. При оценке критерия сферичности Бартлетта уровень значимости составил $p < 0,001$, что свидетельствовало о достаточности корреляций для проведения факторного анализа.

Для оценки взаимосвязи полученных компонент со степенью информированности и уровнем специфических IgG после вакцинации был использован

Рисунок 1. Биплот результатов факторного анализа с вращением варимакс. Красные стрелки представляют исходные переменные

Figure 1. Biplot of factor analysis results with varimax rotation



непараметрический коэффициент ранговой корреляции τ -Кендалла. Были установлены статистически значимая обратная корреляционная связь

компонента 1 – «Тревожность» с уровнем информированности ($\tau = -0,212$; $p < 0,001$; 95%ДИ[-0,324;-0,095]; $n = 156$) (рис. 2) и статистически значимая

Рисунок 2. Диаграмма рассеяния значений компонента 1 – «Тревожность» и уровня информированности о вакцинопрофилактике

Figure 2. Scatter plot of factor 1 – «Anxiety» scores and the level of awareness about vaccine prevention

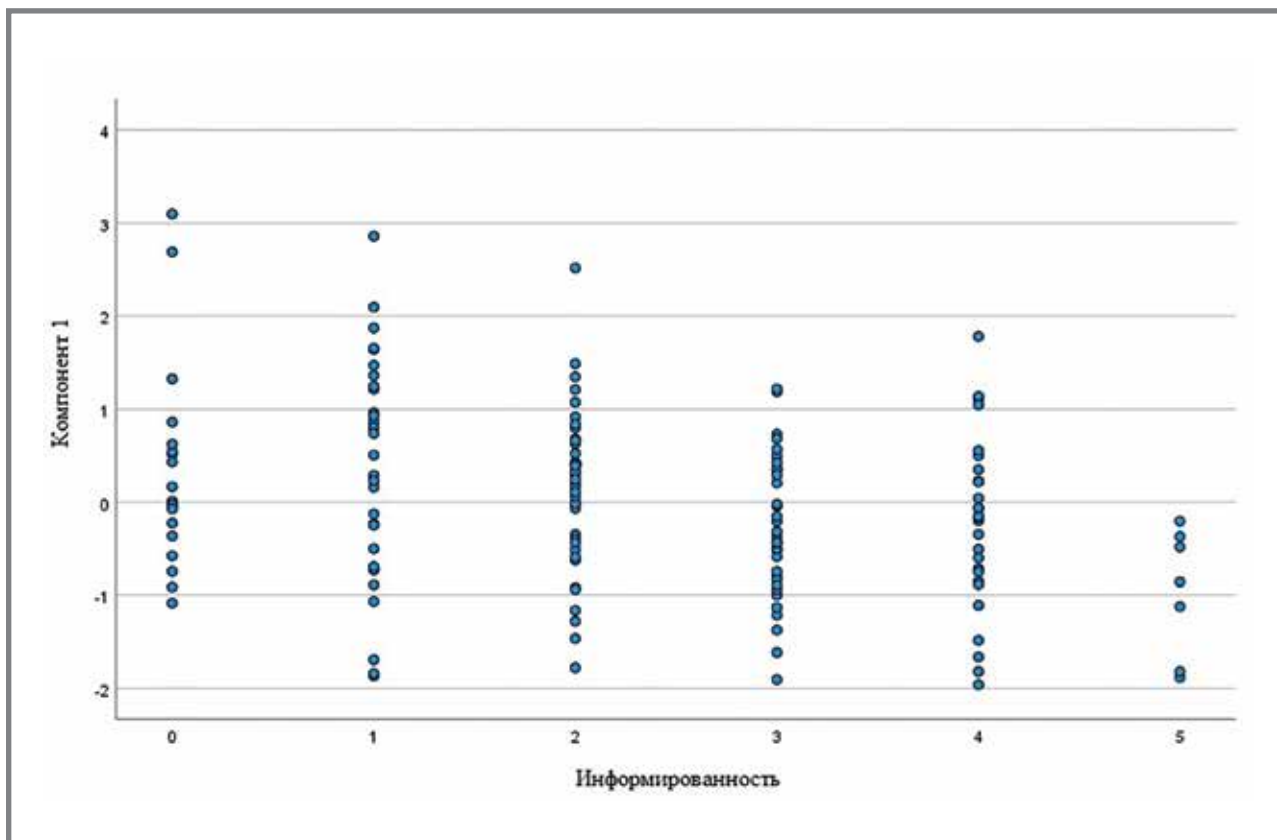
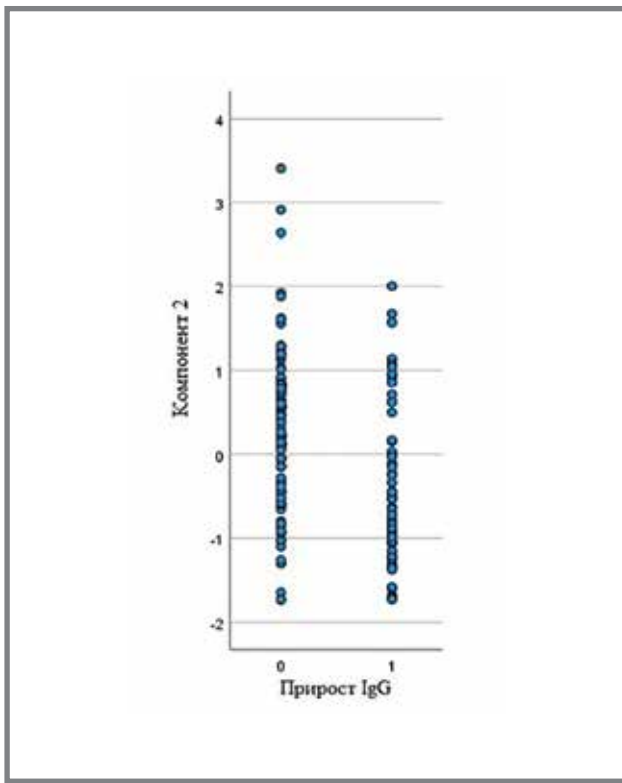


