

Иммунологические и иммуногенетические аспекты вакцинации против кори

В. И. Фомичев*¹, С. М. Харит^{1,2}, А. А. Вильниц^{1,2}

¹ ФГБУ Федеральный научно-клинический центр инфекционных болезней ФМБА России, Санкт-Петербург

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург

Резюме

Актуальность. Корь соответствует критериям заболевания, которое можно искоренить. Тем не менее, достичь устойчивой элиминации этой инфекции пока не удается, и актуальным становится вопрос длительности сохранения поствакцинального противокорьевого иммунитета. **Цель.** Представить в обзоре на основе современных литературных данных особенности иммунного ответа на вакцинацию против кори. **Заключение.** Понимание особенностей поствакцинального и постинфекционного иммунитета, поиски способа поддержания пожизненного иммунитета у привитых являются важными задачами для достижения цели элиминации кори. Ликвидация кори по-прежнему достижима, для этого требуется увеличение охвата вакцинацией и изучение особенностей индивидуального иммунного ответа для поддержания популяционного иммунитета.

Ключевые слова: корь, вакцинация, иммунный ответ, иммуногенетика, MMR, серонегативность, антитела, HLA
Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Фомичев В. И., Харит С. М., Вильниц А. А. Иммунологические и иммуногенетические аспекты вакцинации против кори. *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. 2025;24(3):114-122. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-3-114-122>

Immunological and Immunogenetic Aspects of Vaccination against Measles

VI Fomichev**¹, SM Kharit^{1,2}, Vilnits^{1,2}

¹ Federal Research and Clinical Center for Infectious Diseases, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

Relevance. Measles meets the criteria for a disease that can be eradicated. However, it has not yet been possible to achieve sustainable elimination of this infection, and the duration of post-vaccination measles immunity is becoming an important issue. **Aim.** To present in a review based on current literature data the features of the immune response to vaccination against measles. **Conclusion.** Understanding the characteristics of post-vaccination and post-infection immunity, and finding a way to maintain lifelong immunity in vaccinated individuals, is an important task in achieving the goal of eliminating measles. Elimination of measles is still achievable, it requires increasing the coverage of vaccination and studying the features of the individual immune response to maintain population immunity. **Keywords:** measles, vaccination, immune response, immunogenetics, MMR, seronegativity, antibodies, HLA.

Keywords: measles, vaccination, immune response, immunogenetics, MMR, seronegativity, antibodies, HLA

No conflict of interest to declare.

For citation: Fomichev VI, Kharit SM, Vilnits AA. Immunological and immunogenetic aspects of vaccination against measles. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2025;24(3):114-122 (In Russ.). <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-3-114-122>

В 2020 г. ВОЗ предложила Стратегию по борьбе с корью и краснухой на 2021–2030 гг. (Далее – Стратегия), в которой представлена цель – «мир, свободный от кори и краснухи» [1]. Основной механизм реализации этой Стратегии заключается в достижении во всем мире 95 %

охвата детей двумя прививками при организованном на должном уровне эпиднадзоре за заболеваемостью [2].

Цель обзора – представить на основе современных литературных данных особенности иммунного ответа на вакцинацию против кори.

* Для переписки: Фомичев Виталий Игоревич, заведующий консультативно-диагностическим центром, врач-аллерголог-иммунолог, ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр инфекционных болезней» ФМБА России, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 9. + 7 (812) 670-01-11, fomichev-00@mail.ru. © Фомичев В. И. и др.

** For correspondence: Fomichev Vitalii I., Head of the Consultative and Diagnostic Center, Allergist-Immunologist, Federal Research and Clinical Center for Infectious Diseases, 9, Professor Popov St., Saint-Petersburg, 197022, Russia. + 7 (812) 670-01-11, fomichev-00@mail.ru. © Fomichev VI, et al.

Корь соответствует критериям заболевания, которое можно искоренить [3,4]:

- 1) нет животных или источников инфекции в окружающей среде, люди имеют решающее значение для поддержания передачи инфекции;
- 2) доступны точные диагностические тесты;
- 3) вакцины против кори и существующие стратегии вакцинации эффективны и безопасны;
- 4) передача вируса кори прервана на большой географической территории на длительный период [4];
- 5) вирус кори имеет геномную стабильность (отсутствие антигенных вариаций) [5].

Этапы искоренения инфекции подразумевают элиминацию, т.е. прекращение передачи вируса кори в определенной географической зоне (например, стране или регионе) на 12 месяцев или более [3,6], а затем ликвидацию кори, т.е. глобальное прекращение передачи вируса кори [3].

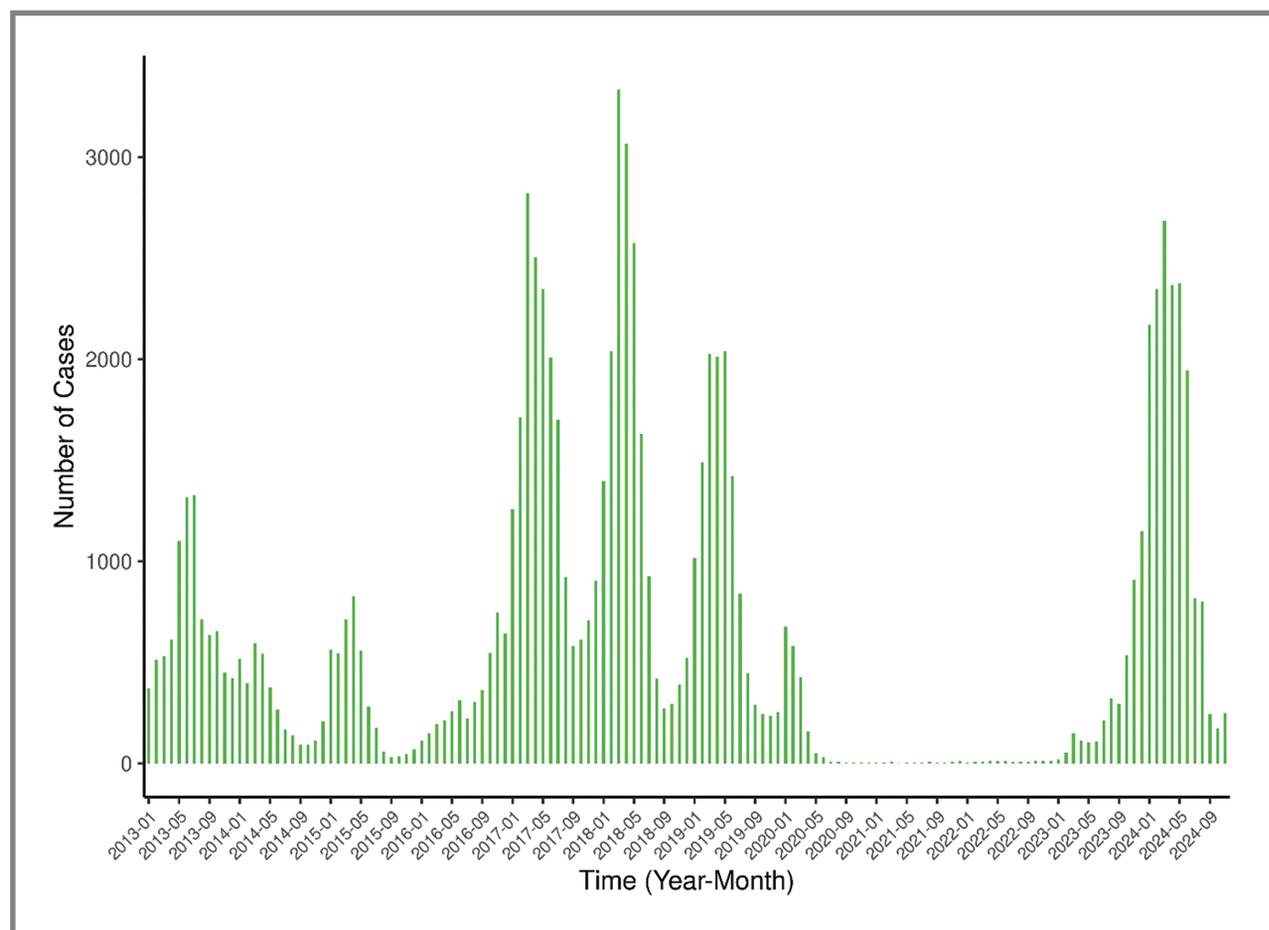
Однако в период пандемии COVID-19 уровень привитости детей по всем управляемым инфекциям снизился [7]. Это послужило одной из причин, повлиявших на эпидемиологическую ситуацию по кори в мире. Так, в 2020 и 2021 гг. уровень заболеваемости корью достиг исторического минимума, что связывают со снижением передачи вируса за счет неспецифических мер по профилактике

распространения COVID-19 [4,8,9], а также не исключают и сбои в ее регистрации. [10,11].

