

Характеристика напряженности специфического иммунитета к возбудителям кори, дифтерии и коклюша у полноценно привитых школьников

В.Г. Макарова, О.Ю. Устинова, С.Л. Валина, Л.В. Ошева

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

Резюме

Введение. Снижение напряженности иммунитета и накопление числа лиц, восприимчивых к управляемым инфекциям, увеличивает риск осложнения эпидемиологической ситуации.

Цель работы: дать характеристику напряженности специфического иммунитета против кори, дифтерии и коклюша у полноценно привитых школьников для идентификации групп повышенного риска инфицирования при разработке профилактических мероприятий.

Материалы и методы. Методом ИФА исследовано на наличие специфических антител 1709 образцов сывороток крови детей, своевременно и полноценно привитых против кори, коклюша и дифтерии. Для характеристики количественного иммунитета обследованные дети были разделены на возрастные группы: младшая – 6–9 лет, средняя – 10–13 лет, старшая 14–17 лет.

Результаты. Установлено, что среди школьников только 63,5–88,5 % имели защитный уровень антител против кори. Удельный вес серонегативных случаев имел место у 15,7 % школьников 10–13 лет и 27,1 % – в 14–17 лет. Протективный уровень иммунитета против дифтерии у школьников составил 91,8–99,4 % обследованных лиц. Доля серонегативных к дифтерии лиц составляла 8,1 и 8,2 % в возрастных группах 6–9 и 10–13 лет, а высокие показатели защиты имели дети 6–9 лет (41,4 %) и 14–17 (60,6 %). Защитный уровень антител к коклюшу выявлен у 46,2–68,2 % школьников, при этом количество серонегативных лиц среди детей 6–9 лет в 1,6 раза больше (37,8 %), чем у школьников 14–17 лет (23,4 %).

Выводы. Выявлен недостаточный уровень иммунной защиты против кори и коклюша у детей школьного возраста, среди которых наиболее уязвимы: для кори – дети 14–17 лет, для коклюша – дети 6–9 лет. Для дифтерии – отсутствие защитных титров антител среди пятикратно привитых прослеживалось в 8 % случаев у детей в возрасте от 6 до 13 лет.

Ключевые слова: иммунопрофилактика, школьники, поствакцинальный иммунитет, корь, коклюш, дифтерия.

Для цитирования: Макарова В.Г., Устинова О.Ю., Валина С.Л., Ошева Л.В. Характеристика напряженности специфического иммунитета к возбудителям кори, дифтерии и коклюша у полноценно привитых школьников // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 1. С. 82–90. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-1-82-90

Characterization of Measles, Diphtheria and Pertussis Pathogen-Specific Immunity in Fully Vaccinated Schoolchildren

Venera G. Makarova, Olga Yu. Ustinova, Svetlana L. Valina, Larisa V. Osheva

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,
82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

Summary

Introduction: Waning specific immunity and the growing number of people susceptible to vaccine-preventable diseases increase the risk of deterioration of the epidemiological situation.

Objective: To characterize the intensity of specific immunity against measles, diphtheria and whooping cough in fully vaccinated schoolchildren to identify groups at increased risk of infection in the development of preventive measures.

Materials and methods: We used the enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) to detect and count antibodies in 1,709 serum samples from children who were fully and timely vaccinated against measles, pertussis, and diphtheria. In order to establish herd immunity, the children were divided into three age groups of 6 to 9, 10 to 13, and 14 to 17 years.

Results: We established that only 63.5 % to 88.5 % of the schoolchildren had a protective measles virus-specific antibody level; 15.7 % and 27.1 % of the children aged 10–13 years and 14–17 years, respectively, were seronegative. The protective level of immunity against diphtheria was observed in 91.8 % to 99.4 % in the children under examination. The proportions of children seronegative for diphtheria were 8.1 % and 8.2 % in the first and second age groups, respectively, while 41.4 % of the children aged 6–9 years and 60.6 % of those aged 14–17 years demonstrated high antibody titers. Protective pertussis antibody levels were found in 46.2 % to 68.2 % of the schoolchildren; yet, the number of seronegative cases among children aged 6–9 years was 1.6 times higher (37.8 %) than that among adolescents aged 14–17 years (23.4 %).

Conclusions: Our findings showed insufficient levels of immune protection against measles and pertussis in the school-age children, especially those aged 14–17 years and 6–9 years, respectively. As for diphtheria, the absence of protective antibodies was detected in 8 % of the children aged 6 to 13 years who had been fully vaccinated against this bacterial infection by receiving the vaccine a total of five times.

Keywords: immunoprophylaxis, schoolchildren, post-vaccination immunity, measles, pertussis, diphtheria.

Cite as: Makarova VG, Ustinova OYu, Valina SL, Osheva LV. Characterization of measles, diphtheria and pertussis pathogen-specific immunity in fully vaccinated schoolchildren. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(1):82–90. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-1-82-90

Введение. Вакцинопрофилактика кори, коклюша и дифтерии обеспечивает контроль над заболеваемостью и эпидемиологическую безопасность населения от данных инфекций [1, 2]. В последнее десятилетие в Российской Федерации сохранялся достаточно высокий уровень заболеваемости корью, при этом в 2023 году она выросла за год в 127 раз и составила 8,92 случая на 100 тыс. (0,07 случая на 100 тыс. населения в 2022 году) и оказалась втрое выше даже предыдущего эпидемического подъема заболеваемости 2019 года (3,06 случая на 100 тыс.), когда крупная вспышка заболевания прокатилась по всему миру¹. По итогам 2023 года заболеваемость корью в России оказалась в 17 раз выше показателей стран в Европейском союзе (0,5 случая на 100 тыс. населения) и в 500 раз выше, чем в США (0,016 случая на 100 тыс. населения), что следует из данных центров профилактики и контроля заболеваний (ECDC, CDC)¹. В докладе Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в РФ в 2023 году»² отмечено, что корь регистрировалась преимущественно среди детей до 18 лет, удельный вес которых составил 66,9 %. Эпидемический процесс кори поддерживался за счет лиц не привитых и лиц с неизвестным прививочным анамнезом, на долю которых приходилось 88,8 % заболевших. В ранее проведенных исследованиях авторами показано преобладание в структуре заболевших корью детей в возрасте до 10 лет, при этом доля привитых среди них варьировала в широких пределах (10–56 %) [3]. По данным Роспотребнадзора в Пермском крае в 2023 году зарегистрировано 44 лабораторно подтвержденных случая коревой инфекции, преимущественно среди непривитых граждан или с неизвестным прививочным анамнезом³. Свою роль в том, что эпидемия кори распространилась по всему миру сыграла пандемия COVID-19, нарушившая нормальную работу служб эпиднадзора и иммунизации [4]. На ситуацию с заболеваемостью повлияло и вхождение в Российскую Федерацию новых территорий, на которых у детского населения не было возможности привиться, и завозные случаи из стран Европейского региона и ближнего зарубежья [1, 3]. Важным является тот факт, что ухудшение ситуации во многих странах мира показало восприимчивость не только непривитых от кори, но и утративших постvakцинальный иммунитет [5–7].

