

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201991157** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2020.01.16

(22) Дата подачи заявки
2017.12.20

(51) Int. Cl. *C07K 14/195* (2006.01)
C12N 15/70 (2006.01)
C12N 15/74 (2006.01)
C07K 14/52 (2006.01)

(54) **ДОСТАВКА БЕЛКОВ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИЙ, АТТЕНУИРОВАННЫХ ПО ВИРУЛЕНТНОСТИ**

(31) 16205439.9

(32) 2016.12.20

(33) EP

(86) PCT/EP2017/083853

(87) WO 2018/115140 2018.06.28

(88) 2018.08.09

(71) Заявитель:
УНИВЕРСИТЕТ БАЗЕЛЬ (CH)

(72) Изобретатель:
Иттиг Симон, Амштуц Марлиз,
Каспер Кристоф (CH)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Настоящее изобретение относится к рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммам бактерий и их применению в способе лечения рака у субъекта.

A1

201991157

201991157

A1

ДОСТАВКА БЕЛКОВ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИЙ, АТТЕНУИРОВАННЫХ ПО ВИРУЛЕНТНОСТИ

Область техники

- 5 Настоящее изобретение относится к рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммам бактерий и их применению в способе лечения рака у субъекта.

Уровень техники

- 10 Бактерии используют различные механизмы для прямого впрыскивания белков в клетки-мишени¹. Система секреции III типа (type III secretion system, T3SS), используемая такими бактериями, как *Yersinia*, *Shigella* и *Salmonella*², функционирует подобно микроинъектору, который инъецирует так называемые бактериальные эффекторные белки в клетки-хозяева.
- 15 T3S использовалась для доставки гибридных пептидов и белков в клетки-мишени. Гетерологичные эффекторы бактериальной T3SS доставлялись в случае, когда исследуемая бактерия являлась трудноподдающейся воздействию генетических средств (такая как *Chlamydia trachomatis*). Часто репортерные белки сливали с предполагаемыми сигналами секреции T3SS в зависимости от
- 20 требований исследования для T3SS-зависимой доставки белков, таких как аденилатциклаза *Bordetella pertussis*, ДГФР (дигидрофолатредуктаза) мыши или поддающаяся фосфорилированию метка. Доставку пептидов, главным образом, проводили с целью вакцинации. Пептиды включали вирусные эпитопы, бактериальные эпитопы (листериолизин O), а также пептиды, представляющие
- 25 эпитопы раковых клеток человека. В нескольких случаях функциональные эукариотические белки доставляли для модулирования клетки-хозяина, которое осуществляли с помощью нанотел³, ядерных белков (рекомбиназы Cre, MyoD)^{4,5} или p10 и p1ra⁶. Ни одна из вышеупомянутых систем не позволяет осуществлять доставку единичных белков, поскольку в каждом случае при этом
- 30 кодируются один или множество эндогенных эффекторных белков. Более того, применяемые векторы были сконструированы способом, не позволяющим осуществлять простое клонирование других фрагментов ДНК, кодирующих предпочтительные белки, что препятствует широкому применению системы.

Подходы, обеспечивающие адресную доставку лекарственных средств, представляют большой интерес. Например, применяют антитела, распознающие структуры поверхности опухолевых клеток и, в оптимальном случае, селективно связывающиеся с опухолевыми клетками. Для улучшения механизма действия таких антител их можно конъюгировать с терапевтическими средствами или с липидными везикулами, наполненными лекарственными средствами. Одной из проблем при применении таких везикул является надлежащее высвобождение активного компонента. Еще более сложной является доставка терапевтических белков или пептидов, в особенности, при нацеливании на внутриклеточные механизмы. Было испробовано множество альтернативных способов решения данной проблемы доставки терапевтических белков в эукариотические клетки, которые включают «проникающие в клетку пептиды» (cell penetrating peptides, CPP) или подобные технологии, а также различные способы на основе наночастиц. Все из данных технологий характеризуются недостатками – низкой эффективностью и тем, что «груз», поглощенный клеткой посредством эндоцитоза, вероятно, в итоге будет расщеплен в лизосомах. Более того, конфликт между необходимостью обеспечения стабильности транспортирующего груз средства в организме человека и потребностью его дестабилизации и высвобождения в клетке-мишени представляет собой проблему, характерную для таких технологий.

Было показано, что множество бактерий реплицируются в злокачественных солидных опухолях при введении из отдаленного участка, включая *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Bifidobacteria*. На сегодняшний день в клинической практике применяют только бациллу Кальмета-Герена (БЦЖ, полученную из *Mycobacterium bovis*). БЦЖ вводят для лечения поверхностного рака мочевого пузыря, хотя лежащий в основе молекулярный механизм остается в значительной степени неизвестным. Разработка штаммов бактерий, способных, например, доставлять груз, образованный внутри бактерии, к участку его действия внутри клеток, таких как раковые клетки, т.е. за пределами бактерии, остается важной задачей.

Краткое описание изобретения

Настоящее изобретение относится к рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммам бактерий и их применению в способе лечения рака у субъекта. В некоторых вариантах реализации в настоящем изобретении предложены рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные штаммы бактерий и их применение для

5 лечения рака у субъекта, причем рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные штаммы бактерий обеспечивают транслокацию различных эффекторов III типа, а также эффекторов IV типа, вирусных белков и, что наиболее важно, функциональных эукариотических

10 белков в раковые клетки, например, в клетки злокачественной солидной опухоли. В настоящем изобретении предложен рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий с повышенными свойствами экспрессии гетерологичного белка и секреции, который неожиданно является способным стабильно кодировать гетерологичный белок в течение нескольких

15 дней или даже недель *in vivo*.

В первом аспекте настоящее изобретение относится к рекомбинантному аттенуированному по вирулентности грамотрицательному штамму бактерий, содержащему нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-

20 концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий

25 дополнительно содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором.

30 В следующем аспекте настоящее изобретение относится к рекомбинантному аттенуированному по вирулентности грамотрицательному штамму бактерий, содержащему нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'- концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из

бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий
5 дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC.

В следующем аспекте настоящее изобретение относится к рекомбинантному аттенуированному по вирулентности грамотрицательному штамму бактерий,
10 содержащему нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка,
15 функционально связана с промотором, и причем гетерологичный белок представляет собой белок, участвующий в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН).

В следующем аспекте настоящее изобретение относится к рекомбинантному аттенуированному по вирулентности грамотрицательному штамму бактерий,
20 содержащему нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка,
25 функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая
30 содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором, для применения в способе лечения рака у субъекта, причем указанный способ включает введение субъекту указанного рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, причем рекомбинантный

аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.

Аналогично, настоящее изобретение относится к способу лечения рака у субъекта, включающему введение субъекту рекомбинантного аттенуированного

5 по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, содержащего нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.

20 Аналогично, настоящее изобретение относится к применению рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, содержащего нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором, с целью получения лекарственного средства для лечения рака у субъекта

В следующем аспекте настоящее изобретение относится к рекомбинантному аттенуированному по вирулентности грамотрицательному штамму бактерий, содержащему нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC, для применения в способе лечения рака у субъекта, причем указанный способ включает введение субъекту указанного рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.

Аналогично, настоящее изобретение относится к способу лечения рака у субъекта, включающему введение субъекту рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, содержащего нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.

Аналогично, настоящее изобретение относится к применению рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий,

содержащего нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AgaC с целью получения лекарственного средства для лечения рака у субъекта.

В следующем аспекте настоящее изобретение относится к рекомбинантному аттенуированному по вирулентности грамотрицательному штамму бактерий, содержащему нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем гетерологичный белок представляет собой белок, участвующий в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), для применения в способе лечения рака у субъекта, причем указанный способ включает введение субъекту указанного рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.

Аналогично, настоящее изобретение относится к способу лечения рака у субъекта, включающему введение субъекту рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, содержащего нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана

с промотором, и причем гетерологичный белок представляет собой белок, участвующий в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.

Аналогично, настоящее изобретение относится к применению рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, содержащего нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем гетерологичный белок представляет собой белок, участвующий в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН) с целью получения лекарственного средства для лечения рака у субъекта.

В следующем аспекте настоящее изобретение относится к фармацевтической композиции, содержащей рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий и фармацевтически приемлемый носитель, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий содержит нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором.

В следующем аспекте настоящее изобретение относится к фармацевтической композиции, содержащей рекомбинантный аттенуированный по вирулентности

грамотрицательный штамм бактерий и фармацевтически приемлемый носитель, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий содержит нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AgaC.

В следующем аспекте настоящее изобретение относится к фармацевтической композиции, содержащей рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий и фармацевтически приемлемый носитель, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий содержит нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем гетерологичный белок представляет собой белок, участвующий в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН).

25

Краткое описание фигур

Фиг. 1: Характеристика доставки белков с помощью T3SS. Схематическое представление T3SS-зависимой секреции белка в окружающую среду (секреции *in vitro*) (левая часть) или в эукариотические клетки (правая часть). I: показана система секреции типа 3. II: показаны белки, секретированные в окружающую среду, III – белки, транслоцированные через мембрану в цитозоль эукариотических клеток (VII). VI: показан участок двух бактериальных мембран, в который встроена T3SS, и находящийся ниже бактериальный цитозоль. IV

30

представляет собой слитый белок, присоединенный к N-концевому фрагменту YopE₁₋₁₃₈ (V)

Фиг. 2: Описание набора инструментов для доставки на основе секреции III

типа. (А) Векторные карты плазмид для клонирования pBad_Si1 и pBad_Si2,

5 которые применяли для получения слитых конструкций с YopE₁₋₁₃₈. Шаперон SysE и слияние YopE₁₋₁₃₈ находятся под контролем нативного промотора *Y. enterocolitica*.

Две плазмиды отличаются исключительно наличием индуцибельного арабинозой EGFP (enhanced green fluorescent protein, усиленного зеленого флуоресцентного белка), присутствующего на pBad_Si1 **(В)** Сайт

10 множественного клонирования расположен непосредственно после фрагмента yopE₁₋₁₃₈ на плаزمиде pBad_Si1 и pBad_Si2.

Фиг. 3А – Q: штаммы *Y. enterocolitica*, применявшиеся в данном

исследовании. Перечень штаммов *Y. enterocolitica*, применявшихся в данном исследовании, обеспечивает информацию о фоновых штаммах, плазмиде и

15 белках для T3SS-зависимой доставки на соответствующих плазмиде. Также представлена информация об олигонуклеотидах, применявшихся для

конструирования соответствующей плазмиде, о каркасной плазмиде и устойчивости к антибиотикам.

Фиг. 4: Плаزمида вирулентности *Yersinia enterocolitica* W227, pYV. Плазмиде

20 вирулентности *Yersinia* штамма W227 (pYV) размером 69673 п.о. представлена в масштабе. Отмечены эффекторный белок T3SS, точка начала репликации и

устойчивость к мышьяку (кодируемая генами *arsC*, *B*, *R* и *H*):

I: точка начала репликации, II: *yopO*, III: *yopP*, IV: *yopQ*, V: *yopT*, VI: *sycT*,

VII: *yopM*, VIII: *yopD*, IX: *yopB*, X: *sycD*, XII: *yopH*, XIII: *sycH*, XIV: *sycE*,

25 XV: *yopE*, XVI: *yadA*, XVII-XVXX: *arsC*, *B*, *R* и *H*.

Фиг. 5: Доставка синтетических увеличенных проапоптотических белков.

Доставка единичных синтетических белков, состоящих из однократных или тандемных повторов доменов BH3, полученных из проапоптотических белков t-

BID или BAX, приводит к усиленной индукции апоптоза в раковых клетках 4T1

30 и B16F10. Клетки 4T1 (I) или B16F10 (II) инфицировали *Y. enterocolitica*

Δ yopHOPEMT, кодируемым на pBad-MycHisA IV: YopE₁₋₁₃₈- удлиненный домен

BH3 tBID, V: YopE₁₋₁₃₈-линкер-BH3 tBID, VI: YopE₁₋₁₃₈-BH3 tBID, VII: YopE₁₋₁₃₈-

(BH3 tBID)₂, VIII: YopE₁₋₁₃₈-BH3 tBID - BH3 BAX или IX: YopE₁₋₁₃₈-BH3 BAX -

BH3 tBID. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (множественность

заражения, МЗ), проводили для каждого штамма, определяли число клеток и вычисляли IC50 с помощью нелинейной регрессии. Указана МЗ IC50 (III).

Фиг. 6: Индукция апоптоза кодируемыми pYV синтетическими проапоптотическими белками. Доставка однократного или tandemного повтора домена ВНЗ ВІD, кодируемого на pYV, приводит к индукции апоптоза в раковых клетках 4Т1 и В16F10. Клетки 4Т1 (I) или В16F10 (II) инфицировали *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ + IV: pYV-УорЕ1-138-ВНЗ-Bid или V: + pYV-УорЕ1-138-(ВНЗ-Bid)₂ или VI: с помощью *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ pBad-МусHisA-УорЕ1-138-(ВНЗ-Bid)₂ в течение 3 часов. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (МЗ), проводили для каждого штамма, определяли число клеток и вычисляли IC50 (III) с помощью нелинейной регрессии.

Фиг. 7: Колонизация опухоли инъекцированным в.в. (внутривенно) *Y. enterocolitica* ΔуорН,О,Р,Е,М,Т на модели аллотрансплантата рака молочной железы 4Т1. Число бактерий в опухолях указано в виде колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм ткани (III). Подсчет проводили в опухолях в день 8 (I) и 14 (II) после инфекции. Каждая точка представляет отдельную мышь. Горизонтальная пунктирная линия обозначает предел обнаружения.

Фиг. 8: Биораспределение инъекцированного в.в. *Y. enterocolitica* ΔуорН,О,Р,Е,М,Т на модели аллотрансплантата рака молочной железы 4Т1. Число бактерий в крови (I), селезенке (II), печени (III), легких (IV) и опухоли (V) указано в виде колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм ткани или на мл крови (VI). Подсчет проводили в день 14 после инфекции. Каждая точка представляет отдельную мышь. Горизонтальная пунктирная линия обозначает предел обнаружения. * обозначает мышь с обширными метастазами, обнаруженными в легких.

Фиг. 9: Задержка прогрессирования опухоли на мышах Balb/С дикого типа с п.к. (подкожным) аллотрансплантатом клеток рака молочной железы 4Т1. Мышам Balb/С дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы 4Т1 в.в. инъекцировали I: ФБР (фосфатный буферный раствор) или II: 1 * 10⁷ *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ ΔHairpinI-VirF + pYV-УорЕ1-138(ВНЗ-Bid)₂, когда опухоль достигала размера 150 – 250 мм³. День в.в. инъекции бактерий обозначали как день 0. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (III; с дня 0 по день 9 после в.в. инъекции бактерий) с помощью штангенциркуля. Относительный объем опухоли, нормированный к объему опухоли в день 0,

указан (IV) в мм³. Среднее значение указано символами, представленные планки погрешностей демонстрируют стандартную ошибку среднего. Статистическую значимость измеряли с помощью двухфакторного дисперсионного анализа ANOVA, * указывает значение $p < 0,05$, ** – значение $p < 0,005$.

5 **Фиг. 10: Прогрессирование опухоли у мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы 4T1.** Мышам Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы 4T1 в.в. инъецировали I: ФБР или II: $1 \cdot 10^7$ *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, когда опухоль достигала размера 150 – 250 мм³. День в.в. инъекции бактерий обозначали как
10 день 0. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (III; с дня 0 по день 9 после в.в. инъекции бактерий) с помощью штангенциркуля. Относительный объем опухоли, нормированный к объему опухоли в день 0, указан (IV) в мм³. Среднее значение указано символами, представленные планки погрешностей демонстрируют стандартную ошибку среднего

15 **Фиг. 11: Регуляция секреции на основе T3SS посредством контроля экспрессии главного регулятора VirF. А:** Анализ секреции *in vitro* (проводили при температуре 37°C) со штаммами *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, доставляющими *YopE*₁₋₁₃₈-(ВНЗ tVID)₂. Экспрессия VirF находится под контролем его природного промотора (I + II), индуцибельного арабинозой
20 промотора (III + IV) или его природного промотора с делецией области шпильки I, контролирующей зависимую от температуры экспрессию (V). Анализ секреции проводили при отсутствии арабинозы (I, III и V) или в присутствии 0,2% арабинозы (II и IV). Секретированный *YopE*₁₋₁₃₈-(ВНЗ tVID)₂ обнаруживали с применением вестернблоттинга с антителом, распознающим область *YopE*₁₋₁₃₈.

25 **В:** Анализ секреции *in vitro* (проводили при температуре 37°C) со штаммами *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, доставляющими *YopE*₁₋₁₃₈ - домены Card RIG1 мыши. Экспрессия VirF находится под контролем его природного промотора (I + II) или его природного промотора с делецией области шпильки I, контролирующей
зависимую от температуры экспрессию (III). Анализ секреции проводили при
30 отсутствии арабинозы (I и III) или в присутствии 0,2% арабинозы (II). Секретированные *YopE*₁₋₁₃₈ - домены Card RIG1 мыши обнаруживали с применением вестернблоттинга с антителом, распознающим область *YopE*₁₋₁₃₈.

Фиг. 12: Сравнение роста *in vitro*: Сравнение роста *in vitro* для II: *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, III: *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ Δ*asd*, IV: *Y. enterocolitica*

$\Delta HOPEMT \Delta asd + pBAD-MycHisA-asd$, V: *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT \Delta asd + pBAD-MycHisA-asd$ (обратная ориентация), VI: *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT$, кодирующего $YopE_{1-138}-(BH3 tBID)_2$ на pYV и VII: *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT \Delta asd + pYV-asd-YopE_{1-138}-(BH3 tBID)_2$. Бактерии инокулировали в жидкой культуре и выращивали в течение 3 часов. Затем для всех штаммов определяли ОП600 (оптическую плотность при длине волны 600 нм) (I).

Фиг. 13: Колонизация опухоли *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT \Delta asd + pBad-MycHisA-asd$ и стабильность $pBad-MycHisA-asd$: Мышам C57BL/6 дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток меланомы B16F10 в.в. инъецировали $1 * 10^6$ *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT \Delta asd + pBad-MycHisA-asd$. В день 1 (I) или день 4 (II) после в.в. инъекции бактерий кровь (V), селезенку (VI), печень (VII), легкие (VIII) и опухоль (IX) отбирали, гомогенизировали, готовили серийные разведения и высевали на чашках с агаром LB, содержащих налидиксовую кислоту (и не содержащих ампициллин, -IV), или на чашках с агаром LB с ампициллином (+IV), селективных в отношении $pBad-MycHisA-asd$. Число бактерий в соответствующих образцах указано в виде колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм ткани или мл крови (III). Каждая точка представляет отдельную мышь. Горизонтальная пунктирная линия обозначает предел обнаружения.

Фиг. 14: Колонизация опухоли *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT \Delta asd + pBad-MycHisA-asd$: Мышам Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы 4T1 в.в. инъецировали $1 * 10^6$ *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT \Delta asd + pBad-MycHisA-asd$. В указанные дни после в.в. инъекции бактерий (I) опухоли отбирали, гомогенизировали, готовили серийные разведения и высевали на чашках с агаром LB, содержащих налидиксовую кислоту. Число бактерий в опухолях указано в виде колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм ткани (II). Каждая точка представляет отдельную мышь. Горизонтальная пунктирная линия обозначает предел обнаружения.

Фиг. 15: Генетическая стабильность pYV: Стабильность нативной pYV или pYV-*asd* в солидных опухолях *in vivo*. Мышам Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы 4T1 в.в. инъецировали $1 * 10^7$ II: *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT + pYV-YopE_{1-138}-(BH3 tBID)_2$, III: *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT \Delta hairpinI-virF + pYV-YopE_{1-138}-(BH3 tBID)_2$ или IV: *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT \Delta asd + pYV-asd-YopE_{1-138}-(BH3 tBID)_2$. В день 9 после в.в. инъекции бактерий опухоли отбирали, гомогенизировали, готовили серийные разведения и

высевали на чашках с агаром LB, содержащих налидиксовую кислоту. После роста на данных чашках единичные колонии от отдельных мышей переносили на чашки с агаром LB с арсенитом натрия и без него, селективные в отношении pYV. Для каждой мыши указан процент колоний, которые росли на чашках с агаром, содержащих арсенит, к числу колоний, которые росли на чашках, не содержащих арсенит (I: в виде %). 100% обозначает, что все выделенные из солидной опухоли колонии все еще содержат плазмиду pYV.

Фиг. 16: Колонизация опухоли: Мышам Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы 4T1 в.в. инъецировали $1 \cdot 10^7$ II: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT + pYV-YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂, III: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT Δ hairpinI-virF + pYV-YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂ или IV: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT Δ asd + pYV-*asd*-YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂. В день 9 после в.в. инъекции бактерий опухоли отбирали, гомогенизировали, готовили серийные разведения и высевали на чашках с агаром LB, содержащих налидиксовую кислоту. Число бактерий в опухолях указано в виде колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм ткани (I). Каждая точка представляет отдельную мышь. Горизонтальная пунктирная линия обозначает предел обнаружения.

Фиг. 17: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь Rig1. Доставка доменов Card Rig1 человека и мыши приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈- домены Card Rig1 человека, III: YopE₁₋₁₃₈- домены Card Rig1 мыши. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (IV: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (V: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE (interferon-stimulated responsive element, интерферон-стимулируемый реагирующий элемент).

Фиг. 18: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь Rig1. Доставка доменов Card Rig1 человека приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT

или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-MycHis, III: YopE₁₋₁₃₈- домен Card Rig1 человека. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (IV: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (V: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 19: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь Rig1: положительный контроль.

10 Положительный контроль в таком же эксперименте, как на фиг. 18, с применением ИФН гамма для стимуляции ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 стимулировали с помощью ИФН гамма мыши. К клеткам добавляли титр ИФН гамма (I: указан в Ед./мл), и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (II: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 20: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь Rig1. Доставка кодируемых pYV

20 доменов Card Rig1 мыши приводит к индукции ИФН I типа в линии клеток рака B16F10. Клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на pYV II: YopE₁₋₁₃₈- домены Card Rig1 мыши. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (III: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали посредством добавления супернатанта клеток к репортерной линии клеток ИФН на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (IV: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 21: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь Rig1. Доставка кодируемых pYV

30 доменов Card Rig1 мыши приводит к индукции ИФН I типа в линии клеток рака 4T1. Клетки 4T1 инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на pYV II: YopE₁₋₁₃₈- домены Card Rig1 мыши. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (III: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали посредством добавления

супернатанта клеток к репортерной линии клеток ИФН на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (IV: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

5 **Фиг. 22: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь STING.** Доставка ферментов, образующих циклические динуклеотиды, приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ или *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, кодированным на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈- WspR *P. aeruginosa* (с адаптированным доменом стебля). Титрование бактерий, добавленных к клеткам (III: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (IV: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

10 **Фиг. 23: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь STING.** Доставка ферментов, образующих циклические динуклеотиды, приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 оставляли необработанными (I) или инфицировали II: *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ или *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, кодированным на полученной из pBadMycHisA плазмиде III: YopE₁₋₁₃₈- DncV *V. cholerae*, IV: YopE₁₋₁₃₈- DisA-подобный белок *B. cereus*, V: YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона или VI: YopE₁₋₁₃₈- MycHis. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (VII: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (VIII: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

20 **Фиг. 24: T3SS-зависимая секреция IRF3 в супернатант культуры.** Эксперимент по секреции *in vitro* I: *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ + YopE₁₋₁₃₈- ВНЗ tVID мыши и II: *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ + YopE₁₋₁₃₈- IRF3 Ser397Asp мыши. Содержание белка в суммарных лизатах бактерий («А») и преципитированных

супернатантах культуры («В») анализировали с помощью вестернблоттинга с применением антитела против YopE. Представленные цифры указывают молекулярную массу в кДа при соответствующей высоте.

Фиг. 25: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS в иммунные клетки – путь Rig1 и STING.

5 Доставка доменов Card Rig1 мыши и ферментов, образующих циклические динуклеотиды, приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток RAW264.7. Репортерные клетки RAW264.7 инфицировали I: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на 10 полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-DncV *V. cholerae*, III: YopE₁₋₁₃₈-DisA-подобный белок *B. cereus*, IV: YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона или V: YopE₁₋₁₃₈-домены Card Rig1 мыши. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (VI: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (VII: ОП650), 15 которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 26: Колонизация опухоли инъецированными в.в. штаммами *Y. enterocolitica* на модели аллотрансплантата рака молочной железы B16F10.

20 Мышам C57BL/6 дикого типа с п.к. аллотрансплантатом раковых клеток меланомы B16F10 в.в. инъецировали I: ФБР, II: 1×10^7 *Y. enterocolitica* dHOPEMT, III: *Y. enterocolitica* dHOPEMT + pYV-YopE₁₋₁₃₈ – CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши или IV: *Y. enterocolitica* dHOPEMT ΔHairpinI-VirF + pYV-YopE₁₋₁₃₈ - CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, когда опухоль достигала размера 100 – 315 мм³. Число бактерий в опухолях указано в виде колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм 25 ткани (V). Подсчет проводили в опухолях в день 5 или 8 после инфекции. Каждая точка представляет отдельную мышь. Горизонтальная пунктирная линия обозначает предел обнаружения.

Фиг. 27: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – RIG1.

30 Доставка доменов CARD RIG1 человека и мыши приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₅ RIG1 человека, III: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, IV: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₂₉ RIG1 мыши, V: YopE₁₋

138-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (VI: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (VII: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 28: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – RIG1. Доставка доменов CARD RIG1 человека и мыши приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток RAW. Репортерные клетки RAW инфицировали I: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₅ RIG1 человека, III: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, IV: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₂₉ RIG1 мыши, V: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (VI: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (VII: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 29: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь MDA5. Доставка MDA5 мыши приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-MDA5₁₋₂₉₄ мыши, III: YopE₁₋₁₃₈-MDA5₁₋₂₃₁ мыши. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (IV: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (V: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 30: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – MAVS. Доставка CARD MAVS приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-

домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, III: YopE₁₋₁₃₈-cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, IV: YopE₁₋₁₃₈-CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (V: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (VI: ОП650),
 5 которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 31: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – MAVS. Доставка CARD MAVS приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток макрофагов RAW.