Заболеваемость корью носит периодический характер. Так, предшествующий эпидемический подъем отмечался в 2017–2019 гг. (рис. 1), с 2021 по 2022 гг. во всем мире число зарегистрированных случаев кори увеличилось на 67 %, а число стран, в которых произошли крупные вспышки, увеличилось на 68 % [8]. В 2023 г. в 41 стране Европейского региона ВОЗ было зарегистрировано 60 860 случаев кори, из которых 13 случаев закончились летальным исходом. Большинство случаев (95 %; $n = 57\,584$) отмечались в шести странах: Казахстане (25 %), Азербайджане (23 %), Российской Федерации (21 %), Кыргызстане (12 %), Турции (8 %) и Румынии (6 %) [9].

В Российской Федерации, по данным Государственного доклада о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения, в 2023 г. отмечался очередной циклический подъем заболеваемости корью. Зарегистрировано 13 083 случая кори, показатель заболеваемости составил 8,92 на 100 тыс. населения. Два случая заболевания корью среди детей 3 и 6 месяцев жизни закончились летальным исходом. Эпидемический процесс кори поддерживался за счет лиц непривитых и лиц с неизвестным прививочным анамнезом, на долю

Рисунок 1. Число случаев кори по месяцам и годам в Европе с 1 января 2013 г. по 30 ноября 2024 г. (<https://measles-rubella-monthly.ecdc.europa.eu/>)
Figure 1. Number of measles cases by month and year, EU/EEA, 1 January 2013 to 30 November 2024



которых приходилось 88,8 заболевших. Среди заболевших выявлено 4,4 % однократно и 6,8 % двукратно привитых против кори [12]. В 2024 г. число заболевших увеличилось почти вдвое, по данным опубликованным ВОЗ, – 22 078 случаев [13].

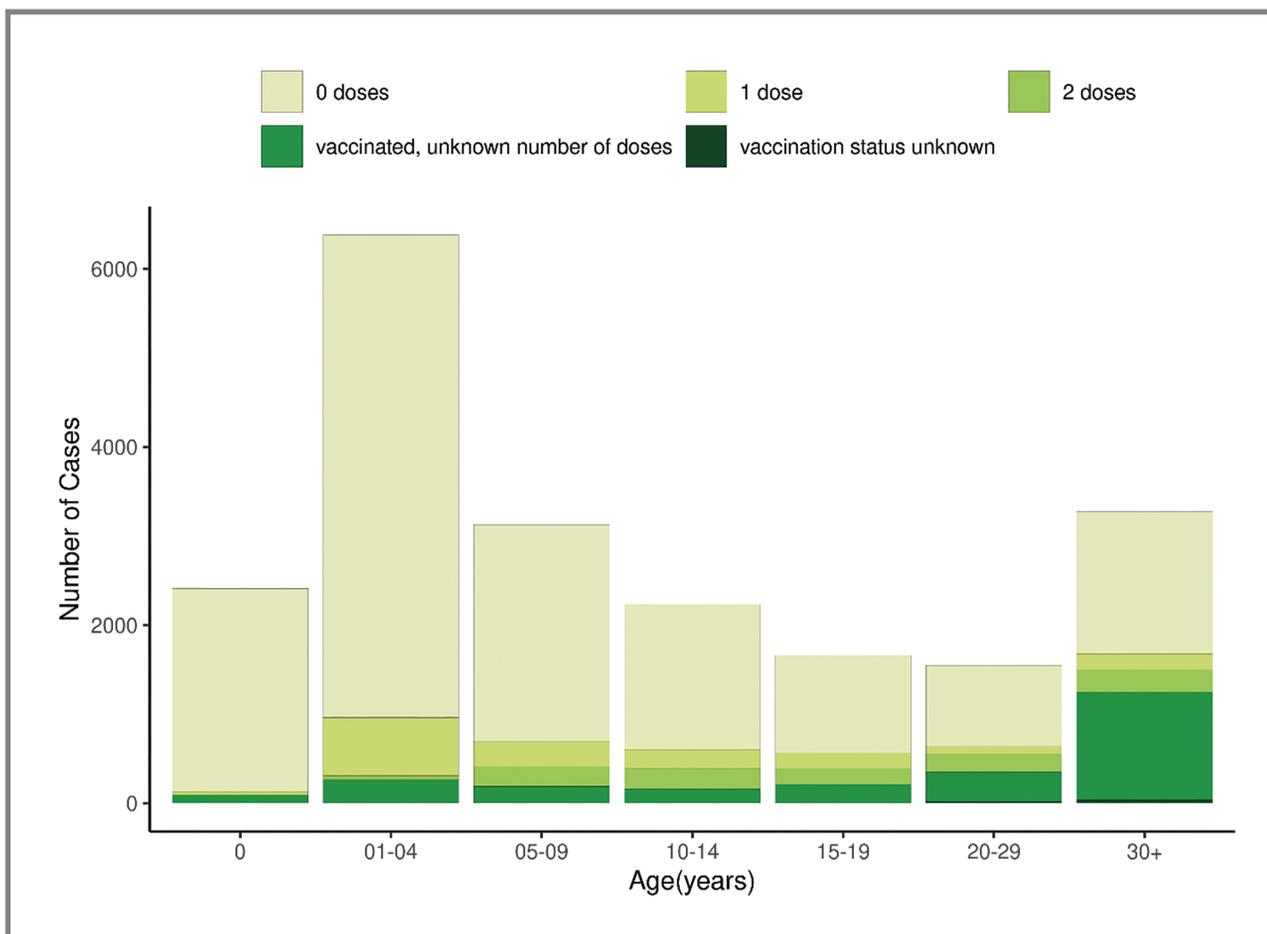
Аналогичные данные получены в целом по странам Европы (рис. 2). Как видно на рисунке, основную массу заболевших составляют непривитые или люди с неизвестным прививочным анамнезом [14]. Вывод очевиден: болеют непривитые, с неизвестным прививочным анамнезом и привитые один раз. К такому же выводу пришли исследователи, опубликовавшие в 2019 г. результаты ретроспективного анализа данных эпиднадзора за коревой инфекцией, представленных государствами-членами ВОЗ. Были рассмотрены 634 139 случаев кори, зарегистрированных с 1 января 2013 г. по 31 декабря 2017 г., из которых 626 289 случая были включены в анализ, как верифицированные. Были исключены 7850 (1 %) случаев из-за отсутствия данных о возрасте заболевших. При этом для 434 956 случаев кори имелись данные о вакцинации, из них 38 677 (25 %) – о двух прививках [15]. В заключение статьи авторы написали,

что большинство случаев кори в 2013–2017 гг. можно было предотвратить путем программ вакцинации, что подчеркивает необходимость повышения эффективности уже существующих программ. Отдельным странам следует провести аналогичный анализ, чтобы определить изменения, необходимые в их странах для снижения числа случаев кори.

В Ежемесячном отчете о мониторинге заболеваемости корью и краснухой обращает на себя внимание возрастное распределение заболевших: относительно большое число детей, не достигших возраста прививки до 1 года, и лиц в возрасте 20 лет и старше [14].