Рисунок 3. Распределение значений компонента 2 – «Иммунно-возрастной профиль» в зависимости от наличия прироста IgG
Figure 3. Distribution of factor 2 – «Immune-Age Profile» scores by IgG increase status.



обратная корреляционная связь компонента 2 – «Иммунно-возрастной профиль» с уровнем специфических IgG после вакцинации ($\tau = -0,267$; $p < 0,001$; 95 % ДИ [-0,379; -0,141]; $n = 156$) (рис. 3).

На рисунке 2 представлена взаимосвязь между уровнем информированности о вакцинации и степенью тревожности. Каждая синяя точка соответствует одному добровольцу ($n = 156$). Горизонтальная ось (X) представляет суммарный балл информированности, оценённый по анкете. Вертикальная ось (Y) отражает значение компонента 1, объединяющего показатели личностной и ситуативной тревожности. Наклонная линия иллюстрирует общую тенденцию связи ($\tau = -0,212$; $p < 0,001$).

На рисунке 3 представлено влияние возраста и исходного иммунного профиля на напряженность иммунного ответа. Каждая точка представляет одного добровольца ($n = 156$). Ось X: значение компонента 2 (расчётный показатель, объединяющий возраст и исходный уровень IgG). Ось Y: кратность прироста титра IgG (поствакцинальный титр / исходный титр). Сплошная линия отражает линию тренда, рассчитанную методом наименьших квадратов. Коэффициент корреляции τ -Кендалла = $-0,267$ ($p < 0,001$).

С учётом выявленного влияния ситуативной тревожности на уровень титра антител после вакцинации, для прогнозирования вероятности отнесения

пациентов к группам с разным уровнем тревожности (низкий, умеренный, высокий) была разработана модель на основе дискриминантного анализа с помощью метода принудительного включения. В качестве классификационного критерия использовалась групповая принадлежность по уровню тревожности, а предикторами выступали показатели личностной тревожности, степень информированности и возраст. В ходе анализа различных комбинаций независимых переменных было установлено, что наиболее точные результаты даёт модель, включающая все три параметра. Эффективность модели оценивалась по доле верно классифицированных добровольцев в исходной выборке.

Для более точной и наглядной классификации добровольцев по предполагаемому уровню ситуативной тревожности была построена территориальная карта, представленная на рисунке 4.