10 Репортерные клетки макрофагов RAW инфицировали I: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, III: YopE₁₋₁₃₈-cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, IV: YopE₁₋₁₃₈-CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (V: указано в МЗ), проводили для каждого
 15 штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (VI: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 32: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь STING. Доставка ферментов, образующих циклические динуклеотиды, приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-cGAS
 20 анемона, III: YopE₁₋₁₃₈-cGAS₆₀₋₄₂₂ анемона, IV: YopE₁₋₁₃₈-cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, V: YopE₁₋₁₃₈-CdaA₁₀₁₋₂₇₃ Listeria, VI: YopE₁₋₁₃₈- DncV *V. cholerae*, VII: YopE₁₋₁₃₈-DisA-подобный белок *B. cereus*. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (VIII: обозначено как МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (IX:
 25 ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 33: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – путь STING. Доставка ферментов, образующих циклические динуклеотиды, приводит к индукции ИФН I типа в

ИФН-репортерной линии клеток макрофагов RAW. Репортерные клетки макрофагов RAW инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона, III: YopE₁₋₁₃₈-cGAS₆₀₋₄₂₂ анемона, IV: YopE₁₋₁₃₈-cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, V: YopE₁₋₁₃₈-CdaA₁₀₁₋₂₇₃ Listeria, VI: YopE₁₋₁₃₈- DncV V. cholerae, VII: YopE₁₋₁₃₈-DisA-подобный белок *B. cereus*. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (VIII: обозначено как M3), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (IX: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 34: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS и сравнение с низкомолекулярными агонистами STING. Доставка ферментов, образующих циклические динуклеотиды, приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона, III: YopE₁₋₁₃₈-cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, IV: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши. Проводили титрование бактерий, добавленных к клеткам (V: указано в M3), и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (VI: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 35: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS и сравнение с низкомолекулярными агонистами STING. Доставка циклического динуклеотида приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток B16F10. Репортерные клетки B16F10 обрабатывали низкомолекулярным агонистом STING 2'3'-c-di-AM(PS)₂ (Rp,Rp). Проводили титрование соединения (I: указано в микромолях), и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (II: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 36: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS и сравнение с низкомолекулярными агонистами STING. Доставка ферментов, образующих циклические динуклеотиды, приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток RAW. Репортерные клетки RAW инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде II: YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона, III: YopE₁₋₁₃₈-cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, IV: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши). Проводили титрование бактерий, добавленных к клеткам (V: указано в МЗ), и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (VI: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 37: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS и сравнение с низкомолекулярными агонистами STING. Доставка циклического динуклеотида приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток RAW. Репортерные клетки RAW обрабатывали низкомолекулярным агонистом STING 2'3'-c-di-AM(PS)₂ (Rp,Rp). Проводили титрование соединения (I: указано в микромолях), и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной щелочной фосфатазы (II: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 38: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS и доказательство зависимости от T3SS – RIG1 и MAVS. Доставка доменов CARD RIG1 или CARD MAVS, слитых с YopE₁₋₁₃₈, приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной линии клеток RAW, которая является строго T3SS-зависимой. Репортерные клетки RAW инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, или II: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT-yopB, или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде III: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, V: YopE₁₋₁₃₈-CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека, или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT-yopB, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде IV: YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, VI: YopE₁₋₁₃₈-CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (VII: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности секретированной

люциферазы Luc² (VIII: ОП650), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Фиг. 39: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS в неочищенной смеси клеток из изолята опухоли – RIG1. Доставка доменов CARD RIG1, слитых с YopE₁₋₁₃₈, приводит к индукции ИФН I типа в неочищенном изоляте опухоли. Мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы EMT6 умерщвляли, когда опухоль достигала объема >200 мм³. Опухоли растирали, расщепляли и высевали в виде суспензии отдельных клеток на 24-луночных планшетах. Такие клетки от двух различных опухолей инфицировали I и III: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или II и IV: *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (V: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали с применением ELISA для интерферона бета (VI: пикограмм/миллилитр). Пунктирные линии обозначают соответствующие необработанные опухоли, I/II и III/IV каждый представляют собой клетки, полученные из одной и той же опухоли.

Фиг. 40: Прогрессирование опухоли у мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы EMT6. Мышам Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы EMT6 внутриопухолево инъецировали ФБР, когда опухоль достигала размера 60 – 130 мм³. День первой внутриопухолево инъецирования ФБР обозначали как день 0, лечение проводили в д0, д1, д5, д6, д10 и д11. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (I: с дня -11 по день 80 после первой инъецирования бактерий) с помощью штангенциркуля. Относительный объем опухоли (объем опухоли в соответствующий день, разделенный на объем опухоли в д0) в мм³ показан в виде логарифмически (log-2) преобразованных данных (II) для каждой мыши.

Фиг. 41: Прогрессирование опухоли у мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы EMT6. Мышам Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы EMT6 внутриопухолево инъецировали $7,5 \cdot 10^7$ *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, когда опухоль достигала размера 60 – 130 мм³. День первой внутриопухолево инъецирования бактерий обозначали как день 0, лечение проводили в д0, д1, д5, д6,

д10 и д11. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (I: с дня -11 по день 80 после первой инъекции бактерий) с помощью штангенциркуля. Относительный объем опухоли (объем опухоли в соответствующий день, разделенный на объем опухоли в д0) в мм³ показан в виде логарифмически (log-2) преобразованных данных (II) для каждой мыши.

Фиг. 42: Прогрессирование опухоли у мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы ЕМТ6. Мышам Balb/C

дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы ЕМТ6 внутриопухолево инъецировали $7,5 * 10^7$ *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ, кодируемого на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, когда опухоль достигала размера 60 – 130 мм³. День первой внутриопухолево инъецирования бактерий обозначали как день 0, лечение проводили в д0, д1, д5, д6, д10 и д11. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (I: с дня -11 по день 80 после первой инъекции бактерий) с помощью штангенциркуля. Относительный объем опухоли (объем опухоли в соответствующий день, разделенный на объем опухоли в д0) в мм³ показан в виде логарифмически (log-2) преобразованных данных (II) для каждой мыши.

Фиг. 43: Прогрессирование опухоли у мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы ЕМТ6. Мышам Balb/C

дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы ЕМТ6 внутриопухолево инъецировали $7,5 * 10^7$ *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ, кодируемого на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-сGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, когда опухоль достигала размера 60 – 130 мм³. День первой внутриопухолево инъецирования бактерий обозначали как день 0, лечение проводили в д0, д1, д5, д6, д10 и д11. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (I: с дня -11 по день 80 после первой инъекции бактерий) с помощью штангенциркуля. Относительный объем опухоли (объем опухоли в соответствующий день, разделенный на объем опухоли в д0) в мм³ показан в виде логарифмически (log-2) преобразованных данных (II) для каждой мыши.

Фиг. 44: Прогрессирование опухоли у мышей Balb/C дикого типа с повторной антигенной стимуляцией п.к. на противоположной стороне клетками рака молочной железы ЕМТ6 после первой полной ремиссии.

Мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы ЕМТ6 лечили, как описано выше (фиг. 40-43), внутриопухолево $7,5 * 10^7$

II: *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ, кодируемого на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, III: *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ, кодируемого на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-сGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, когда опухоль достигала размера 60 – 130 мм³. День
 5 внутриопухолевого инъекции бактерий обозначали как день 0. Мышам с полной регрессией опухоли (или I: мышам, ранее не использованным в экспериментах, в качестве контроля) на противоположную сторону вводили п.к. аллотрансплантат клеток рака молочной железы ЕМТ6. Объем опухоли измеряли в течение
 10 следующих дней (IV: вплоть до дня 80 после первой инъекции бактерий) с помощью штангенциркуля. Указан абсолютный объем опухоли (V) в мм³ для каждой мыши.

Фиг. 45: Прогрессирование опухоли у мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы ЕМТ6. Мышам Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы ЕМТ6 в.в.
 15 инъецировали I: ФБР или $5 * 10^6$ II: *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ, III: *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ pYV-YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂, IV: *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ ΔHairpinI-VirF pYV-YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂, V: *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ ΔHairpinI-VirF Δasd pYV-asd-YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂, когда опухоль достигала размера 80 – 250 мм³. День в.в. инъекции бактерий обозначали как день
 20 0, все мыши получали и.п. (интраперитонеально) Десферал в д-1. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (VI: с дня 0 по день 15 после первой инъекции бактерий) с помощью штангенциркуля. Указана медиана объема опухоли (VII) в мм³.

Фиг. 46: Прогрессирование опухоли у мышей C57BL/6 дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток меланомы B16F10. Мышам C57BL/6 дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток меланомы B16F10 внутриопухолево
 25 инъецировали I: ФБР или $7,5 * 10^7$ II: *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ, III: кодируемого на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, IV: *Y. enterocolitica* dНОРЕМТ, кодируемого на полученной из
 30 pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-сGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, когда опухоль достигала размера 60 – 130 мм³. День первой внутриопухолевого инъекции бактерий обозначали как день 0, лечение проводили в д0, д1, д2, д3, д6 и д9. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (V: дни) с помощью штангенциркуля. Указан средний объем опухоли (VI) в мм³.

Фиг. 47: Биораспределение *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* на модели аллотрансплантата меланомы мыши B16F10: оценка физического внешнего вида. I: Дни, II: доля мышей с оценкой, III: *Y. enterocolitica* MRS40 ДТ (дикого типа), IV: *Y. enterocolitica* ΔуорН,О,Р,Е,М,Т. Стрелка указывает на день в.в. инъекции 2×10^5 бактерий.

Фиг. 48: Биораспределение *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* на модели аллотрансплантата меланомы мыши B16F10: оценка поведения. I: Дни, II: доля мышей с оценкой, III: *Y. enterocolitica* MRS40 ДТ, IV: *Y. enterocolitica* ΔуорН,О,Р,Е,М,Т. Стрелка указывает на день в.в. инфекции 2×10^5 бактерий.

Фиг. 49: Биораспределение *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* на модели аллотрансплантата меланомы мыши B16F10: масса тела мышей. Массу тела мышей оценивали ежедневно после в.в. инфекции бактерий. I: Дни, II: масса тела в граммах, III: *Y. enterocolitica* MRS40 ДТ, IV: *Y. enterocolitica* ΔуорН,О,Р,Е,М,Т. Стрелка указывает на день в.в. инфекции 2×10^5 бактерий.

Фиг. 50: Биораспределение *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* на модели аллотрансплантата меланомы мыши B16F10: биораспределение *Y. enterocolitica* ΔуорН,О,Р,Е,М,Т. Подсчет в органах в указанное время оценивали с помощью гомогенизации органа, серийного разведения и подсчета образованных в результате колониеобразующих единиц (КОЕ). День в.в. инъекции бактерий обозначали как день 0, все мыши получали и.п. Десферал в д-1. I: *Y. enterocolitica* ΔуорН,О,Р,Е,М,Т, II: КОЕ на грамм ткани или мл крови, III: день 1, IV: день 4, V: кровь, VI: селезенка, VII: печень, VIII: легкие, IX: опухоль. * обозначает мышь, у которой отсутствовала видимая опухоль.

Фиг. 51: Биораспределение *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* на модели аллотрансплантата меланомы мыши B16F10: биораспределение *Y. enterocolitica* MRS40 ДТ. Подсчет в органах в указанное время оценивали с помощью гомогенизации органа, серийного разведения и подсчета образованных в результате колониеобразующих единиц (КОЕ). День в.в. инъекции бактерий обозначали как день 0, все мыши получали и.п. Десферал в д-1. I: *Y. enterocolitica* MRS40 ДТ, II: КОЕ на грамм ткани или мл крови, III: день 1, IV: день 4, V: кровь, VI: селезенка, VII: печень, VIII: легкие, IX: опухоль.

Фиг. 52: Доставка белков, индуцирующих ответ интерферона I типа, с помощью бактериальной T3SS – MAVS, доставленный с помощью бактериальной T3SS, функционирует независимо от эндогенного MAVS.

Доставка CARD MAVS с помощью T3SS приводит к индукции ИФН I типа в ИФН-репортерной (люцифераза) линии клеток макрофагов RAW MAVS^{KO}. Репортерные клетки макрофагов RAW MAVS^{KO} инфицировали I: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT или II: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT-yopB, III: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека или IV: *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT-yopB, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека. Титрование бактерий, добавленных к клеткам (V: указано в МЗ), проводили для каждого штамма, и стимуляцию ИФН оценивали на основании активности люциферазы (VI: ОЕЛ – относительные единицы люминесценции), которая находится под контролем промотора I-ISG54, состоящего из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.

Подробное описание изобретения

Настоящее изобретение относится к рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммам бактерий и их применению в способе лечения рака, например, злокачественной солидной опухоли, у субъекта.

С целью толкования настоящего описания будут применяться следующие определения, и, где это применимо, термины, используемые в единственном числе, будут также включать множественное число, и наоборот. Следует понимать, что терминология, используемая в настоящем документе, предназначена исключительно для описания конкретных вариантов реализации, а не для ограничения.

25

Термин «грамотрицательный штамм бактерий» в настоящем документе включает следующие бактерии: *Aeromonas salmonicida*, *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas veronii*, *Anaeromyxobacter dehalogenans*, *Bordetella bronchiseptica*, *Bordetella parapertussis*, *Bordetella pertussis*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Burkholderia cenocepacia*, *Burkholderia cepacia*, *Burkholderia mallei*, *Burkholderia pseudomallei*, *Chlamydia muridarum*, *Chlamydia trachomatis*, *Chlamydia abortus*, *Chlamydia pneumoniae*, *Chromobacterium violaceum*, *Citrobacter rodentium*, *Desulfovibrio vulgaris*, *Edwardsiella tarda*, *Endozoicomonas elysicola*, *Erwinia*

amylovora, *Escherichia albertii*, *Escherichia coli*, *Lawsonia intracellularis*,
Mesorhizobium loti, *Myxococcus xanthus*, *Pantoea agglomerans*, *Photobacterium*
damselae, *Photorhabdus luminescens*, *Photorhabdus temperate*, *Pseudoalteromonas*
spongiae, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas plecoglossicida*, *Pseudomonas*
5 *syringae*, *Ralstonia solanacearum*, *Rhizobium sp*, *Salmonella enterica* и другие
Salmonella sp, *Shigella flexneri* и другие *Shigella sp*, *Sodalis glossinidius*, *Vibrio*
alginolyticus, *Vibrio azureus*, *Vibrio campellii*, *Vibrio caribbenthicus*, *Vibrio harvey*,
Vibrio parahaemolyticus, *Vibrio tasmaniensis*, *Vibrio tubiashii*, *Xanthomonas*
axonopodis, *Xanthomonas campestris*, *Xanthomonas oryzae*, *Yersinia enterocolitica*,
10 *Yersinia pestis*, *Yersinia pseudotuberculosis*. Предпочтительными
граммотрицательными штаммами бактерий согласно настоящему изобретению
являются грамотрицательные штаммы бактерий, которые относятся к
семействам *Enterobacteriaceae* и *Pseudomonadaceae*. Грамотрицательный штамм
бактерий согласно настоящему изобретению обычно используют для доставки
15 гетерологичных белков с помощью бактериальной T3SS в эукариотические
клетки *in vitro* и/или *in vivo*, предпочтительно, *in vivo*.

Термин «рекомбинантный аттенуированный по вирулентности
граммотрицательный штамм бактерий» в настоящем документе обозначает
рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм
20 бактерий, генетически трансформированный нуклеотидной молекулой, такой как
вектор. Вирулентность такого рекомбинантного грамотрицательного штамма
бактерий обычно аттенуирована в результате делеции бактериальных
эффекторных белков, обладающих вирулентной активностью, которые
транспортируются одним или несколькими бактериальными белками, которые
25 являются частью аппарата системы секреции. Такие эффекторные белки
доставляются аппаратом системы секреции в клетки-хозяева, в которых они
проявляют свою вирулентную активность в отношении различных белков
хозяина и механизмов клетки. Известно множество различных эффекторных
белков, которые транспортируются различными типами систем секреции и
30 демонстрируют широкий репертуар биохимических активностей,
модулирующих функции регуляторных молекул хозяина. Вирулентность
рекомбинантного грамотрицательного штамма бактерий в настоящем документе
может быть дополнительно аттенуирована вследствие отсутствия сидерофора, в

норме или иногда продуцируемого граммотрицательным штаммом бактерий, в результате чего штамм не продуцирует сидерофор, например, является дефицитным по продукции сидерофора. Таким образом, в предпочтительном варианте реализации применяют рекомбинантный аттенуированный по вирулентности граммотрицательный штамм бактерий, в котором отсутствует сидерофор, в норме или иногда продуцируемый граммотрицательным штаммом бактерий, в результате чего штамм не продуцирует сидерофор, например, является дефицитным по продукции сидерофора, более предпочтительно, применяют штамм *Yersinia*, в частности, *Y. enterocolitica* MRS40 Δ*uorH,O,P,E,M,T*, *Y. enterocolitica* MRS40 Δ*uorH,O,P,E,M,T* Δ*HairpinI-virF* или *Y. enterocolitica* MRS40 Δ*uorH,O,P,E,M,T* Δ*asd pYV-asd*, с отсутствием сидерофора, в норме или иногда продуцируемого граммотрицательным штаммом бактерий, в результате чего штамм не продуцирует сидерофор, например, является дефицитным по продукции сидерофора, в частности, является дефицитным по продукции иерсиниябактина. *Y. enterocolitica* MRS40 Δ*uorH,O,P,E,M,T*, который является дефицитным по продукции иерсиниябактина, был описан в публикации WO02077249 и был депонирован 24-го сентября 2001 года согласно Будапештскому договору о международном признании депонирования микроорганизмов для целей патентной процедуры в бельгийских Согласованных коллекциях микроорганизмов (Belgian Coordinated Collections of Microorganisms, BCCM); данному штамму был присвоен учетный номер LMG P-21013. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности граммотрицательный штамм бактерий, предпочтительно, не продуцирует по меньшей мере один, предпочтительно, по меньшей мере два сидерофора, например, является дефицитным по продукции по меньшей мере одного, предпочтительно, по меньшей мере двух сидерофоров, более предпочтительно, рекомбинантный аттенуированный по вирулентности граммотрицательный штамм бактерий не продуцирует ни одного сидерофора.

Термины «сидерофор», «сидерофор железа» или «хелатор железа», которые используются в настоящем документе взаимозаменяемо, обозначают соединения с высокой аффинностью к железу, например, малые соединения с высокой аффинностью к железу.

Сидерофоры грамотрицательных бактерий представляют собой, например, энтеробактин и дигидроксibenzoилсерин, синтезируемые *Salmonella*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Shigella*, *Serratia* (но используемые всеми энтеробактериями), пиовердины, синтезируемые *Pseudomonas*, вибриобактин, синтезируемый *Vibrio*, ацинетобактин и ацинетоферрин, синтезируемые *Acinetobacter*, иерсиниябактин и аэробактин, синтезируемые *Yersinia*, орнибактин, синтезируемый *Burkholderia*, сальмохелин, синтезируемый *Salmonella*, аэробактин, синтезируемый *Escherichia*, *Shigella*, *Salmonella* и *Yersinia*, алкалин, синтезируемый *Bordetella*, бизукаберин, синтезируемый *Vibrio*.

Сидерофоры включают гидроксамат, катехолат и сидерофоры со смешанными лигандами. На сегодняшний день несколько сидерофоров были одобрены для применения у людей, а именно для лечения перенасыщения железом. Предпочтительными сидерофорами являются дефероксамин (также известный как десферриоксамин В, десфероксамин В, DFO-B, DFOA, DFB или Десферал), десферриоксамин Е, деферазирокс (Эксиджад, Десирокс, Дефриджет, Десифер) и деферипрон (Феррипрокс).

Термин «эндогенный белок, необходимый для роста», в настоящем документе обозначает белки рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, без которых грамотрицательный штамм бактерий не может расти. Эндогенные белки, необходимые для роста, представляют собой, например, фермент, необходимый для продукции аминокислоты, фермент, участвующий в биосинтезе пептидогликана, фермент, участвующий в биосинтезе ЛПС (липополисахарида), фермент, участвующий в синтезе нуклеотида, или фактор инициации трансляции.

Термин «фермент, необходимый для продукции аминокислоты», в настоящем документе обозначает ферменты, которые связаны с продукцией аминокислоты рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий и без которых грамотрицательный штамм бактерий не может расти. Ферменты, необходимые для продукции аминокислоты, представляют собой, например, аспартат-бета-полуальдегид-дегидрогеназу (*asd*), глутаминсинтетазу (*glnA*), триптофанил-тРНК-синтетазу (*trpS*) или серин-гидроксиметил-трансферазу (*glyA*), или транскетолазу 1 (*tktA*), транскетолазу 2 (*tktB*), рибулозофосфат 3-эпимеразу (*rpe*), рибозо-5-фосфат-изомеразу А (*rpiA*),

трансальдолазу А (talA), трансальдолазу В (talB),
 фосфорибозилпирофосфатсинтазу (prs), АТФ-фосфорибозилтрансферазу (hisG),
 бифункциональный белок биосинтеза гистидина HisIE (hisI), 1-(5-
 фосфорибозил)-5-[(5-фосфорибозиламино)метиленамино] имидазол-4-
 5 карбоксамидизомеразу (hisA), субъединицу HisH
 имидазолглицеролфосфатсинтазы (hisH), субъединицу HisF
 имидазолглицеролфосфатсинтазы (hisF), бифункциональный белок биосинтеза
 гистидина HisB (hisB), гистидинолфосфат-аминотрансферазу (hisC),
 гистидинолдегидрогеназу (hisD), 3-дегидрохинатсинтазу (aroB), 3-
 10 дегидрохинатдегидратазу (aroD), шикиматдегидрогеназу (NADP(+)) (aroE),
 шикиматкиназу 2 (aroL), шикиматкиназу 1 (aroK), 3-фосфошикимат 1-
 карбоксивинилтрансферазу (aroA), хоризматсинтазу (aroC), Р-белок (pheA), Т-
 белок (tyrA), аминотрансферазу ароматических аминокислот (tyrB), фосфо-2-
 дегидро-3-дезоксигептонатаьдолазу (aroG), фосфо-2-дегидро-3-
 15 дезоксигептонатаьдолазу (aroH), фосфо-2-дегидро-3-дезоксигептонатаьдолазу
 (aroF), хинат/шикимат-дегидрогеназу (ydiB), АТФ-зависимый изофермент 6-
 фосфофруктокиназы 1 (pfkA), АТФ-зависимый изофермент 6-
 фосфофруктокиназы 2 (pfkB), фруктозо-бисфосфатаьдолазу класса 2 (fbaA),
 фруктозо-бисфосфатаьдолазу класса 1 (fbaB), триозофосфат-изомеразу (tpiA),
 20 пируваткиназу I (pykF), пируваткиназу II (pykA), глицеральдегид-3-
 фосфатдегидрогеназу А (gapA), фосфоглицераткиназу (pgk), 2,3-
 бисфосфоглицерат-зависимую фосфоглицератмутазу (gpmA), 2,3-
 бисфосфоглицерат-независимую фосфоглицератмутазу (gpmM/yibO),
 предполагаемую фосфоглицератмутазу (ytjC/gpmB), енолазу (eno), D-3-
 25 фосфоглицератдегидрогеназу (serA), фосфосеринаминотрансферазу (serC),
 фосфосеринфосфатазу (serB), L-сериндегидратазу 1 (sdaA), L-сериндегидратазу
 2 (sdaB), L-треониндегидратазу катаболическую (tdcB), L-треониндегидратазу
 биосинтетическую (ilvA), L-сериндегидратазу (tdcG), серинацетилтрансферазу
 (cysE), цистеинсинтазу А (cysK), цистеинсинтазу В (cysM), бета-цистатионазу
 30 (malY), цистатионин бета-лиазу (metC), 5-метилтетрагидроптероилтриглутамат-
 гомоцистеин-метилтрансферазу (metE), метионинсинтазу (metH), S-
 аденозилметионинсинтазу (metK), цистатионин гамма-синтазу (metB),
 гомосерин О-сукцинилтрансферазу (metA), 5'-метилтиоаденозин/S-
 аденозилгомоцистеин-нуклеозидазу (mtnN), S-рибозилгомоцистеинлиазу (luxS),

цистатион бета-лиазу, цистатион гамма-лиазу, серин-гидроксиметилтрансферазу (glyA), глицин-гидроксиметилтрансферазу (itaE), малую субъединицу 3-изопропилмалатдегидратазы (leuD), большую субъединицу 3-изопропилмалатдегидратазы (leuC), 3-изопропилмалатдегидрогеназу (leuB), L-треониндегидратазу биосинтетическую (ilvA), большую субъединицу

5 изофермента 3 ацетолактатсинтазы (ilvI), малую субъединицу изофермента 3 ацетолактатсинтазы (ilvH), малую субъединицу изофермента 1 ацетолактатсинтазы (ilvN), малую субъединицу изофермента 2 ацетолактатсинтазы (ilvM), кетол-кислотную редуктоизомеразу (NADP(+))

10 (ilvC), дегидратазу дигидроксикислоты (ilvD), аминотрансферазу аминокислот с разветвленной цепью (ilvE), бифункциональную дегидрогеназу аспартокиназы/гомосерина 1 (thrA), бифункциональную дегидрогеназу аспартокиназы/гомосерина 2 (metL), 2-изопропилмалатсинтазу (leuA), глутамат-пируват-аминотрансферазу (alaA), аспартат-аминотрансферазу (aspC),

15 бифункциональную дегидрогеназу аспартокиназы/гомосерина 1 (thrA), бифункциональную дегидрогеназу аспартокиназы/гомосерина 2 (metL), лизин-чувствительную аспартокиназу 3 (lysC), аспартат-полуальдегид-дегидрогеназу (asd), 2-кето-3-дезоксигалактонат-альдолазу (yagE), 4-гидрокси-тетрагидродипиколинатсинтазу (dapA), 4-гидрокси-тетрагидродипиколинат-

20 редуктазу (dapB), 2,3,4,5-тетрагидропиридин-2,6-дикарбоксилат N-сукцинилтрансферазу (dapD), сукцинил-диаминопимелат-десукцинилазу (dapE), диаминопимелат-эпимеразу (dapF), предполагаемую лиазу (yjhH), ацетилорнитин/сукцинилдиаминопимелат-аминотрансферазу (argD), цитратсинтазу (gltA), аконитатгидратазу B (acnB), аконитатгидратазу A (acnA),

25 неохарактеризованную предполагаемую аконитатгидратазу (ybhJ), изоцитратдегидрогеназу (icd), аспартат-аминотрансферазу (aspC), глутамат-пируват-аминотрансферазу (alaA), большую цепь глутаматсинтазы [NADPH] (gltB), малую цепь глутаматсинтазы [NADPH] (gltD), глутаминсинтетазу (glnA), ацетилтрансферазу аминокислот (argA), ацетилглутаматкиназу (argB), N-ацетил-

30 гамма-глутамил-фосфат-редуктазу (argC), ацетилорнитин/сукцинилдиаминопимелат-аминотрансферазу (argD), ацетилорнитин-деацетилазу (argE), цепь F орнитинкарбамоилтрансферазы (argF), цепь I орнитинкарбамоилтрансферазы (argI), аргининосукцинатсинтазу (argG), аргининосукцинатлиазу (argH), глутамат 5-киназу (proB), гамма-

глутамилфосфатредуктазу (proA), пирролин-5-карбоксилатредуктазу (proC), орнитинциклодеаминазу, лейцин-тРНК лигазу (leuS), глутамин-тРНК лигазу (glnS), серин-тРНК лигазу (serS), бета-субъединицу глицин-тРНК лигазы (glyS), альфа-субъединицу глицин-тРНК лигазы (glyQ), тирозин-тРНК лигазу (tyrS), треонин-тРНК лигазу (thrS), альфа-субъединицу фенилаланин-тРНК лигазы (pheS), бета-субъединицу фенилаланин-тРНК лигазы (pheT), аргинин-тРНК лигазу (argS), гистидин-тРНК лигазу (hisS), валин-тРНК лигазу (valS), аланин-тРНК лигазу (alaS), изолейцин-тРНК лигазу (ileS), пролин-тРНК лигазу (proS), цистеин-тРНК лигазу (cysS), аспарагин-тРНК лигазу (asnS), аспартат-тРНК лигазу (aspS), глутамат-тРНК лигазу (gltX), триптофан-тРНК лигазу (trpS), бета-субъединицу глицин-тРНК лигазы (glyS), метионин-тРНК лигазу (metG), лизин-тРНК лигазу (lysS). Предпочтительные ферменты, необходимые для продукции аминокислоты, представляют собой tktA, rpe, prs, argK, tyrB, argH, fbaA, gapA, pgk, eno, tdcG, cysE, metK, glyA, asd, dapA/B/D/E/F, argC, proC, leuS, glnS, serS, glyS/Q, tyrS, thrS, pheS/T, argS, hisS, valS, alaS, ileS, proS, cysS, asnS, aspS, gltX, trpS, glyS, metG, lysS, более предпочтительные ферменты представляют собой asd, glyA, leuS, glnS, serS, glyS/Q, tyrS, thrS, pheS/T, argS, hisS, valS, alaS, ileS, proS, cysS, asnS, aspS, gltX, trpS, glyS, metG, lysS, наиболее предпочтительный фермент представляет собой asd.