Заболеваемость ранее привитых взрослых свидетельствует об утрате иммунитета с течением времени или о невыработке в ответ на вакцинацию антител на защитном уровне, что может быть обусловлено иммуногенетическими факторами. Отсутствие иммунитета у молодых женщин определяет незащищенность младенцев до 1 года, и объясняет их заболеваемость, если же антитела у матери есть, то они защищают детей до 6–8 месяцев. [16]. Исследования противокоревых IgG в разных регионах России выявляют повышение уровня серонегативных к вирусу кори среди молодых

Рисунок 2. Число случаев кори в ЕС по возрастным группам и вакцинальному статусу с 1 декабря 2023 г. по 30 ноября 2024 г. (<https://measles-rubella-monthly.ecdc.europa.eu/>)
Figure 2. Number of measles cases by age group and vaccination status, EU/EEA, 1 December 2023 to 30 November 2024



здоровых взрослых, ранее двукратно привитых, что указывает на потерю ими иммунитета к кори [17–19]. Как указано в Государственном докладе о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения за 2023 и 2024 гг., примерно 6% заболевших корью двукратно привиты.

Аналогичная ситуация складывается и в других странах (2022). Song K. с соавт. утверждают, что восприимчивая возрастная группа, поражаемая корью во время вспышек, изменилась на молодых, ранее вакцинированных взрослых, возможно, из-за ослабления иммунитета и ограничения степени его естественной стимуляции вирусом кори дикого типа [20].

В публикациях зарубежных и отечественных исследователей приводятся убедительные доказательства того, что среди восприимчивых к кори имеется значительное число медицинских работников, которые уязвимы сами и представляют опасность для пациентов, которым они оказывают медицинскую помощь [21]. Высокий коэффициент размножения (индекс репродукции) и кинетика распространения вируса кори повышают риск крупномасштабных внутрибольничных вспышек, когда источником инфекции становится медицинский персонал [22].

Вакцинация против кори

В мире иммунизация против кори моновалентными вакцинами началась в 1963 г. [5,23]. Первоначально были разработаны и лицензированы два типа противокоревых вакцин (инактивированная и живая аттенуированная). Позже инактивированная вакцина была отозвана из-за низкой эффективности [24]. В России плановая вакцинация против кори началась в 1967 г., а с 1986 г. введена схема из двух прививок [25]. Иммунизация против кори включена в национальные программы вакцинации детей по всему миру, что резко снизило глобальное бремя инфицирования вирусом кори с более чем 135 млн случаев в год до 9 млн [10]. Эффективность вакцины достигает 95% после одной прививки и 96–98% после двух доз [26,27]. По данным модельных исследований, с 1974 по 2024 гг. вакцинация против кори предотвратила 93,7 млн смертей, сохранила 5,7 млрд лет спасенных жизней, 5,8 млрд лет полного здоровья [28].

Считается, что 95% охват населения двумя прививками коревой вакциной является профилактическим, поскольку снижает передачу вирусной инфекции за счет формирования коллективного иммунитета [3,5,6,9,29], однако, по состоянию на 2022 г., только 34% стран (65 из 194 стран ВОЗ) достигли 95% охвата первой прививкой [3]. Глобальный охват вакциной против кори составлял 74% [10]. В настоящее время некоторые страны потеряли статус элиминировавших корь из-за завоза инфекции из соседних стран и ее распространения [3,6,10].

Перенесенная инфекция, вызванная диким вирусом кори, формирует пожизненный иммунитет [6,30]. Предполагается, что и двукратная вакцинация должна создавать пожизненный иммунитет, однако это было справедливым в период, когда существовала естественная бустеризация на фоне еще значительной циркуляции вируса в популяции. В условиях снижения циркуляции возбудителя в привитой популяции снижается и эффект естественной бустеризации, что выявляет проблему риска, связанного с неэффективностью вакцинации среди отдельных категорий населения, и угасанием иммунного ответа у ранее привитых [6].

Гуморальный иммунитет при вакцинации против кори

Иммунизация против кори вызывает сероконверсию у 95–98% привитых, генерируя антитела, преимущественно нейтрализующие консервативный белок N вакцинного штамма вируса кори [5]. Отсутствие защитного титра антител наблюдается у 2–10% здоровых людей, также в исследованиях показано, что при использовании вакцины против кори, паротита и краснухи (MMR) число не ответивших на две прививки составляет менее 2,6% [14,18,31]. Сообщается о неэффективности первой прививки примерно у 2–12% детей в возрасте одного года [16,25,32,33]. Причина этого до сих пор остается неизвестной [5]. По спектру субклассов специфических IgG можно установить, имел ли место первичный или вторичный иммунный ответ. При первичном типе иммунного ответа среди специфических антител преобладают IgG3, а при вторичном типе – IgG1, но определить, в результате инфекции или вакцинации сформировались антитела, невозможно. Ранние короткоживущие плазматические клетки, синтезирующие низкоавидные IgG3, постепенно замещаются долгоживущими плазмоцитами, для которых характерна продукция высокоавидных IgG1 [16]. С учетом установленной заболеваемости у двукратно привитых изучали влияние дополнительной (третьей) прививки.

Средняя скорость ослабления иммунитета против кори после первой дозы вакцины против кори, паротита и краснухи (MMR) составляла 9,7% в год от среднего геометрического значения титра; средняя скорость ослабления после второй дозы MMR была значительно ниже: 4,8% в год, по сравнению с более низким средним геометрическим титром [34].

Опубликованные в 2021–2024 гг. мета-анализы показали, что индуцируемые коревой вакциной антитела снижаются с течением времени с начальным периодом более значительного ежегодного снижения (121,8 мМЕ/мл/год) в первые 5 лет после вакцинации, за которым следует медленное (24,1 мМЕ/мл/год) снижение [27,35–37].

О роли постепенной утраты иммунитета против кори у двукратно привитых, как одной из причин

вспышек заболевания, наряду со снижением охвата прививками, произошедшим в период пандемии COVID-19, пишут и английские исследователи. Динамика заболеваемости корью в Англии соответствует сценариям, предполагающим снижение иммунитета, вызванного вакциной. Поскольку корь очень заразна, медленное снижение приводит к повышению бремени вспышек, увеличивая количество случаев кори среди людей, как невакцинированных, так и вакцинированных. Хотя вакцина остается высокоэффективной против заражения корью и большая часть передачи связана с людьми, которые не были вакцинированы, прорывные инфекции все чаще случаются у лиц в возрасте 15 лет и старше, которые были вакцинированы дважды. Результаты исследований показывают, что ослабление вакциноиндуцированного иммунитета, вероятно, объясняет наблюдаемую динамику и возрастное смещение случаев кори в Англии между 2010 и 2019 гг. Расчетная скорость снижения была медленной (0,039 % в год; 95 % ДИ 0,034–0,044 %), но достаточной для увеличения бремени кори. Ослабление иммунитета, а также снижение охвата будут влиять на динамику кори и иметь первостепенное значение для прогнозирования эпидемической ситуации и реагирования на бремя кори в странах, где заболеваемость была низкой в течение десятилетий [38].

Анализ заболеваемости при вспышке кори в Нидерландах, опубликованный в 2019 г., представляет доказательства о субклиническом течении кори у ранее привитых, имевших титры антител менее 0,345 МЕ/мл, и отсутствие заболеваний среди тех, кто имел исходно титры 2,1 МЕ/мл и выше. Авторы говорят о возможном участии ранее привитых в распространении инфекции, даже тех, кто получал вторую прививку в 9 лет, подчеркивают, что серологические корреляты защиты от кори являются относительным и обсуждают возможную роль Т-клеток в предотвращении возникновения симптомов у лиц с субклинической формой кори [39].

Заболеваемость ранее привитых может свидетельствовать не только об утрате иммунитета с течением времени, но и об иммуногенетических особенностях организма привитого. В настоящее время показано, что эволюция антител к кори может прогнозироваться с рождения на индивидуальном уровне. Было обнаружено, что роды путем кесарева сечения связаны с 2,56 (95 % ДИ: 1,06–6,37) увеличением вероятности неудачи вакцинации, что подчеркивает долгосрочные иммунологические последствия, сопряженные со способом родоразрешения [40].

С учетом установленной заболеваемости у двукратно привитых изучали влияние ревакцинации. Специфичный для кори гуморальный иммунный ответ после третьей дозы MMR усиливался, что поддерживает принцип введения бустерной дозы серонегативным лицам или лицам из групп риска [41–43]. Через 3 года после третьей дозы MMR

уровень антител все еще остается выше, чем до бустерной дозы, несмотря на небольшое снижение [41,44].