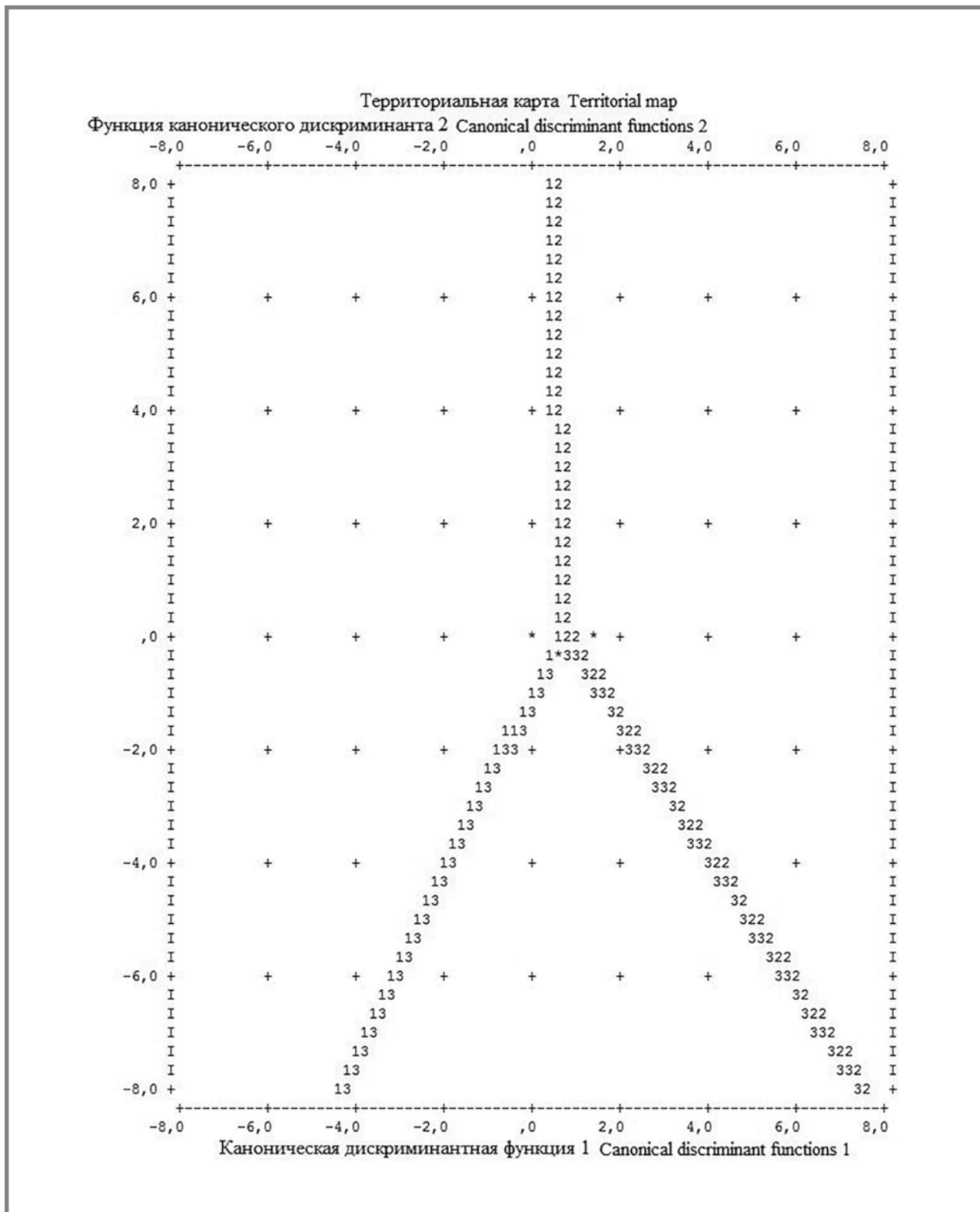
На рисунке 4 представлены так называемые фокус-группы, требующие особого внимания для работы по формированию приверженности вакцинации. Расчёт значения дискриминантной функции (в тексте) определяет координаты точки (F1; F2). Левый сектор указывает низкий уровень ситуативной тревожности, правый сектор – умеренный уровень ситуативной тревожности, нижний сектор – высокий уровень ситуативной тревожности.