В последние десятилетия в Российской Федерации наблюдается рост и другой управляемой инфекции – коклюша: от 3,31 на 100 тыс. населения в 2011 году до 9,8 на 100 тыс. населения в 2019 г. В 2023 г. заболеваемость коклюшем достигла рекордных значений за последние 22 года – 35,98 на 100 тыс.

населения² [8]. Заболеваемость коклюшем в Пермском крае сохраняла цикличность с максимальным показателем, не превышающим 6,3 на 100 тыс. населения (среднемноголетний уровень 3–3,4 на 100 тыс. населения), а в 2023 году этот показатель в 1,5 раза превысил средний уровень по России (53,1 на 100 тыс. населения)³. В РФ в структуре очагов с распространением инфекции в 2017–2019 гг. 83,3 % составили школы, 16,7 % – детские сады. Переход на дистанционное обучение в 2020–2022 гг. привел к снижению доли очагов коклюша в школе до 66,7 %, в то же время в детских садах – к значительному росту (33,3 %). Высокий процент детей до 14 лет среди больных коклюшем (87–90 %) обусловлен кратковременностью и утратой постvakцинального иммунитета против коклюша [9, 10].

Заболеваемость дифтерией в России находится на стабильно низком уровне и не превышает 0,001–0,003 на 100 тыс. населения, что обеспечивается специфической иммунизацией и созданием популяции высокоиммунных лиц⁴. Тем не менее сохраняется высокий риск завоза и распространения инфекции на территории Российской Федерации на фоне сохранения в ряде стран эпидемиологического неблагополучия по данной инфекции [11–13]. Важно, что отказы от проведения вакцинации, а также несоблюдение ее графика повышают риск восприимчивости к дифтерии и делают необходимым осуществление контроля над уровнем напряженности коллективного иммунитета у школьников.

В современных условиях сохраняет актуальность вопрос о напряженности и длительности сохранения постvakцинального иммунитета [14, 15]. Оценка коллективного иммунитета осуществляется путем серологического мониторинга с определением уровня специфических антител у индикаторных групп населения, а также в группах с повышенной эпидемиологической значимостью возникновения и распространения заболеваний (медработники, студенты, мигранты и др.) [10, 16, 17]. Такой подход не позволяет определить истинную иммунологическую защищенность населения, в том числе, школьников. Проведенный метаанализ научных работ (2011–2020 г.) показал, что доля серонегативных к кори детей до 17 лет достигала 35–40 %, тогда как взрослое население в возрасте 18–35 лет не имело защиты от кори в 25–27 % случаев [18]. Демурчева И.В. в своем исследовании установила, что низкие титры антител к коклюшу через 1–3 года после иммунизации выявлены у 55 % детей, через 4–6 лет – у 72 % обследованных [14]. Москвичева М.Г. в своем исследовании установила отсутствие у детей в возрасте 2–5 лет защитного уровня антител к коклюшу в 48 % случаев, к дифтерии – в 17 %⁵.

¹ Шамардина Л. Заболеваемость корью в России оказалась рекордной за 30 лет – <https://medvestnik.ru/content/news/Zabolevaemost-korju-v-Rossii-v-2023-godu-okazala-rekordnoi-za-30-let.html>

² Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году».

³ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2023 году».

⁴ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году».

⁵ Москвичева М.Г. Анализ иммунологической эффективности вакцинации АКДС и заболеваемости дифтерией, коклюшем и столбняком у детей на территории Российской Федерации / М.Г. Москвичева, Е.А. Попов, О.Н. Злакоманова // Педиатрический вестник Южного Урала. 2017. № 1. С. 57–63.

Цель исследования: дать характеристику напряженности специфического иммунитета против кори, дифтерии и коклюша у полноценно привитых школьников для идентификации групп повышенного риска инфицирования при разработке профилактических мероприятий.

Материалы и методы. С целью изучения коллективного иммунитета было проведено исследование содержания специфических антител класса G в сыворотке крови к возбудителю кори у 598 детей, к возбудителю коклюша – у 604 и к дифтерийному анатоксину – у 507 учащихся школ, расположенных на различных территориях Пермского края (4 школ краевого центра и 3 школ моногородов края) в период с 01.04.2019 по 20.10.2022. В исследование включены дети обоих полов в возрасте 6–17 лет, имеющих полноценную и своевременную вакцинацию и ревакцинацию против кори, коклюша и дифтерии вакцинами, разрешенными к применению в рамках приказа № 1122 МЗ РФ⁶ (отклонения от графика не превышали 3 мес.). Критерии исключения: наличие в анамнезе сведений о перенесении кори, дифтерии и коклюша (по данным анкетирования родителей школьника и формы № 026/у-2000)⁷.

Для оценки коллективного иммунитета против кори, коклюша и дифтерии был использован метод иммуноферментного анализа (ИФА) с тест-системами: «Anti-Measles Viruses ELISA (IgG)», «Anti-Diphtheria Toxoid ELISA», «Bordetella pertussis IgG ELISA», позволяющими определить долю иммунных (серопозитивных) и неиммунных (серонегативных) к возбудителю инфекции лиц на основании соответствия/несоответствия результатов исследования гуморального иммунитета пороговым диапазонам протекции, прилагаемым к используемым тест-системам (для кори – <0,12 МЕ/мл – отрицательный результат, 0,12–0,18 МЕ/мл – неопределенный и >0,18 МЕ/мл – положительный результат, для коклюша <9 у.е. – отрицательный, 9–11 у.е. – неопределенный, >11 у.е. – положительный результат, для дифтерии – <0,1 МЕд/мл – отрицательный, 0,1–1,0 МЕд/мл – положительный результат). Для характеристики состояния напряженности и длительности поствакцинального иммунитета против кори и дифтерии среди серопозитивных была выделена группа лиц, имеющих высокие титры антител (>1,0), указывающих на степень защиты не менее 5–7 лет и расцениваемые нами как «долговременный иммунитет». Для характеристики иммунологической эффективности вакцинации дети были разделены на возрастные группы 6–9, 10–13, 14–17 лет (младшая, средняя и старшая).

Исследования одобрены локальным этическим комитетом при ФБУН. Законные представители пациентов подписывали информированные согласия на медицинское вмешательство и участие детей в исследовании.