Влияние генетических маркеров на формирование гуморального ответа при коревой вакцинации

Введение живой коревой вакцины вызывает как гуморальный, так и клеточный иммунные ответы [45], сходные с инфекцией, но с менее устойчивым уровнем антител [4]. Описана генетическая предрасположенность к превалированию гуморального или клеточного типа иммунного ответа на определенный антиген, что связывают с конкретными HLA-антигенами человека, а также индивидуальные различия в уровне продукции ключевых цитокинов [17].

Была продемонстрирована корреляция между генами, кодирующими цитокины и их рецепторы, и вариабельностью ответа на вакцинацию против кори. В частности, SNP (однонуклеотидные полиморфизмы) rs1799964 в гене TNF- α и rs2069849 в гене IL-6 были связаны с низкими уровнями поствакцинальных антител к кори в сомалийской популяции [46,47]. Выявлены варианты SNP в генах, контролирующих продукцию IFN- γ , что влияет на формирование коревого иммунитета [25], установлена ассоциация ряда SNP с реакциями на вакцину MMR [47]. Межиндивидуальные вариации клеточно-опосредованного и гуморального иммунного ответа на MMR вакцину связывают с полиморфизмом генов, участвующих в иммунном ответе, включая HLA [35,46,48,49].

Большинство ассоциаций было обнаружено для аллелей HLA класса 2 [48], идентифицированы некоторые SNP, такие как аллель B*3503, ответственный за хороший ответ антител на вакцинацию против кори, и DQA1*0201 и DRB1*0701, связанные с плохой выработкой антител [46,47,50]. Кроме того, при обследовании большой когорты (2506 человек в возрасте от 11 до 41 года) здоровых иммунизированных лиц специфические типы HLA класса I и II, такие как B*57:01, DQB1*06:02 и DRB1*15:05, были четко связаны с титрами нейтрализующих антител, специфичных для коревой вакцины [32].

Человеческая популяция весьма неоднородна по HLA, и это накладывает ограничения на презентацию тех или иных антигенов, что вносит дополнительное вмешательство в процесс моделирования иммунных ответов [25].

SNP семейства Toll рецепторов (TLR) также влияют на иммунный ответ на вакцину против кори, например, SNP rs3804100 в TLR2 связан с эффективным ответом на вакцинацию, в то время как SNP rs5030710 в TLR4 – со слабым [5,46,47].

Вирус кори инфицирует клетки хозяина с помощью рецепторов, охарактеризованы: CD46, CD150, а также нектин-4 [5,51]. Результаты исследований демонстрируют убедительную связь между двумя SNP CD46, rs2724384 и rs11118580 и реакцией

на вакцину против кори, оба SNP ассоциированы с 53 % снижением уровня антител к кори после вакцинации [47,48,52]. Это является открытием, которое может быть использовано для разработки вакцины, обходящей генетическое ограничение этого вирусного рецептора или привести к разработке недорогих чипов / платформ для проспективной идентификации потенциально невосприимчивых и восприимчивых лиц, которым в конечном итоге потребуются дополнительные дозы вакцины [32,52].

В 2023 г. в обзоре Dudley M. Z. с соавт., обобщившем данные 33 статей, продемонстрирована связь между генетикой хозяина и иммуногенностью вакцины против кори. Различия в иммуногенности вакцин были связаны с 291 генетической детерминантой в 18 генах [50]. В систематическом обзоре Haslund M.M., (2023) на основании анализа 48 статей также показано, что генетические детерминанты, включая гены хозяина, и однонуклеотидные полиморфизмы в генах, связанных с иммунитетом, влияют на уровень MMR-антител после вакцинации в детском и подростковом возрасте [48].

Клеточный иммунитет при вакцинации против кори

Хотя нейтрализующие антитела рассматриваются на практике как корреляты защиты от кори, их нельзя использовать для оценки или вывода о защите, обеспечиваемой клеточным иммунным ответом, а роль Т-клеточно-опосредованных иммунных ответов огромна: это оказание «помощи» в реализации гуморального ответа, в аффинном созревании В-клеток и переключении изотипов антител; а также продукция цитокинов, активация специфических супрессорно-цитотоксических клеток, натуральных киллеров и фагоцитов, продукции IFN- γ CD4+ и CD8+ клетками, т.е. механизмов, участвующих в подавлении репликации вируса и уничтожении инфицированных клеток [35,53,54].

Отечественные авторы предлагают методику оценки клеточного иммунитета к антигенам вируса кори по уровню экспрессии CD107a на CD8-лимфоцитах в ответ на стимуляцию антигенами вируса кори [17,55].

Выявлены ассоциации между гуморальными и клеточными иммунными реакциями. У лиц, у которых после двух прививок не было антител IgG к кори, эффекторная функция специфических к вирусу кори Т-клеток (как IFN- γ , так и TNF) имели тенденцию к увеличению через 1 год после третьей дозы коревой вакцины [56]. После третьей дозы вакцины против кори, паротита, краснухи количество CD4+клеток увеличивалось к 28 дню, а количество CD8+клеток преимущественно снижалось. Число Т-регулирующей субпопуляции (nTregs, играющих решающую роль в регуляции иммунных реакций и предотвращении аутоиммунитета) значительно увеличилось в периферической крови

и отрицательно коррелировало с авидностью антител [57].

Биологические механизмы того, как формируется долгосрочный иммунитет, до конца не ясны [5]. Иммунная система функционирует как переплетенная система сетевого типа, то есть одни параметры могут влиять на другие параметры, причем эффект может быть плейотропным [25]. В работах А. П. Топтыгиной и соавт. (2019, 2020) показано, что клеточный и гуморальный иммунный ответы против вирусов кори формируются и сохраняются независимо друг от друга, внося каждый свой вклад в защиту от инфекции [17,55]. Формирование у разных людей гуморальных и клеточных ответов разного уровня на одну и ту же дозу вакцины обычно объясняется исходным состоянием иммунной системы [25].

Клиническое значение Т-клеточного иммунитета при кори было установлено путем сравнения исходов заболевания корью у детей с врожденным дефицитом антител, по сравнению с детьми с дефектами Т-клеточно-опосредованного иммунитета; дети с агаммаглобулинемией переносят естественную коревую инфекцию без осложнений, в то время как у детей с клеточным иммунодефицитом отмечаются тяжелые формы инфекции и иногда смертельный исход [35].

Изучение клеточных ответов на вирусы кори и краснухи показало, что на уровень антигензависимой пролиферации лимфоцитов влиял уровень НКТ-клеток (CD3+CD16+/56+), в частности, он отрицательно влиял на пролиферативный ответ на вирус кори. Вероятно, НК-клетки, являясь первой линией противовирусной защиты, способны снижать количество вакцинного вируса и тем самым снижать пролиферативный ответ адаптивного иммунитета на этот вирус [25]. Важную роль Т-клеток при ответе на коревой антиген подчеркивают и при изучении механизма развития подострого склерозирующего панэнцефалита при заболевании корью [58].

В настоящее время необходимы дополнительные исследования для установления коррелятов защиты, специфичных для клеточного иммунитета [53]. Понимание особенностей поствакцинального и постинфекционного иммунитета, поиски способа поддержания пожизненного иммунитета у привитых являются важными задачами для достижения цели элиминации кори [59]. Ликвидация кори по-прежнему достижима, для этого требуются увеличение охвата вакцинацией и изучение особенностей индивидуального иммунного ответа для поддержания популяционного [10,17].

Заключение

Современная эпидемиология кори в мире высветила ряд проблем, требующих решения. Практическим требованием для элиминации кори является достижение не просто высокого уровня охвата прививками, но высокий уровень защищенности привитых. Однако снижение возможности

естественной бустеризации иммунитета у ранее привитых, при снижении циркуляции возбудителя в популяции, определяет необходимость исследований, направленных на изучение длительности сохранения поствакцинального иммунитета и на обоснование необходимости коррекции схемы прививок, например, введения третьей прививки для взрослых. Изменение иммуноструктуры населения (преобладание пожилого населения над молодым), рост числа лиц с минорными дефектами иммунитета, в том числе за счет отмены влияния вакциноуправляемых инфекций, как фактора эволюции, приводивших к смерти в раннем

возрасте, рост в популяции лиц привитых, но не получивших естественную бустеризацию, может менять эпидемиологическую и иммунологическую эффективность традиционных вакцин. Понимание механизмов индивидуального ответа на коревую вакцину в зависимости от состояния здоровья, времени, прошедшего после прививки, генетических особенностей индивида, моделирование этих процессов важны как для совершенствования стратегии вакцинации, так и для решения вопроса о необходимости дополнительных возрастных ревакцинаций или разработок новых вакцинных препаратов.