Алгоритм использования территориальной карты следующий. После расчета значений дискриминантных функций F1 и F2, исходя из значений анамнестических факторов (информированность, возраст, личностная тревожность), с помощью уравнений $F1 = -3,682 - 0,1 * X_{инф} - 0,007 * X_{воз} + 0,1 * X_{лт}$ и $F2 = -2,730 - 0,173 * X_{инф} + 0,091 * X_{воз} - 0,007 * X_{лт}$ (где: F1 – значение дискриминантной функции 1; F2 – значение дискриминантной функции 2; $X_{инф}$ – степень информированности о вакцинации (баллы); $X_{воз}$ – возраст (полных лет); $X_{лт}$ – уровень личностной тревожности (баллы)), определяется положение точки на территориальной карте с координатами (F1; F2). При ее нахождении в левом секторе делается предположение о низком уровне ситуативной тревожности, в правом секторе – об умеренном уровне ситуативной тревожности, в нижнем секторе – о высоком уровне ситуативной тревожности. Чувствительность при прогнозировании низкого уровня ситуативной тревожности составила 63,9 %, при прогнозировании умеренного уровня ситуативной тревожности – 50 %, при прогнозировании высокого уровня ситуативной тревожности – 50 %.

Обсуждение

Изучение влияния фактора стресса на биологические предикторы в настоящее время является одним из наиболее актуальных направлений исследований [9]. Современные исследования выявляют значимое влияние психоэмоционального состояния на исходы COVID-19. Установлено, что хронический стресс и тревожные состояния

Рисунок 4. Территориальная карта для прогнозирования вероятности отнесения добровольцев к группам с разным уровнем тревожности.
Figure 4. Territorial map for predicting the probability of assigning volunteers to groups with different anxiety levels.



ассоциированы с повышенным риском тяжелого течения инфекции на 35–50 %, что подтверждается ростом показателей госпитализации и летальности [10,11]. В то же время положительные психоэмоциональные состояния могут усиливать иммунный ответ через механизмы нейроиммунной регуляции

[12]. Эти данные указывают на роль психоэмоциональных механизмов в модуляции противовирусного иммунитета.

Было показано, что хронический стресс (личностная тревожность) и ситуативная тревожность способны нарушать регуляцию иммунной системы,

снижая эффективность гуморальной защиты. В экспериментальных исследованиях отмечено, что высокий уровень тревожности и стрессовые воздействия могут изменять продукцию цитокинов, активность В-лимфоцитов и титры специфических антител, что делает анализ этих факторов необходимым при оценке эффективности новых вакцинных препаратов [13,14].

В ходе исследования была выявлена чёткая взаимосвязь между психоэмоциональным статусом добровольцев и формированием гуморального иммунного ответа. Рост уровня ситуативной тревожности после процедуры вакцинации отмечался независимо от вводимого препарата, что свидетельствует о его связи именно со стрессом от инъекции. При этом эффективность вакцинации существенно зависела от исходного уровня тревожности. В группе с исходно низкой тревожностью увеличение титра IgG наблюдалось у 90 % участников. Напротив, во всей немногочисленной подгруппе добровольцев с высоким исходным уровнем тревожности ($n = 3$) значимого роста титра антител отмечено не было. Полученные данные указывают на выраженную обратную корреляцию между уровнем ситуативной тревожности в момент проведения вакцинации и силой поствакцинального иммунного ответа. Наблюдаемая тенденция, особенно выраженная в подгруппе с высокой тревожностью, позволяет предположить негативное влияние психоэмоционального стресса на процессы иммуногенеза, для подтверждения этого вывода на более крупной выборке требуются дальнейшие исследования. С помощью факторного анализа удалось выделить два главных компонента, влияющие на формирование иммунного ответа: 1-й компонент – «Тревожность», включал в себя показатели личностной тревожности и ситуативной тревожности до и после вакцинации, 2-й компонент – «Иммуно-возрастной профиль» включал возраст и уровень титра антител на момент вакцинации. Результаты факторного анализа подтвердили, что на формирование иммунного ответа влияющих не только биологические, но и психоэмоциональные факторы. Это проявляется в том, что переменные чётко разделились на два независимых латентных компонента: «Тревожность» (психоэмоциональные детерминанты) и «Иммуно-возрастной профиль» (биологические детерминанты). При этом психоэмоциональная компонента объясняет большую долю дисперсии (38,2 %), что подчёркивает её значимость. Общий накопленный вклад двух компонент в суммарную дисперсию составляющий 59,7 %, позволяет сделать вывод о более чем половине изменчивости показателей оценки активации иммунного ответа (увеличения титра IgG) после вакцинации, объясняемой значениями отобранных компонент. Ограниченный вклад выделенных компонент в общую дисперсию (59,7 % – приемлемо, 70–80 % – оптимально) может быть связан с высокой сложностью взаимодействия