20

Термины «грамотрицательный штамм бактерий, дефицитный по продукции аминокислоты, необходимой для роста», и «ауксотрофный мутант» используются в настоящем документе взаимозаменяемо и обозначают грамотрицательные штаммы бактерий, которые не могут расти при отсутствии по меньшей мере одной обеспечиваемой экзогенно незаменимой аминокислоты или ее предшественника. Аминокислота, по продукции которой штамм является дефицитным, представляет собой, например, аспартат, мезо-2,6-диаминопимелиновую кислоту, ароматические аминокислоты или лейцин-аргинин. Такой штамм может быть получен, например, в результате делеции гена аспартат-бета-полуальдегид-дегидрогеназы (Δ asd). Такой ауксотрофный мутант не может расти при отсутствии экзогенной мезо-2,6-диаминопимелиновой кислоты. Мутация, например, делеция гена аспартат-бета-полуальдегид-дегидрогеназы, является в настоящем документе предпочтительной для

30

грамотрицательного штамма бактерий, дефицитного по продукции аминокислоты, необходимой для роста, согласно настоящему изобретению.

Термин «грамотрицательный штамм бактерий, дефицитный по продукции белков адгезии, связывающихся с поверхностью эукариотической клетки или 5 внеклеточным матриксом», обозначает мутантные грамотрицательные штаммы бактерий, которые не экспрессируют по меньшей мере один белок адгезии по сравнению с белками адгезии, экспрессируемыми соответствующим штаммом дикого типа. Белки адгезии могут включать, например, протяженные 10 полимерные молекулы адгезии, такие как пили/фимбрии, или нефимбриальные адгезины. Фимбриальные адгезины включают пили 1 типа (такие как Fim-пили *E. coli* с адгезином FimH), P-пили (такие как Pap-пили с адгезином PapG из *E. coli*), пили 4 типа (такие как белок пилин, например, из *P. aeruginosa*) или карлин (белки Csg с адгезином CsgA из *S. enterica*). Нефимбриальные адгезины 15 включают тримерные адгезины-аутоотранспортеры, такие как YadA из *Y. enterocolitica*, BraA (*B. pseudomallei*), Hia (*H. influenzae*), BadA (*B. henselae*), NadA (*N. meningitidis*) или UspA1 (*M. catarrhalis*), а также другие адгезины-аутоотранспортеры, такие как AIDA-1 (*E. coli*), а также другие адгезины/инвазины, такие как InvA из *Y. enterocolitica* или интимин (*E. coli*), либо члены семейства Dr 20 или семейства Afa (*E. coli*). Термины YadA и InvA в настоящем документе обозначают белки из *Y. enterocolitica*. Аутоотранспортер YadA ⁷ связывается с различными формами коллагена, а также фибронектина, в то время как инвазин InvA ⁸ связывается с β -интегринами в мембране эукариотической клетки. Если грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Y. enterocolitica*, 25 штамм, предпочтительно, является дефицитным по InvA и/или YadA.

В настоящем документе термин «семейство *Enterobacteriaceae*» включает семейство грамотрицательных палочкообразных факультативно анаэробных 30 бактерий, обнаруживаемых в почве, воде, растениях и животных, которые часто присутствуют у позвоночных в качестве патогенов. Бактерии данного семейства характеризуются подобной физиологией и демонстрируют консервативность функциональных элементов и генов соответствующих геномов. Также, будучи

оксидаза-отрицательными, все члены данного семейства сбрасывают глюкозу, и большинство из них являются нитратвосстанавливающими.

Бактерии *Enterobacteriaceae* согласно настоящему изобретению могут представлять собой любую бактерию из данного семейства и конкретно

5 включают, без ограничения, бактерии следующих родов: *Escherichia*, *Shigella*, *Edwardsiella*, *Salmonella*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Proteus*, *Erwinia*, *Morganella*, *Providencia* или *Yersinia*. В более конкретных вариантах реализации бактерия относится к виду *Escherichia coli*, *Escherichia blattae*, *Escherichia fergusonii*, *Escherichia hermannii*, *Escherichia vulneris*, *Salmonella*

10 *enterica*, *Salmonella bongori*, *Shigella dysenteriae*, *Shigella flexneri*, *Shigella boydii*, *Shigella sonnei*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter gergoviae*, *Enterobacter sakazakii*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter agglomerans*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Serratia marcescens*, *Yersinia pseudotuberculosis*, *Yersinia pestis*, *Yersinia enterocolitica*, *Erwinia amylovora*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*,

15 *Proteus penneri*, *Proteus hauseri*, *Providencia alcalifaciens* или *Morganella morganii*. Предпочтительно, грамотрицательный штамм бактерий выбран из группы, состоящей из родов *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Pseudomonas*, *Chlamydia*, *Erwinia*, *Pantoea*, *Vibrio*, *Burkholderia*, *Ralstonia*, *Xanthomonas*, *Chromobacterium*, *Sodalis*, *Citrobacter*, *Edwardsiella*, *Rhizobiae*, *Aeromonas*,

20 *Photobacterium*, *Bordetella* и *Desulfovibrio*, более предпочтительно, из группы, состоящей из родов *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella* и *Pseudomonas*, наиболее предпочтительно, из группы, состоящей из родов *Yersinia* и *Salmonella*, в частности, *Yersinia*.

25 Термин «*Yersinia*» в настоящем документе включает все виды *Yersinia*, включая *Yersinia enterocolitica*, *Yersinia pseudotuberculosis* и *Yersinia pestis*. Предпочтительным является *Yersinia enterocolitica*.

Термин «*Salmonella*» в настоящем документе включает все виды *Salmonella*,

30 включая *Salmonella enterica* и *S. bongori*. Предпочтительным является *Salmonella enterica*.

«Промотор» в настоящем документе обозначает последовательность нуклеиновой кислоты, которая регулирует экспрессию единицы транскрипции.

«Область промотора» представляет собой регуляторную область, способную связываться с РНК-полимеразой в клетке и инициировать транскрипцию кодирующей последовательности, находящейся ниже по течению (в направлении 3'). В области промотора находится сайт инициации транскрипции (который обычно определяют посредством картирования с помощью нуклеазы S1), а также белок-связывающие домены (консенсусные последовательности), отвечающие за связывание РНК-полимеразы, такие как предполагаемая область -35 и бокс Прибнова. Термин «функционально связанный» при описании взаимодействия между двумя нуклеотидами, например, участками ДНК, обозначает ничто иное как то, что данные участки функционально связаны друг с другом и расположены на одном и том же фрагменте нуклеиновой кислоты. Промотор функционально связан со структурным геном, если он контролирует транскрипцию гена и расположен на том же фрагменте нуклеиновой кислоты, что и ген. Обычно промотор является функциональным в указанном граммотрицательном штамме бактерий, т.е. промотор способен экспрессировать слитый белок согласно настоящему изобретению, т.е. промотор способен экспрессировать слитый белок согласно настоящему изобретению без дополнительного применения генетической инженерии или экспрессии дополнительных белков. Более того, функциональный промотор в природе не должен быть контррегулируемым применительно к бактериальной T3SS.

Термин «внехромосомный генетический элемент» в настоящем документе обозначает генетический элемент, отличный от хромосомы, содержащийся эндогенно в граммотрицательном штамме бактерий согласно настоящему изобретению, такой как плазида вирулентности, или который представляет собой экзогенный генетический элемент, которым трансформирован граммотрицательный штамм бактерий и который временно или стабильно интегрирован в хромосому или в генетический элемент, отличный от хромосомы, содержащийся эндогенно, такой как плазида вирулентности. Такой внехромосомный генетический элемент может представлять собой вектор, такой как вектор экспрессии, вектор для гомологичной рекомбинации или другого типа интеграции в хромосому или в генетический элемент, отличный от хромосомы, содержащийся эндогенно, такой как плазида вирулентности, фрагменты ДНК для гомологичной рекомбинации или другого типа интеграции в хромосому или

в генетический элемент, отличный от хромосомы, содержащийся эндогенно, такой как плаزمида вирулентности или элемент РНК, направляющий сайт-специфическую вставку в хромосому или в генетический элемент, отличный от хромосомы, содержащийся эндогенно, такой как плазмида вирулентности, такая как CRISPR/Cas9, и связанная направляющая РНК.

Термин «термочувствительная область РНК» в настоящем документе обозначает чувствительную к температуре некодирующую последовательность РНК, которая регулирует экспрессию связанных генов. Обычно термочувствительные области РНК функционируют посредством образования вторичной структуры, такой как шпилечная петля РНК, которая стабильно образуется при репрессивной температуре и является нестабильной при пермиссивной температуре и которая маскирует последовательность РНК, необходимую для трансляции, такую как участок связывания рибосомы, таким образом, регулируя экспрессию гена, связанного с такой последовательностью РНК, необходимой для трансляции.

Термин «шпилечная структура РНК или ее части» в настоящем документе обозначает вторичную структуру РНК, образованную в результате внутримолекулярного спаривания оснований, которое приводит к образованию структуры «петля на стебле». Внутримолекулярное спаривание оснований, обычно в пределах одной цепи РНК, происходит благодаря комплементарным нуклеотидным последовательностям или их частям.

Термин «ДНК-связывающий белок типа AraC», также обозначаемый как семейство AraC/XylS, в настоящем документе обозначает бактериальные белки регуляции транскрипции, которые связываются с ДНК посредством мотива спираль-петля-спираль. Большинство членов ДНК-связывающих белков типа AraC являются положительными регуляторами транскрипции и могут характеризоваться минимальным ДНК-связывающим доменом, охватывающим фрагмент размером более 100 остатков, содержащим два субдомена спираль-петля-спираль. ДНК-связывающие белки типа AraC конкретно включают, без ограничения: VirF, LcrF, YbtA, Rns, MxiE, AraC, XylS, ExsA, PerA, MmsR, RhaS, TcpN, HrpX, HrpB, GadX, HilC, HilD, MarA, CafR, FapR и InvF. Предпочтительными являются ДНК-связывающие белки типа AraC,

участвующие в регуляции механизмов, связанных с вирулентностью, такие как VirF, LcrF, YbtA, Rns, MxiE, ExsA, PerA, HrpX, HrpB, GadX, HilC, HilD, TcpN, CafR, FapR и InvF. Более предпочтительными являются ДНК-связывающие белки типа AgaC, участвующие в регуляции активности системы секреции третьего типа, такие как VirF, LcrF, MxiE, ExsA, PerA, HrpX, HrpB, GadX, HilC, HilD и InvF, наиболее предпочтительными являются VirF и/или LcrF.

Термин «доставка» в настоящем документе обозначает транспортирование белка из рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий в эукариотическую клетку, включая этапы экспрессии гетерологичного белка в рекомбинантном аттенуированном по вирулентности грамотрицательном штамме бактерий, секрецию экспрессированного белка или белков из такого рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий и транслокацию секретированного белка или белков таким рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммом бактерий в цитозоль эукариотической клетки. Соответственно, термины «сигнал доставки» или «сигнал секреции», которые используются в настоящем документе взаимозаменяемо, обозначают полипептидную последовательность, которая может распознаваться системой секреции и транслокации грамотрицательного штамма бактерий и направляет доставку белка из грамотрицательного штамма бактерий в эукариотические клетки.

Термин «сигнал доставки из бактериального эффекторного белка» в настоящем документе обозначает сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функциональный в рекомбинантном грамотрицательном штамме бактерий, т.е. который обеспечивает секрецию экспрессированного в рекомбинантном грамотрицательном штамме бактерий гетерологичного белка из такого рекомбинантного грамотрицательного штамма бактерий с помощью системы секреции, такой как система секреции III типа, IV типа или VI типа, или транслокацию экспрессированного в рекомбинантном грамотрицательном штамме бактерий гетерологичного белка таким рекомбинантным грамотрицательным штаммом бактерий в цитозоль эукариотической клетки с помощью системы секреции, такой как система секреции III типа, IV типа или VI

типа. Термин «сигнал доставки из бактериального эффекторного белка» в настоящем документе также включает фрагмент сигнала доставки из бактериального эффекторного белка, т.е. более короткие версии сигнала доставки, например, сигнал доставки, содержащий до 10, предпочтительно, до 5 20, более предпочтительно, до 50, еще более предпочтительно, до 100, в частности, до 140 аминокислот сигнала доставки, например, встречающегося в природе сигнала доставки. Таким образом, нуклеотидная последовательность, такая как, например, последовательность ДНК, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, может кодировать полноразмерный сигнал 10 доставки или его фрагмент, причем фрагмент обычно содержит до 30, предпочтительно, до 60, более предпочтительно, до 150, еще более предпочтительно, до 300, в частности, до 420 нуклеиновых кислот.

В настоящем документе «секреция» белка обозначает транспортирование 15 гетерологичного белка наружу через мембрану клетки рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий. «Транслокация» белка обозначает транспортирование гетерологичного белка из рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий через плазматическую мембрану эукариотической клетки в цитозоль такой эукариотической клетки. 20

Термин «бактериальный белок, который является частью аппарата системы секреции», в настоящем документе обозначает бактериальные белки, образующие важные компоненты бактериальной системы секреции 3 типа 25 (Т3SS), системы секреции 4 типа (Т4SS) и системы секреции 6 типа (Т6SS), предпочтительно, Т3SS. Без таких белков соответствующая система секреции является нефункциональной при транслокации белков в клетки-хозяева, даже если все другие компоненты системы секреции и бактериальный эффекторный белок, подлежащий транслокации, все еще кодируются и продуцируются.

30

Термин «бактериальный эффекторный белок» в настоящем документе обозначает бактериальные белки, транспортируемые системами секреции, например, бактериальными белками, которые являются частью аппарата системы секреции, в клетки-хозяева. Такие эффекторные белки доставляются

посредством системы секреции в клетку-хозяин, в которой они проявляют, например, вирулентную активность в отношении различных белков хозяина и аппаратов клетки. Известно множество различных эффекторных белков, которые транспортируются различными типами систем секреции и демонстрируют широкий репертуар биохимических активностей, модулирующих функции регуляторных молекул хозяина. Системы секреции включают систему секреции 3 типа (Т3SS), систему секреции 4 типа (Т4SS) и систему секреции 6 типа (Т6SS). Некоторые эффекторные белки (такие как IpaC *Shigella flexneri*) также относятся к классу бактериальных белков, которые являются частью аппарата системы секреции и обеспечивают транслокацию белка. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий в настоящем документе обычно содержит бактериальные белки, образующие необходимые компоненты бактериальной системы секреции 3 типа (Т3SS), системы секреции 4 типа (Т4SS) и/или системы секреции 6 типа (Т6SS), предпочтительно, системы секреции 3 типа (Т3SS). Термин «бактериальные белки, образующие необходимые компоненты бактериальной Т3SS», в настоящем документе обозначает белки, которые в природе образуют инъектисому, например, инъекционную иглу, или которые иным способом являются необходимыми для ее функционирования при транслокации белков в эукариотические клетки. Белки, образующие инъектисому или иным способом являющиеся необходимыми для ее функционирования при транслокации белков в эукариотические клетки, включают, без ограничения:

SctC, YscC, MxiD, InvG, SsaC, EscC, HrcC, HrcC (секретин), SctD, YscD, MxiG, Prg, SsaD, EscD, HrpQ, HrpW, FliG (внешний белок М-кольца), SctJ, YscJ, MxiJ, PrgK, SsaJ, EscJ, HrcJ, HrcJ, FliF (внутренний белок М-кольца), SctR, YscR, Spa24, SpaP, SpaP, SsaR, EscR, HrcR, HrcR, FliP (малый белок аппарата экспорта), SctS, YscS, Spa9 (SpaQ), SpaQ, SsaS, EscS, HrcS, HrcS, FliQ (малый белок аппарата экспорта), SctT, YscT, Spa29 (SpaR), SpaR, SsaT, EscT, HrcT, HrcT, FliR (малый белок аппарата экспорта), SctU, YscU, Spa40, SpaS, SpaS, SsaU, EscU, HrcU, HrcU, FlhB (белок-переключатель аппарата экспорта), SctV, YscV, MxiA, InvA, SsaV, EscV, HrcV, HrcV, FlhA (большой белок аппарата экспорта), SctK, YscK, MxiK, OrgA, HrpD (вспомогательный цитозольный белок), SctQ, YscQ, Spa33, SpaO, SpaO, SsaQ, EscQ, HrcQA+B, HrcQ, FliM + FliN (белок С-кольца), SctL, YscL, MxiN, OrgB, SsaK, EscL, Orf5, HrpE, HrpF, FliH (статор), SctN, YscN, Spa47, SpaL,

InvC, SsaN, EscN, HrcN, HrcN, FliI (АТФазa), SctO, YscO, Spa13, SpaM, InvI, SsaO, Orf15, HrpO, HrpD, FliJ (Stalk), SctF, YscF, MxiH, PrgI, SsaG, EscF, HrpA, HrpY (белок филамента иглы), SctI, YscI, MxiI, PrgJ, SsaI, EscI, rOrf8, HrpB, HrpJ, (внутренний белок палочки), SctP, YscP, Spa32, SpaN, InvJ, SsaP, EscP, Orf16,
 5 HrpP, HraP, FliK (регулятор длины иглы), LcrV, IpaD, SipD (гидрофильный транслокатор, белок конца иглы), YopB, IpaB, SipB, SseC, EspD, HrpK, PopF1, PopF2 (гидрофобный транслокатор, поровый белок), YopD, IpaC, SipC, SseD, EspB (гидрофобный транслокатор, поровый белок), YscW, MxiM, InvH (пилотин), SctW, YopN, MxiC, InvE, SsaL, SepL, HrpJ, HraA (привратник).

10

Термин «эффекторный белок Т6SS» или «бактериальный эффекторный белок Т6SS» в настоящем документе обозначает белки, которые в природе инжектируются системами Т6S в цитозоль эукариотических клеток или бактерий, и белки, которые в природе секретируются системами Т6S, которые
 15 могут, например, образовывать транслокационные поры в эукариотической мембране. Термин «эффекторный белок Т4SS» или «бактериальный эффекторный белок Т4SS» в настоящем документе обозначает белки, которые в природе инжектируются системами Т4S в цитозоль эукариотических клеток, и белки, которые в природе секретируются системами Т4S, которые могут,
 20 например, образовывать транслокационную пору в эукариотической мембране.

20

Термин «эффекторный белок Т3SS» или «бактериальный эффекторный белок Т3SS» в настоящем документе обозначает белки, которые в природе инжектируются системами Т3S в цитозоль эукариотических клеток, и белки, которые в природе секретируются системами Т3S, которые могут, например,
 25 образовывать транслокационную пору в эукариотической мембране (включая порообразующие транслокаторы (такие как YopB и YopD *Yersinia*) и белки конца иглы, такие как LcrV *Yersinia*). Предпочтительно, применяют белки, которые в природе инжектируются системами Т3S в цитозоль эукариотических клеток. Данные факторы вирулентности парализуют или перепрограммируют
 30 эукариотическую клетку с пользой для патогена. Эффекторы Т3S демонстрируют широкий репертуар биохимических активностей, модулируют функцию критических регуляторных молекул хозяина и включают AvrA, AvrB, AvrBs2, AvrBS3, AvrBsT, AvrD, AvrD1, AvrPphB, AvrPphC, AvrPphE_{Pto}, AvrPpiB_{Pto}, AvrPto, AvrPtoB, AvrRpm1, AvrRpt2, AvrXv3, CigR, EspF, EspG, EspH, EspZ,

30

ExoS, ExoT, GogB, GtgA, GtgE, белки семейства GALA, HopAB2, HopAO1, HopI1, HopM1, HopN1, HopPtoD2, HopPtoE, HopPtoF, HopPtoN, HopU1, HsvB, IcsB, IpaA, IpaB, IpaC, IpaH, IpaH7.8, IpaH9.8, IpgB1, IpgB2, IpgD, LcrV, Map, OspC1, OspE2, OspF, OspG, OspI, PipB, PipB2, PopB, PopP2, PthXo1, PthXo6,
 5 PthXo7, SifA, SifB, SipA/SspA, SipB, SipC/SspC, SipD/SspD, SlrP, SopA, SopB/SigD, SopD, SopE, SopE2, SpiC/SsaB, SptP, SpvB, SpvC, SrfH, SrfJ, Sse, SseB, SseC, SseD, SseF, SseG, SseI/SrfH, SseJ, SseK1, SseK2, SseK3, SseL, SspH1, SspH2, SteA, SteB, SteC, SteD, SteE, TccP2, Tir, VirA, VirPphA, VopF, XopD, YopB, YopD, YopE, YopH, YopJ, YopM, YopO, YopP, YopT, YpkA.

10

Термин «рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, накапливающийся в злокачественной солидной опухоли», или «рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий накапливается в злокачественной солидной
 15 опухоли» в настоящем документе обозначает рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, который реплицируется в злокачественной солидной опухоли, посредством этого увеличивая число бактерий данного рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий внутри злокачественной солидной
 20 опухоли. Неожиданно было обнаружено, что рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий после введения субъекту накапливается специфично в злокачественной солидной опухоли, т.е. накапливается специфично в органе, в котором присутствует злокачественная опухоль, причем число бактерий рекомбинантного аттенуированного по
 25 вирулентности грамотрицательного штамма бактерий в органах, в которых не присутствует злокачественная солидная опухоль, является низким или не обнаруживаемым.

В случае внеклеточного обитания бактерий, таких как *Yersinia*, бактерии преимущественно накапливаются в межклеточном пространстве, образованном
 30 между опухолевыми клетками. Внутриклеточно растущие бактерии, такие как *Salmonella*, преимущественно оккупируют опухолевые клетки и будут обитать внутри таких клеток, хотя также может наблюдаться внеклеточное накопление. Число бактерий рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, накопленное внутри злокачественной

солидной опухоли, может находиться, например, в диапазоне от 10^4 до 10^9 бактерий на грамм опухолевой ткани.

5 Термин «рак» в настоящем документе обозначает заболевание, при котором абнормальные клетки делятся без контроля и могут инвазировать прилежащие
ткани. Раковые клетки могут также распространяться в другие части тела через
кровеносную и лимфатическую системы. Существует несколько основных типов
рака. Карцинома представляет собой рак, который возникает в коже или тканях,
выстилающих или покрывающих внутренние органы. Саркома представляет
10 собой рак, который возникает в кости, суставе, жире, мышцах, кровеносных
сосудах или другой соединительной или поддерживающей ткани. Лейкоз
представляет собой рак, который возникает в кроветворяющей ткани, такой как
костный мозг, и вызывает образование и поступление в кровь большого
количества абнормальных кровяных клеток. Лимфома и множественная миелома
15 представляют собой типы рака, которые возникают в клетках иммунной системы.
Типы рака центральной нервной системы представляют собой типы рака,
которые возникают в тканях головного мозга и спинного мозга. Термин «рак» в
настоящем документе включает солидные опухоли, т.е. злокачественные
солидные опухоли, такие как, например, саркомы, карциномы и лимфомы, и
20 несолидные опухоли, такие как, например, лейкозы (типы рака крови).
Злокачественные солидные опухоли являются предпочтительными.