Литература

- ВОЗ (2020). Стратегия борьбы с корью и краснухой: 2021–2030. Доступно на: <https://iris.who.int/handle/10665/339801>.
- Gogoi M., Martin C.A., Bird P.W., et al. Risk of vaccine preventable diseases in UK migrants: A serosurvey and concordance analysis. *Journal of Migration and Health*. 2024. Vol. 9. P. 100217.
- Winter A.K., Moss W.J. Possible Paths to Measles Eradication: Conceptual Frameworks, Strategies, and Tactics. *Vaccines*. 2024. Vol. 12, N7. P. 814.
- Moss W.J., Griffin D.E. What's going on with measles? *Journal of Virology [Internet]*. 2024. Vol. 98, N8.
- Brown B., Fricke I., Imarogbe C., et al. Understanding the Measles Virus at 70 Years: From Cellular Mechanisms to Immunisation, 1954–2024. 2024.
- Crowcroft N.S., Minta A.A., Bolotin S., et al. The Problem with Delaying Measles Elimination. *Vaccines [Internet]*. 2024. Vol. 12, N7. P. 813.
- Locke J., Marinkovic A., Hamdy K., et al. Routine pediatric vaccinations during the COVID-19 pandemic: A review of the global impact. *World Journal of Virology [Internet]*. 2023. Vol. 12, N5. P. 256–261.
- Minta A.A., Ferrari M., Antoni S., et al. Progress Toward Measles Elimination — Worldwide, 2000–2023. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report [Internet]*. 2024;Vol. 73, N45. P. 1036–1042.
- Muscat M., Ben Mamou M., Reynen-de Kat C., et al. Progress and Challenges in Measles and Rubella Elimination in the WHO European Region. *Vaccines [Internet]*. 2024. Vol. 12, N6. P. 696.
- Sanchez D.J. Measles virus: Continued outbreaks while striving for eradication. *Virulence [Internet]*. 2024. Vol. 15, N1.
- Seither R., Yusuf O.B., Dramann D., et al. Coverage with Selected Vaccines and Exemption from School Vaccine Requirements Among Children in Kindergarten — United States, 2022–23 School Year. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report [Internet]*. 2023. Vol. 72, N45. P. 1217–1224.
- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 364 с. Доступно на: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/fbc/sd3prfzsc9c2r4xbmsb7o3us38nrpk/Gosudarstvennyy-doklad_O-sostoyanii-sanitarno_epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-Rossiyskoy-Federatsii-v-2023-godu_.pdf. Ссылка активна на 15 декабря 2024.
- Measles and Rubella Global Update February 2025 This report is posted on the WHO Immunization data portal. Доступно на: <https://immunizationdata.who.int/global?topic=Provisional-measles-and-rubella-data&location>
- European Centre for Disease Prevention and Control [Internet]: Measles and Rubella monthly report. Доступно на: <https://measles-rubella-monthly.ecdc.europa.eu/>. Ссылка активна на 15 декабря 2024.
- Patel M.K., Orenstein W.A. Classification of global measles cases in 2013–17 as due to policy or vaccination failure: a retrospective review of global surveillance data. *The Lancet Global Health [Internet]*. 2019. Vol. 7, N3. P. 313–320.
- Топтыгина А. П., Андреев Ю. Ю., Смердова М. А. и др. Сопоставление гуморального иммунного ответа у взрослых, больных корью, и привитых от этой инфекции. *Инфекция и иммунитет*. 2021. Т.11, №3. С. 517–522.
- Топтыгина А. П., Андреев Ю. Ю., Смердова М. А. и др. Формирование гуморального и клеточного иммунитета на коревую вакцину у взрослых. *Инфекция и иммунитет*. 2020. Т.10, №1. С. 137–144.
- Ноздрачева А. В., Рыбин В. В., Грицик А. А. и др. Распространенность антител к вирусам кори, краснухи и эпидемическому паротиту у военнослужащих. *Военно-медицинский журнал*. 2018. Т. 339, №1. С. 66–70.
- Топтыгина А. П., Смердова М. А., Наумова М. А. и др. Влияние особенностей популяционного иммунитета на структуру заболеваемости корью и краснухой. *Инфекция и иммунитет*. 2018. Т.8, №3. С. 341–348.
- Song K., Lee J.M., Lee E.J., et al. Control of a nosocomial measles outbreak among previously vaccinated adults in a population with high vaccine coverage: Korea, 2019. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases [Internet]*. 2022. Vol. 41, N3. P. 455–466.
- Bianchi F.P., Stefanizzi P., Trerotoli P., et al. Sex and age as determinants of the seroprevalence of anti-measles IgG among European healthcare workers: A systematic review and meta-analysis. *Vaccine [Internet]*. 2022. Vol. 40, N23. P. 3127–3141.
- Kim C.J., Bae J.Y., Jun K.I., et al. Risk of Absence of Measles Antibody in Healthcare Personnel and Efficacy of Booster Vaccination. *Vaccines [Internet]*. 2021. Vol.9, N5. P. 501.
- Conis E. Measles and the Modern History of Vaccination. *Public Health Reports [Internet]*. 2019. Vol. 134, N2. P. 118–125.
- Higgins D.M., O'Leary S.T. A World without Measles and Rubella: Addressing the Challenge of Vaccine Hesitancy. *Vaccines [Internet]*. 2024. Vol. 12, N6. P. 694.
- Toptygina A., Grebennikov D., Bocharov G. Prediction of Specific Antibody- and Cell-Mediated Responses Using Baseline Immune Status Parameters of Individuals Received Measles–Mumps–Rubella Vaccine. *Viruses [Internet]*. 2023. Vol. 15, N2. P. 524.
- Di Pietrantonj C., Rivetti A., Marchione P., et al. Vaccines for measles, mumps, rubella, and varicella in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet]*. 2021. Vol. 2021, N11.
- Castiñeiras A.C.P., Sales A.C., Picone C. de M., et al. The decline of measles antibody titers in previously vaccinated adults: a cross-sectional analysis. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo [Internet]*. 2024. Vol. 66.
- Wahl B., Pitzer V.E. Expanded Programme on Immunization at 50 years: its legacy and future. *The Lancet [Internet]*. 2024. Vol. 403, N10441. P. 2265–2267.
- Gastañaduy P.A., Goodson J.L., Panagiotakopoulos L., et al. Measles in the 21st Century: Progress Toward Achieving and Sustaining Elimination. *The Journal of Infectious Diseases [Internet]*. 2021. Vol. 224. P. 420–428.
- Hughes S.L., Bolotin S., Khan S., et al. The effect of time since measles vaccination and age at first dose on measles vaccine effectiveness – A systematic review. *Vaccine [Internet]*. 2020. Vol. 38, N3. P. 460–469.
- Bianchi S., Gori M., Fappani C., et al. Characterization of Vaccine Breakthrough Cases during Measles Outbreaks in Milan and Surrounding Areas, Italy, 2017–2021. *Viruses [Internet]*. 2022. Vol. 14, N5. P. 1068.
- Haralambieva I.H., Kennedy R.B., Ovsyannikova I.G., et al. Current perspectives in assessing humoral immunity after measles vaccination. *Expert Review of Vaccines [Internet]*. 2018. Vol. 18, N1. P. 75–87.
- Ghafoori F., Mokhtari-Azad T., Foroushani A.R., et al. Assessing seropositivity of MMR antibodies in individuals aged 2–22: evaluating routine vaccination effectiveness after the 2003 mass campaign—a study from Iran's National Measles Laboratory. *BMC Infectious Diseases [Internet]*. 2024. Vol. 24, N1.
- Zibolenová J., Hudečková H., Chladná Z., et al. Quantification of Waning Immunity After Measles Vaccination—Evidence From a Seroprevalence Study. *American Journal of Epidemiology [Internet]*. 2023. Vol. 192, N8. P. 1379–1385.
- Quach H.Q., Ratishvili T., Haralambieva I.H., et al. Immunogenicity of a peptide-based vaccine for measles: a pilot evaluation in a mouse model. *Scientific Reports [Internet]*. 2024. Vol. 14, N1.