психофизиологических факторов, влияющих на иммунный ответ, а также возможным наличием неучтённых переменных, например, генетические особенности.

Как показали результаты исследования, наряду с традиционно учитываемыми биологическими детерминантами, существенную роль в формировании поствакцинального иммунитета играют и психоэмоциональные факторы, в частности, ситуативная и личностная тревожность, являющиеся известными физиологическими модуляторами иммунной функции. В контексте вакцинопрофилактики уровень тревожности во многом может зависеть от информированности, когда низкая медицинская грамотность и воздействие ложной информации в социальных сетях способствуют ее повышению [15–19]. Это создает потенциальный путь влияния социальной среды на индивидуальный иммунитет (информированность – тревожность – иммунный ответ). Полученные нами данные о негативном влиянии высокой ситуативной тревожности в момент вакцинации на поствакцинальный гуморальный иммунный ответ имеют важное прикладное значение. Они указывают на то, что психоэмоциональное состояние в момент вакцинации является не просто фоном, а значимым фактором, способным снизить её эффективность на индивидуальном уровне. В контексте задачи повышения приверженности вакцинопрофилактике [20] это подчеркивает важность мероприятий по снижению стресса, связанного с процедурой иммунизации, и создания доверительной среды в медицинских учреждениях.

Нами была установлена обратная корреляционная связь уровня титра антител после вакцинации с возрастом и исходным уровнем титра антител (компонент «Иммуно-возрастной профиль»), а также обратная корреляционная связь степени информированности с компонентой «Тревожность». Это подтверждает влияние на поствакцинальный иммунитет не только биологических, но и психоэмоциональных детерминант. Обнаруженные корреляционные взаимосвязи, хотя и достигают статистической значимости, имеют умеренную величину, что характерно для психофизиологических исследований, где многие взаимосвязи носят нелинейный и многофакторный характер.

В процессе работы разработана валидная модель, способная прогнозировать индивидуальный уровень ситуативной тревожности, связанной с процедурой вакцинации, что ограничивало возможности превентивных вмешательств. Разработанная математическая модель, позволяет оценить уровень ситуативной тревожности на основе комбинации предикторов. Модель включает немодифицируемые факторы, такие как возраст и уровень личностной тревожности (как устойчивая психологическая черта). Их учёт позволяет идентифицировать группы риска, например, лиц старшего возраста или с высокой тревожностью как чертой

личности. С другой стороны, элементом модели является модифицируемый фактор – уровень информированности о вакцинопрофилактике. Именно эта характеристика открывает путь для практического вмешательства. В отличие от немодифицируемых предикторов, уровень информированности может быть целенаправленно повышен даже в сжатые сроки, непосредственно перед процедурой вакцинации.

Таким образом, модель не только служит инструментом диагностики, но и задаёт чёткий алгоритм действий. Для лиц, идентифицированных моделью как группа риска, может быть применено целевое образовательное вмешательство, например, краткое структурированное консультирование или предоставление адаптированных образовательных материалов. Это позволяет трансформировать неизменяемый профиль риска (например, пожилой возраст и высокая личностная тревожность) в управляемую ситуацию за счёт коррекции модифицируемого фактора. Такой подход особенно важен для групп с исходно сниженным потенциалом иммунного ответа, где максимальная оптимизация всех контролируемых условий становится критической.

Широкое внедрение протоколов, основанных на подобной прогностической модели, в рутинную клиническую практику позволит реализовать принципы персонализированной медицины в иммунопрофилактике. Это означает переход от универсального подхода к стратегии, при которой меры поддержки (информирование) адресно направляются тем, кто в них нуждается больше всего. Подобная практика позволит не только повысить приверженность вакцинации через снижение психологических

барьеров, но и за счёт улучшения иммуногенности на индивидуальном уровне увеличить общую эффективность вакцинации в популяции, способствуя формированию более надёжного и устойчивого коллективного иммунитета.