В работе использованы стандартные методы статистической обработки данных с использовани-

ем программы Statisticab и пакета статистических функций Microsoft Excel, 2010. Оценку изменения показателей проводили с помощью *t*-критерия Стьюдента с расчетом достоверности различий ($p \leq 0,05$).

Результаты. Результаты изучения содержания противокоревых антител у школьников различных возрастных групп показали достаточный уровень напряженности коллективного иммунитета: средний показатель содержания специфических антител составлял 0,69 МЕ/мл (положительные значения антител выше 0,18 МЕ/мл). При анализе возрастной динамики содержания антител к кори выявлено существенное снижение титра через 4–10 лет после ревакцинации: у школьников 6–9 лет этот показатель (1,08 МЕ/мл) в 1,7 раз выше, чем у детей 10–13 лет (0,62 МЕ/мл, $p = 0,0001$) и в 2,3 раза выше, чем у подростков 14–17 лет (0,47 МЕ/мл, $p = 0,0000$).

При изучении напряженности противокоревого иммунитета установлено, что защитный уровень содержания специфических антител обнаружен только у 73,6 % школьников, что недостаточно для создания прочного коллективного иммунитета (показатель эпидблагополучия не менее 93 %). Среди учащихся, имеющих полноценную и своевременную вакцинацию, не защищены против кори 16,9 % лиц, а 9,5 % имеют неопределенный титр антител и подлежат повторной ревакцинации.

Показатель серопroteкции и частота нарушений формирования специфического иммунитета к кори существенно отличались в разных возрастных группах: в младшей группе доля лиц с защитным уровнем антител (88,5 %) статистически значимо в 1,2–1,4 раза выше, чем в средней (71,8 %, $p = 0,000$), и старшей группах (63,5 %, $p = 0,000$ OR = 4,39, DI = 2,4–7,7). Среди серопозитивных наиболее высокие показатели, обеспечивающие долговременную поствакцинальную защиту, выявлены среди младшей возрастной группы (39,2 %), что в 1,6–2,6 раза выше, чем в средней (23,5 %, $p = 0,001$) и старшей (14,8 %, $p = 0,000$) возрастных группах. Достоверность межгрупповых различий позволяет предположить кратковременность поствакцинального иммунитета против кори и его значительное угасание к 14–17 годам.

Анализ поствакцинального иммунитета против кори показал, что от 7,4 до 27,1 % школьников различного возраста не защищены против кори, при этом наиболее уязвимы подростки 14–17 лет, среди которых серонегативны 27,1 %, что в 2,1 и 3,6 раза больше, чем среди школьников средней (15,7 %, $p = 0,003$) и младшей возрастной группы (7,4 %, $p = 0,000$). Доля лиц с неопределенным уровнем защиты колеблется в пределах 4,1–12,5 %, что позволяет их отнести к группе условно-защищенных, подлежащих бустерной вакцинации. Оценка динамики напряженности противокоревого иммунитета показала прогрессирующее нарастание числа серонегативных лиц, динамичное снижение

⁵ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 06.12.2021 № 1122н «Об утверждении национального календаря профилактических прививок, календаря профилактических прививок по эпидемическим показаниям и порядка проведения профилактических прививок».

⁶ Приказ Минздрава РФ «Об утверждении Медицинской карты ребенка для образовательных учреждений» от 03.07.2000 № 241.

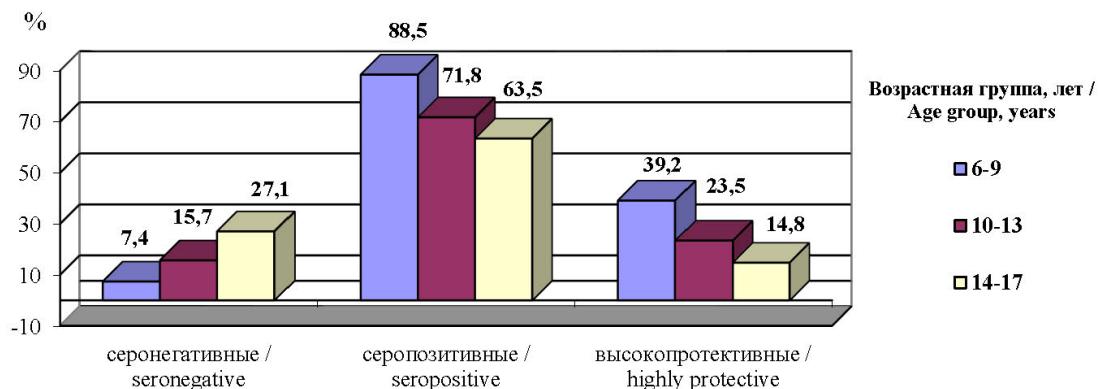


Рис. 1. Динамика состояния гуморального иммунитета против кори, %

Fig. 1. Dynamics of measles humoral immunity by age groups, %

серопозитивных, в том числе высокопротективных, значений (рис. 1).

Снижение напряженности иммунитета к кори прослеживается уже через год после ревакцинации: средняя концентрация антител к вирусу кори уменьшилась в 2,2 раза через год и в 5,2 раза через 10 лет (в 6 лет – 2,1 МЕ/мл, в 7 лет – 0,95 МЕ/мл, в 17 лет – 0,4 МЕ/мл), что свидетельствует о быстрой утрате противовирусных антител в первый год после вакцинации и медленном угасании в последующее десятилетие (рис. 2).

Наиболее низкий показатель незащищенности от кори имел место через 1 год после ревакцинации (1,6 %), что показывает эффективность иммунопрофилактики против кори. Через 2 года после ревакцинации показатель отсутствия защитных концентраций антител к кори составил более 10 % и не соответствовал критериям эпидемиологического благополучия (для кори 7 %), что свидетельствует о нестойкости и кратковременности постvakцинального иммунитета. С возрастом доля серонегативных к кори лиц увеличивается с максимальными количеством в подростковом периоде (22,9–33,3 %) (рис. 3).

При исследовании напряженности антитоксического иммунитета против дифтерии защитный уровень антител выявлен у 91,8–99,4 % школьников, что соответствует критериям эпидемиологического благополучия для дифтерии.

Уровень напряженности иммунитета против дифтерии варьировал в зависимости от возраста и количества полученных доз вакцины. Самые низкие показатели напряженности установлены у детей 10–13 лет: среднегрупповой уровень антител против дифтерии в 1,4–1,7 раза ниже, чем у младших школьников (0,68 и 0,47 МЕд/мл, $p < 0,0001$) и подростков (0,84 и 0,47 МЕд/мл, $p < 0,0001$).