36. Bolotin S, Osman S, Hughes S.L., et al. In Elimination Settings, Measles Antibodies Wane After Vaccination but Not After Infection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Infectious Diseases* [Internet]. 2022. Vol. 226, N7. P. 1127–1139.
37. Schenk J, Abrams S, Theeten H, et al. Immunogenicity and persistence of trivalent measles, mumps, and rubella vaccines: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Infectious Diseases* [Internet]. 2021. Vol. 21, N2. P. 286–295.
38. Robert A, Suffel A.M., Kucharski A.J. Long-term waning of vaccine-induced immunity to measles in England: a mathematical modelling study. *The Lancet Public Health* [Internet]. 2024. Vol. 9, N10. P. 766–775.
39. Woudenberg T, van Binnendijk R, Veldhuijzen I., et al. Additional Evidence on Serological Correlates of Protection against Measles: An Observational Cohort Study among Once Vaccinated Children Exposed to Measles. *Vaccines* [Internet]. 2019. Vol. 7, N4. P. 158.
40. Wang W, O'Driscoll M, Wang Q, et al. Dynamics of measles immunity from birth and following vaccination. *Nature Microbiology* [Internet]. 2024. Vol. 9, N7. P. 1676–1685.
41. Quach H.Q., Chen J., Monroe J.M., et al. The Influence of Sex, Body Mass Index, and Age on Cellular and Humoral Immune Responses Against Measles After a Third Dose of Measles-Mumps-Rubella Vaccine. *The Journal of Infectious Diseases* [Internet]. 2022. Vol. 227, N1. P. 141–150.
42. Haralambieva I.H., Chen J., Quach H.Q., et al. Early B cell transcriptomic markers of measles-specific humoral immunity following a 3rd dose of MMR vaccine. *Frontiers in Immunology* [Internet]. 2024. Vol. 15.
43. Chan J.C.H., Leung D., Chan S.M., et al. Seroepidemiology of Measles and Rubella Among Hong Kong Young Adults and the Humoral Responses of a Measles-Mumps-Rubella Booster Among Participants With Low Antibody Levels. *The Journal of Infectious Diseases* [Internet]. 2024. Vol. 230, N6. P. 1367–1375.
44. Kaaijk P, Wijmenga-Monsuur A.J., ten Hulscher H.I. ten, et al. Antibody Levels at 3-Years Follow-Up of a Third Dose of Measles-Mumps-Rubella Vaccine in Young Adults. *Vaccines* [Internet]. 2022. Vol. 10, N1. P. 132.
45. Lüthy I.A., Kantor I.N., Sarampión [Measles]. *Medicina (B Aires)*. 2020. Vol. 80, N2. P. 162–168.
46. Laganà A., Visalli G., Di Pietro A., et al. Vaccinomics and adversomics: key elements for a personalized vaccinology. *Clinical and Experimental Vaccine Research* [Internet]. 2024. Vol. 13, N2. P. 105.
47. Omersel J., Karas Kuželički N. Vaccinomics and Adversomics in the Era of Precision Medicine: A Review Based on HBV, MMR, HPV, and COVID-19 Vaccines. *Journal of Clinical Medicine* [Internet]. 2020. Vol. 9, N11. P. 3561.
48. Haslund M.M., Sorensen J.K., Graff Stensballe L. Genetics and measles, mumps and rubella vaccine response in childhood and adolescence—A systematic review. *Scandinavian Journal of Immunology* [Internet]. 2023. Vol. 97, N6.
49. Leidere-Reine A., Kolesova O., Kolesovs A., et al. Seroprevalence of diphtheria and measles antibodies and their association with demographics, self-reported immunity, and immunogenetic factors in healthcare workers in Latvia. *Vaccine: X* [Internet]. 2022. Vol. 10.
50. Dudley M.Z., Gerber J.E., Budigan Ni H., et al. Vaccinomics: A scoping review. *Vaccine* [Internet]. 2023. Vol. 41, N14. P. 2357–2367.
51. Heath E.L., Rosenberg J.E. The biology and rationale of targeting nectin-4 in urothelial carcinoma. *Nature Reviews Urology* [Internet]. 2020. Vol. 18, N2. P. 93–103.
52. Kennedy R.B., Ovsyannikova I.G., Palese P., et al. Current Challenges in Vaccinology. *Frontiers in Immunology* [Internet]. 2020. Vol. 11.
53. Brady A.M., El-Badry E., Padron-Regalado E., et al. Serosurveillance for Measles and Rubella. *Vaccines* [Internet]. 2024. Vol. 12, N7. P. 816.
54. Griffin D.E. Measles immunity and immunosuppression. *Current Opinion in Virology* [Internet]. 2021. Vol. 46, N9. P. 14.
55. Смердова М. А., Топтыгина А. П., Андреев Ю. Ю. и др. Гуморальный и клеточный иммунитет к антигенам вирусов кори и краснухи у здоровых людей. *Инфекция и иммунитет*. 2019. Т.9, №3-4. С. 607–611.
56. Kim Y.C., Nam H., Choi J.Y., et al. The third dose of measles-containing vaccine induces robust immune responses against measles in young seronegative healthcare workers who had previous two-dose measles vaccination. *Journal of Infection and Public Health* [Internet]. 2023. Vol. 16, N10. P. 1643–1649.
57. Wang L., Haralambieva I.H., Ovsyannikova I.G., et al. Associations of adaptive immune cell subsets with measles, mumps, and Rubella–Specific immune response outcomes. *Heliyon* [Internet]. 2023. Vol. 9, N12.
58. Yentür S.P., Demirbilek V., Gurses C., et al. Immune alterations in subacute sclerosing panencephalitis reflect an incompetent response to eliminate the measles virus. *Meinl E, editor. PLOS ONE* [Internet]. 2021. Vol. 16, N1.
59. Мамаева Т. А., Железнова Н. В., Бичурин А. М. и др. Оценка возрастной структуры больных корью с первичным и вторичным иммунным ответом за период 2010–2016 гг. в Российской Федерации. *Инфекция и иммунитет*. 2020. Т.10, №4. С. 717–728.