Заключение

Повышенный уровень ситуативной тревожности в момент вакцинации является фактором риска снижения поствакцинального гуморального иммунного ответа. Получена прогностическая модель, позволяющая оценить вероятность индивидуального иммунного ответа на вакцины. Модель учитывает три параметра, влияющих на ситуативную тревожность. Два из них, возраст и уровень личностной тревожности (как устойчивая черта), являются немодифицируемыми факторами. А третий параметр, степень информированности о вакцинопрофилактике, – модифицируемый фактор и может быть целенаправленно повышен даже непосредственно перед процедурой вакцинации, например, через краткое консультирование или просмотр образовательных материалов. Широкое внедрение таких образовательных программ в клиническую практику позволит реализовать принципы персонализированной медицины в иммунопрофилактике и не только повысить приверженность вакцинации, но и увеличить её эффективность на популяционном уровне, способствуя формированию более устойчивого коллективного иммунитета.

Источник финансирования: Государственное задание Министерства здравоохранения Российской Федерации № 124020200096-6 «Клинические испытания вакцины на основе VLP для профилактики COVID-19 (3 фаза)».

Литература

- Cohen S. Psychosocial vulnerabilities to upper respiratory infectious illness: Implications for susceptibility to coronavirus disease 2019 (COVID-19) // *Perspectives on Psychological Science*. 2021. Vol. 16, №1. P. 161–174.
- Holman E, Thompson R, Garfin D, et al. The unfolding COVID-19 pandemic: A probability-based, nationally representative study of mental health in the United States // *Science Advances*. 2020. Vol. 6, №42. P. eabd5390.
- Кузнецов А. П., Смелышева Л. Н. Нейроэндокринные механизмы стресс-реакции // *Вестник Курганского государственного университета*. 2006. Т. 6, №2. С. 5–10.
- Pedersen A. F., Zachariae R., Bovbjerg D. H. Psychological stress and antibody response to influenza vaccination: a meta-analysis // *Brain, behavior, and immunity*. 2009. Vol. 23, №4. P. 427–433.
- Phillips A. C. The vaccination model in psychoneuroimmunology research: a review. In: *Psychoneuroimmunology: methods and protocols*; 2012. P. 355–370.
- Белоусова Я. Д., Рафальский В. В., Кислова Е. Д. Особенности мотивации добровольцев, участвующих в клиническом исследовании вакцины от COVID-19 // *Качественная клиническая практика*. 2022. №4. С. 4–12.
- Spielberger C. D. State-trait anxiety inventory for adults. (STAI-AD) [Database record]. APA PsycTests; 1983.
- Спилбергер Ч. Д., Ханин Ю. Л. Шкала оценки уровня реактивной и личностной тревожности // *Карелин АА Психологические тесты*. 2000. Т. 1. С. 39–45.
- Плотников А. А., Зайкова, О. Н., Русакова, Е. В., и др. Социальная эпидемиология: актуальность, подходы, основные направления и тенденции развития // *Здоровье населения и среда обитания-3НУСО*. 2025. Т. 33, №1. С. 61–72.
- Vai B., Mazza M.G., Delli Colli C., et al. Mental disorders and risk of COVID-19-related mortality, hospitalisation, and intensive care unit admission: A systematic review and meta-analysis // *The Lancet Psychiatry*. 2021. Vol. 8, №9. P. 797–812.
- Wang Q., Xu R., Volkow N.D. Increased risk of COVID-19 infection and mortality in people with mental disorders: Analysis from electronic health records in the United States // *World Psychiatry: Official Journal of the World Psychiatric Association (WPA)*. 2021. Vol. 20, №1. P. 124–130.
- Bower J.E., Kuhlman K.R., Hayden M.D., et al. Cultivating a healthy neuro-immune network: A health psychology approach // *Social and Personality Psychology Compass*. 2019. Vol. 13, №9. P. e12498.
- Barrett T. J., Corr E. M., van Solingen C., et al. Chronic stress primes innate immune responses in mice and humans // *Cell reports*. 2021. Vol. 36, №10. P. 109595.
- Dai S., Mo Y., Wang Y., et al. Chronic stress promotes cancer development // *Frontiers in oncology*. 2020. Vol. 10. P. 1492.
- Diez Roux AV. Social epidemiology: Past, present, and future. *Annu Rev Public Health*. 2022;43:79–98. doi: 10.1146/annurev-publhealth-060220-042648
- Li Z., Sun X. Social factors influencing behavioral intentions to vaccinate: personality traits and cues to action // *Frontiers in Psychology*. 2025. Vol. 16. P. 1481147.
- Guerrero-Araya E., Ravello C., Roseblatt, M., et al. Socioeconomic status correlates with COVID-19 vaccination coverage among primary and secondary students in the most populated city of Chile // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, №1. P. 1509.
- Reis M., Michalski N., Bartig S., et al. Reconsidering inequalities in COVID-19 vaccine uptake in Germany: a spatiotemporal analysis combining individual educational level and area-level socioeconomic deprivation // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, №1. P. 23904.
- Плакида А. В., Брико Н. И., Намазова-Баранова Л. С. и др. Повышение приверженности населения вакцинации: оценка и системный подход к реализации. *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. 2022;21(3):4–26. doi:10.31631/2073-3046-2022-21-3-4-26.
- Брико Н. И., Фельдблюм И. В. Современная концепция развития вакцинопрофилактики в России. *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. 2019; 18 (5): 4–13. doi: 10.31631/2073-3046-2019-18-5-4-13.