Изучение динамики напряженности иммунитета против дифтерии показало, что 80,1 % школьников 10–13 лет нуждаются в бустерной вакцинации, а частота регистрации высоких титров антител выявлена только у 11,7 % детей, что в 3,5–5,5 раза статистически значимо меньше, чем в младшей (41,5 %, $p < 0,000$; $p = 0,05$) и старшей (60,6 %, $p < 0,000$) возрастных группах и свидетельствует о непродолжительности сохранения антитоксического иммунитета. В то же время 8,1–8,2 % детей в возрасте 6–13 лет, имевших пятикратную вакцинацию, не имеют защитного уровня антител и являются группой риска по заболеваемости дифтерией (рис. 4).

Анализ возрастной динамики среднегрупповых антител к дифтерии позволил выявить постепенный характер снижения уровня защитных антител. Наиболее низкие значения установлены у детей в возрасте 6 и 13 лет (0,35 и 0,38 МЕд/мл), что соответствует возрасту плановой бустеризации. Стабильно высокие значения регистрировались

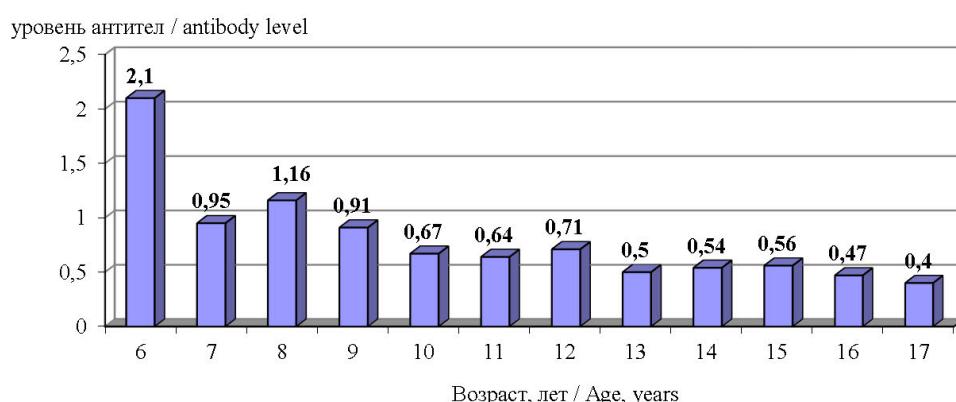


Рис. 2. Возрастная динамика средних показателей содержания специфических антител к кори, МЕ/мл