Термин «злокачественная солидная опухоль» или «признак злокачественной
солидной опухоли» в настоящем документе обозначает абнормальную массу
ткани, которая обычно не содержит кисты или жидкие области. Солидные
25 опухоли могут являться доброкачественными (нераковыми) или
злокачественными (раковыми). Злокачественные солидные опухоли лечат
способами согласно настоящему изобретению. Различные типы злокачественных
солидных опухолей называют по типу клеток, которые их образуют. Примерами
злокачественных солидных опухолей являются саркомы, карциномы и лимфомы.
30 Лейкозы (рак крови) обычно не образуют злокачественные солидные опухоли
(определение согласно Национальному институту рака Национального центра
здоровья США). Злокачественные солидные опухоли включают, без
ограничения, абнормальную массу клеток, которые могут происходить из
различных типов тканей, таких как печень, толстая кишка, ободочная и прямая

кишка, кожа, молочная железа, поджелудочная железа, шейка матки, тело матки, мочевого пузыря, желчный пузырь, почки, гортань, губа, полость рта, пищевод, яичник, предстательная железа, желудок, яички, щитовидная железа или легкие и, таким образом, включают злокачественные солидные опухоли печени, толстой

5 кишки, ободочной и прямой кишок, кожи, молочной железы, поджелудочной железы, шейки матки, тела матки, мочевого пузыря, желчного пузыря, почек, гортани, губы, полости рта, пищевода, яичника, предстательной железы, желудка, яичек, щитовидной железы или легких. Предпочтительными злокачественными солидными опухолями, которые можно лечить способами

10 согласно настоящему изобретению, являются злокачественные солидные опухоли, которые происходят из кожи, молочной железы, печени, поджелудочной железы, мочевого пузыря, предстательной железы и толстой кишки и, таким образом, включают злокачественные солидные опухоли кожи, молочной железы, печени, поджелудочной железы, мочевого пузыря,

15 предстательной железы и толстой кишки. В равной степени предпочтительными злокачественными солидными опухолями, которые можно лечить способами согласно настоящему изобретению, являются злокачественные солидные опухоли, связанные с раком печени, такие как гепатоклеточная карцинома.

20 Термин «бактериальный эффекторный белок, который является вирулентным в отношении эукариотических клеток», в настоящем документе обозначает бактериальные эффекторные белки, которые транспортируются системами секреции в клетки-хозяева, в которых они проявляют свою вирулентную активность в отношении различных белков и клеточных аппаратов хозяина.

25 Известно множество различных эффекторных белков, которые транспортируются различными типами систем секреции и демонстрируют широкий репертуар биохимических активностей, модулирующих функции регуляторных молекул хозяина. Системы секреции включают систему секреции 3 типа (T3SS), систему секреции 4 типа (T4SS) и систему секреции 6 типа (T6SS).

30 Важно отметить, что некоторые эффекторные белки, которые являются вирулентными в отношении эукариотических клеток (такие как IpaC *Shigella flexneri*), также относятся к классу бактериальных белков, которые являются частью аппарата системы секреции. В случае если бактериальный эффекторный белок, который является вирулентным в отношении эукариотических клеток,

также является необходимым для функционирования аппарата секреции, такой белок исключают из данного определения. Эффекторные белки T3SS, которые являются вирулентными в отношении эукариотических клеток, обозначают белки, такие как YopE, YopH, YopJ, YopM, YopO, YopP, YopT *Y. enterocolitica*,
 5 или OspF, IpgD, IpgB1 *Shigella flexneri*, или SopE, SopB, SptP *Salmonella enterica*, или ExoS, ExoT, ExoU, ExoY *P. aeruginosa*, или Tir, Map, EspF, EspG, EspH, EspZ *E. coli*. Эффекторные белки T4SS, которые являются вирулентными в отношении эукариотических клеток, обозначают белки, такие как LidA, SidC, SidG, SidH, SdhA, SidJ, SdjA, SdeA, SdeA, SdeC, LepA, LepB, WipA, WipB, YlfA, YlfB, VipA,
 10 VipF, VipD, VpdA, VpdB, DrrA, LegL3, LegL5, LegL7, LegLC4, LegLC8, LegC5, LegG2, Ceg10, Ceg23, Ceg29 *Legionella pneumophila*, или BepA, BepB, BepC, BepD, BepE, BepF BepG *Bartonella henselae*, или VirD2, VirE2, VirE3, VirF *Agrobacterium tumefaciens*, или CagA *H. Pylori*, или коклюшный токсин *Bordetella pertussis*. Эффекторные белки T6SS, которые являются вирулентными в
 15 отношении эукариотических клеток, обозначают белки, такие как белки VgrG *Vibrio cholerae* (такие как VgrG1).

Термин «эффекторный белок T3SS, который является вирулентным в отношении эукариотических клеток», или «эффекторный белок бактериальной T3SS,
 20 который является вирулентным в отношении эукариотических клеток», в настоящем документе обозначает белки, которые в природе инжестируются системами T3S в цитозоль эукариотических клеток, и белки, которые в природе секретируются системами T3S, которые могут, например, образовывать транслокационную пору в эукариотической мембране, которые представляют
 25 собой факторы вирулентности в отношении эукариотических клеток, т.е. белки парализуют или перепрограммируют эукариотическую клетку с пользой для патогена. Эффекторы демонстрируют широкий репертуар биохимических активностей и модулируют функцию критических регуляторных механизмов хозяина, таких как, например, фагоцитоз и актиновый цитоскелет, передача
 30 воспалительных сигналов, апоптоз, эндоцитоз или секреторные пути передачи сигналов^{2,9}, и включают AvrA, AvrB, AvrBs2, AvrBS3, AvrBsT, AvrD, AvrD1, AvrPphB, AvrPphC, AvrPphE_{Pto}, AvrPpiB_{Pto}, AvrPto, AvrPtoB, AvrRpm1, AvrRpt2, AvrXv3, CigR, EspF, EspG, EspH, EspZ, ExoS, ExoT, GogB, GtgA, GtgE, белки семейства GALA, HopAB2, HopAO1, HopI1, HopM1, HopN1, HopPtoD2,

HopPtoE, HopPtoF, HopPtoN, HopU1, HsvB, IcsB, IpaA, IpaH, IpaH7.8, IpaH9.8, IpgB1, IpgB2, IpgD, LcrV, Map, OspC1, OspE2, OspF, OspG, OspI, PipB, PipB2, PopB, PopP2, PthXo1, PthXo6, PthXo7, SifA, SifB, SipA/SspA, SlrP, SopA, SopB/SigD, SopD, SopE, SopE2, SpiC/SsaB, SptP, SpvB, SpvC, SrfH, SrfJ, Sse, SseB, SseC, SseD, SseF, SseG, SseI/SrfH, SseJ, SseK1, SseK2, SseK3, SseL, SspH1, SspH2, SteA, SteB, SteC, SteD, SteE, TccP2, Tir, VirA, VirPphA, VopF, XopD, YopE, YopH, YopJ, YopM, YopO, YopP, YopT, YpkA.

Эффекторные гены T3SS *Yersinia*, которые являются вирулентными в эукариотической клетке и могут быть делетированы/подвержены мутации, например, из *Y. enterocolitica*, представляют собой YopE, YopH, YopM, YopO, YopP (также называемый YopJ) и YopT¹⁰. Соответствующие эффекторные гены, которые являются вирулентными в эукариотической клетке, могут быть делетированы/подвержены мутации из *Shigella flexneri* (например, OspF, IpgD, IpgB1), *Salmonella enterica* (например, SopE, SopB, SptP), *P. aeruginosa* (например, ExoS, ExoT, ExoU, ExoY) или *E. coli* (например, Tir, Map, EspF, EspG, EspH, EspZ). Последовательности нуклеиновой кислоты данных генов доступны специалистам в данной области техники, например, в базе данных Genebank (yopH, yopO, yopE, yopP, yopM, yopT из NC_002120 GI:10955536; эффекторные белки *S. flexneri* из AF386526.1 GI:18462515; эффекторы *S. enterica* из NC_016810.1 GI:378697983 или FQ312003.1 GI:301156631; эффекторы *P. aeruginosa* из AE004091.2 GI:110227054 или CP000438.1 GI:115583796 и эффекторные белки *E. coli* из NC_011601.1 GI:215485161).

Для целей настоящего изобретения гены обозначаются строчными буквами и курсивом для отличия от белков. В случае если гены (обозначенные строчными буквами и курсивом) следуют за названием вида бактерий (такого как *E. coli*), они обозначают мутацию соответствующего гена в соответствующем виде бактерий. Например, YopE обозначает эффекторный белок, кодируемый геном *yopE*. *Y. enterocolitica yopE* представляет собой *Y. enterocolitica*, содержащий мутацию в гене *yopE*.

В настоящем документе термины «полипептид», «пептид», «белок», «полипептидный» и «пептидный» используются взаимозаменяемо и обозначают

серию остатков аминокислот, соединенных друг с другом пептидными связями между альфа-амино- и карбоксильными группами соседних остатков. Предпочтительными являются белки, которые содержат аминокислотную последовательность, содержащую по меньшей мере 10 аминокислот, более
5 предпочтительно, по меньшей мере 20 аминокислот.

Согласно настоящему изобретению «гетерологичный белок» включает встречающиеся в природе белки или их часть, а также включает искусственно сконструированные белки или их часть. В настоящем документе термин
10 «гетерологичный белок» обозначает белок или его часть, отличный от эффекторного белка T3SS или его N-концевого фрагмента, с которым эффекторный белок может быть слит. В частности, гетерологичный белок в настоящем документе обозначает белок или его часть, которая не относится к протеому, т.е. всему природному белку, составляющему конкретный
15 рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, предложенный и применяемый в настоящем изобретении, например, который не относится к протеому, т.е. всему природному белку, составляющему конкретный штамм бактерий рода *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella* или *Pseudomonas*. Обычно гетерологичный белок получен из животного, включая
20 человека. Предпочтительно, гетерологичный белок представляет собой белок человека или его часть. Более предпочтительно, гетерологичный белок выбран из группы, состоящей из белков, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, регуляторов клеточного цикла, белков анкириновых повторов, белков передачи
25 сигналов клетки, репортерных белков, факторов транскрипции, протеаз, малых ГТФаз, белков, связанных с GPCR (G-Protein Coupled Receptor, рецептор, сопряженный с G-белком), слитых конструкций нанотел и нанотел, эффекторов бактериальной T3SS, эффекторов бактериальной T4SS и вирусных белков. В особенности предпочтительный гетерологичный белок выбран из группы,
30 состоящей из белков, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, регуляторов клеточного цикла, белков анкириновых повторов, репортерных белков, малых ГТФаз, белков, связанных с GPCR, слитых конструкций нанотел, эффекторов бактериальной T3SS, эффекторов бактериальной T4SS и вирусных

белков. Еще более предпочтительными являются гетерологичные белки, выбранные из группы, состоящей из белков, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, регуляторов клеточного цикла и белков анкириновых повторов. Наиболее предпочтительными являются белки, участвующие в апоптозе или регуляции апоптоза, или белки, участвующие в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), в частности, белки, участвующие в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), такие как гетерологичные белки животных, предпочтительно, человека, участвующие в апоптозе или регуляции апоптоза, или белки человека, участвующие в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН). Белки, участвующие в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), предпочтительно, представляют собой белки, участвующие в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН) I типа, более предпочтительно, белки человека, участвующие в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН) I типа.

В некоторых вариантах реализации грамтрицательный штамм бактерий согласно настоящему изобретению содержит две нуклеотидные последовательности, кодирующие идентичные или два различных гетерологичных белка, слитых независимо друг от друга в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка.

В некоторых вариантах реализации грамтрицательный штамм бактерий согласно настоящему изобретению содержит три нуклеотидные последовательности, кодирующие идентичные или три различных гетерологичных белка, слитых независимо друг от друга в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка.

Гетерологичный белок, экспрессируемый рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамтрицательным штаммом бактерий, обычно характеризуется молекулярной массой от 1 до 150 кДа, предпочтительно, от 1 до 120 кДа, более предпочтительно, от 1 до 100 кДа, наиболее предпочтительно, от 10 до 80 кДа.

В некоторых вариантах реализации часть гетерологичного белка содержит домен гетерологичного белка. Таким образом, в некоторых вариантах реализации

грамотрицательный штамм бактерий согласно настоящему изобретению содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую домен гетерологичного белка. Предпочтительно, грамотрицательный штамм бактерий согласно настоящему изобретению содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую один или два домена гетерологичного белка, более предпочтительно, два домена гетерологичного белка.

В некоторых вариантах реализации грамотрицательный штамм бактерий согласно настоящему изобретению содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую повторяющиеся домены гетерологичного белка или два или более доменов различных гетерологичных белков, слитых в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка.

Термин «гетерологичные белки, которые относятся к одному функциональному классу белков», в настоящем документе обозначает гетерологичные белки, которые выполняют одну и ту же функцию, например, гетерологичные белки, обладающие ферментативной активностью, гетерологичные белки, которые действуют в одном и том же пути передачи сигналов, таком как, например, регуляция клеточного цикла, или характеризуются общим специфичным свойством, такие как, например, относятся к одному классу бактериальных эффекторных белков. Функциональные классы белков представляют собой, например, белки, участвующие в апоптозе или регуляции апоптоза, белки, которые действуют в качестве регуляторов клеточного цикла, белки анкириновых повторов, белки передачи сигналов клетки, белки, участвующие в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), репортерные белки, факторы транскрипции, протеазы, малые ГТФазы, белки, связанные с GPCR, слитые конструкции нанотел и нанотела, эффекторы бактериальной T3SS, эффекторы бактериальной T4SS или вирусные белки, которые действуют совместно в биологическом процессе установления вирулентности в отношении эукариотических клеток.

Согласно настоящему изобретению «домен гетерологичного белка» включает домены встречающихся в природе белков, а также включает домены

искусственно сконструированных белков. В настоящем документе термин «домен гетерологичного белка» обозначает домен гетерологичного белка, отличный от домена эффекторного белка T3SS, или домен, отличный от домена, содержащего его N-концевой фрагмент, с которым может быть слит эффекторный белок для получения слитого белка. В частности, домен гетерологичного белка в настоящем документе обозначает домен гетерологичного белка, который не относится к протеому, т.е. всему природному белку, составляющему конкретный рекомбинантный граммотрицательный штамм бактерий, предложенный и применяемый в настоящем изобретении, например, который не относится к протеому, т.е. всему природному белку, составляющему конкретный штамм бактерий рода *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella* или *Pseudomonas*. Обычно домен гетерологичного белка получен из животного, включая человека. Предпочтительно, домен гетерологичного белка представляет собой домен белка человека. Более предпочтительно, домен гетерологичного белка представляет собой домен белка, выбранный из группы, состоящей из белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, белков, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), регуляторов клеточного цикла, белков анкириновых повторов, белков передачи сигналов клетки, репортерных белков, факторов транскрипции, протеаз, малых ГТФаз, белков, связанных с GPCR, слитых конструкций нанотел и нанотел, эффекторов бактериальной T3SS, эффекторов бактериальной T4SS и вирусных белков. В особенности предпочтительный домен гетерологичного белка представляет собой домен белка, выбранный из группы, состоящей из белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, белков, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), регуляторов клеточного цикла, белков анкириновых повторов, репортерных белков, малых ГТФаз, белков, связанных с GPCR, слитых конструкций нанотел, эффекторов бактериальной T3SS, эффекторов бактериальной T4SS и вирусных белков. В особенности еще более предпочтительными являются домены гетерологичных белков, выбранные из группы, состоящей из белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, белков, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), регуляторов клеточного цикла и белков анкириновых повторов. Наиболее предпочтительными являются домены белков, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), таких как белки животных, участвующие

в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), предпочтительно, домены гетерологичных белков человека, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН).

- 5 Термин «повторяющиеся домены гетерологичного белка» в настоящем документе обозначает слитый белок, состоящий из нескольких повторов домена гетерологичного белка, причем данные домены могут быть либо напрямую слиты друг с другом, либо между доменами может быть введен вариабельный линкер, например, линкер размером от 1 до 30, предпочтительно, от 2 до 15, более
- 10 предпочтительно, от 3 до 10 аминокислот. Предпочтительно, применяют повторяющиеся идентичные домены или повторяющиеся домены, которые характеризуются идентичностью аминокислотной последовательности более 80 %, обычно более 85 %, предпочтительно, более 90 %, еще более предпочтительно, более 95 %, в частности, более 96%, более конкретно, более
- 15 97%, еще более конкретно, более 98 %, наиболее конкретно, более 99%. Также предпочтительными являются идентичные домены, которые характеризуются идентичностью аминокислот, составляющей 100 %. Предпочтительно, в слитом белке, как указано в настоящем документе, содержатся два повторяющихся домена, более предпочтительно, два повторяющихся идентичных домена или два
- 20 повторяющихся домена, которые характеризуются идентичностью аминокислотной последовательности более 90 %, предпочтительно, более 95%, наиболее предпочтительно, 100 %. В настоящем изобретении также предусмотрены более двух, например, три, четыре, пять или шесть повторяющихся доменов.
- 25 Термин «два или более доменов различных гетерологичных белков» в настоящем документе обозначает слитый белок, состоящий из одного или нескольких повторов по меньшей мере двух доменов различных гетерологичных белков, например, по меньшей мере двух доменов гетерологичных белков, которые характеризуются идентичностью аминокислотной последовательности 80% или
- 30 менее, предпочтительно, 60% или менее, более предпочтительно, 40% или менее, причем данные домены могут быть либо напрямую слиты друг с другом, либо между доменами может быть введен вариабельный линкер, например, линкер размером от 1 до 30, предпочтительно, от 2 до 15, более предпочтительно, от 3 до 10 аминокислот. Предпочтительно, два домена различных гетерологичных

белков содержатся в слитом белке, как указано в настоящем документе. В настоящем изобретении также предусмотрены более двух, например, три, четыре, пять или шесть доменов различных гетерологичных белков.

- 5 Домен гетерологичного белка, экспрессируемый рекомбинантным грамотрицательным штаммом бактерий, обычно характеризуется молекулярной массой от 1 до 50 кДа, предпочтительно, от 1 до 30 кДа, более предпочтительно, от 1 до 20 кДа, наиболее предпочтительно, от 1 до 10 кДа.
- 10 Согласно настоящему изобретению «белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН», включают, без ограничения, cGAS, STING, TRIF, TBK1, ИККэпсилон, IRF3, TREX1, VPS34, ATG9a, DDX3, LC3, DDX41, IFI16, MRE11, DNA-ПК, RIG1, MDA5, LGP2, IPS-1/MAVS/кардиф/VISA, Trim25, Trim32, Trim56, риплет, TRAF2, TRAF3, TRAF5, TANK, IRF3, IRF7, IRF9, STAT1,
- 15 STAT2, PKR, TLR3, TLR7, TLR9, DAI, IFI16, IFIX, MRE11, DDX41, LSm14A, LRRFIP1, DHX9, DHX36, DHX29, DHX15, Ku70, IFNAR1, IFNAR2, TYK2, JAK1, ISGF3, IL10R2, IFNLR1, IFNGR1, IFNGR2, JAK2, STAT4, ферменты, образующие циклические динуклеотиды (циклазы циклического ди-АМФ, циклического ди-ГМФ и циклического ди-ГАМФ), такие как WspR, DncV, DisA
- 20 и DisA-подобный белок, CdaA, CdaS и cGAS или их фрагменты.

- Согласно настоящему изобретению «белки участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа», включают, без ограничения, cGAS, STING, TRIF, TBK1, ИККэпсилон, IRF3, TREX1, VPS34, ATG9a, DDX3, LC3, DDX41, IFI16,
- 25 MRE11, DNA-ПК, RIG1, MDA5, LGP2, IPS-1/MAVS/кардиф/VISA, Trim25, Trim32, Trim56, риплет, TRAF2, TRAF3, TRAF5, TANK, IRF3, IRF7, IRF9, STAT1, STAT2, PKR, TLR3, TLR7, TLR9, DAI, IFI16, IFIX, MRE11, DDX41, LSm14A, LRRFIP1, DHX9, DHX36, DHX29, DHX15, Ku70, ферменты, образующие циклические динуклеотиды (циклазы циклического ди-АМФ,
- 30 циклического ди-ГМФ и циклического ди-ГАМФ), такие как WspR, DncV, DisA и DisA-подобный белок, CdaA, CdaS и cGAS или их фрагменты.

Предпочтительные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбраны из группы, состоящей из cGAS, STING, TRIF, TBK1, ИККэпсилон, IRF3, TREX1, VPS34, ATG9a, DDX3, LC3, DDX41, IFI16, MRE11,

DNA-ПК, RIG1, MDA5, LGP2, IPS-1/MAVS/кардиф/VISA, Trim25, Trim32, Trim56, риплет, TRAF2, TRAF3, TRAF5, TANK, IRF3, IRF7, IRF9, STAT1, STAT2, PKR, LSm14A, LRRFIP1, DHX29, DHX15 и ферментов, образующих циклические динуклеотиды, таких как циклазы циклического ди-АМФ, циклического ди-ГМФ и циклического ди-ГАМФ, выбранные из группы, состоящей из WspR, DncV, DisA и DisA-подобного белка, CdaA, CdaS и cGAS или их фрагментов.

5 Более предпочтительные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбраны из группы, состоящей из cGAS (такого как Uniprot. Q8N884 для белка человека), RIG1 (такого как Uniprot. O95786 для белка человека), MDA5 (такого как Uniprot. Q9BYX4 для белка человека), IPS-1/MAVS (такого как Uniprot. Q7Z434 для белка человека), IRF3 (такого как Uniprot. Q14653 для белка человека), IRF7 (такого как Uniprot. Q92985 для белка человека), IRF9 (такого как Uniprot. Q00978 для белка человека) и ферментов, образующих циклические динуклеотиды, таких как циклазы циклического ди-АМФ, циклического ди-ГМФ и циклического ди-ГАМФ, выбранные из группы, состоящей из WspR (такого как Uniprot. Q9HXT9 для белка *P. aeruginosa*), DncV (такого как Uniprot. Q9KVG7 для белка *V. cholerae*), DisA и DisA-подобного белка (такого как Uniprot. Q812L9 для белка *B. cereus*), CdaA (такого как Uniprot. Q8Y5E4 для белка *L. monocytogenes*), CdaS (такого как Uniprot. O31854 или конститутивная активная мутация L44F, такая как в Seq ID № 114 для белка *B. subtilis*) и cGAS (такого как Uniprot. Q8N884 для белка человека) или фрагментов данных белков.

25 IPS-1/MAVS/кардиф/VISA обозначает эукариотический митохондриальный антивирусный сигнальный белок, содержащий N-концевой домен CARD с идентификатором Uniprot (www.uniprot.org) «Q7Z434» для последовательности человека и «Q8VCF0» для последовательности мыши. Термины «IPS-1/MAVS», «MAVS/IPS-1» и «MAVS» используются в настоящем документе взаимозаменяемо и обозначают эукариотический митохондриальный антивирусный сигнальный белок, содержащий N-концевой домен CARD с идентификатором (www.uniprot.org) «Q7Z434» для последовательности человека и «Q8VCF0» для последовательности мыши.

В некоторых вариантах реализации гетерологичные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбраны из группы, состоящей из белков, содержащих домен CARD или его фрагменты, и ферментов, образующих циклические динуклеотиды, таких как циклазы циклического ди-АМФ, циклического ди-ГМФ и циклического ди-ГАМФ, или их фрагментов.

Фрагмент гетерологичных белков, участвующих в индукции или регуляции ответа ИФН или ответа ИФН I типа, обычно содержит от 25 до 1000 аминокислот, предпочтительно, от 50 до 600 аминокислот, более предпочтительно, от 100 до 400 аминокислот, еще более предпочтительно, от 100 до 362 аминокислот. В некоторых вариантах реализации фрагмент гетерологичных белков, участвующих в индукции или регуляции ответа ИФН или ответа ИФН I типа, содержит N-концевой фрагмент гетерологичных белков, участвующих в индукции или регуляции ответа ИФН или ответа ИФН I типа, который обычно содержит от 25 до 1000 аминокислот, предпочтительно, от 50 до 600 аминокислот, более предпочтительно, от 100 до 400 аминокислот, еще более предпочтительно, от 100 до 362 аминокислот, в частности, от 100 до 246 аминокислот или содержит N-концевой фрагмент гетерологичного белка, участвующего в индукции или регуляции ответа ИФН или ответа ИФН I типа, который содержит делецию аминокислотной последовательности, содержащуюся между аминокислотой 1 и аминокислотой 160 N-концевых аминокислот, предпочтительно, делецию аминокислотной последовательности, содержащую N-концевые аминокислоты 1 – 59 или N-концевые аминокислоты 1 – 160, и причем N-концевой фрагмент гетерологичного белка, участвующий в индукции или регуляции ответа ИФН или ответа ИФН I типа, обычно содержит от 25 до 1000 аминокислот, предпочтительно, от 50 до 600 аминокислот, более предпочтительно, от 100 до 400 аминокислот, еще более предпочтительно, от 100 до 362 аминокислот.

Гетерологичные белки, содержащие фрагмент домена CARD, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН или ответа ИФН I типа, обычно содержат аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 500, предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых

- аминокислот 100 – 400, более предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 300, более предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых
- 5 аминокислот 100 – 294, более предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 246.

- В некоторых вариантах реализации гетерологичные белки, содержащие фрагмент домена CARD, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН или ответа ИФН I типа, содержат аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 294, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 246, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 245, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 229, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 228, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 218, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 217, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 100 и аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 101, более конкретно, аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 245, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую

аминокислоту 228, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 217 и аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 100 домена CARD человека.

В некоторых предпочтительных вариантах реализации гетерологичные белки, содержащие фрагмент домена CARD, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН или ответа ИФН I типа, содержат аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 294, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 246, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 245, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 229, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 228, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 218, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 217, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 100, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 101, более конкретно, аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 245, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 228, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 217 и аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 100 домена CARD человека.