References

- Cohen S. Psychosocial vulnerabilities to upper respiratory infectious illness: Implications for susceptibility to coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Perspectives on Psychological Science*. 2021;16(1):161–74. doi: 10.1177/1745691620942516
- Holman E., Thompson R., Garfin D. et al. The unfolding COVID-19 pandemic: A probability-based, nationally representative study of mental health in the United States. *Science Advances*. 2020;6(42):eabd5390 doi: 10.1126/sciadv.abd5390
- Kuznetsov A.P., Smelysheva L.N. Neuroendokrinnyye mekhanizmy stress-reaktsii. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2006;6(2):5–10. (In Russ).
- Pedersen A. F., Zachariae R., Bovbjerg D. H. Psychological stress and antibody response to influenza vaccination: a meta-analysis. *Brain, behavior, and immunity*. 2009;23(4):427–33. doi: 10.1016/j.bbi.2009.01.004
- Phillips A. C. The vaccination model in psychoneuroimmunology research: a review. In: *Psychoneuroimmunology: methods and protocols*; 2012. P. 355–70.
- Belousova Ya.D., Rafalsky V.V., Kislova E.D. Specifics of motivation of volunteers participating in a clinical trial of the COVID-19 vaccine. *Good Clinical Practice*. 2022;4:4–12. (In Russ). doi: 10.37489/2588-0519-2022-4-4-12
- Spielberger C. D. State-trait anxiety inventory for adults. (STAI-AD) [Database record]. APA PsycTests. 1983. <https://doi.org/10.1037/t06496-000>
- Spielberger Ch.D., Khanin Yu.L. Shkala otsenki urovnya reaktivnoi i lichnostnoi trevozhnosti. Karelin A.A. *Psikhologicheskie testy*. 2000;1:39–45. (In Russ).
- Plotnikov A.A., Zaykova O.N., Rusakova E.V., et al. Social epidemiology: relevance, approaches, main directions and development trends. *Zdorov'e naseleniâ i sreda obitaniâ*. 2025;33(1):61–72. (In Russ). doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-1-61-72
- Vai B., Mazza M.G., Delli Colli C., et al. Mental disorders and risk of COVID-19-related mortality, hospitalisation, and intensive care unit admission: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Psychiatry*. 2021;8(9):797–812. doi: 10.1016/S2215-0366(21)00232-7
- Wang Q., Xu R., Volkow N.D. Increased risk of COVID-19 infection and mortality in people with mental disorders: Analysis from electronic health records in the United States. *World Psychiatry: Official Journal of the World Psychiatric Association (WPA)*. 2021;20(1):124–30. doi: 10.1002/wps.20806
- Bower J.E., Kuhlman K.R., Haydon M.D., et al. Cultivating a healthy neuro-immune network: A health psychology approach. *Social and Personality Psychology Compass*. 2019;13(9):e12498. doi: 10.1111/spc3.12498
- Barrett T. J., Corr E. M., van Solingen C., et al. Chronic stress primes innate immune responses in mice and humans. *Cell reports*. 2021;36(10): 109595. doi: 10.1016/j.celrep.2021.109595
- Dai S., Mo Y., Wang Y., et al. Chronic stress promotes cancer development. *Front Oncol*. 2020;10:1492. doi: 10.3389/fonc.2020.01492
- Diez Roux AV. Social epidemiology: Past, present, and future. *Annu Rev Public Health*. 2022;43:79–98. doi: 10.1146/annurev-publhealth-060220-042648
- Li Z., Sun X. Social factors influencing behavioral intentions to vaccinate: personality traits and cues to action. *Frontiers in Psychology*. 2025;16:1481147. doi: 10.3389/fpsyg.2025.1481147
- Guerrero-Araya E., Ravello, C., Rosemblatt, M., et al. Socioeconomic status correlates with COVID-19 vaccination coverage among primary and secondary students in the most populated city of Chile. *Scientific Reports*. 2025;15(1):1509. doi: 10.1038/s41598-024-84260-z
- Reis, M., Michalski, N., Bartig, S., et al. Reconsidering inequalities in COVID-19 vaccine uptake in Germany: a spatiotemporal analysis combining individual educational level and area-level socioeconomic deprivation. *Scientific Reports*. 2024;14(1):23904. doi: 10.1038/s41598-024-75273-9
- Plakida AV, Briko NI, Namazova-Baranova LS, et al. Increasing population adherence to vaccination: evaluation and a systematic approach to implementation. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2022;21(3):4–26 (In Russ.). doi:10.31631/2073-3046-2022-21-3-4-26
- Briko NI, Fel'dblyum IV. The Modern Concept of Development of Vaccine Prevention in Russia. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2019; 18 (5): 4–13. (In Russ.). doi: 10.31631/2073-3046-2019-18-5-4-13.