Fig. 2. Dynamics of mean levels of measles antibodies by age, IU/mL

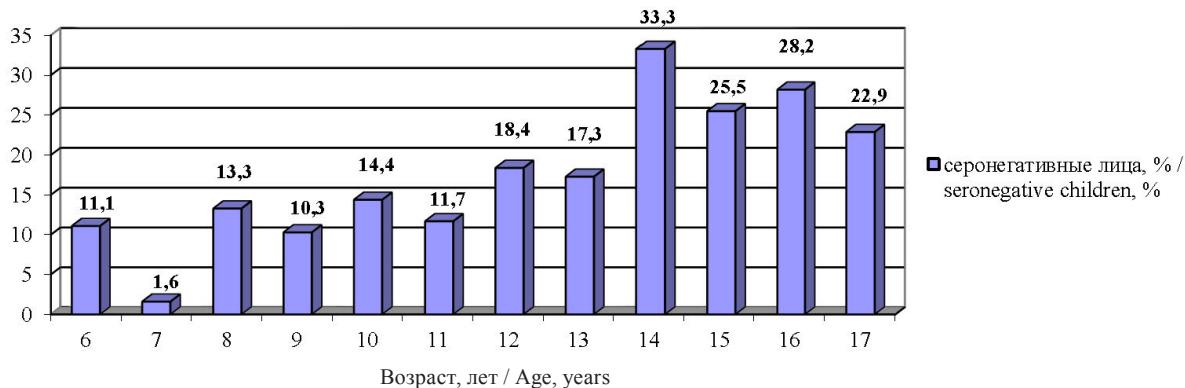


Рис. 3. Динамика показателей отсутствия защитных уровней антител к кори, %

Fig. 3. Proportions of children seronegative for measles antibodies by age, %

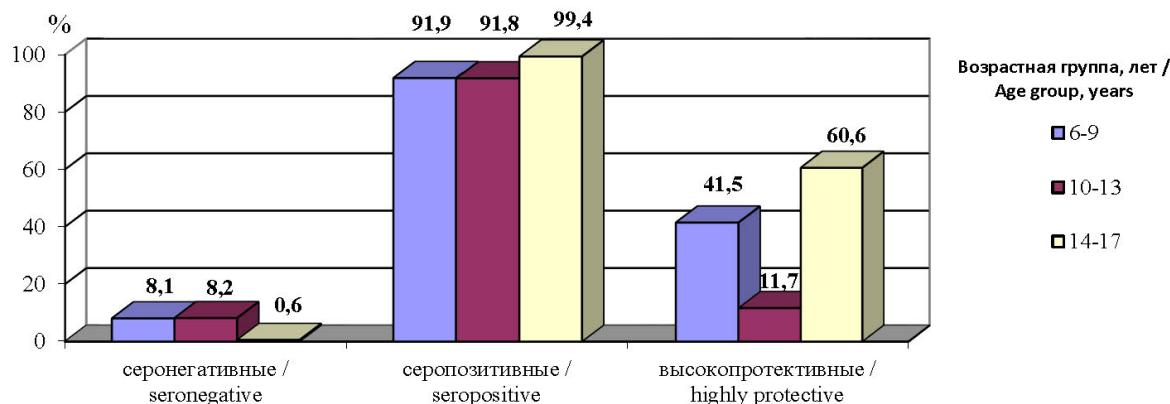


Рис. 4. Динамика состояния гуморального иммунитета против дифтерии, %

Fig. 4. Dynamics of diphtheria humoral immunity by age groups, %

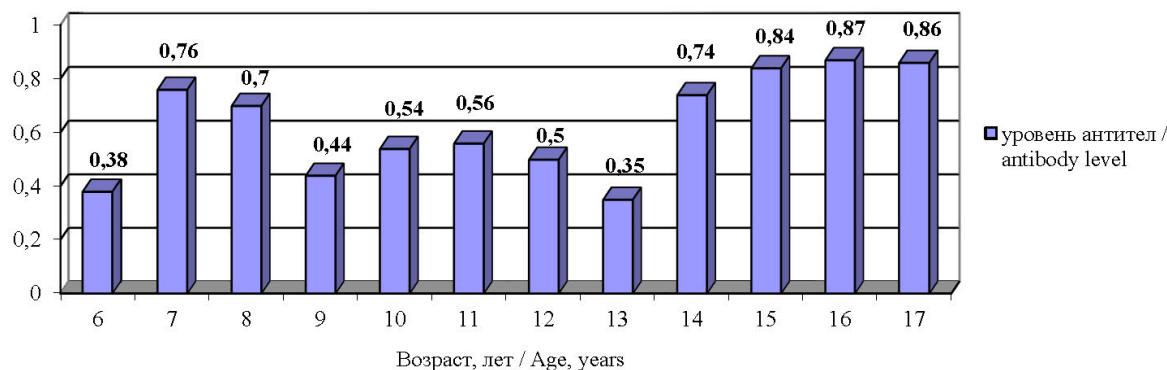


Рис. 5. Возрастная динамика среднегрупповых антител против дифтерии, МЕд/мл

Fig. 5. Dynamics of mean levels of diphtheria antibodies by age, IU/mL

у школьников старшей возрастной группы, получивших 6 доз вакцины против дифтерии (рис. 5).

Изучение среднегрупповых показателей гуморального иммунитета к коклюшу показало достаточный уровень защиты от инфекции, при этом средняя концентрация антител у детей 6–9 лет (15,05 у.е.) в 1,3–1,6 раза ниже, чем у школьников 10–13 лет (20,64 у.е., $p = 0,000$) и 14–17 лет (24,87 у.е., $p = 0,000$). Вместе с тем только у 59,6 % всех школьников установлен защитный уровень антител, что не достигает критерия эпидемиологического благополучия (90 %), при этом показатель в возрастной группе 6–9 лет (46,2 %) в 1,3

и 1,4 раза ниже, чем в группе 10–13 лет (59,8 %, $p = 0,01$) и в группе 14–17 лет (68,2 %, $p = 0,0003$), что свидетельствует о быстром нарастании уровня противококлюшных антител с возрастом.

Доля серонегативных лиц в разные возрастные периоды достигала 23,4–37,8 %, неопределенный уровень противококлюшных антител имели 8,4–15,9 % обследованных, имеющих в анамнезе полноценный курс вакцинации и ревакцинации против коклюша. В то же время количество детей, не имеющих защитных титров антител, в возрастной группе 6–9 лет (37,8 %) было в 1,3–1,6 раза больше, чем в группе 10–13 лет (29,1 %, $p = 0,03$) и 14–17 лет

(23,4 %, $p = 0,005$). Отсутствие антикоклюшного иммунитета у детей дошкольного возраста и младших школьников является предрасполагающим фактором восприимчивости к коклюшной инфекции.

Снижение количества серонегативных и нарастаение серопозитивных лиц с увеличением возраста объясняется тем, что постvakцинальный иммунитет угасает к школьному возрасту и приобретается постинфекционный иммунитет (рис. 6).

Изучение возрастной динамики удельного веса серопозитивных и серонегативных к коклюшу лиц показало волнообразный характер угасания гуморального иммунитета у детей школьного возраста, в том числе и постинфекционного. По данным настоящего исследования школьники в возрасте 9 и 14 лет наиболее уязвимы для инфицирования коклюшем, так как у детей этих возрастных групп установлено меньшее число лиц с защитным уровнем антител (36 и 24,2 %) и большая доля с отсутствием защитных концентраций антител (56 и 45,5 %) (рис. 7).

Обсуждение. Анализ напряженности иммунитета против вакциноуправляемых инфекций позволяет прогнозировать эпидемическую ситуацию. Нестабильная ситуация по кори, циклическая заболеваемость коклюшем, сохранение в обществе токсигенных штаммов дифтерийной палочки создает риск инфицирования и распространения инфекций на территории Российской Федерации. По данным литературы, низкая и спорадическая

заболеваемость может сочетаться как с высоким, так и с низким процентом серонегативных лиц и наоборот, и не исключает подъем заболеваемости среди школьников [14].

Результаты нашего исследования показали, что среди вакцинированных школьников только 73,5 % защищены от кори, 59,6 % – от коклюша, что недостаточно для сохранения эпидемиологического благополучия. Угасание постvakцинального иммунитета против кори в 2,2 раза через год и в 4,3 раза через 10 лет после ревакцинации, прогрессирующий рост серонегативных лиц создает в коллективе прослойку неиммунных к кори детей школьного возраста в 7,4–27,1 % случаев и сохраняет угрозу заболеваемости в случае заноса инфекции. Вероятность отсутствия защитных титров антител к кори у детей 14–17 лет в 2 раза выше, чем у школьников 10–13 лет, и в 4,5 раза выше, чем у младших школьников, и согласуется с данными ряда авторов [2, 19, 20]. Значительная утрата противокоревого иммунитета у подростков 14–17 лет позволяет их отнести к группе риска по заболеваемости корью и необходимости проведения серомониторинга в этом возрасте с последующей ревакцинацией серонегативных лиц.

Тенденция снижения серонегативных и показателей условной защиты, стабильное нарастание серопозитивных к коклюшу среди лиц школьного возраста позволяет предполагать, что дети утрачивают

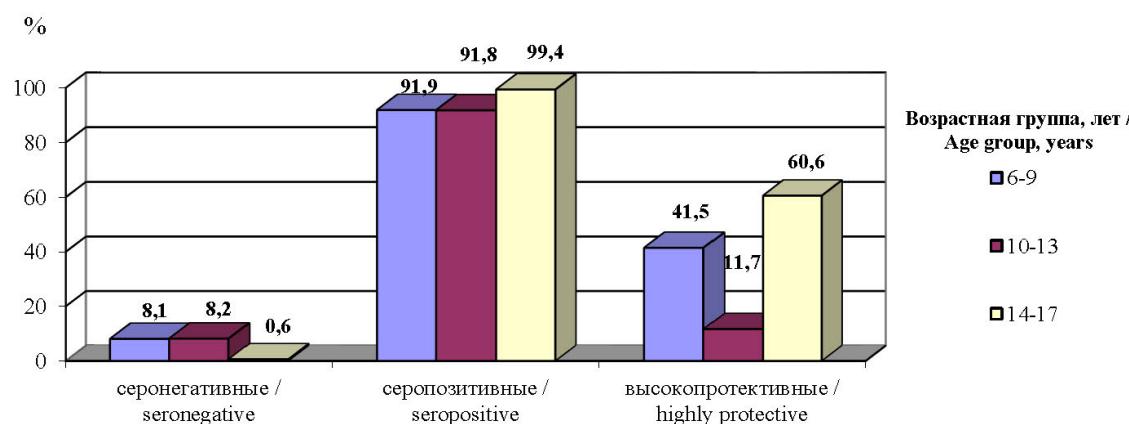


Рис. 6. Динамика состояния гуморального иммунитета против коклюша, %
Fig. 6. Dynamics of pertussis humoral immunity by age groups, %