Фрагмент ферментов, образующих циклические динуклеотиды, таких как циклазы циклического ди-АМФ, циклического ди-ГМФ и циклического ди-

ГАМФ, обычно содержит аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 600, предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 50 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 550, более

5 предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 60 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 530, в частности, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 60 до N-концевой аминокислоты 530, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 146 до N-концевой аминокислоты 507 или

10 аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 161 до N-концевой аминокислоты 530, более конкретно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 161 до N-концевой аминокислоты 530 cGAS человека. В некоторых вариантах реализации фрагмент cGAS содержит, в частности, аминокислотную последовательность, выбранную

15 из группы, состоящей из аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 60 и не более чем N-концевую аминокислоту N-концевую аминокислоту 422, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 146 и не более чем N-концевую аминокислоту N-концевую аминокислоту 507, и

20 аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 161 и не более чем N-концевую аминокислоту N-концевую аминокислоту 522. В некоторых вариантах реализации фрагмент cGAS содержит, более конкретно, аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты

25 60 до N-концевой аминокислоты 422, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 146 до N-концевой аминокислоты 507 и аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 161 до N-концевой аминокислоты 522.

30 В более предпочтительном варианте реализации гетерологичный белок, участвующий в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбран из группы, состоящей из RIG1, MDA5 и MAVS/IPS-1, содержащих домен CARD, или их фрагментов, и cGAS и его фрагмента, в частности, выбран из группы, состоящей из RIG1, содержащего домен CARD, и его фрагмента, MAVS/IPS-1, содержащего

домен CARD, и его фрагмента, и cGAS и его фрагмента. Фрагменты данных белков являются в особенности предпочтительными. В данном более предпочтительном варианте реализации RIG1, MDA5 и MAVS/IPS-1, содержащие домен CARD, содержат встречающийся в природе домен или домены CARD и дополнительно С-концевые аминокислоты после встречающегося в природе домена или доменов CARD, содержащие встречающийся в природе геликазный домен в случае RIG-1 или его фрагмента, предпочтительно, фрагмент, содержащий 1 – 500, более предпочтительно, 1 – 250, еще более предпочтительно, 1 – 150 аминокислот, причем встречающийся в природе геликазный домен или его фрагмент не является функциональным, т.е. не связывается с доменом CARD, или содержат в направлении 5' – 3' С-концевую последовательность в случае MAVS/IPS-1 или его фрагмента, предпочтительно, фрагмент, содержащий 1 – 500, более предпочтительно, 1 – 250, еще более предпочтительно, 1 – 150 аминокислот. В данных вариантах реализации cGAS и его фрагмент обычно содержат встречающийся в природе синтазный домен (сердцевину NТазы и С-концевой домен; аминокислоты 160 – 522 cGAS человека, как описано в публикации,⁶⁵ и такой как Uniprot. Q8N884 для белка человека), предпочтительно, cGAS и его фрагмент содержит встречающийся в природе синтазный домен, но содержит делецию части или всего N-концевого домена, предпочтительно, делецию всего N-концевого спирального удлинения (N-концевого спирального удлинения; аминокислоты 1 – 160 cGAS человека, как описано в публикации⁶⁵, и такой как Uniprot. Q8N884 для белка человека). Делеция части или всего N-концевого домена, предпочтительно, представляет собой делецию аминокислот 1 – 59.

В некоторых вариантах реализации гетерологичные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбраны из группы, состоящей из семейства RIG-I-подобного рецептора (RLR) (таких как RIG1 и MDA5) и его фрагмента, других белков, содержащих домен CARD, участвующих в антивирусной передаче сигналов и индукции ИФН I типа (таких как MAVS/IPS-1) и их фрагментов, и ферментов, образующих циклические динуклеотиды, таких как циклазы циклического ди-АМФ, циклического ди-ГМФ и циклического ди-ГАМФ, выбранные из группы, состоящей из WspR, DncV, DisA и DisA-

подобного белка, CdaA, CdaS и cGAS и их фрагментов, которые приводят к стимуляции STING.

5 В некоторых вариантах реализации гетерологичные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбраны из группы, состоящей из RIG1, MDA5, LGP2, MAVS/IPS-1, WspR, DncV, DisA и DisA-подобного белка, CdaA, CdaS и cGAS или их фрагментов, более предпочтительно, выбраны из группы, состоящей из RIG1, WspR, DncV, DisA-подобного белка и cGAS или их фрагментов.

10

В более предпочтительном варианте реализации белок, участвующий в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбран из группы, состоящей из RIG1, MDA5, MAVS/IPS-1, WspR, DncV, DisA и DisA-подобного белка, CdaA и cGAS или их фрагмента, еще более предпочтительно, выбран из группы, состоящей из RIG1, MDA5, MAVS/IPS-1, WspR, DncV, DisA-подобного белка, CdaA и cGAS или их фрагмента, в частности, выбран из группы, состоящей из RIG1, MAVS/IPS-1 и cGAS или их фрагмента. Фрагменты данных белков являются в особенности предпочтительными.

15

В данном более предпочтительном варианте реализации фрагмент RIG1, MDA5, MAVS/IPS-1 обычно содержит аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 500, предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 400, более предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 300.

20

В данном более предпочтительном варианте реализации фрагмент RIG1 содержит аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 246, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 245, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 229, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1

30

и не более чем N-концевую аминокислоту 228, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 218, и аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 217; и фрагмент MAVS/IPS-1 содержит аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 100 и аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 1 и не более чем N-концевую аминокислоту 101.

В данном более предпочтительном варианте реализации фрагмент RIG1 содержит, более конкретно, аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 246, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 245, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 229, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 228, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 218 и аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 217; и фрагмент MAVS/IPS-1 содержит, более конкретно, аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 100 и аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 1 до N-концевой аминокислоты 101.

В данном более предпочтительном варианте реализации фрагмент cGAS обычно содержит аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 1 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 600, предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 50 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 550, более предпочтительно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 60 до любой из N-концевых аминокислот 100 – 530, в частности, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 60 до N-концевой аминокислоты 530, аминокислотную

последовательность от N-концевой аминокислоты 146 до N-концевой аминокислоты 507 или аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 161 до N-концевой аминокислоты 530, более конкретно, аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 60 до N-концевой аминокислоты 530 или аминокислотную последовательность от N-концевой аминокислоты 161 до N-концевой аминокислоты 530 cGAS человека.

В данном более предпочтительном варианте реализации фрагмент cGAS содержит, в частности, аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 60 и не более чем N-концевую аминокислоту N-концевую аминокислоту 422, аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 146 и не более чем N-концевую аминокислоту N-концевую аминокислоту 507, и аминокислотной последовательности, содержащей по меньшей мере N-концевую аминокислоту 161 и не более чем N-концевую аминокислоту N-концевую аминокислоту 522.

В данном более предпочтительном варианте реализации фрагмент cGAS более конкретно содержит аминокислотную последовательность, выбранную из группы, состоящей из аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 60 до N-концевой аминокислоты 422, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 146 до N-концевой аминокислоты 507, аминокислотной последовательности от N-концевой аминокислоты 161 до N-концевой аминокислоты 522.

В еще более предпочтительном варианте реализации белок, участвующий в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбран из группы, состоящей из доменов CARD₁₋₂₄₅ RIG1 человека (SEQ ID NO: 37), доменов CARD₁₋₂₂₈ RIG1 человека (SEQ ID NO: 128), доменов CARD₁₋₂₁₇ RIG1 человека (SEQ ID NO: 129), доменов CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши (SEQ ID NO: 38), доменов CARD₁₋₂₂₉ RIG1 мыши (SEQ ID NO: 110), доменов CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши (SEQ ID NO: 111), домена CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека (SEQ ID NO: 116), домена CARD₁₋₁₀₁ MAVS мыши (SEQ ID NO: 130), cGAS *N. vectensis* (SEQ ID NO: 43), cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека (SEQ ID NO: 115), cGAS₁₄₆₋₅₀₇ мыши (SEQ ID NO: 131) и cGAS₆₀₋₄₂₂ *N. vectensis* (SEQ ID NO: 117).

В конкретном предпочтительном варианте реализации белок участвует в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, причем белок, участвующий в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбран из группы, состоящей из доменов CARD₁₋₂₄₅ RIG1 человека, (SEQ ID NO: 37), доменов CARD₁₋₂₂₈ RIG1 человека (SEQ ID NO: 128), доменов CARD₁₋₂₁₇ RIG1 человека (SEQ ID NO: 129), домена CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека (SEQ ID NO: 116) и cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека (SEQ ID NO: 115).

10 В более конкретном предпочтительном варианте реализации белок, участвующий в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбран из группы, состоящей из доменов CARD₁₋₂₄₅ RIG1 человека, доменов CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, доменов CARD₁₋₂₂₉ RIG1 мыши, доменов CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши, MAVS₁₋₁₀₀ человека, cGAS *N. vectensis*, cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека и cGAS₆₀₋₄₂₂ *N. vectensis*.

15 Семейство RIG-I-подобного рецептора (RLR) содержит белки, выбранные из группы, состоящей из RIG1, MDA5 и LGP2. Предпочтительные гетерологичные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, представляют собой белки RIG1 и MDA5, содержащие домен CARD, в частности, белок RIG1, содержащий домен CARD. Другие белки, содержащие домен CARD, 20 участвующие в индукции ИФН I типа, включают белки, выбранные из группы, состоящей из MAVS/IPS-1.

В некоторых предпочтительных вариантах реализации гетерологичные белки, 25 участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбраны из группы белков, содержащих домен CARD RIG1, домен CARD MDA5 и/или домен CARD MAVS/IPS-1, и WspR, DncV, DisA и DisA-подобного белка, CdaA, CdaS и cGAS и их фрагментов, предпочтительно, выбраны из группы белков, содержащих домен CARD RIG1 и/или домен CARD MAVS/IPS-1, и WspR, DncV, DisA и DisA-подобного белка, CdaA и cGAS или их фрагментов. 30

В некоторых предпочтительных вариантах реализации гетерологичные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбраны из группы, состоящей из домена CARD RIG1, домена CARD MDA5, домена CARD MAVS/IPS-1, WspR, DncV, DisA и DisA-подобного белка, CdaA, CdaS и cGAS,

более предпочтительно, выбраны из группы, состоящей из домена CARD RIG1, WspR, DncV, DisA-подобного белка и cGAS.

5 В некоторых предпочтительных вариантах реализации гетерологичные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, содержат один или несколько (например, два, три или четыре) доменов CARD, предпочтительно, содержат один или несколько (например, два, три или четыре) доменов CARD RIG1, MDA5 и/или MAVS/IPS-1, предпочтительно, RIG1 и/или MAVS/IPS-1. В более предпочтительном варианте реализации гетерологичные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, содержат домены CARD RIG1 или MDA5, в частности, RIG1.

15 В некоторых вариантах реализации гетерологичные белки, участвующие в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, выбраны из группы, состоящей из белка, индуцирующего ответ ИФН I типа, без ферментативной функции или белка, индуцирующего ответ ИФН I типа, с ферментативной функцией. Белок, индуцирующий ответ ИФН I типа, без ферментативной функции, включенный в настоящее изобретение, обычно содержит по меньшей мере один домен CARD, предпочтительно, два домена CARD. Домен CARD обычно состоит из комплекта от шести до семи альфа-спиралей, предпочтительно, упорядоченности от шести до семи антипараллельных альфа-спиралей с гидрофобной сердцевиной и внешней поверхностью, состоящей из заряженных остатков. Белок, индуцирующий ответ ИФН I типа, с ферментативной функцией, включенный в настоящее изобретение, обычно содержит фермент, образующий циклический динуклеотид (циклазы циклического ди-АМФ, циклического ди-ГМФ и циклического ди-ГАМФ) или его домен, которые приводят к стимуляции STING, предпочтительно, диаденилатциклазу (DAC), дигуанилатциклазу (DGC) или ГМФ-АМФ-циклазу (GAC) или их домен.

30 Согласно настоящему изобретению «белки, участвующие в апоптозе или регуляции апоптоза», включают, без ограничения, Bad, Bcl2, Bak, Bmt, Bax, Puma, Noxa, Bim, Bcl-xL, Araf1, каспазу 9, каспазу 3, каспазу 6, каспазу 7, каспазу 10, DFFA, DFFB, ROCK1, APP, CAD, ICAD, CAD, EndoG, AIF, HtrA2, Smac/Diablo, Arts, ATM, ATR, Bok/Mtd, Bmf, Mcl-1(S), семейство IAP, LC8,

PP2B, белки 14-3-3, PKA, PKC, PI3K, Erk1/2, p90RSK, TRAF2, TRADD, FADD, Дахх, каспазу8, каспазу2, RIP, RAIDD, MKK7, JNK, FLIP, FKHR, GSK3, CDK и их ингибиторы, такие как семейство INK4 (p16(Ink4a), p15(Ink4b), p18(Ink4c), p19(Ink4d)) и семейство Cip1/Waf1/Kip1-2 (p21(Cip1/Waf1), p27(Kip1), p57(Kip2).

5 Предпочтительно, применяют Bad, Bmt, Bcl2, Bak, Вах, Puma, Noxa, Vim, Bcl-xL, каспазу9, каспазу3, каспазу6, каспазу7, Smac/Diablo, Bok/Mtd, Bmf, Mcl-1(S), LC8, PP2B, TRADD, Дахх, каспазу8, каспазу2, RIP, RAIDD, FKHR, CDK и их ингибиторы, такие как семейство INK4 (p16(Ink4a), p15(Ink4b), p18(Ink4c), p19(Ink4d)), наиболее предпочтительно, BIM, Bid, усеченный Bid, FADD, каспазу

10 3 (и ее субъединицы), Вах, Bad, Akt, CDK и их ингибиторы, такие как семейство INK4 (p16(Ink4a), p15(Ink4b), p18(Ink4c), p19(Ink4d))¹¹⁻¹³. Дополнительно белки, участвующие в апоптозе или регуляции апоптоза, включают DIVA, Bcl-Xs, Nbk/Bik, Hrk/Dp5, Bid и tBid, Egl-1, Bcl-Gs, цитохром С, беклин, CED-13, BNIP1, BNIP3, Bcl-B, Bcl-W, Ced-9, A1, NR13, Bfl-1, каспазу 1, каспазу 2, каспазу 4,

15 каспазу 5, каспазу 8.

Белки, участвующие в апоптозе или регуляции апоптоза, выбраны из группы, состоящей из проапоптотических белков, антиапоптотических белков, ингибиторов путей, предотвращающих апоптоз, и ингибиторов путей передачи сигналов или путей, способствующих выживанию. Проапоптотические белки

20 включают белки, выбранные из группы, состоящей из Вах, Bak, Diva, Bcl-Xs, Nbk/Bik, Hrk/Dp5, Bmf, Noxa, Puma, Vim, Bad, Bid и tBid, Bok, Araf1, Smac/Diablo, BNIP1, BNIP3, Bcl-Gs, беклина 1, Egl-1 и CED-13, цитохрома С, FADD, семейства каспаз и CDK и их ингибиторов, таких как семейство INK4 (p16(Ink4a), p15(Ink4b), p18(Ink4c), p19(Ink4d)), или выбранные из группы,

25 состоящей из Вах, Bak, Diva, Bcl-Xs, Nbk/Bik, Hrk/Dp5, Bmf, Noxa, Puma, Vim, Bad, Bid и tBid, Bok, Egl-1, Araf1, Smac/Diablo, BNIP1, BNIP3, Bcl-Gs, беклина 1, Egl-1 и CED-13, цитохрома С, FADD и семейства каспаз. Предпочтительными являются Вах, Bak, Diva, Bcl-Xs, Nbk/Bik, Hrk/Dp5, Bmf, Noxa, Puma, Vim, Bad, Bid и tBid, Bok, Egl-1, Araf1, BNIP1, BNIP3, Bcl-Gs, беклин 1, Egl-1 и CED-13,

30 Smac/Diablo, FADD, семейства каспаз, CDK и их ингибиторы, такие как семейство INK4 (p16(Ink4a), p15(Ink4b), p18(Ink4c), p19(Ink4d)). В равной степени предпочтительными являются Вах, Bak, Diva, Bcl-Xs, Nbk/Bik, Hrk/Dp5, Bmf, Noxa, Puma, Vim, Bad, Bid и tBid, Bok, Araf1, BNIP1, BNIP3, Bcl-Gs, беклин 1, Egl-1 и CED-13, Smac/Diablo, FADD, семейства каспаз.

Антиапоптотические белки включают белки, выбранные из группы, состоящей из Bcl-2, Bcl-Xl, Bcl-B, Bcl-W, Mcl-1, Ced-9, A1, NR13, семейства IAP и Bfl-1. Предпочтительными являются Bcl-2, Bcl-Xl, Bcl-B, Bcl-W, Mcl-1, Ced-9, A1, NR13 и Bfl-1.

- 5 Ингибиторы путей, предотвращающих апоптоз, включают белки, выбранные из группы, состоящей из Bad, Noxa и Cdc25A. Предпочтительными являются Bad и Noxa.

Ингибиторы путей передачи сигналов или путей, способствующих выживанию, включают белки, выбранные из группы, состоящей из PTEN, ROCK, PP2A,

- 10 PHLPP, JNK, p38. Предпочтительными являются PTEN, ROCK, PP2A и PHLPP.

В некоторых вариантах реализации гетерологичные белки, участвующие в апоптозе или регуляции апоптоза, выбраны из группы, состоящей из белков ВНЗ-только, каспаз и белков внутриклеточной передачи сигналов контроля апоптоза рецепторами смерти. Белки ВНЗ-только являются предпочтительными.

- 15 Белки ВНЗ-только включают белки, выбранные из группы, состоящей из Bad, BIM, Bid и tBid, Puma, Bik/Nbk, Vod, Hrk/Dp5, BNIP1, BNIP3, Bmf, Noxa, Mcl-1, Bcl-Gs, беклина 1, Egl-1 и CED-13. Предпочтительными являются Bad, BIM, Bid и tBid, в частности, tBid.

- 20 Каспазы включают белки, выбранные из группы, состоящей из каспазы 1, каспазы 2, каспазы 3, каспазы 4, каспазы 5, каспазы 6, каспазы 7, каспазы 8, каспазы 9, каспазы 10. Предпочтительными являются каспаза 3, каспаза 8 и каспаза 9.

- 25 Белки внутриклеточной передачи сигналов контроля апоптоза рецепторами смерти включают белки, выбранные из группы, состоящей из FADD, TRADD, ASC, VAP31, GULP1/CED-6, CIDEA, MFG-E8, CIDEA, RIPK1/RIP1, CRADD, RIPK3/RIP3, Crk, SHB, CrkL, DAXX, семейства 14-3-3, FLIP, DFF40 и 45, PEA-15, SODD. Предпочтительными являются FADD и TRADD.

- 30 В некоторых вариантах реализации два гетерологичных белка, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, содержатся в граммотрицательном штамме бактерий, причем один белок представляет собой проапоптотический белок, а второй белок представляет собой ингибитор путей, предотвращающих апоптоз, или причем один белок представляет собой проапоптотический белок, а второй

белок представляет собой ингибитор путей передачи сигналов или путей, способствующих выживанию.

5 Проапоптотические белки, включенные в настоящее изобретение, обычно содержат альфа-спиральную структуру, предпочтительно, гидрофобную спираль, окруженную амфипатическими спиральями, и обычно содержат по меньшей мере один из доменов ВН1, ВН2, ВН3 или ВН4, предпочтительно, содержат по меньшей мере один домен ВН3. Обычно проапоптотические белки, включенные в настоящее изобретение, не обладают ферментативной активностью.

10 Антиапоптотические белки, включенные в настоящее изобретение, обычно содержат альфа-спиральную структуру, предпочтительно, гидрофобную спираль, окруженную амфипатическими спиральями, и содержат комбинацию различных доменов ВН1, ВН2, ВН3 и ВН4, предпочтительно, комбинацию различных доменов ВН1, ВН2, ВН3 и ВН4, в которой присутствует домен ВН1 и 15 ВН2, более предпочтительно, ВН4-ВН3-ВН1-ВН2, ВН1-ВН2, ВН4-ВН1-ВН2 или ВН3-ВН1-ВН2 (от N- к C-концу). Дополнительно также включены белки, содержащие по меньшей мере один домен В1R.

Ингибиторы путей, предотвращающих апоптоз, включенные в настоящее изобретение, обычно содержат альфа-спиральную структуру, предпочтительно, 20 гидрофобную спираль, окруженную амфипатическими спиральями, и обычно содержат один домен ВН3.

Каждый из доменов ВН1, ВН2, ВН3 или ВН4 обычно составляет от приблизительно 5 до приблизительно 50 аминокислот в длину. Таким образом, в некоторых вариантах реализации гетерологичные белки, участвующие в 25 апоптозе или регуляции апоптоза, выбраны из группы, состоящей из гетерологичных белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, которые составляют от приблизительно 5 до приблизительно 200, предпочтительно, от приблизительно 5 до приблизительно 150, более предпочтительно, от приблизительно 5 до приблизительно 100, наиболее 30 предпочтительно, от приблизительно 5 до приблизительно 50, в частности, от приблизительно 5 до приблизительно 25 аминокислот в длину.

В некоторых вариантах реализации грамтрицательный штамм бактерий согласно настоящему изобретению содержит нуклеотидную последовательность,

кодирующую два домена гетерологичных белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, предпочтительно, два повторяющихся, более предпочтительно, два идентичных повторяющихся домена белка, участвующего в апоптозе или регуляции апоптоза, или два домена различных белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, наиболее предпочтительно, два идентичных повторяющихся домена белка, участвующего в апоптозе или регуляции апоптоза. В некоторых вариантах реализации граматрицательный штамм бактерий согласно настоящему изобретению содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую два домена гетерологичных белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, причем один представляет собой домен проапоптотического белка, а другой представляет собой домен белка, который представляет собой ингибитор путей, предотвращающих апоптоз, или причем один представляет собой домен проапоптотического белка, а другой домен представляет собой домен белка, который представляет собой ингибитор путей передачи сигналов или путей, способствующих выживанию.

Конкретный предпочтительный гетерологичный белок представляет собой домен ВНЗ индуктора апоптоза tBID, более конкретно, домен ВНЗ, содержащий последовательность, выбранную из группы, состоящей из SEQ ID NO: 29-32, предпочтительно, SEQ ID NO: 31 или SEQ ID NO: 32.

В равной степени предпочтительным является домен ВНЗ регулятора апоптоза BAX, более конкретно, домен BAX, содержащий последовательность, выбранную из группы, состоящей из SEQ ID NO: 33-36, предпочтительно, SEQ ID NO: 35 или SEQ ID NO: 36. В SEQ ID NO приведены последовательности человека и мыши, однако в равной степени включены домены ВНЗ tBID и BAX всех других видов.

В некоторых вариантах реализации повторяющиеся домены гетерологичных белков представляют собой домен ВНЗ, предпочтительно, повторяющиеся домены ВНЗ индуктора апоптоза tBID, более предпочтительно, повторяющиеся домены ВНЗ индуктора апоптоза tBID, содержащиеся в SEQ ID NO: 29-32 или SEQ ID NO: 25, или SEQ ID NO: 19, еще более предпочтительно, два повторяющихся домена ВНЗ индуктора апоптоза tBID, наиболее предпочтительно, два повторяющихся домена ВНЗ индуктора апоптоза tBID, содержащегося в SEQ ID NO: 29-32, или SEQ ID NO: 25, или SEQ ID NO: 19, в

частности, два повторяющихся домена ВНЗ индуктора апоптоза tVID, содержащиеся в последовательности SEQ ID NO: 27. Таким образом, в предпочтительном варианте реализации грамотрицательный штамм бактерий и/или вектор согласно настоящему изобретению содержит вторую последовательность ДНК, кодирующую два повторяющихся домена ВНЗ, более предпочтительно, два повторяющихся домена ВНЗ индуктора апоптоза tVID. Два повторяющихся домена могут быть соединены линкером длиной 1 – 30 аминокислот, предпочтительно, 2 – 15 аминокислот, более предпочтительно, длиной 3 – 10 аминокислот.

10 В некоторых вариантах реализации два или более доменов различных гетерологичных белков представляют собой домены гетерологичных белков, которые относятся к одному функциональному классу белков, предпочтительно, различные гетерологичные белки двух или более доменов представляют собой различные гетерологичные белки из класса белков, участвующих в апоптозе или
15 регуляции апоптоза. В предпочтительном варианте реализации два или более доменов различных гетерологичных белков представляют собой домен ВНЗ индуктора апоптоза tVID и домен ВНЗ регулятора апоптоза BAX, в частности, слитые домены ВНЗ, содержащиеся в последовательности SEQ ID NO: 24 и 28. Два домена различных гетерологичных белков могут быть соединены линкером
20 длиной 1 – 30 аминокислот, предпочтительно, 2 – 15 аминокислот, более предпочтительно, длиной 3 – 10 аминокислот.

Другой конкретный предпочтительный гетерологичный белок представляет собой домен белка, участвующего в индукции или регуляции ответа ИФН I типа, более конкретно, домен CARD RIG1, содержащий последовательность, выбранную из группы, состоящей из SEQ ID NO: 37, 38, 110, 111, 128, 129, домен CARD MDA5, содержащий последовательность, выбранную из группы, состоящей из SEQ ID NO: 44-47, 112, 113, предпочтительно, SEQ ID NO: 112 или 113, или домен CARD MAVS/IPS-1, содержащий последовательность, выбранную из группы, состоящей из SEQ ID NO: 116, 48-49, предпочтительно, SEQ ID NO: 116, полноразмерный cGAS, такой как cGAS *N. vectensis* (SEQ ID NO: 43), cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека (SEQ ID NO: 115), cGAS₆₀₋₄₂₂ *N. vectensis* (SEQ ID NO: 117) или cGAS₁₄₆₋₅₀₇ мыши (SEQ ID NO: 131). Наиболее конкретно, домен CARD RIG1, содержащий последовательность, выбранную из группы, состоящей

из SEQ ID NO: 37, 38, 110, 111, 128, 129, белок домена CARD, состоящий из MAVS/IPS-1, содержащего последовательность, выбранную из группы, состоящей из SEQ ID NO: 116, 48-49, предпочтительно, SEQ ID NO: 116, и полноразмерный cGAS, такой как cGAS *N. vectensis* (SEQ ID NO: 43), cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека (SEQ ID NO: 115), cGAS₆₀₋₄₂₂ *N. vectensis* (SEQ ID NO: 117) или cGAS₁₄₆₋₅₀₇ мыши (SEQ ID NO: 131).