Об авторах

- Алексей Андреевич Плотников** – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной диагностики ФГБУ «НИЦЭМ им Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, Москва. alesp@ya.ru. <https://orcid.org/0009-0009-1253-1152>.
- Яна Юрьевна Чернорыж** – к. м. н., научный сотрудник лаборатории молекулярной диагностики ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, Москва. revengeful_w@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9848-8515>.
- Дмитрий Игоревич Вовк** – лаборант-исследователь лаборатории молекулярной диагностики ФГБУ «НИЦЭМ им Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, Москва. pm.dmitryvovk@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-2711-2160>.
- Илья Евгеньевич Филатов** – младший научный сотрудник лаборатории молекулярной диагностики ФГБУ «НИЦЭМ им Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, Москва. filat69rus@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-5274-224X>.
- Татьяна Владимировна Гребенникова** – д. б. н., профессор, чл.-корр. РАН, заместитель директора по научной работе подразделения Института вирусологии им. Д.И. Ивановского, руководитель Испытательного центра ФГБУ «НИЦЭМ им Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, Москва. t_grebennikova@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6141-9361>.

Поступила: 20.06.2025 Принята к печати: 24.07.2025

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- Alexey A. Plotnikov** – Postgraduate student, Junior researcher at the Laboratory of Molecular Diagnostics in FSBI «National Research Center of Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia. alesp@ya.ru. <https://orcid.org/0009-0009-1253-1152>.
- Yana Yu. Chernoryzh** – Cand. Sci. (Med.), Researcher at the Laboratory of Molecular Diagnostics in FSBI «National Research Center of Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia. revengeful_w@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9848-8515>.
- Dmitry I. Vovk** – Laboratory Research Assistant at the Laboratory of Molecular Diagnostics in FSBI «National Research Center of Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia. pm.dmitryvovk@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-2711-2160>.
- Ilya E. Filatov** – Junior Researcher, Laboratory of Molecular Diagnostics in FSBI «National Research Center of Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia. filat69rus@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-5274-224X>.
- Tatiana V. Grebennikova** – Dr. Sci. (Biol.), professor, Corresponding Member RAS, Head Laboratory of Molecular Diagnostics, Head department in FSBI «National Research Center of Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia. t_grebennikova@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-6141-9361>.

Received: 20.06.2025 Accepted: 24.07.2025

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.