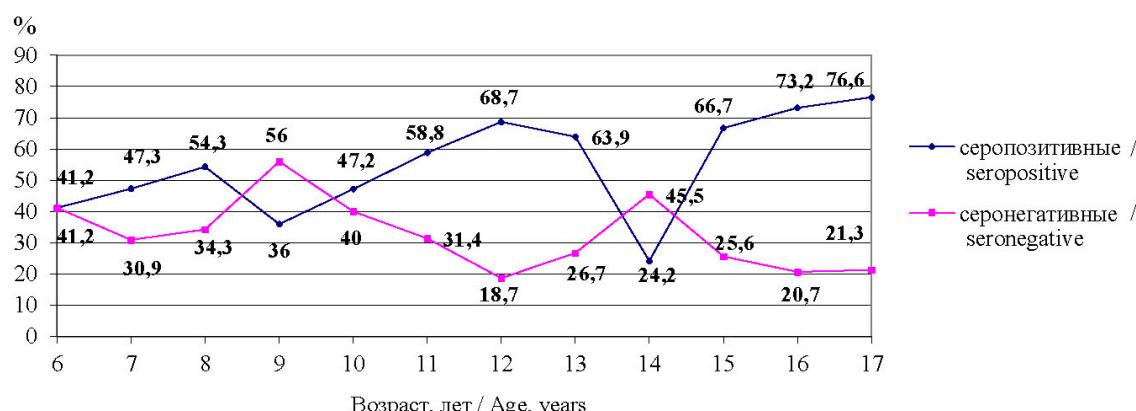


Рис. 7. Возрастная динамика удельного веса серопозитивных и серонегативных лиц, %
Fig. 7. Proportions of children seronegative and seropositive for pertussis antibodies by age, %

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

поствакцинальный иммунитет в дошкольном возрасте (через 2–5 лет после ревакцинации) и начинают приобретать постинфекционный иммунитет, что не противоречит результатам других исследований [8, 14, 21]. Риск отсутствия защитных концентраций антител к коклюшу у детей младшего школьного возраста в 1,6–2,2 раза выше, чем у детей средней и старшей возрастной группы. Отсутствие и неопределенный уровень защитных концентраций антител против коклюша у 31,8–53,8 % школьников, сохранение заболеваемости коклюшем и циркуляции возбудителя в обществе, создают условия для поддержания инфекционного процесса и требуют проведения дополнительных мероприятий вакцинопрофилактики против коклюшной инфекции. Одним из механизмов воздействия на эпидемиологию коклюша обсуждается вопрос о целесообразности проведения ревакцинации против коклюша в возрасте 6 лет.

Защитный уровень антител против дифтерии на высоком уровне поддерживается за счет соблюдения графиков плановой иммунизации, что согласуется с данными литературы [12, 13, 17, 22]. Полученные результаты исследования антитоксического иммунитета к дифтерии показали, что поддержание достаточного уровня защитных антител достигнуто за счет бустеризации, грубое отклонение от сроков или отказ от плановой вакцинации в декретированные сроки повышает риск эпидемиологического неблагополучия. О хорошей иммунологической эффективности вакцинации свидетельствуют высокие показатели серопозитивности у подростков 14–17 лет, получивших третью ревакцинацию, среди которых практически отсутствовали серонегативные (0,6 %), а высокие защитные титры антител имели 60,6 % обследованных лиц. Динамическое снижение показателей поствакцинального иммунитета и резкое нарастание количества антител после очередной бустеризации создает достаточно прочный коллективный иммунитет против дифтерии. Уже 80% школьников 10–13 лет нуждаются в бустерной иммунизации, вероятность содержания высоких показателей защитных антител в этом возрасте в 5,2 раза ниже, чем у младших школьников, и в 11,4 раза ниже, чем у подростков 14–17 лет. В случае отказа от плановой вакцинации, несвоевременности и неполноты ее проведения, возникает риск бактерионосительства и заболеваемости дифтерией.

Заключение. Исследования напряженности специфического иммунитета у школьников показали высокую эффективность вакцинации против дифтерии, выявили недостаточный уровень иммунной защиты против кори и коклюша у детей школьного возраста, среди которых группой риска для кори являются дети 14–17 лет, для коклюша – 6–9 и 14 лет. Недостаточный для поддержания популяционного иммунитета защитный уровень содержания антител диктует необходимость изучения причин и факторов, способствующих снижению коллективного иммунитета у планово привитых и разработку профилактических мероприятий по улучшению эффективности иммунопрофилактики.

- Юнасова Т.Н., Горенков Д.В., Рукавишников А.В., Мовсесянц А.А., Меркулов В.А. Анализ заболеваемости корью в России и проблемы профилактики кори на этапе элиминации // Биопрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2019. Т. 19. № 3. С. 154–160. doi: 10.30895/2221-996X-2019-19-3-154-160
- Олењкова О.М., Ковтун О.П., Харитонов А.Н., Бейкин Я.Б., Рыбинская Э.А. Оценка уровня коллективного иммунитета у детей г. Екатеринбурга к вакциноуправляемым инфекциям на фоне распространения пандемии COVID-19 // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2022. Т. 101. № 4. С. 88–96. doi: 10.24110/0031-403X-2022-101-4-88-96
- Семененко Т.А., Ноздрачева А.В. Анализ и перспективы развития эпидемической ситуации по кори в условиях пандемии COVID-19 // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2021. Т. 20. № 5. С. 21–31. doi: 10.31631/2073-3046-2021-20-5-21-31
- Dinleyici EC, Borrow R, Safadi MAP, van Damme P, Muñoz FM. Vaccines and routine immunization strategies during the COVID-19 pandemic. *Hum Vaccin Immunother.* 2020;17(2):400–407. doi: 10.1080/21645515.2020.1804776
- Цвиркун О.В., Тихонова Н.Т., Тураева Н.В. и др. Характеристика популяционного иммунитета к кори в Российской Федерации // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2020. Т. 19. № 4. С. 6–13. doi: 10.31631/2073-3046-2020-19-4-6-13
- Anichini G, Gandolfo C, Fabrizi S, et al. Seroprevalence to measles virus after vaccination or natural infection in an adult population, in Italy. *Vaccines (Basel).* 2020;8(1):66. doi: 10.3390/vaccines8010066
- Quach HQ, Ovsyannikova IG, Grill DE, Warner ND, Poland GA, Kennedy RB. Seroprevalence of measles antibodies in a highly MMR-vaccinated population. *Vaccines (Basel).* 2022;10(11):1859. doi: 10.3390/vaccines10111859
- Басов А.А., Высочанская С.О., Цвиркун О.В., Белова Т.Р., Адугузелов С.Э., Жернов Ю.В., Яцковский К.А. Критерии оценки эпидемиологической ситуации по коклюшу в Российской Федерации // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2024. Т. 23. № 1. С. 4–13. doi: 10.31631/2073-3046-2024-23-1-4-13
- Сутовская Д.В., Бурлукская А.В., Дубова Л.В., Крылова Д.Р. Иммунологическая защищенность лиц в возрасте от 3 до 25 лет против коклюшной инфекции: региональное одновременное исследование // Вопросы современной педиатрии. 2021. Т. 20. № 1. С. 62–66. doi: 10.15690/vsp.v20i1.2237
- Субботина К.А., Фельдблум И.В., Кочергина Е.А., Лехтина Н.А. Эпидемиологическое обоснование к изменению стратегии и тактики специфической профилактики коклюша в современных условиях // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2019. Т. 18. № 2. С. 27–33. doi: 10.31631/2073-3046-2019-18-2-27-33
- Sharma NC, Efstratiou A, Mokrousov I, Mutreja A, Das B, Ramamurthy T. Diphtheria. *Nat Rev Dis Primers.* 2019;5(1):81. doi: 10.1038/s41572-019-0131-y
- Clarke KEN, MacNeil A, Hadler S, Scott C, Tiwari TSP, Cherian T. Global epidemiology of diphtheria, 2000–2017. *Emerg Infect Dis.* 2019;25(10):1834–1842. doi: 10.3201/eid2510.190271
- Murhekar MV, Kamaraj P, Kumar MS, et al. Immunity against diphtheria among children aged 5–17 years in India, 2017–18: A cross-sectional, population-based serosurvey. *Lancet Infect Dis.* 2021;21(6):868–875. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30595-8