В некоторых вариантах реализации гетерологичные белки представляют собой фермент, конвертирующий пролекарство. В данных вариантах реализации рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий экспрессирует, предпочтительно, экспрессирует и секретирует фермент, конвертирующий пролекарство. Фермент, конвертирующий пролекарство, как указано в настоящем документе, включает ферменты, конвертирующие нетоксичные пролекарства в токсичное лекарственное средство, предпочтительно, ферменты, выбранные из группы, состоящей из цитозиндезаминазы, пурин-нуклеозидфосфорилазы, тимидинкиназы, бета-галактозидазы, карбоксилэстераз, нитроредуктаз, карбоксипептидаз и бета-глюкуронидаз, более предпочтительно, ферменты, выбранные из группы, состоящей из цитозиндезаминазы, пурин-нуклеозидфосфорилазы, тимидинкиназы и бета-галактозидазы.

Термин «сайт расщепления протеазы» в настоящем документе обозначает специфичный аминокислотный мотив в аминокислотной последовательности, например, в аминокислотной последовательности белка или слитого белка, который расщепляется специфичной протеазой, распознающей аминокислотный мотив. Обзор см. в публикации ¹⁴. Примеры сайтов расщепления протеазы представляют собой аминокислотные мотивы, которые расщепляются протеазой, выбранной из группы, состоящей из энтерокиназы (легкая цепь), энтеропептидазы, протеазы PreScission, протеазы риновируса человека (HRV 3C), протеазы TEV, протеазы TVMV, протеазы фактор Ха и тромбина.

Следующие аминокислотные мотивы распознаются соответствующими протеазами:

- Asp-Asp-Asp-Asp-Lys: энтерокиназа (легкая цепь) / энтеропептидаза

- Leu-Glu-Val-Leu-Phe-Gln/Gly-Pro: протеаза PreScission/протеаза риновируса человека (HRV 3C)

- Glu-Asn-Leu-Tyr-Phe-Gln-Ser и модифицированные мотивы на основе Glu-X-X-Tyr-X-Gln-Gly/Ser (где X представляет собой любую аминокислоту),
5 распознаваемые протеазой TEV (tobacco etch virus, вируса гравировки табака)

-Glu-Thr-Val-Arg-Phe-Gln-Ser: протеаза TVMV

- Pe-(Glu или Asp)-Gly-Arg: протеаза фактор Ха

- Leu-Val-Pro-Arg/Gly-Ser: тромбин.

Сайты расщепления протеазы в настоящем документе включают убиквитин.

10 Таким образом, в некоторых предпочтительных вариантах реализации убиквитин используют в качестве сайта расщепления протеазы, т.е. нуклеотидная последовательность кодирует убиквитин в качестве сайта расщепления протеазы, который может быть расщеплен специфичными убиквитин-процессирующими протеазами на N-концевом сайте, например, который может быть расщеплен
15 специфичными убиквитин-процессирующими протеазами, называемыми деубиквитинизирующими ферментами, на N-концевом сайте эндогенно в клетке, в которую был доставлен слитый белок. Убиквитин процессируется на С-конце группой эндогенных убиквитин-специфичных С-концевых протеаз (деубиквитинизирующие ферменты, ДУБ). Расщепление убиквитина под
20 действием ДУБ, как полагают, происходит на самом С-конце убиквитина (после G76).

«Индивидуум», «субъект» или «пациент» представляет собой позвоночное. В определенных вариантах реализации позвоночное представляет собой
25 млекопитающее. Млекопитающие включают, без ограничения, приматов (включая человека и нечеловекообразных приматов) и грызунов (например, мышей и крыс). В предпочтительных вариантах реализации субъект представляет собой человека.

30 Термин «мутация» в настоящем документе используется в качестве общего термина и включает изменения одной пары оснований и множества пар оснований. Такие мутации могут включать замены, мутации со сдвигом рамки, делеции, вставки и усечения.

Термин «сигнал внутриядерной локализации» в настоящем документе обозначает аминокислотную последовательность, которая помечает белок для импорта в ядро эукариотической клетки и, предпочтительно, включает вирусный сигнал внутриядерной локализации, такой как NLS, полученный из большого Т-антигена SV40 (PPKKRKY).

Термин «сайт множественного клонирования» в настоящем документе обозначает короткую последовательность ДНК, содержащую несколько сайтов рестрикции для расщепления рестрикционными эндонуклеазами, такими как

10 AclI, HindIII, SspI, MluCI, Tsp509I, PciI, AgeI, BspMI, BfuAI, SexAI, MluI, BceAI, HpyCH4IV, HpyCH4III, BaeI, BsaXI, AflIII, SpeI, BsrI, BmrI, BglII, AfeI, AluI, StuI, ScaI, ClaI, BspDI, PI-SceI, NsiI, AseI, SwaI, CspCI, MfeI, BssSI, BmgBI, PmlI, DraIII, AleI, EcoP15I, PvuII, AlwNI, BtsIMutI, TspRI, NdeI, NlaIII, CviAII, FatI, MslI, FspEI, XcmI, BstXI, PflMI, BccI, NcoI, BseYI, FauI, SmaI, XmaI, TspMI, Nt.CviPII,

15 LpnPI, AciI, SacII, BsrBI, MspI, HpaII, ScrFI, BssKI, StyD4I, BsaJI, BslI, BtgI, NciI, AvrII, MnlI, BbvCI, Nb.BbvCI, Nt.BbvCI, SbfI, Bpu10I, Bsu36I, EcoNI, HpyAV, BstNI, PspGI, StyI, BcgI, PvuI, BstUI, EagI, RsrII, BsiEI, BsiWI, BsmBI, Hpy99I, MspAII, MspJI, SgrAI, BfaI, BspCNI, XhoI, EarI, AcuI, PstI, BpmI, DdeI, SfcI, AflII, BpuEI, SmlI, AvaI, BsoBI, MboII, BbsI, XmnI, BsmI, Nb.BsmI, EcoRI, HgaI, AatII,

20 ZraI, Tth111I PflFI, PshAI, AhdI, DrdI, Eco53kI, SacI, BseRI, PleI, Nt.BstNBI, MlyI, HinfI, EcoRV, MboI, Sau3AI, DpnII BfuCI, DpnI, BsaBI, TfiI, BsrDI, Nb.BsrDI, BbvI, BtsI, Nb.BtsI, BstAPI, SfaNI, SphI, NmeAIII, NaeI, NgoMIV, BglI, AsiSI, BtgZI, HinPII, HhaI, BssHII, NotI, Fnu4HI, Cac8I, MwoI, NheI, BmtI, SapI, BspQI, Nt.BspQI, BlpI, TseI, ApeKI, Bsp1286I, AlwI, Nt.AlwI, BamHI, FokI, BtsCI, HaeIII,

25 PhoI, FseI, SfiI, NarI, KasI, SfoI, PluTI, AscI, EciI, BsmFI, ApaI, PspOMI, Sau96I, NlaIV, KpnI, Acc65I, BsaI, HphI, BstEII, AvaII, BanI, BaeGI, BsaHI, BanII, RsaI, CviQI, BstZ17I, BciVI, SalI, Nt.BsmAI, BsmAI, BcoDI, ApaLI, BsgI, AccI, Hpy166II, Tsp45I, HpaI, PmeI, HincII, BsiHKAI, ApoI, NspI, BsrFI, BstYI, HaeII, CviKI-1, EcoO109I, PpuMI, I-CeuI, SnaBI, I-SceI, BspHI, BspEI, MmeI, TaqαI, NruI, Hpy188I,

30 Hpy188III, XbaI, BclI, HpyCH4V, FspI, PI-PspI, MscI, BsrGI, MseI, PacI, PsiI, BstBI, DraI, PspXI, BsaWI, BsaAI, EaeI, предпочтительно, XhoI, XbaI, HindIII, NcoI, NotI, EcoRI, EcoRV, BamHI, NheI, SacI, SalI, BstBI. Термин «сайт множественного клонирования» в настоящем документе также обозначает короткую последовательность ДНК, используемую для событий рекомбинации, как,

например, в стратегии клонирования Gateway, или для способов, таких как сборка Гиббсона или клонирование в ТОРО-системе.

5 Термин «штамм дикого типа» или «грамотрицательный штамм бактерий дикого типа» в настоящем документе обозначает встречающийся в природе вариант или встречающийся в природе вариант, содержащий генетические модификации, позволяющие применять векторы, такие как делеционные мутации в рестрикционных эндонуклеазах или генах устойчивости к антибиотикам. Данные штаммы содержат хромосомную ДНК, а также в некоторых случаях (например, 10 *Y. enterocolitica*, *S. flexneri*) – немодифицированную плазмиду вирулентности.

Термин «штамм *Yersinia* дикого типа» в настоящем документе обозначает встречающийся в природе вариант (такой как *Y. enterocolitica* E40) или встречающийся в природе вариант, содержащий генетические модификации, позволяющие применять векторы, такие как делеционные мутации в рестрикционных эндонуклеазах или генах устойчивости к антибиотикам (такой как *Y. enterocolitica* MRS40, чувствительное к ампициллину производное *Y. enterocolitica* E40) Данные штаммы содержат хромосомную ДНК, а также немодифицированную плазмиду вирулентности (называемую pYV).

20 *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* обозначает низкопатогенные штаммы *Y. enterocolitica*, которые отличаются от более вирулентных штаммов подвида *enterocolitica*^{15,16}. В *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* отсутствует, по сравнению с *Y. enterocolitica* подвид *enterocolitica*, остров высокой патогенности (high-pathogenicity island, HPI). Данный HPI кодирует сидерофор железа, называемый иерсиниябактин¹⁷. Отсутствие иерсиниябактина в *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* делает данный подвид менее патогенным и зависимым от индуцируемого системно доступного железа для персистентной инфекции, например, в печени или селезенке¹⁷. Железо может стать доступным для бактерии в индивидууме, например, в результате предварительного введения 30 дефероксамина, хелатора железа, который применяют для лечения перенасыщения железом у пациентов¹⁸.

Термин «содержать» обычно используют в значении «включать», иначе говоря, допуская присутствие одного или нескольких свойств или компонентов.

Термин «приблизительно» обозначает диапазон значений $\pm 10\%$ от указанного значения. Например, фраза «приблизительно 200» включает $\pm 10\%$ от 200 или от 180 до 220.

5

В одном аспекте в настоящем изобретении предложен рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, содержащий нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-
10 концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий
15 дополнительно содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором.

20

В следующем аспекте в настоящем изобретении предложен рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, содержащий нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-
25 концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий
30 дополнительно содержит модуляцию в РНК в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AgaC.

В следующем аспекте в настоящем изобретении предложен рекомбинантный

аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, содержащий нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем гетерологичный белок представляет собой белок, участвующий в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН).

10

В следующем аспекте в настоящем изобретении предложен рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, как описано в настоящем документе, для применения в способе лечения рака у субъекта, причем указанный способ включает введение субъекту указанного рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта. Предпочтительно, в настоящем изобретении предложен рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, как описано в настоящем документе, для применения в способе лечения рака – злокачественной солидной опухоли – у субъекта, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий накапливается в злокачественной солидной опухоли и причем указанный способ включает введение субъекту указанного рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.

В некоторых вариантах реализации рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий является дефицитным по продукции по меньшей мере одного бактериального эффекторного белка, который является вирулентным в отношении эукариотических клеток.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный

аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий трансформирован нуклеотидной молекулой, например, вектором, который содержит в направлении от 5' к 3':

промотор;

5 первую нуклеотидную последовательность, кодирующую сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связанную с указанным промотором;

вторую нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом указанной первой нуклеотидной
10 последовательности.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий трансформирован нуклеотидной молекулой, например, вектором, который
15 содержит в направлении от 5' к 3':

первую нуклеотидную последовательность, кодирующую сигнал доставки или его фрагмент из бактериального эффекторного белка;

вторую нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом указанной первой нуклеотидной
20 последовательности.

Предпочтительно, нуклеотидная последовательность, кодирующая гетерологичный белок, фланкирована на 3'-конце нуклеотидной последовательностью, гомологичной нуклеотидной последовательности хромосомы или эндогенной плазмиды вирулентности на 3'-конце сигнала
25 доставки из бактериального эффекторного белка или ее фрагменту. Более предпочтительно, данная нуклеотидная последовательность, фланкирующая гомологичный белок на 3'-конце, является гомологичной нуклеотидной последовательности, лежащей в пределах 10 т.п.о. на хромосоме или на эндогенной плазмиде вирулентности на 3'-конце сигнала доставки из
30 бактериального эффекторного белка или ее фрагменту. В частности, данная нуклеотидная последовательность, фланкирующая гомологичный белок на его 3'-конце, является гомологичной нуклеотидной последовательности в пределах того же оперона на хромосоме или на эндогенной плазмиде вирулентности, что и сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, или ее фрагменту. В

данном варианте реализации трансформацию обычно проводят так, чтобы слитая нуклеотидная последовательность была встроена в результате гомологичной рекомбинации на эндогенной плазмиде вирулентности или хромосоме, предпочтительно, на эндогенной плазмиде вирулентности, рекомбинантного

5 аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, и чтобы слитая нуклеотидная последовательность была функционально связана с промотором эндогенной плазмиды вирулентности или хромосомы, например, хромосомного острова патогенности. Предпочтительно, слитая нуклеотидная последовательность функционально связана с промотором эндогенной плазмиды

10 вирулентности. В данном варианте реализации нуклеотидная последовательность содержит сигнал доставки или его фрагмент из бактериального эффекторного белка, предпочтительно, его фрагмент, который обеспечивает гомологичную рекомбинацию в гомологичном сайте на хромосоме или на эндогенной плазмиде вирулентности, предпочтительно, на эндогенной

15 плазмиде вирулентности, которая в результате приводит к тому, что нуклеотидная последовательность размещается в рамке с 3'-концом сигнала доставки хромосомы или эндогенной плазмиды вирулентности, который функционально связан с эндогенным промотором.

20 В следующем варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий или рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий трансформирован нуклеотидной молекулой, предпочтительно, нуклеотидной молекулой ДНК, которая содержит нуклеотидную

25 последовательность, кодирующую гетерологичный белок, и нуклеотидную последовательность, которая является гомологичной или идентичной нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, или которая является гомологичной или идентичной нуклеотидной последовательности, кодирующей фрагмент сигнала

30 доставки из бактериального эффекторного белка, причем сигнал доставки из бактериального эффекторного белка или его фрагмент кодируется на хромосоме или на эндогенной плазмиде вирулентности рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий. Предпочтительно, нуклеотидная последовательность, которая является гомологичной или

идентичной нуклеотидной последовательности сигнала доставки из бактериального эффекторного белка или ее фрагменту, расположена на 5'-конце нуклеотидной последовательности, кодирующей гетерологичный белок. Более предпочтительно, нуклеотидная последовательность, кодирующая гетерологичный белок, фланкирована на 3'-конце нуклеотидной последовательностью, гомологичной нуклеотидной последовательности хромосомы или эндогенной плазмиды вирулентности на 3'-конце сигнала доставки из бактериального эффекторного белка или ее фрагменту. Еще более предпочтительно, данная нуклеотидная последовательность, фланкирующая гомологичный белок на 3'-конце, является гомологичной нуклеотидной последовательности, лежащей в пределах 10 т.п.о. на хромосоме или на эндогенной плазмиде вирулентности на 3'-конце сигнала доставки из бактериального эффекторного белка, или ее фрагменту. В частности, данная нуклеотидная последовательность, фланкирующая гомологичный белок на 3'-конце, является гомологичной нуклеотидной последовательности и находится в пределах того же оперона на хромосоме или на эндогенной плазмиде вирулентности, что и сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, или ее фрагменту. В данном варианте реализации трансформацию обычно проводят так, чтобы нуклеотидная последовательность, кодирующая гетерологичный белок, была встроена на эндогенной плазмиде вирулентности или хромосоме рекомбинантного аттенуированного по вирулентности граммотрицательного штамма бактерий, предпочтительно, на эндогенной плазмиде вирулентности, на 3'-конце сигнала доставки из бактериального эффекторного белка, кодируемого хромосомой или эндогенной плазмидой вирулентности, причем гетерологичный белок, слитый с сигналом доставки, экспрессируется и секретируется.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности граммотрицательный штамм бактерий содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором. В норме ген, кодирующий эндогенный белок,

необходимый для роста, на эндогенной плазмиде вирулентности кодирует тот же эндогенный белок, необходимый для роста, который кодируется делетированным хромосомным геном. Предпочтительно, ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, и расположенный на эндогенной

5 плазмиде вирулентности, содержит его эндогенный промотор и его эндогенный терминатор транскрипции. В случае если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*, ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, расположен на эндогенной плазмиде вирулентности pYV и, предпочтительно,

10 содержит его эндогенный промотор и его эндогенный терминатор транскрипции. Ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, эндогенный промотор и эндогенный терминатор транскрипции, предпочтительно, расположены на расстоянии 122 п.о. в направлении 3' – 5' от старта *orf155* (*SycO*) на эндогенной плазмиде вирулентности, например, на pYV. Ген, кодирующий

15 эндогенный фермент, необходимый для роста, эндогенный промотор и эндогенный терминатор транскрипции, обычно заменяет вставку последовательности, обнаруженную в pYVe40, плазмиде вирулентности штаммов *Y. enterocolitica* MRS40 и E40, но не в pYVe227, плазмиде вирулентности *Y. enterocolitica* W227O3 (Genbank: AF102990.1).

20

В случае если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*, эндогенная плаزمида вирулентности представляет собой pYV (plasmid of *Yersinia* Virulence, плазмида вирулентности *Yersinia*). В случае если рекомбинантный

25 аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Salmonella*, эндогенное месторасположение для вставки представляет собой один из кластеров генов, называемых SpiI или SpiII (для острова патогенности *Salmonella*), положение, в котором эффекторный белок кодируется в другом месте или, в качестве альтернативы, одну из плазмид

30 вирулентности *Salmonella* (SVP).

Предпочтительно, нуклеотидная последовательность, кодирующая гетерологичный белок, слитый в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального

эффекторного белка, встроена на эндогенной плазмиде вирулентности в нативном сайте бактериального эффекторного белка, например, в нативном сайте фактора вирулентности, предпочтительно, в случае если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий

5 представляет собой штамм *Yersinia*, – в нативном сайте *YopE* или другого *Yop* (*YopH*, *YopO*, *YopP*, *YopM*, *YopT*), предпочтительно, в нативном сайте *YopE*, или в случае если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Salmonella*, – в нативном сайте эффекторного белка, кодируемого в *SpiI*, *SpiII* или кодируемого

10 в другом месте, предпочтительно, в нативном сайте эффекторного белка, кодируемого в *SpiI* или *SpiII*, более предпочтительно, в нативном сайте *SopE* или *SteA*. Предпочтительно, нуклеотидная последовательность, кодирующая гетерологичный белок, слитый в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального

15 эффекторного белка, функционально связана с нативным промотором бактериального эффекторного белка, присутствующим на эндогенной плазмиде вирулентности, например, в случае если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*, – с нативным промотором из гена вирулона *Yersinia*, как указано ниже,

20 более предпочтительно, с нативным промотором *YopE* или другим промотором *Yop* (*YopH*, *YopO*, *YopP*, *YopM*, *YopT*), предпочтительно, с нативным промотором *YopE*, или в случае если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Salmonella*, – с нативным промотором из острова патогенности *SpiI* или *SpiII* или

25 из эффекторного белка, кодируемого в другом месте, как указано ниже, более предпочтительно, с нативным промотором *SopE*, *InvB* или *SteA*.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий

30 содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором, причем ген, кодирующий эндогенный белок,

необходимый для роста, выбран из гена, кодирующего фермент, необходимый для продукции аминокислоты, гена, кодирующего фермент, участвующий в биосинтезе пептидогликана, гена, кодирующего фермент, участвующий в биосинтезе ЛПС, гена, кодирующего фермент, участвующий в синтезе нуклеотида, и гена, кодирующего фактор инициации трансляции.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором, и причем ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, представляет собой ген, кодирующий фермент, необходимый для продукции аминокислоты, причем фермент, необходимый для продукции аминокислоты, выбран из группы, состоящей из аспартат-бета-полуальдегид-дегидрогеназы (*asd*), глутаминсинтетазы (*glnA*), триптофанил-тРНК-синтетазы (*trpS*) или серин-гидроксиметил-трансферазы (*glyA*) или транскетолазы 1 (*tktA*), транскетолазы 2 (*tktB*), рибулозофосфат 3-эпимеразы (*gre*), рибозо-5-фосфат-изомеразы А (*gpiA*), трансальдолазы А (*talA*), трансальдолазы В (*talB*), фосфорибозилпирофосфатсинтазы (*prs*), АТФ-фосфорибозилтрансферазы (*hisG*), бифункционального белка биосинтеза гистидина HisIE (*hisI*), 1-(5-фосфорибозил)-5-[(5-фосфорибозиламино)метиленамино] имидазол-4-карбоксамид-изомеразы (*hisA*), субъединицы HisH имидазолглицеролфосфатсинтазы (*hisH*), субъединицы HisF имидазолглицеролфосфатсинтазы (*hisF*), бифункционального белка биосинтеза гистидина HisB (*hisB*), гистидиолфосфат-аминотрансферазы (*hisC*), гистидиолдегидрогеназы (*hisD*), 3-дегидрохинатсинтазы (*aroB*), 3-дегидрохинатдегидратазы (*aroD*), шикиматдегидрогеназы (NADP(+)) (*aroE*), шикиматкиназы 2 (*aroL*), шикиматкиназы 1 (*aroK*), 3-фосфошикимат 1-карбоксивинилтрансферазы (*aroA*), хоризматсинтазы (*aroC*), Р-белка (*pheA*), Т-белка (*tyrA*), аминотрансферазы ароматических аминокислот (*tyrB*), фосфо-2-дегидро-3-дезоксигептонатаьдолазы (*aroG*), фосфо-2-дегидро-3-дезоксигептонатаьдолазы (*aroH*), фосфо-2-дегидро-3-

дезоксигептонатальдозазы (*aroF*), хинат/шикимат-дегидрогеназы (*ydiB*), АТФ-зависимого изофермента 6-фосфофруктокиназы 1 (*pfkA*), АТФ-зависимого изофермента 6-фосфофруктокиназы 2 (*pfkB*), фруктозо-бисфосфатальдозазы класса 2 (*fbaA*), фруктозо-бисфосфат альдозазы класса 1 (*fbaB*), триозофосфат-изомеразы (*tpiA*), пируваткиназы I (*pykF*), пируваткиназы II (*pykA*), глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы А (*gapA*), фосфоглицераткиназы (*pgk*), 2,3-бисфосфоглицерат-зависимой фосфоглицератмутазы (*gpmA*), 2,3-бисфосфоглицерат-независимой фосфоглицератмутазы (*gpmM/yibO*), предполагаемой фосфоглицератмутазы (*ytjC/gpmB*), енолазы (*eno*), D-3-фосфоглицератдегидрогеназы (*serA*), фосфосериनाминотрансферазы (*serC*), фосфосеринфосфатазы (*serB*), L-сериндегидратазы 1 (*sdaA*), L-сериндегидратазы 2 (*sdaB*), L-треониндегидратазы катаболической (*tdcB*), L-треониндегидратазы биосинтетической (*ilvA*), L-сериндегидратазы (*tdcG*), серинацетилтрансферазы (*cysE*), цистеинсинтазы А (*cysK*), цистеинсинтазы В (*cysM*), бета-цистатионазы (*malY*), цистатионин бета-лиазы (*metC*), 5-метилтетрагидроптероилтриглутамат-гомоцистеин-метилтрансферазы (*metE*), метионинсинтазы (*metH*), S-аденозилметионинсинтазы (*metK*), цистатионин гамма-синтазы (*metB*), гомосерин O-сукцинилтрансферазы (*metA*), 5'-метилтиоаденозин/S-аденозилгомоцистеин-нуклеозидазы (*mtnN*), S-рибозилгомоцистеинлиазы (*luxS*), цистатион бета-лиазы, цистатион гамма-лиазы, серин-гидроксиметилтрансферазы (*glyA*), глицин-гидроксиметилтрансферазы (*itaE*), малой субъединицы 3-изопропилмалатдегидратазы (*leuD*), большой субъединицы 3-изопропилмалатдегидратазы (*leuC*), 3-изопропилмалатдегидрогеназы (*leuB*), L-треониндегидратазы биосинтетической (*ilvA*), большой субъединицы изофермента 3 ацетолактатсинтазы (*ilvI*), малой субъединицы изофермента 3 ацетолактатсинтазы (*ilvH*), малой субъединицы изофермента 1 ацетолактатсинтазы (*ilvN*), малой субъединицы изофермента 2 ацетолактатсинтазы (*ilvM*), кетол-кислотной редуктоизомеразы (NADP(+)) (*ilvC*), дегидратазы дигидроксикислоты (*ilvD*), аминотрансферазы аминокислот с разветвленной цепью (*ilvE*), бифункциональной дегидрогеназы аспартокиназы/гомосерина 1 (*thrA*), бифункциональной дегидрогеназы аспартокиназы/гомосерина 2 (*metL*), 2-изопропилмалатсинтазы (*leuA*), глутамат-пируват-аминотрансферазы (*alaA*), аспартат-аминотрансферазы (*aspC*), бифункциональной дегидрогеназы аспартокиназы/гомосерина 1 (*thrA*),

бифункциональной дегидрогеназы аспартокиназы/гомосерина 2 (*metL*), лизин-чувствительной аспартокиназы 3 (*lysC*), аспартат-полуальдегид-дегидрогеназы (*asd*), 2-кето-3-дезоксигалактонат-альдолазы (*yagE*), 4-гидрокси-тетрагидродипиколинатсинтазы (*dapA*), 4-гидрокси-тетрагидродипиколинат-редуктазы (*dapB*), 2,3,4,5-тетрагидропиридин-2,6-дикарбоксилат N-сукцинилтрансферазы (*dapD*), сукцинил-диаминопимелат-десукцинилазы (*dapE*), диаминопимелат-эпимеразы (*dapF*), предполагаемой лиазы (*yjhH*), ацетилорнитин/сукцинилдиаминопимелат-аминотрансферазы (*argD*), цитратсинтазы (*gltA*), аконитатгидратазы В (*acnB*), аконитатгидратазы А (*acnA*), неохарактеризованной предполагаемой аконитатгидратазы (*ybhJ*), изоцитратдегидрогеназы (*icd*), аспартат-аминотрансферазы (*aspC*), глутамат-пируват-аминотрансферазы (*alaA*), большой цепи глутаматсинтазы [NADPH] (*gltB*), малой цепи глутаматсинтазы [NADPH] (*gltD*), глутаминсинтетазы (*glnA*), ацетилтрансферазы аминокислот (*argA*), ацетилглутаматкиназы (*argB*), N-ацетил-гамма-глутамил-фосфат редуктазы (*argC*), ацетилорнитин/сукцинилдиаминопимелат-аминотрансферазы (*argD*), ацетилорнитин-деацетилазы (*argE*), цепи F орнитинкарбамоилтрансферазы (*argF*), цепи I орнитинкарбамоилтрансферазы (*argI*), аргининосукцинатсинтазы (*argG*), аргининосукцинатлиазы (*argH*), глутамат 5-киназы (*proB*), гамма-глутамилфосфатредуктазы (*proA*), пирролин-5-карбоксилатредуктазы (*proC*), орнитинциклодеаминазы, лейцин-тРНК лигазы (*leuS*), глутамин-тРНК лигазы (*glnS*), серин-тРНК лигазы (*serS*), бета-субъединицы глицин-тРНК лигазы (*glyS*), альфа-субъединицы глицин-тРНК лигазы (*glyQ*), тирозин-тРНК лигазы (*tyrS*), треонин-тРНК лигазы (*thrS*), альфа-субъединицы фенилаланин-тРНК лигазы (*pheS*), бета-субъединицы фенилаланин-тРНК лигазы (*pheT*), аргинин-тРНК лигазы (*argS*), гистидин-тРНК лигазы (*hisS*), валин-тРНК лигазы (*valS*), аланин-тРНК лигазы (*alaS*), изолейцин-тРНК лигазы (*ileS*), пролин-тРНК лигазы (*proS*), цистеин-тРНК лигазы (*cysS*), аспарагин-тРНК лигазы (*asnS*), аспартат-тРНК лигазы (*aspS*), глутамат-тРНК лигазы (*gltX*), триптофан-тРНК лигазы (*trpS*), бета-субъединицу глицин-тРНК лигазы (*glyS*), метионин-тРНК лигазы (*metG*), лизин-тРНК лигазы (*lysS*). Предпочтительные ферменты, необходимые для продукции аминокислоты, представляют собой *tktA*, *rpe*, *prs*, *aroK*, *tyrB*, *aroH*, *fbaA*, *gapA*, *pgk*, *eno*, *tdcG*, *cysE*, *metK*, *glyA*, *asd*, *dapA/B/D/E/F*, *argC*, *proC*, *leuS*, *glnS*, *serS*, *glyS/Q*, *tyrS*, *thrS*, *pheS/T*, *argS*, *hisS*, *valS*, *alaS*, *ileS*, *proS*, *cysS*, *asnS*, *aspS*, *gltX*,

trpS, glyS, metG, lysS, более предпочтительными являются asd, glyA, leuS, glnS, serS, glyS/Q, tyrS, thrS, pheS/T, argS, hisS, valS, alaS, ileS, proS, cysS, asnS, aspS, gltX, trpS, glyS, metG, lysS, наиболее предпочтительным является asd.