References

1. [World Health Organization. (2020). Measles and rubella strategic framework: 2021–2030]. Available at: <https://iris.who.int/handle/10665/339801>.
2. Gogoi M, Martin CA, Bird PW, et al. Risk of vaccine preventable diseases in UK migrants: A serosurvey and concordance analysis. *Journal of Migration and Health*. 2024;9:100217. doi.org/10.1016/j.jmh.2024.100217
3. Winter AK, Moss WJ. Possible Paths to Measles Eradication: Conceptual Frameworks, Strategies, and Tactics. *Vaccines*. 2024 Jul 22;12(7):814. doi.org/10.3390/vaccines12070814
4. Moss WJ, Griffin DE. What's going on with measles? Levy DE, editor. *Journal of Virology* [Internet]. 2024;98(8). doi.org/10.1128/jvi.00758-24
5. Brown B, Fricke I, Imarogbe C, et al. Understanding the Measles Virus at 70 Years: From Cellular Mechanisms to Immunisation, 1954–2024. 2024 Jul 16. doi.org/10.32388/nggcj9.4
6. Crowcroft NS, Minta AA, Bolotin S, et al. The Problem with Delaying Measles Elimination. *Vaccines* [Internet]. 2024;12(7):813. doi.org/10.3390/vaccines12070813
7. Locke J, Marinkovic A, Hamdy K, et al. Routine pediatric vaccinations during the COVID-19 pandemic: A review of the global impact. *World Journal of Virology* [Internet]. 2023;12(5):256–61. doi.org/10.5501/wjv.v12.i5.256
8. Minta AA, Ferrari M, Antoni S, et al. Progress Toward Measles Elimination — Worldwide, 2000–2023. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report* [Internet]. 2024;73(45):1036–42. doi.org/10.15585/mmwr.mm7345a4
9. Muscat M, Ben Mamou M, Reynen-de Kat C, et al. Progress and Challenges in Measles and Rubella Elimination in the WHO European Region. *Vaccines* [Internet]. 2024;12(6):696. doi.org/10.3390/vaccines12060696
10. Sanchez DJ. Measles virus: Continued outbreaks while striving for eradication. *Virulence* [Internet]. 2024;15(1). doi.org/10.1080/21505594.2024.2386022
11. Seither R, Yusuf OB, Dramann D, et al. Coverage with Selected Vaccines and Exemption from School Vaccine Requirements Among Children in Kindergarten — United States, 2022–23 School Year. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report* [Internet]. 2023;72(45):1217–24. doi.org/10.15585/mmwr.mm7245a2
12. O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchii naseleniia v Rossiiskoi Federatsii v 2023 godu. State report. Moscow: Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, 2024. – 364 c. (In Russ). Available at: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/fbc/sd3prfszlc9c2r4xbmsb7o3us38nrpk/Gosudarstvennyy-doklad_-_O-sostoyanii-sanitarno_epidemiologicheskogo-blagopoluchiiya-naseleniia-v-Rossiiskoy-Federatsii-v-2023-godu_.pdf. Accessed: 15 Dec 2024. (In Russ).
13. [Measles and Rubella Global Update February 2025 This report is posted on the WHO Immunization data portal] <https://immunizationdata.who.int/global?topic=Provisional-measles-and-rubella-data&location>
14. European Centre for Disease Prevention and Control [Internet]: Measles and Rubella monthly report. Available at: <https://measles-rubella-monthly.ecdc.europa.eu/>. Accessed: 15 Dec 2024.
15. Patel MK, Orenstein WA. Classification of global measles cases in 2013–17 as due to policy or vaccination failure: a retrospective review of global surveillance data. *The Lancet Global Health* [Internet]. 2019;7(3):313–20. doi.org/10.1016/s2214-109x(18)30492-3
16. Topygina AP, Andreev YuYu, Smerdova MA, et al. Sopostavlenie gumoral'nogo immunnogo otveta u vzroslykh, bol'nykh kor'yu, i privyoty ot etoj infekcii. *Infekciya i immunitet*. 2021;11(3):517–22. (In Russ). doi.org/10.15789/2220-7619-chi-1396
17. Topygina A.P., Andreev YU.YU., Smerdova M.A., et al. Formirovanie gumoral'nogo i kletochnogo immuniteta na korevuyu vakcinu u vzroslykh. *Infekciya i immunitet*. 2020;10(1):137–44. (In Russ). doi.org/10.15789/2220-7619-foh-1334
18. Nozdracheva AV, Rybin VV, Gricik AA, et al. Rasprostranennost' antitel k virusam kori, krasnuhi i epidemicheskomu parotitu u voennosluzhashchih. *Voенно-медицинский журнал*. 2018;339(1):66–70. (In Russ).
19. Topygina AP, Smerdova MA, Naumova MA, et al. Vliyaniye osobennostey polyacionnogo immuniteta na strukturu zabolevaemosti kor'yu i krasnuhoj. *Infekciya i immunitet*. 2018;8(3):341–8. (In Russ). doi.org/10.15789/2220-7619-2018-3-341-348
20. Song K, Lee JM, Lee EJ, et al. Control of a nosocomial measles outbreak among previously vaccinated adults in a population with high vaccine coverage: Korea, 2019. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases* [Internet]. 2022;41(3):455–66. doi.org/10.1007/s10096-021-04390-4
21. Bianchi FP, Stefanizzi P, Terrotoli P, et al. Sex and age as determinants of the seroprevalence of anti-measles IgG among European healthcare workers: A systematic review and meta-analysis. *Vaccine* [Internet]. 2022;40(23):3127–41. doi.org/10.1016/j.vaccine.2022.04.016
22. Kim CJ, Bae JY, Jun KI, et al. Risk of Absence of Measles Antibody in Healthcare Personnel and Efficacy of Booster Vaccination. *Vaccines* [Internet]. 2021;9(5):501. doi.org/10.3390/vaccines9050501
23. Conis E. Measles and the Modern History of Vaccination. *Public Health Reports* [Internet]. 2019;134(2):118–25. doi.org/10.1177/0033354919826558
24. Higgins DM, O'Leary ST. A World without Measles and Rubella: Addressing the Challenge of Vaccine Hesitancy. *Vaccines* [Internet]. 2024;12(6):694. doi.org/10.3390/vaccines12060694
25. Topygina A, Grebennikov D, Bocharov G. Prediction of Specific Antibody- and Cell-Mediated Responses Using Baseline Immune Status Parameters of Individuals Received Measles–Mumps–Rubella Vaccine. *Viruses* [Internet]. 2023;15(2):524. doi.org/10.3390/v15020524