14. Демурчева И.В., Безроднова С.М., Батурина В.А., Кравченко О.О. Изменения напряженности иммунитета к коклюшу по срокам иммунизации // Саратовский научно-медицинский журнал. 2023. Т. 19. № 1. С. 51–56. doi: 10.15275/ssmj1901051

15. Xu J, Doyon-Plourde P, Tunis M, Quach C. Effect of early measles vaccination on long-term protection: A systematic review. *Vaccine*. 2021;39(22):2929-2937. doi: 10.1016/j.vaccine.2021.04.012

16. Нилова Л.Ю., Оришак Е.А., Фоменко В.О. Корь: глобальная программа диагностики и коллективный иммунитет // Проблемы медицинской микологии. Северо-Западный государственный медицинский университет им. ИИ Мечникова. 2022. Т. 24. № 2. С. 108.

17. Басов А.А., Максимова Н.М., Высочанская С.О., Цвиркун О.В., Яцковский К.А. Адугузелов С.Э. Оценка состояния противодифтерийного иммунитета в разных возрастных группах населения Российской Федерации по данным серомониторинга 2015–2021 годов // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2023. Т. 22. № 5. С. 63–73. doi: 10.31631/2073-3046-2023-22-5-63-73

18. Ноздрacheva A.B., Semenenko T.A. Состояние популяционного иммунитета к кори в России: систематический обзор и метаанализ эпидемиологических исследований // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2020. Т. 97. № 5. С. 445–457. doi: 10.36233/0372-9311-2020-97-5-7

19. Béraud G, Abrams S, Beutels P, Dervaux B, Hens N. Resurgence risk for measles, mumps and rubella in France in 2018 and 2020. *Euro Surveill*. 2018;23(25):1700796. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2018.23.25.1700796

20. Lee YC, Lee YH, Lu CW, Cheng SY, Yang KC, Huang KC. Measles immunity gaps in an era of high vaccination coverage: A serology study from Taiwan. *Travel Med Infect Dis*. 2020;36:101804. doi: 10.1016/j.tmaid.2020.101804

21. Hanvatananukul P, Prasarakee C, Sarachai S, et al. Seroprevalence of antibodies against diphtheria, tetanus, and pertussis among healthy Thai adolescents. *Int J Infect Dis*. 2020;96:422-430. doi: 10.1016/j.ijid.2020.04.088

22. Маянский Н.А., Мукохева Р.А., Куличенко Т.В. и др. Серологический мониторинг уровней антител к возбудителям столбняка, дифтерии и коклюша у школьников 11–17 лет в семи регионах Российской Федерации // Российский педиатрический журнал. 2019. Т. 22. № 2. С. 81–87. doi: 10.18821/1560-9561-2019-22-2-81-87

4. Dinleyici EC, Borrow R, Safadi MAP, van Damme P, Munoz FM. Vaccines and routine immunization strategies during the COVID-19 pandemic. *Hum Vaccin Immunother*. 2020;17(2):400-407. doi: 10.1080/21645515.2020.1804776

5. Tsvirkun OV, Tikhonova NT, Turaeva NV, Ezhlova EB, Melnikova AA, Gerasimova AG. Population immunity and structure of measles cases in the Russian Federation. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2020;19(4):6-13. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2020-19-4-6-13

6. Anichini G, Gandolfo C, Fabrizi S, et al. Seroprevalence to measles virus after vaccination or natural infection in an adult population, in Italy. *Vaccines (Basel)*. 2020;8(1):66. doi: 10.3390/vaccines8010066

7. Quach HQ, Ovsyannikova IG, Grill DE, Warner ND, Poland GA, Kennedy RB. Seroprevalence of measles antibodies in a highly MMR-vaccinated population. *Vaccines (Basel)*. 2022;10(11):1859. doi: 10.3390/vaccines10111859

8. Basov AA, Vysochanskaya SO, Tsvirkun OV, et al. Criteria for assessing the epidemiological situation of pertussis in Russian Federation. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2024;23(1):4-13. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2024-23-1-4-13

9. Sutovskaya DV, Burlutskaya AV, Dubova LV, Krylova DR. Immunological protection of individuals aged 3 to 25 years against pertussis: Regional cross-sectional study. *Voprosy Sovremennoy Pediatrii*. 2021;20(1):62-66. (In Russ.) doi: 10.15690/vsp.v201.2237

10. Subbotina KA, Feldblum IV, Kochergina EA, Lechtina NA. Epidemiological rationale for changing the strategy and tactics of vaccination of pertussis in current conditions. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2019;18(2):27-33. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2019-18-2-27-33

11. Sharma NC, Efstratiou A, Mokrousov I, Mutreja A, Das B, Ramamurthy T. Diphtheria. *Nat Rev Dis Primers*. 2019;5(1):81. doi: 10.1038/s41572-019-0131-y