- 5 В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC. Модуляция в термочувствительной области РНК в направлении 3' –
- 10 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC, может представлять собой делецию, вставку или замену в термочувствительной области РНК. Делеция или вставка обычно включает делецию или вставку одного или нескольких, предпочтительно, от приблизительно 30 до приблизительно 100 нуклеотидов, более предпочтительно, от приблизительно 40 до приблизительно
- 15 60 нуклеотидов. Замена обычно включает замену одного или нескольких, предпочтительно, от приблизительно 3 до приблизительно 30 нуклеотидов, более предпочтительно, от приблизительно 3 до приблизительно 15 нуклеотидов. Предпочтительно, модуляция в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок
- 20 типа AraC, представляет собой делецию, предпочтительно, делецию от приблизительно 30 до приблизительно 100 нуклеотидов, более предпочтительно, от приблизительно 40 до приблизительно 60 нуклеотидов в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC. Эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC
- 25 и термочувствительная область РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего ДНК-связывающий белок типа AraC, обычно расположены на эндогенной плазмиде вирулентности, содержащейся в рекомбинантном аттенуированном по вирулентности грамотрицательном штамме бактерий. ДНК-связывающий белок типа AraC, предпочтительно, выбран из группы, состоящей из VirF, LcrF, MxiE, ExsA, PerA, HrpX, HrpB, GadX, HilC, HilD и InvF. Более предпочтительно, ДНК-связывающий белок типа AraC выбран из группы, состоящей из VirF и LcrF. В
- 30 некоторых вариантах реализации рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой *Yersinia enterocolitica*, и ДНК-связывающий белок типа AraC представляет собой VirF.

Предпочтительно, модуляция в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC, включает модуляцию, которая нарушает шпильку РНК, предпочтительно, шпильку I, в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC. Более предпочтительно, модуляция в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC, включает делецию, которая устраняет шпилечную структуру РНК или ее части, предпочтительно, части шпильки I, в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC. Делеция, которая устраняет шпилечную структуру РНК или ее части, обычно включает делецию от приблизительно 30 до приблизительно 100 нуклеотидов, предпочтительно, от приблизительно 40 до приблизительно 60 нуклеотидов. В некоторых вариантах реализации рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой *Yersinia enterocolitica*, и делеция включает делецию нуклеотидов в положении от -111 до -57 в направлении 3' – 5' кодирующей последовательности *virF* (где -1 представляет собой 1 основание в направлении 3'-5' от основания А стартового кодона ATG кодирующей последовательности *virF*).

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий выбран из группы, состоящей из родов *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella* и *Pseudomonas*. В одном варианте реализации рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий выбран из группы, состоящей из родов *Yersinia* и *Salmonella*. Предпочтительно, рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*, более предпочтительно, штамм *Yersinia enterocolitica*. Наиболее предпочтительным является *Yersinia enterocolitica* E40 (O:9, биотип 2)¹⁹ или его чувствительные к ампициллину производные, такие как *Y. enterocolitica* MRS40 (также называемый *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* MRS40), описанные в публикации²⁰. *Y. enterocolitica* E40 и его производное *Y. enterocolitica* MRS40, описанные в публикации²⁰, являются идентичными *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* E40 и его производному *Y. enterocolitica* подвид

paleartica MRS40, описанным в публикациях ^{15,17,21}. Также предпочтительно рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамтрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Salmonella*, более предпочтительно, штамм *Salmonella enterica*. Наиболее предпочтительным является *Salmonella enterica*
 5 серовар Тифимуриум SL1344, описанный в коллекции культур Управления здравоохранения Англии (NCTC 13347).

В некоторых вариантах реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамтрицательный штамм бактерий
 10 представляет собой штамм, который не продуцирует сидерофор, например, является дефицитным по продукции сидерофора, предпочтительно, не продуцирует сидерофоры, например, является дефицитным по продукции любого сидерофора. Такой штамм представляет собой, например, *Y. enterocolitica* подвид *paleartica* MRS40, описанный в публикациях ^{15,17,20,21}, который не
 15 продуцирует иерсиниябактин и который является предпочтительным.

В одном варианте реализации настоящего изобретения сигнал доставки из бактериального эффекторного белка содержит бактериальный эффекторный белок или его N-концевой фрагмент, предпочтительно, бактериальный
 20 эффекторный белок, который является вирулентным в отношении эукариотических клеток, или его N-концевой фрагмент.

В одном варианте реализации настоящего изобретения сигнал доставки из бактериального эффекторного белка представляет собой эффекторный белок бактериальной T3SS, включающий эффекторный белок бактериальной T3SS или
 25 его N-концевой фрагмент, причем эффекторный белок T3SS или его N-концевой фрагмент может содержать сайт связывания шаперонов. Эффекторный белок T3SS или его N-концевой фрагмент, который содержит сайт связывания шаперонов, является в особенности подходящим в качестве сигнала доставки в настоящем изобретении. Предпочтительные эффекторные белки T3SS или их N-
 30 концевые фрагменты выбраны из группы, состоящей из SopE, SopE2, SptP, YopE, ExoS, SipA, SipB, SipD, SopA, SopB, SopD, IpgB1, IpgD, SipC, SifA, SseJ, Sse, SrfH, YopJ, AvrA, AvrBsT, YopT, YopH, YpkA, Tir, EspF, TccP2, IpgB2, OspF, Map, OspG, OspI, IpaH, SspH1, VopF, ExoS, ExoT, HopAB2, XopD, AvrRpt2, HopAO1, HopPtoD2, HopU1, белков семейства GALA, AvrBs2, AvrD1, AvrBS3, YopO,

YopP, YopE, YopM, YopT, EspG, EspH, EspZ, IpaA, IpaB, IpaC, VirA, IcsB, OspC1, OspE2, IpaH9.8, IpaH7.8, AvrB, AvrD, AvrPphB, AvrPphC, AvrPphEpto, AvrPpiBpto, AvrPto, AvrPtoB, VirPphA, AvrRpm1, HopPtoE, HopPtoF, HopPtoN, PopB, PopP2, AvrBs3, XopD и AvrXv3. Более предпочтительные эффекторные белки T3SS или их N-концевые фрагменты выбраны из группы, состоящей из SopE, SptP, YopE, ExoS, SopB, IpgB1, IpgD, YopJ, YopH, EspF, OspF, ExoS, YopO, YopP, YopE, YopM, YopT, из которых наиболее предпочтительные эффекторные белки T3SS или их N-концевые фрагменты выбраны из группы, состоящей из IpgB1, SopE, SopB, SptP, OspF, IpgD, YopH, YopO, YopP, YopE, YopM, YopT, в частности, YopE или его N-концевого фрагмента.

В равной степени предпочтительные эффекторные белки T3SS или их N-концевые фрагменты выбраны из группы, состоящей из SopE, SopE2, SptP, SteA, SipA, SipB, SipD, SopA, SopB, SopD, IpgB1, IpgD, SipC, SifA, SifB, SseJ, Sse, SrfH, YopJ, AvrA, AvrBsT, YopH, YpkA, Tir, EspF, TccP2, IpgB2, OspF, Map, OspG, OspI, IpaH, VopF, ExoS, ExoT, HopAB2, AvrRpt2, HopAO1, HopU1, белков семейства GALA, AvrBs2, AvrD1, YopO, YopP, YopE, YopT, EspG, EspH, EspZ, IpaA, IpaB, IpaC, VirA, IcsB, OspC1, OspE2, IpaH9.8, IpaH7.8, AvrB, AvrD, AvrPphB, AvrPphC, AvrPphEpto, AvrPpiBpto, AvrPto, AvrPtoB, VirPphA, AvrRpm1, HopPtoD2, HopPtoE, HopPtoF, HopPtoN, PopB, PopP2, AvrBs3, XopD и AvrXv3. В равной степени более предпочтительные эффекторные белки T3SS или их N-концевые фрагменты выбраны из группы, состоящей из SopE, SptP, SteA, SifB, SopB, IpgB1, IpgD, YopJ, YopH, EspF, OspF, ExoS, YopO, YopP, YopE, YopT, среди которых в равной степени наиболее предпочтительные эффекторные белки T3SS или их N-концевые фрагменты выбраны из группы, состоящей из IpgB1, SopE, SopB, SptP, SteA, SifB, OspF, IpgD, YopH, YopO, YopP, YopE и YopT, в частности, SopE, SteA или YopE или их N-концевых фрагментов, более конкретно, SteA или YopE или их N-концевых фрагментов, наиболее конкретно, YopE или его N-концевого фрагмента.

В некоторых вариантах реализации сигнал доставки из бактериального эффекторного белка кодируется нуклеотидной последовательностью, содержащей бактериальный эффекторный белок или его N-концевой фрагмент, причем его N-концевой фрагмент содержит по меньшей мере первые 10, предпочтительно, по меньшей мере первые 20, более предпочтительно, по

меньшей мере первые 100 аминокислот эффекторного белка бактериальной T3SS.

В некоторых вариантах реализации сигнал доставки из бактериального эффекторного белка кодируется нуклеотидной последовательностью, содержащей эффекторный белок бактериальной T3SS или его N-концевой фрагмент, причем эффекторный белок бактериальной T3SS или его N-концевой фрагмент содержит сайт связывания шаперонов.

Предпочтительные эффекторные белки T3SS или их N-концевые фрагменты, которые содержат сайт связывания шаперонов, включают следующие комбинации сайта связывания шаперонов и эффекторного белка T3SS или его N-концевого фрагмента: SycE-YopE, InvB-SopE, SicP-SptP, SycT-YopT, SycO-YopO, SycN/YscB-YopN, SycH-YopH, SpsS-ExoS, CesF-EspF, SycD-YopB, SycD-YopD. Более предпочтительными являются SycE-YopE, InvB-SopE, SycT-YopT, SycO-YopO, SycN/YscB-YopN, SycH-YopH, SpsS-ExoS, CesF-EspF. Наиболее предпочтительным является YopE или его N-концевой фрагмент, содержащий сайт связывания шаперонов SycE, такой как N-концевой фрагмент эффекторного белка YopE, содержащий N-концевые 138 аминокислот эффекторного белка YopE, обозначаемый в настоящем документе как YopE₁₋₁₃₈ и представленный в SEQ ID NO. 2, или SopE или его N-концевой фрагмент, содержащий сайт связывания шаперонов InvB, такой как N-концевой фрагмент эффекторного белка SopE, содержащий N-концевые 81 или 105 аминокислот эффекторного белка SopE, обозначаемый в настоящем документе как SopE₁₋₈₁ или SopE₁₋₁₀₅, соответственно, и представленный в SEQ ID NO.: 6 и 7.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*, и сигнал доставки из бактериального эффекторного белка содержит эффекторный белок YopE или его N-концевую часть, предпочтительно, эффекторный белок YopE *Y. enterocolitica* или его N-концевую часть. Предпочтительно, сайт связывания SycE содержится в N-концевой части эффекторного белка YopE. В связи с этим N-концевой фрагмент эффекторного белка YopE может содержать N-концевые 12, 16, 18, 52, 53, 80 или 138 аминокислот²²⁻²⁴. Наиболее предпочтительным является N-концевой фрагмент эффекторного белка YopE, содержащий N-концевые 138 аминокислот

эффекторного белка YopE, например, как описано в публикации Forsberg and Wolf-Watz ²⁵, обозначаемый в настоящем документе как YopE₁₋₁₃₈ и представленный в SEQ ID NO.: 2.

- 5 В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Salmonella*, и сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, кодируемый нуклеотидной последовательностью, содержит эффекторный белок SopE или SteA или его N-концевую часть, предпочтительно, эффекторный белок SopE или SteA *Salmonella enterica* или его N-концевую часть. Предпочтительно, сайт связывания шаперонов содержится в N-концевой части эффекторного белка SopE. В связи с этим N-концевой фрагмент эффекторного белка SopE может содержать N-концевые 81 или 105 аминокислот. Наиболее предпочтительным является полноразмерный SteA (SEQ ID NO: 5) и N-концевой фрагмент эффекторного белка SopE, содержащий N-концевые 105 аминокислот эффекторного белка, например, как описано в SEQ ID NO.: 7.

Специалисту в данной области техники известны способы идентификации полипептидных последовательностей эффекторного белка, которые способны доставлять белок. Например, один такой способ описан в публикации Sory et al. ¹⁹. Вкратце, полипептидные последовательности, например, из различных частей белков Yop, можно слить в рамке с репортерным ферментом, таким как активируемый кальмодулином аденилатциклазный домен (или Суа) циклолизина *Bordetella pertussis*. Доставка гибридного белка Yop-Суа в цитозоль эукариотических клеток отмечается появлением циклазной активности в инфицированных эукариотических клетках, которая приводит к накоплению цАМФ. Применяя такой подход, специалист в данной области техники может при необходимости определить минимальное требование к последовательности, т.е. непрерывную аминокислотную последовательность наиболее короткой длины, которая способна доставлять белок, см., например, публикацию ¹⁹. Соответственно, предпочтительные сигналы доставки согласно настоящему изобретению состоят из по меньшей мере минимальной последовательности аминокислот эффекторного белка T3SS, которая способна доставлять белок.

В одном варианте реализации в настоящем изобретении предложен рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, который является дефицитным по продукции по меньшей мере одного бактериального эффекторного белка, более предпочтительно, который является дефицитным по продукции по меньшей мере одного бактериального эффекторного белка, который является вирулентным в отношении эукариотических клеток, еще более предпочтительно, который является дефицитным по продукции по меньшей мере одного эффекторного белка T3SS, наиболее предпочтительно, который является дефицитным по продукции по меньшей мере одного эффекторного белка T3SS, который является вирулентным в отношении эукариотических клеток. В некоторых вариантах реализации рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные штаммы бактерий являются дефицитными по продукции по меньшей мере одного, предпочтительно, по меньшей мере двух, более предпочтительно, по меньшей мере трех, еще более предпочтительно, по меньшей мере четырех, в частности, по меньшей мере пяти, более конкретно, по меньшей мере шести, наиболее конкретно, всех бактериальных эффекторных белков, которые являются вирулентными в отношении эукариотических клеток. В некоторых вариантах реализации рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные штаммы бактерий являются дефицитными по продукции по меньшей мере одного, предпочтительно, по меньшей мере двух, более предпочтительно, по меньшей мере трех, еще более предпочтительно, по меньшей мере четырех, в частности, по меньшей мере пяти, более конкретно, по меньшей мере шести, наиболее конкретно, всех функциональных бактериальных эффекторных белков, которые являются вирулентными в отношении эукариотических клеток, так, что полученный в результате рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий продуцирует меньше бактериальных эффекторных белков или продуцирует бактериальные эффекторные белки в меньшей степени по сравнению с грамотрицательным штаммом бактерий дикого типа, не аттенуированным по вирулентности, т.е. по сравнению с грамотрицательным штаммом бактерий дикого типа, который в норме продуцирует бактериальные эффекторные белки, или так, что полученный в результате рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий больше не продуцирует

какие-либо функциональные бактериальные эффекторные белки, которые являются вирулентными в отношении эукариотических клеток.

Согласно настоящему изобретению такой мутантный грамотрицательный штамм бактерий, т.е. такой рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, который является дефицитным по продукции по меньшей мере одного бактериального эффекторного белка, например, который является дефицитным по продукции по меньшей мере одного бактериального эффекторного белка, который является вирулентным в отношении эукариотических клеток, например, такой мутантный штамм *Yersinia* может быть получен посредством введения по меньшей мере одной мутации в по меньшей мере один ген, кодирующий эффектор. Предпочтительно, такие гены, кодирующие эффектор, включают YopE, YopH, YopO/YpkA, YopM, YopP/YopJ и YopT, если речь идет о штамме *Yersinia*. Предпочтительно, такие гены, кодирующие эффектор, включают AvrA, CigR, GogB, GtgA, GtgE, PipB, SifB, SipA/SspA, SipB, SipC/SspC, SipD/SspD, SlrP, SopB/SigD, SopA, SpiC/SsaB, SseB, SseC, SseD, SseF, SseG, SseI/SrfH, SopD, SopE, SopE2, SspH1, SspH2, PipB2, SifA, SopD2, SseJ, SseK1, SseK2, SseK3, SseL, SteC, SteA, SteB, SteD, SteE, SpvB, SpvC, SpvD, SrfJ, SptP, если речь идет о штамме *Salmonella*. Наиболее предпочтительно, все гены, кодирующие эффектор, делетированы. Специалист в данной области техники может применять любое количество стандартных методик для получения мутаций в данных эффекторных генах T3SS. В руководстве Sambrook et al. в общем виде описаны данные методики. См. руководство Sambrook et al. ²⁶. Согласно настоящему изобретению мутацию можно ввести в области промотора гена, кодирующего эффектор, так, чтобы экспрессия такого эффекторного гена была устранена.

Мутацию также можно ввести в кодирующую область гена, кодирующего эффектор, так, чтобы каталитическая активность кодируемого эффекторного белка была устранена. «Каталитическая активность» эффекторного белка обычно обозначает функцию эффекторного белка, направленную на клетку-мишень, т.е. токсичность. Такая активность регулируется каталитическими мотивами в каталитическом домене эффекторного белка. Подходы для идентификации каталитического домена и/или каталитических мотивов эффекторного белка

хорошо известны специалистам в данной области техники. См., например, публикации ^{27,28}.

Соответственно, одна предпочтительная мутация согласно настоящему изобретению представляет собой делецию всего каталитического домена. Другая
5 предпочтительная мутация представляет собой мутацию со сдвигом рамки считывания в гене, кодирующем эффектор, так, что каталитический домен не присутствует в белковом продукте, экспрессированном с такого гена «со сдвигом рамки считывания». Наиболее предпочтительная мутация представляет собой мутацию с делецией всей кодирующей области эффекторного белка. Настоящим
10 изобретением также предусмотрены другие мутации, такие как небольшие делеции или замены пар оснований, которые вводят в каталитические мотивы эффекторного белка и которые приводят в нарушению каталитической активности данного эффекторного белка.

Мутации, которые получают в генах функциональных бактериальных
15 эффекторных белков, можно ввести в конкретный штамм с помощью множества способов. Один из таких способов включает клонирование мутированного гена в векторе-«самоубийце», который способен вводить мутированную последовательность в штамм в результате аллельного обмена. Пример такого вектора-«самоубийцы» описан в публикации ²⁹.

20 Таким образом, мутации, полученные во множестве генов, можно последовательно ввести в граммотрицательный штамм бактерий, получая полимутантный, например, шестикратно мутантный рекомбинантный штамм. Порядок, в котором вводят данные мутантные последовательности, неважен. При определенных условиях может быть желательно получить мутации только
25 некоторых, но не всех эффекторных генов. Соответственно, в настоящем изобретении также предусмотрен полимутантный *Yersinia*, отличный от шестикратно мутантного *Yersinia*, например, двукратно мутантный, трехкратно мутантный, четырехкратно мутантный и пятикратно мутантные штаммы. Для цели доставки белков система секреции и транслокации настоящего мутантного
30 штамма должна быть интактной.

Предпочтительный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности граммотрицательный штамм бактерий согласно настоящему изобретению представляет собой шестикратно мутантный штамм *Yersinia*, в котором все гены, кодирующие эффектор, мутированы так, что полученный в результате *Yersinia*

больше не продуцирует каких-либо функциональных эффекторных белков. Такой шестикратно мутантный штамм *Yersinia* обозначают как ДуорН,О,Р,Е,М,Т для *Y. enterocolitica*. В качестве примера, такой шестикратный мутант может быть

5 ДуорН,О,Р,Е,М,Т (также называемого в настоящем документе *Y. enterocolitica* подвид *paleoarctica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т или *Y. enterocolitica* ДуорН,О,Р,Е,М,Т), который является предпочтительным. *Y. enterocolitica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т, который является дефицитным по продукции иерсиниябактина, был описан в публикации WO02077249 и был депонирован

10 24^{ого} сентября 2001 года согласно Будапештскому договору о международном признании депонирования микроорганизмов для целей патентной процедуры в бельгийских Согласованных коллекциях микроорганизмов (BCCM); данному штамму был присвоен учетный номер LMG P-21013.

Более предпочтительным является *Y. enterocolitica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т,

15 который содержит делецию на эндогенной плазмиде вирулентности pYV, устраняющую шпилечную структуру РНК или ее части, такую как делеция шпильки I (Hairpin I) в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC (Δ HairpinI-virF), такой как *Y. enterocolitica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ HairpinI-virF (также называемый *Y. enterocolitica*

20 ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ HairpinI-virF). В равной степени предпочтительным является *Y. enterocolitica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т, который содержит делецию хромосомного гена, кодирующего *asd*, и эндогенную плазмиду вирулентности pYV, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий *asd*, функционально связанный с промотором (pYV-*asd*), такой как

25 *Y. enterocolitica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ *asd* pYV-*asd* (также называемый в настоящем документе *Y. enterocolitica* ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ *asd* pYV-*asd*). В особенности предпочтительным является *Y. enterocolitica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ *asd* Δ HairpinI-virF pYV-*asd*, который содержит обе модификации, описанные выше (также называемый в настоящем документе *Y. enterocolitica* ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ *asd* Δ HairpinI-virF pYV-*asd*). В особенности

30 предпочтительными штаммами являются *Y. enterocolitica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ HairpinI-virF (также называемый *Y. enterocolitica* ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ HairpinI-virF), *Y. enterocolitica* MRS40 ДуорН,О,Р,Е,М,Т Δ *asd* pYV-*asd* (также называемый в настоящем документе *Y. enterocolitica*

ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd pYV-asd) или *Y. enterocolitica* MRS40 ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd ΔHairpinI-virF pYV-asd (также называемый в настоящем документе *Y. enterocolitica* ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd ΔHairpinI-virF pYV-asd), которые являются дефицитными по продукции сидерофора, предпочтительно, не продуцируют сидерофоры, например, являются дефицитными по продукции любого сидерофора, как в случае всех штаммов *Y. enterocolitica* подвид *palearctica*. Таким образом, в равной степени в особенности предпочтительными штаммами являются *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* ΔyopH,O,P,E,M,T ΔHairpinI-virF (также называемый *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* ΔyopH,O,P,E,M,T ΔHairpinI-virF), *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd pYV-asd, также называемый в настоящем документе *Y. enterocolitica* ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd pYV-asd) или *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd ΔHairpinI-virF pYV-asd (также называемый в настоящем документе *Y. enterocolitica* ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd ΔHairpinI-virF pYV-asd).