26. Di Pietrantonj C, Rivetti A, Marchione P, et al. Vaccines for measles, mumps, rubella, and varicella in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet]*. 2021;2021(11). doi.org/10.1002/14651858.cd004407.pub5
27. Castiñeiras ACP, Sales AC, Picone C de M, et al. The decline of measles antibody titers in previously vaccinated adults: a cross-sectional analysis. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo [Internet]*. 2024;66. doi.org/10.1590/s1678-9946202466004
28. Wahl B, Pitzer VE. Expanded Programme on Immunization at 50 years: its legacy and future. *The Lancet [Internet]*. 2024;403(10441):2265–7. doi.org/10.1016/s0140-6736(24)00982-6
29. Gastañaduy PA, Goodson JL, Panagiotakopoulos L, et al. Measles in the 21st Century: Progress Toward Achieving and Sustaining Elimination. *The Journal of Infectious Diseases [Internet]*. 2021;224:420–8. doi.org/10.1093/infdis/jiaa793
30. Hughes SL, Bolotin S, Khan S, et al. The effect of time since measles vaccination and age at first dose on measles vaccine effectiveness – A systematic review. *Vaccine [Internet]*. 2020;38(3):460–9. doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.10.090
31. Bianchi S, Gori M, Fappani C, et al. Characterization of Vaccine Breakthrough Cases during Measles Outbreaks in Milan and Surrounding Areas, Italy, 2017–2021. *Viruses [Internet]*. 2022;14(5):1068. doi.org/10.3390/v14051068
32. Haralambieva IH, Kennedy RB, Ovsyannikova IG, et al. Current perspectives in assessing humoral immunity after measles vaccination. *Expert Review of Vaccines [Internet]*. 2018;18(1):75–87. doi.org/10.1080/14760584.2019.1559063
33. Ghafoori F, Mokhtari-Azad T, Foroushani AR, et al. Assessing seropositivity of MMR antibodies in individuals aged 2–22: evaluating routine vaccination effectiveness after the 2003 mass campaign—a study from Iran's National Measles Laboratory. *BMC Infectious Diseases [Internet]*. 2024;24(1). doi.org/10.1186/s12879-024-09593-6
34. Zibolenová J, Hudečková H, Chladná Z, et al. Quantification of Waning Immunity After Measles Vaccination—Evidence From a Seroprevalence Study. *American Journal of Epidemiology [Internet]*. 2023;192(8):1379–85. doi.org/10.1093/aje/kwad065
35. Quach HQ, Ratishvili T, Haralambieva IH, et al. Immunogenicity of a peptide-based vaccine for measles: a pilot evaluation in a mouse model. *Scientific Reports [Internet]*. 2024;14(1). doi.org/10.1038/s41598-024-69825-2
36. Bolotin S, Osman S, Hughes SL, et al. In Elimination Settings, Measles Antibodies Wane After Vaccination but Not After Infection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Infectious Diseases [Internet]*. 2022;226(7):1127–39. doi.org/10.1093/infdis/jiac039
37. Schenk J, Abrams S, Theeten H, et al. Immunogenicity and persistence of trivalent measles, mumps, and rubella vaccines: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Infectious Diseases [Internet]*. 2021;21(2):286–95. doi.org/10.1016/s1473-3099(20)30442-4
38. Robert A, Suffel AM, Kucharski AJ. Long-term waning of vaccine-induced immunity to measles in England: a mathematical modelling study. *The Lancet Public Health [Internet]*. 2024;9(10):766–75. doi.org/10.1016/s2468-2667(24)00181-6
39. Woudenberg T, van Binnendijk R, Veldhuijzen I, et al. Additional Evidence on Serological Correlates of Protection against Measles: An Observational Cohort Study among Once Vaccinated Children Exposed to Measles. *Vaccines [Internet]*. 2019;7(4):158. doi.org/10.3390/vaccines7040158
40. Wang W, O'Driscoll M, Wang Q, et al. Dynamics of measles immunity from birth and following vaccination. *Nature Microbiology [Internet]*. 2024;9(7):1676–85. doi.org/10.1038/s41564-024-01694-x
41. Quach HQ, Chen J, Monroe JM, et al. The Influence of Sex, Body Mass Index, and Age on Cellular and Humoral Immune Responses Against Measles After a Third Dose of Measles-Mumps-Rubella Vaccine. *The Journal of Infectious Diseases [Internet]*. 2022;227(1):141–50. doi.org/10.1093/infdis/jiac351
42. Haralambieva IH, Chen J, Quach HQ, et al. Early B cell transcriptomic markers of measles-specific humoral immunity following a 3rd dose of MMR vaccine. *Frontiers in Immunology [Internet]*. 2024;15. doi.org/10.3389/fimmu.2024.1358477
43. Chan JCH, Leung D, Chan SM, et al. Seroepidemiology of Measles and Rubella Among Hong Kong Young Adults and the Humoral Responses of a Measles-Mumps-Rubella Booster Among Participants With Low Antibody Levels. *The Journal of Infectious Diseases [Internet]*. 2024;230(6):1367–75. doi.org/10.1093/infdis/jiae297
44. Kaaijk P, Wijmenga-Monsuur AJ, ten Hulscher HJ ten, et al. Antibody Levels at 3-Years Follow-Up of a Third Dose of Measles-Mumps-Rubella Vaccine in Young Adults. *Vaccines [Internet]*. 2022;10(1):132. doi.org/10.3390/vaccines10010132
45. Lüthy IA, Kantor IN. Sarampión [Measles]. *Medicina (B Aires)*. 2020;80(2):162–168.
46. Laganà A, Visalli G, Di Pietro A, et al. Vaccinomics and adjuvants: key elements for a personalized vaccinology. *Clinical and Experimental Vaccine Research [Internet]*. 2024;13(2):105. doi.org/10.7774/cevr.2024.13.2.105
47. Omersel J, Karas Kuželički N. Vaccinomics and Adjuvants in the Era of Precision Medicine: A Review Based on HBV, MMR, HPV, and COVID-19 Vaccines. *Journal of Clinical Medicine [Internet]*. 2020;9(11):3561. doi.org/10.3390/jcm9113561
48. Haslund MM, Sørensen JK, Graff Stensballe L. Genetics and measles, mumps and rubella vaccine response in childhood and adolescence—A systematic review. *Scandinavian Journal of Immunology [Internet]*. 2023;97(6). doi.org/10.1111/sji.13266
49. Leidere-Reine A, Kolesova O, Kolesovs A, et al. Seroprevalence of diphtheria and measles antibodies and their association with demographics, self-reported immunity, and immunogenetic factors in healthcare workers in Latvia. *Vaccine: X [Internet]*. 2022;10:100149. doi.org/10.1016/j.jvaxc.2022.100149
50. Dudley MZ, Gerber JE, Budigan Ni H, et al. Vaccinomics: A scoping review. *Vaccine [Internet]*. 2023;41(14):2357–67. doi.org/10.1016/j.vaccine.2023.02.009
51. Heath EI, Rosenberg JE. The biology and rationale of targeting nectin-4 in urothelial carcinoma. *Nature Reviews Urology [Internet]*. 2020;18(2):93–103. doi.org/10.1038/s41585-020-00394-5
52. Kennedy RB, Ovsyannikova IG, Palese P, et al. Current Challenges in Vaccinology. *Frontiers in Immunology [Internet]*. 2020;11. doi.org/10.3389/fimmu.2020.01181
53. Brady AM, El-Badry E, Padron-Regalado E, et al. Serosurveillance for Measles and Rubella. *Vaccines [Internet]*. 2024;12(7):816. doi.org/10.3390/vaccines12070816
54. Griffin DE. Measles immunity and immunosuppression. *Current Opinion in Virology [Internet]*. 2021;46:9–14. doi.org/10.1016/j.coviro.2020.08.002
55. Smerdova MA, Toptygina AP, Andreev YuYu., et al. Gumoral'nyj i kletchnyj immunitet k antigenam virusov kori i krasnuhi u zdorovyh lyudej. *Infekciya i immunitet*. 2019;9(3–4):607–11. (In Russ). doi.org/10.15789/2220-7619-2019-3-4-607-611
56. Kim YC, Nam H, Choi JY, et al. The third dose of measles-containing vaccine induces robust immune responses against measles in young seronegative healthcare workers who had previous two-dose measles vaccination. *Journal of Infection and Public Health [Internet]*. 2023;16(10):1643–9. doi.org/10.1016/j.jiph.2023.08.002
57. Wang L, Haralambieva IH, Ovsyannikova IG, et al. Associations of adaptive immune cell subsets with measles, mumps, and Rubella—Specific immune response outcomes. *Heliyon [Internet]*. 2023;9(12):e22998. doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22998
58. Yentür SP, Demirbilek V, Gurses C, et al. Immune alterations in subacute sclerosing panencephalitis reflect an incompetent response to eliminate the measles virus. *Meinl E, editor. PLOS ONE [Internet]*. 2021;16(1):e0245077. doi.org/10.1371/journal.pone.0245077
59. Mamaeva TA, Zheleznova NV, Bichurina MA, et al. Ocenka vozrastnoj struktury bol'nyh kor'yu s pervichnym i vtorichnym immunnym otvetom za period 2010-2016 gg. v Rossijskoj Federacii. *Infekciya i immunitet*. 2020;10(4):717–28. (In Russ). doi.org/10.15789/2220-7619-eoa-1407

Об авторах

- **Виталий Игоревич Фомичев** – заведующий консультативно-диагностическим центром, врач-аллерголог-иммунолог, ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр инфекционных болезней» ФМБА России, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 9. +7 (812) 670-01-11, fomichev-00@mail.ru. ORCID 0000-0002-6447-1122.
- **Сусанна Михайловна Харит** – д. м. н., профессор, руководитель научно-исследовательского отдела вакцинопрофилактики и поствакцинальной патологии, ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр инфекционных болезней» ФМБА России; профессор кафедры инфекционных заболеваний у детей ФП и ДПО Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова. +7 (812) 234-68-55, kharit-s@mail.ru. ORCID 0000-0002-2371-2460.
- **Алла Ароновна Вильниц** – д. м. н., старший научный сотрудник отдела вакцинопрофилактики и поствакцинальной патологии, ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр инфекционных болезней» ФМБА России; доцент кафедры инфекционных заболеваний у детей ФП и ДПО Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 9. +7 (812) 234-33-10, vilnitz@mail.ru.

Поступила: 14.01.2025. Принята к печати: 25.04.2025.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- **Vitalii I. Fomichev** – Head of the Consultative and Diagnostic Center, Allergist-Immunologist, Federal Research and Clinical Center for Infectious Diseases, 9, Professor Popov St., Saint-Petersburg, 197022, Russia. +7 (812) 670-01-11, fomichev-00@mail.ru. ORCID 0000-0002-6447-1122.
- **Susanna M. Kharit** – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Research Department of Vaccine Prevention and Post-Vaccination Pathology, Federal Research and Clinical Center for Infectious Diseases; Professor of the Department of Infectious Diseases in Children, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, 9, Professor Popov St., Saint-Petersburg, 197022, Russia. +7 (812) 234-68-55, kharit-s@mail.ru. ORCID 0000-0002-2371-2460.
- **Alla A. Vilnits** – Dr. Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Vaccine Prevention and Post-Vaccination Pathology, Federal Research and Clinical Center for Infectious Diseases; Associate Professor, Department of Infectious Diseases in Children, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Doctor of Medical Sciences, 9, Professor Popov St., Saint-Petersburg, 197022, Russia. +7 (812) 234-33-10, vilnitz@mail.ru.

Received: 14.01.2025. Accepted: 25.04.2025.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.