12. Clarke KEN, MacNeil A, Hadler S, Scott C, Tiwari TSP, Cherian T. Global epidemiology of diphtheria, 2000–2017. *Emerg Infect Dis*. 2019;25(10):1834-1842. doi: 10.3201/eid2510.190271

13. Murhekar MV, Kamaraj P, Kumar MS, et al. Immunity against diphtheria among children aged 5–17 years in India, 2017–18: A cross-sectional, population-based serosurvey. *Lancet Infect Dis*. 2021;21(6):868-875. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30595-8

14. Demurcheva IV, Bezrodnova SM, Baturin VA, Kravchenko OO. Changes in tension of immunity to pertussis by time of immunization. *Saratovskiy Nauchno-Meditsinskij Zhurnal*. 2023;19(1):51-56. (In Russ.) doi: 10.15275/ssmj1901051

15. Xu J, Doyon-Plourde P, Tunis M, Quach C. Effect of early measles vaccination on long-term protection: A systematic review. *Vaccine*. 2021;39(22):2929-2937. doi: 10.1016/j.vaccine.2021.04.012

16. Nilova LJ, Orishak EA, Fomenko VO. Measles: Global diagnostics programm and heard immunity. *Problemy Meditsinskoy Mikologii*. 2022;24(2):108. (In Russ.)

17. Basov AA, Maksimova NM, Vysochanskaya SO, Tsvirkun OV, Yatskovsky KA, Aduguzelov SE. Assessment of the state of antidiphtheria immunity in different age groups of the population of the Russian Federation based on seromonitoring data for 2015–2021. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2023;22(5):63-73. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2023-22-5-63-73

18. Nozdracheva AV, Semenenko TA. The status of herd immunity to measles in Russia: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii*. 2020;97(5):445-457. (In Russ.) doi: 10.36233/0372-9311-2020-97-5-7

REFERENCES

1. Yunasova TN, Gorenkov DV, Rukavishnikov AV, Movsesyants AA, Merkulov VA. Analysis of measles incidence in Russia and problems of measles prevention at the elimination stage. *Biopreparaty. Profilaktika, Diagnostika, Lechenie*. 2019;19(3):154-160. (In Russ.) doi: 10.30895/2221-996X-2019-19-3-154-160
2. Olenkova OM, Kovtun OP, Kharitonov AN, Beikin YaB, Rybinskova EA. Evaluation of the level of collective immunity in children living in the city of Yekaterinburg to vaccine-preventable infections against the backdrop of the spread of the COVID-19 pandemic. *Pediatriya. Zhurnal im. G.N. Speranskogo*. 2022;101(4):88-96. (In Russ.) doi: 10.24110/0031-403X-2022-101-4-88-96
3. Semenenko TA, Nozdracheva AV. Analysis and outlook for the development of measles epidemic situation during the COVID-19 pandemic. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2021;20(5):21-31. (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2021-20-5-21-31

19. Béraud G, Abrams S, Beutels P, Dervaux B, Hens N. Resurgence risk for measles, mumps and rubella in France in 2018 and 2020. *Euro Surveill.* 2018;23(25):1700796. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2018.23.25.1700796
20. Lee YC, Lee YH, Lu CW, Cheng SY, Yang KC, Huang KC. Measles immunity gaps in an era of high vaccination coverage: A serology study from Taiwan. *Travel Med Infect Dis.* 2020;36:101804. doi: 10.1016/j.tmaid.2020.101804
21. Hanvatananukul P, Prasarakkee C, Sarachai S, et al. Seroprevalence of antibodies against diphtheria, te-
- tanus, and pertussis among healthy Thai adolescents. *Int J Infect Dis.* 2020; 96:422-430. doi: 10.1016/j.ijid.2020.04.088
22. Mayansky NA, Mukozheva RA, Kulichenko TV, et al. Serological monitoring of levels of antibodies to pathogens of tetanus, diphtheria and pertussis in schoolchildren aged of 11-17 years in seven regions of the Russian Federation. *Rossiyskiy Pediatriccheskiy Zhurnal.* 2019;22(2):81-87. (In Russ.) doi: 10.18821/1560-9561-2019-22-2-81-87

Сведения об авторах:

✉ **Макарова** Венера Галимзяновна – заведующий клинической группы медико-профилактических технологий управления рисками, e-mail: makarova@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9683-156X>.

Устинова Ольга Юрьевна – д.м.н., профессор, заместитель директора по клинической работе; e-mail: ustinova@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9916-5491>.

Валина Светлана Леонидовна – к.м.н., заведующий отделом гигиены детей и подростков; e-mail: valina@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1719-1598>.

Ошева Лариса Викторовна – к.м.н., врач-педиатр клинической группы медико-профилактических технологий управления рисками; e-mail: pediatria.fbusn@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0496-9164>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: **Макарова В.Г., Устинова О.Ю.**; сбор данных: **Макарова В.Г.**; анализ и интерпретация результатов: **Макарова В.Г., Устинова О.Ю.**; литературный обзор: **Макарова В.Г., Ошева Л.В.**; подготовка рукописи: **Макарова В.Г., Устинова О.Ю., Валина С.Л., Ошева Л.В.** Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследования одобрены Локальным этическим комитетом при ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (протокол № 3 от 01.03.2019). Законные представители участников исследования подписывали информированные согласия на медицинское вмешательство и участие в исследовании.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 15.11.24 / Принята к публикации: 10.01.25 / Опубликована: 31.01.25

Author information:

✉ **Venera G. Makarova**, Head of the Clinical Group of Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: makarova@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9683-156X>.

Olga Yu. Ustinova, Prof., Dr. Sci. (Med.), Deputy Director for Healthcare Services; e-mail: ustinova@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9916-5491>.

Svetlana L. Valina, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Pediatric Hygiene; e-mail: valina@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1719-1598>.

Larisa V. Osheva, Cand. Sci. (Med.), Pediatrician, Clinical Group of Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: pediatria.fbusn@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0496-9164>.

Author contributions: study conception and design: **Makarova V.G., Ustinova O.Yu.**; data collection: **Makarova V.G.**; analysis and interpretation of results: **Makarova V.G., Ustinova O.Yu.**; bibliography compilation and referencing: **Makarova V.G., Osheva L.V.**; draft manuscript preparation: **Makarova V.G., Ustinova O.Yu., Valina S.L., Osheva L.V.** All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The studies were approved by the Local Ethics Committee of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (protocol No. 3 dated March 1, 2019). Legal representatives of the study participants signed informed consent to medical intervention and participation in the study.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: November 15, 2024 / Accepted: January 10, 2025 / Published: January 31, 2025