15

Нуклеотидные молекулы, такие как векторы, которые можно применять согласно настоящему изобретению для трансформации грамотрицательного штамма бактерий, могут зависеть от используемых грамотрицательных штаммов бактерий, как известно специалисту. Нуклеотидные молекулы, которые можно применять согласно настоящему изобретению, включают векторы экспрессии (включая синтетические или полученные иным способом модифицированные версии эндогенных плазмид вирулентности), векторы для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности и нуклеотидные последовательности, такие как, например, фрагменты ДНК для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности. Векторы экспрессии, которые являются подходящими, например, в штаммах *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella* или *Pseudomonas*, представляют собой, например, плазмиды pUC, pBad, pACYC, pUCP20 и pET. Векторы для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности, которые являются подходящими, например, в штамме *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella* или *Pseudomonas*, представляют собой, например, pKNG101. Фрагменты ДНК для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности обозначают способы, применяемые, например, в штамме *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella* или *Pseudomonas*, как, например, генетическая инженерия лямбда-red. Векторы для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности либо

30

фрагменты ДНК для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности могут встраивать нуклеотидные последовательности согласно настоящему изобретению так, что, например, нуклеотидная последовательность, кодирующая гетерологичный белок, слитая в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с эндогенным промотором рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий. Таким образом, если применяют вектор для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности либо фрагмент ДНК для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности, эндогенный промотор может кодироваться на эндогенной бактериальной ДНК (хромосомной или плазмидной ДНК), и только соответствующая нуклеотидная последовательность будет обеспечена сконструированным вектором для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности либо фрагментом ДНК для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности. В качестве альтернативы, если применяют вектор для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности либо нуклеотидную молекулу, такую как, например, нуклеотидная последовательность для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности, эндогенный промотор и сигнал доставки из бактериального эффекторного белка может кодироваться на эндогенной бактериальной ДНК (хромосомной или плазмидной ДНК), и только нуклеотидная молекула, такая как, например, нуклеотидная последовательность, кодирующая гетерологичный белок, будет обеспечена вектором для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности либо нуклеотидной молекулой, такой как, например, нуклеотидная последовательность для хромосомной вставки или вставки плазмиды вирулентности. Таким образом, не требуется, чтобы промотор обязательно содержался в векторе, применяемом для трансформации рекомбинантных аттенуированных по вирулентности грамотрицательных штаммов бактерий, т.е. рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные штаммы бактерий согласно настоящему изобретению могут быть трансформированы вектором, который не содержит промотор.

В предпочтительном варианте реализации нуклеотидная молекула, например, вектор согласно настоящему изобретению, содержит в направлении от 5' к 3':

первую нуклеотидную последовательность, кодирующую сигнал доставки или его фрагмент из бактериального эффекторного белка;
 вторую нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом указанной первой нуклеотидной
 5 последовательности.

Предпочтительный вектор, например, предпочтительный вектор экспрессии для *Yersinia*, выбран из группы, состоящей из pBad_Si_1 и pBad_Si_2. pBad_Si2 был сконструирован путем клонирования фрагмента SycE-YopE₁₋₁₃₈, содержащего
 10 эндогенные промоторы для YopE и SycE, из очищенного pYV40 в сайт KpnI/HindIII pBad-MyсHisA (Invitrogen). Дополнительные модификации включают удаление фрагмента NcoI/BglII pBad-MyсHisA путем расщепления, обработку фрагментом Кленова и повторное лигирование. Дополнительно на 3'-конце YopE₁₋₁₃₈ были добавлены следующие сайты расщепления: XbaI-XhoI-
 15 BstBI-(HindIII). pBad_Si1 аналогичен pBad_Si2, но кодирует EGFP, амплифицированный из pEGFP-C1 (Clontech) в сайте NcoI/BglII под контролем индуцибельного арабинозой промотора. В равной степени предпочтительным является применение модифицированных версий эндогенной плазмиды вирулентности *Yersinia* pYV, кодирующих гетерологичные белки в виде слияний
 20 с сигнальной последовательностью T3SS.

Предпочтительный вектор, например, предпочтительный вектор экспрессии для *Salmonella*, выбран из группы, состоящей из pSi_266, pSi_267, pSi_268 и pSi_269. Плазмиды pSi_266, pSi_267, pSi_268 и pSi_269, содержащие соответствующий
 25 эндогенный промотор и фрагмент SteA₁₋₂₀ (pSi_266), полноразмерную последовательность SteA (pSi_267), фрагмент SopE₁₋₈₁ (pSi_268) или фрагмент SopE₁₋₁₀₅ (pSi_269), амплифицировали из геномной ДНК *S. enterica* SL1344 и клонировали в сайт NcoI/KpnI pBad-MyсHisA (Invitrogen).

Нуклеотидные молекулы, например, векторы согласно настоящему изобретению,
 30 могут содержать другие элементы последовательности, такие как 3'-последовательность терминации (включая стоп-кодон и последовательность поли-А), или ген, предоставляющий лекарственную устойчивость, который позволяет проводить селекцию трансформантов, получивших настоящий вектор.

Рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные штаммы бактерий можно трансформировать нуклеотидными молекулами, например, векторами согласно настоящему изобретению, множеством известных способов. Для целей настоящего изобретения способы трансформации с целью введения вектора включают, без ограничения, электропорацию, трансформацию, опосредованную фосфатом кальция, конъюгацию или их комбинации. Например, нуклеотидными молекулами, например, вектором, можно трансформировать первый штамм бактерий с помощью стандартной процедуры электропорации. Затем такие нуклеотидные молекулы, например, вектор, могут быть перенесены из первого штамма бактерий в желаемый штамм с помощью конъюгации, процесса, также называемого «мобилизацией». Трансформант (т.е. грамотрицательные штаммы бактерий, захватившие вектор) можно отобрать, например, с помощью антибиотиков. Данные методики хорошо известны в данной области техники. См., например, публикацию ¹⁹.

Согласно настоящему изобретению промотор, функционально связанный с бактериальным эффекторным белком рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий согласно настоящему изобретению, может представлять собой нативный промотор эффекторного белка T3SS соответствующего штамма или совместимого штамма бактерий либо промотор, применяемый в векторах экспрессии, которые являются подходящими, например, в штамме *Yersinia*, *Escherichia*, *Salmonella* или *Pseudomonas*, например, pUC и pBad. Такие промоторы представляют собой промотор T7, промотор P_{lac} или индуцибельный арабинозой промотор Aga-bad.

Если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*, промотор может быть получен из гена вирулона *Yersinia*. «Ген вирулона *Yersinia*» обозначает гены на плазмиде pYV *Yersinia*, экспрессия которых контролируется как температурой, так и осуществлением контакта с клеткой-мишенью. Такие гены включают гены, кодирующие элементы аппарата секреции (гены Ysc), гены, кодирующие транслокаторы (YopB, YopD и LcrV), гены, кодирующие контрольные элементы (YopN, YueA и LcrG), гены, кодирующие эффекторные шапероны T3SS (SycD, SycE, SycH, SycN, SycO и SycT), и гены, кодирующие эффекторы (YopE, YopH,

YopO/YpkA, YopM, YopT и YopP/YopJ), а также другие белки, кодируемые pYV, такие как VirF и YadA.

В предпочтительном варианте реализации настоящего изобретения промотор представляет собой нативный промотор гена, кодирующего функциональный эффектор T3SS. Если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*, промотор выбран из любого одного из YopE, YopH, YopO/YpkA, YopM и YopP/YopJ. Более предпочтительно, промотор получен из YopE или SysE. Наиболее предпочтительным является промотор YopE.

10 Если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Salmonella*, промотор может быть получен из острова патогенности SpiI или SpiII или из эффекторного белка, кодируемого в другом месте. Такие гены включают гены, кодирующие элементы аппарата секреции, гены, кодирующие транслокаторы, гены, кодирующие контрольные элементы, гены, кодирующие эффекторные шапероны T3SS, и гены, кодирующие эффекторы, а также другие белки, кодируемые SPI-1 или SPI-2. В предпочтительном варианте реализации настоящего изобретения промотор представляет собой нативный промотор гена, кодирующего функциональный эффектор T3SS. Если рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Salmonella*, промотор выбран из любого одного из эффекторных белков. Более предпочтительно, промотор получен из SopE, InvB или SteA.

В некоторых вариантах реализации промотор представляет собой искусственно индуцируемый промотор, такой как, например, индуцибельный арабинозой промотор, который является предпочтительным. В данном случае бактерии обычно обеспечивают арабинозой, которая затем индуцирует бактериальную экспрессию белка, подлежащего доставке.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую сайт расщепления протеазы. Сайт расщепления протеазы обычно расположен на нуклеотидной молекуле, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной

последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, между нуклеотидной последовательностью, кодирующей гетерологичный белок, и нуклеотидной последовательностью, кодирующей сигнал доставки. Получение функционального и в общем виде применимого сайта расщепления позволяет отщеплять сигнал доставки после транслокации.

5 Поскольку сигнал доставки может препятствовать правильной локализации и/или функционированию транслоцированного белка в клетках-мишенях, введение сайта расщепления протеазы между сигналом доставки и белком, представляющим интерес, обеспечивает доставку в эукариотические клетки практически нативных белков. Предпочтительно, сайт расщепления протеазы представляет собой аминокислотный мотив, который расщепляется протеазой или ее каталитическими доменами, выбранной из группы, состоящей из энтерокиназы (легкая цепь), энтеропептидазы, протеазы PreScission, протеазы риновируса человека 3С, протеазы TEV, протеазы TVMV, протеазы фактор Ха и

10 тромбина, более предпочтительно, аминокислотный мотив, который расщепляется протеазой TEV. В равной степени предпочтительный сайт расщепления протеазы представляет собой аминокислотный мотив, который расщепляется протеазой или ее каталитическими доменами, выбранной из группы, состоящей из энтерокиназы (легкая цепь), энтеропептидазы, протеазы PreScission, протеазы риновируса человека 3С, протеазы TEV, протеазы TVMV, протеазы фактор Ха, убиквитин-процессирующей протеазы, называемой деубиквитинизирующими ферментами, и тромбина. Наиболее предпочтительным является аминокислотный мотив, который расщепляется протеазой TEV или убиквитин-процессирующей протеазой.

20 Таким образом, в следующем варианте реализации настоящего изобретения гетерологичный белок отщепляется от сигнала доставки из бактериального эффекторного белка протеазой. Предпочтительными способами отщепления являются способы, в которых:

25 а) протеаза транслоцируется в эукариотическую клетку рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммом бактерий, как описано в настоящем документе, который экспрессирует слитый белок, содержащий сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, и протеазу в качестве гетерологичного белка; или

30

b) протеаза экспрессируется конститутивно или временно в эукариотической клетке.

Обычно рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, применяемый для доставки желаемого
5 белка в эукариотическую клетку, и рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, транслоцирующий протеазу в эукариотическую клетку, являются различными.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный
10 аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий содержит дополнительную нуклеотидную последовательность, кодирующую молекулу для мечения или акцепторный сайт для молекулы для мечения. Дополнительная нуклеотидная последовательность, кодирующая молекулу для мечения или акцепторный сайт для молекулы для мечения, обычно слита с 5'-
15 концом или с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей гетерологичный белок. Предпочтительная молекула для мечения или акцепторный сайт для молекулы для мечения выбраны из группы, состоящей из усиленного зеленого флуоресцентного белка (enhanced green fluorescent protein, EGFP), кумарина, акцепторного сайта кумаринлигазы, резорурфина, акцепторного
20 сайта резорурфинлигазы, тетрацистеинового мотива, применяемого с красителем FlAsH/ReAsH (Life Technologies). Наиболее предпочтительным является резорурфин и акцепторный сайт резорурфинлигазы или EGFP. Применение молекулы для мечения или акцепторного сайта для молекулы для мечения приведет к присоединению молекулы для мечения к гетерологичному белку,
25 представляющему интерес, который затем будет доставлен в таком виде в эукариотическую клетку и сделает возможным отслеживание белка, например, с помощью микроскопии живых клеток.

В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный
30 аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий содержит дополнительную нуклеотидную последовательность, кодирующую пептидную метку. Дополнительная нуклеотидная последовательность, кодирующая пептидную метку, обычно слита с 5'-концом или с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей гетерологичный белок.

- Предпочтительная пептидная метка выбрана из группы, состоящей из метки Mус, метки His, метки Flag, метки HA, метки Strep или метки V5 или комбинации двух или более меток из данной группы. Наиболее предпочтительными являются метка Mус, метка Flag, метка His и сочетание меток Mус и His.
- 5 пептидной метки обеспечит возможность отслеживать меченный белок, например, с помощью иммунофлуоресценции или вестернблоттинга с применением антител против метки. Дополнительно применение пептидной метки позволяет проводить аффинную очистку желаемого белка после секреции в супернатант культуры или после транслокации в эукариотические клетки, в
- 10 обоих случаях с применением способа очистки, подходящего для соответствующей метки (например, металл-хелатной аффинной очистки при применении с меткой His или очистки на основе антитела против Flag при применении с меткой Flag).
- 15 В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий содержит дополнительную нуклеотидную последовательность, кодирующую сигнал внутриядерной локализации (nuclear localization signal, NLS). Дополнительная нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал
- 20 внутриядерной локализации (NLS), обычно слита с 5'-концом или с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей гетерологичный белок, причем указанная дополнительная нуклеотидная последовательность кодирует сигнал внутриядерной локализации (NLS). Предпочтительный NLS выбран из группы, состоящей из NLS большого Т-антигена SV40 и его производных ³⁰, а также
- 25 других вирусных NLS. Наиболее предпочтительным является NLS большого Т-антигена SV40 и его производные.

- В одном варианте реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий
- 30 содержит сайт множественного клонирования. Сайт множественного клонирования обычно расположен на 3'-конце нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, и/или на 5'-конце или 3'-конце нуклеотидной последовательности, кодирующей гетерологичный белок. В векторе может

содержаться один или более одного сайта множественного клонирования. Предпочтительный сайт множественного клонирования выбран из группы рестрикционных ферментов, состоящей из XhoI, XbaI, HindIII, NcoI, NotI, EcoRI, EcoRV, BamHI, NheI, SacI, SalI, BstBI. Наиболее предпочтительными являются XbaI, XhoI, BstBI и HindIII.

Слитый белок, экспрессируемый рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммом бактерий согласно настоящему изобретению, также обозначают как «слитый белок» или «гибридный белок», т.е. слитый белок или гибрид сигнала доставки и гетерологичного белка. Слитый белок может также содержать, например, сигнал доставки и два или более различных гетерологичных белков.

В настоящем изобретении предусмотрены способы лечения рака у субъекта, например, лечения злокачественных солидных опухолей, включающие доставку гетерологичных белков, как описано в настоящем документе выше, в раковые клетки, например, в клетки злокачественной солидной опухоли. Белки можно доставить, т.е. транслоцировать в раковую клетку, например, в клетки злокачественной солидной опухоли, во время введения рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий субъекту, или их можно доставить, т.е. транслоцировать в раковую клетку, например, в клетки злокачественной солидной опухоли, в более позднее время, например, после того, как рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий достигнет раковой клетки, например, участка злокачественной солидной опухоли, и/или достигнет раковой клетки, например, участка злокачественной солидной опухоли, и реплицируется, как описано выше. Время доставки можно регулировать, например, с помощью промотора, который применяют для экспрессии гетерологичных белков в рекомбинантном аттенуированном по вирулентности грамотрицательном штамме бактерий. В первом случае гетерологичным белком может управлять конститутивный промотор или, более предпочтительно, эндогенный промотор бактериального эффекторного белка. В случае отсроченной доставки белков гетерологичным белком может управлять искусственно индуцируемый промотор, такой как индуцибельный арабинозой промотор. В данном случае

после того, как бактерии достигли желаемого участка и накопились в нем, субъекту будут вводить арабинозу. Затем арабиноза индуцирует бактериальную экспрессию белка, подлежащего доставке.

- 5 Таким образом, в одном варианте реализации способ лечения рака включает
- i) культивирование рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, как описано в настоящем документе;
 - ii) введение субъекту указанного рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий посредством
- 10 осуществления контакта раковой клетки с рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммом бактерий по п. i), причем слитый белок, который содержит сигнал доставки из бактериального эффекторного белка и гетерологичный белок, экспрессируется рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммом бактерий и
- 15 транслоцируется в раковую клетку; и необязательно
- iii) расщепление слитого белка так, что гетерологичный белок отщепляется от сигнала доставки из бактериального эффекторного белка внутри раковой клетки, причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является
- 20 достаточным для лечения субъекта.

Раковые клетки для доставки гетерологичных белков обычно представляют собой раковые клетки от типов рака, выбранных из несолидных опухолей, выбранных из группы, состоящей из саркомы, лейкоза, лимфомы,

25 множественной миеломы, типов рака центральной нервной системы и злокачественных солидных опухолей, которые включают, без ограничения, абнормальную массу клеток, которые могут происходить из различных типов тканей, таких как печень, толстая кишка, ободочная и прямая кишка, кожа, молочная железа, поджелудочная железа, шейка матки, тело матки, мочевого

30 пузырь, желчный пузырь, почки, гортань, губа, полость рта, пищевод, яичник, предстательная железа, желудок, яички, щитовидная железа или легкие, и, таким образом, включают злокачественные солидные опухоли печени, толстой кишки, ободочной и прямой кишок, кожи, молочной железы, поджелудочной железы, шейки матки, тела матки, мочевого пузыря, желчного пузыря, почек, гортани,

губы, полости рта, пищевода, яичника, предстательной железы, желудка, яичек, щитовидной железы или легких. Предпочтительно, раковые клетки для доставки гетерологичных белков представляют собой злокачественные солидные опухоли.

- 5 Таким образом, в одном предпочтительном варианте реализации рак представляет собой злокачественную солидную опухоль, и способ включает
- i) культивирование рекомбинантного аттенуированного по вирулентности граммотрицательного штамма бактерий, как описано в настоящем документе;
 - ii) введение субъекту указанного рекомбинантного аттенуированного по
- 10 вирулентности граммотрицательного штамма бактерий посредством осуществления контакта клетки злокачественной солидной опухоли с рекомбинантным аттенуированным по вирулентности граммотрицательным штаммом бактерий по п. i), причем слитый белок, который содержит сигнал доставки из бактериального эффекторного белка и гетерологичный белок,
- 15 экспрессируется рекомбинантным аттенуированным по вирулентности граммотрицательным штаммом бактерий и транслоцируется в клетку злокачественной солидной опухоли; и необязательно
- iii) расщепление слитого белка так, что гетерологичный белок отщепляется от сигнала доставки из бактериального эффекторного белка внутри клетки
- 20 злокачественной солидной опухоли,
- причем рекомбинантный аттенуированный по вирулентности граммотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.
- 25 В некоторых вариантах реализации по меньшей мере два слитых белка, каждый из которых содержит сигнал доставки из бактериального эффекторного белка и гетерологичный белок, экспрессируются рекомбинантным аттенуированным по вирулентности граммотрицательным штаммом бактерий и транслоцируются в эукариотическую клетку, например, раковую клетку, способами согласно
- 30 настоящему изобретению.

Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности граммотрицательный штамм бактерий можно культивировать так, чтобы экспрессировался слитый белок, который содержит сигнал доставки из бактериального эффекторного

- белка и гетерологичный белок, согласно способам, известным в данной области техники (например, см. публикацию FDA, Bacteriological Analytical Manual (BAM), chapter 8: *Yersinia enterocolitica*). Предпочтительно, рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий можно
- 5 культивировать в бульоне с сердечно-мозговым экстрактом, например, при температуре 28°C. Для индукции экспрессии T3SS и, например, генов, зависимых от промотора YopE/SycE, бактерии можно выращивать при температуре 37°C.
- В одном варианте реализации осуществляют контакт раковой клетки, например, клетки злокачественной солидной опухоли, с двумя рекомбинантными
- 10 аттенуированными по вирулентности грамотрицательными штаммами бактерий по п. i), причем первый рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий экспрессирует первый слитый белок, который содержит сигнал доставки из бактериального эффекторного белка и первый гетерологичный белок, а второй рекомбинантный аттенуированный по
- 15 вирулентности грамотрицательный штамм бактерий экспрессирует второй слитый белок, который содержит сигнал доставки из бактериального эффекторного белка и второй гетерологичный белок, так, что первый и второй слитый белок транслоцируются в клетку злокачественной солидной опухоли. Данный вариант реализации обеспечивает коинфекцию раковой клетки,
- 20 например, клетки злокачественной солидной опухоли, двумя штаммами бактерий в качестве надежного способа для доставки, например, двух различных гибридных белков в отдельные клетки для направления их функционального взаимодействия.
- 25 Специалисты в данной области техники могут также применять множество вариантов анализа для определения того, была ли доставка слитого белка успешной. Например, слитый белок можно обнаружить с помощью иммунофлуоресценции с применением антител, распознающих слитую метку (такую как метка Мус). Определение также может основываться на
- 30 ферментативной активности белка, доставку которого проводят, например, как в анализе, описанном в публикации ¹⁹.

В настоящем изобретении также предложена фармацевтическая композиция, содержащая рекомбинантный аттенуированный по вирулентности

граммотрицательный штамм бактерий, как описано в настоящем документе, необязательно содержащая подходящий фармацевтически приемлемый носитель. Таким образом, в настоящем изобретении также предложена фармацевтическая композиция, содержащая рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, как описано в настоящем документе, для применения в способе лечения рака, например, злокачественной солидной опухоли у субъекта.

Рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные бактерии могут быть приготовлены для удобного и эффективного введения в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта, в виде фармацевтической композиции с подходящим фармацевтически приемлемым носителем. Единичная лекарственная форма рекомбинантных аттенуированных по вирулентности грамотрицательных бактерий или фармацевтической композиции, подлежащей введению, может, например, содержать рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные бактерии в количестве от приблизительно 10^5 до приблизительно 10^9 бактерий на мл, предпочтительно, от приблизительно 10^6 до приблизительно 10^8 бактерий на мл, более предпочтительно, от приблизительно 10^7 до приблизительно 10^8 бактерий на мл, наиболее предпочтительно, приблизительно 10^8 бактерий на мл.

Под «количеством, достаточным для лечения субъекта», или «эффективным количеством», которые используются в настоящем документе взаимозаменяемо, подразумевают количество бактерии или бактерий, достаточно высокое, чтобы в значительной степени положительно изменить состояние, лечение которого проводят, но достаточно низкое, чтобы избежать серьезных побочных эффектов (при обоснованном соотношении польза/риск), в рамках здравого медицинского суждения. Эффективное количество бактерии будет варьировать в зависимости от конкретной поставленной цели, возраста и физического состояния субъекта, лечение которого проводят, длительности лечения, природы сопутствующей терапии и конкретной применяемой бактерии. Эффективное количество бактерии будет, таким образом, представлять собой минимальное количество, которое обеспечит желаемый эффект. Обычно субъекту вводят количество от приблизительно 10^5 до приблизительно 10^9 бактерий, например, от

приблизительно 10^5 до приблизительно 10^9 бактерий/ m^2 поверхности тела, предпочтительно, от приблизительно 10^6 до приблизительно 10^8 бактерий, например, от приблизительно 10^6 до приблизительно 10^8 бактерий/ m^2 поверхности тела, более предпочтительно, от приблизительно 10^7 до

5 приблизительно 10^8 бактерий, например, от приблизительно 10^7 до приблизительно 10^8 бактерий/ m^2 поверхности тела, наиболее предпочтительно, 10^8 бактерий, например, 10^8 бактерий/ m^2 поверхности тела.

Однократная доза рекомбинантного аттенуированного по вирулентности

10 граммотрицательного штамма бактерий для введения субъекту, например, человеку, для лечения рака, например, злокачественной солидной опухоли, составляет обычно от приблизительно 10^4 до приблизительно 10^{10} бактерий, например, от приблизительно 10^4 бактерий/ m^2 поверхности тела до

15 приблизительно 10^{10} бактерий/ m^2 поверхности тела, предпочтительно, от приблизительно 10^5 до приблизительно 10^9 бактерий, например, от приблизительно 10^5 до приблизительно 10^9 бактерий/ m^2 поверхности тела, более

предпочтительно, от приблизительно 10^6 до приблизительно 10^8 бактерий, например, от приблизительно 10^6 до приблизительно 10^8 бактерий/ m^2 поверхности тела, еще более предпочтительно, от приблизительно 10^7 до

20 приблизительно 10^8 бактерий, например, от приблизительно 10^7 до приблизительно 10^8 бактерий/ m^2 поверхности тела, наиболее предпочтительно, 10^8 бактерий, например, 10^8 бактерий/ m^2 поверхности тела суммарных рекомбинантных аттенуированных по вирулентности граммотрицательных бактерий.

25

Примеры веществ, которые могут выступать в качестве фармацевтических носителей, представляют собой сахара, такие как лактоза, глюкоза и сахароза; крахмалы, такие как кукурузный крахмал и картофельный крахмал; целлюлозу и ее производные, такие как карбоксиметилцеллюлоза натрия, этилцеллюлоза и

30 ацетаты целлюлозы; порошковый трагакант; солод; желатин; тальк; стеариновые кислоты; стеарат магния; сульфат кальция; карбонат кальция; растительные масла, такие как арахисовое масло, хлопковое масло, кунжутное масло, оливковое масло, кукурузное масло и масло какао-бобов; многоатомные спирты, такие как пропиленгликоль, глицерин, сорбитол, маннитол и полиэтиленгликоль;

агар; альгиновые кислоты; апирогенную воду; изотонический солевой раствор; экстракты клюквы и фосфатный буферный раствор; обезжиренное сухое молоко; а также другие нетоксичные совместимые вещества, применяемые в фармацевтических составах, такие как, например, витамин С, эстроген и эхинацея. Также могут присутствовать смачивающие средства и смазывающие вещества, такие как лаурилсульфат натрия, а также красящие средства, ароматизирующие вещества, смазывающие вещества, вспомогательные вещества, вещества, способствующие таблетированию, стабилизаторы, антиоксиданты и консерванты.

10

Способы введения рекомбинантных аттенуированных по вирулентности грамотрицательных бактерий субъекту можно выбрать из группы, состоящей из внутривенного, внутриопухолевого, интраперитонеального и перорального введения. Несмотря на то, что настоящее изобретение не предназначено быть ограниченным каким-либо конкретным способом применения, внутривенное или внутриопухоловое введение бактерий или фармацевтических композиций является предпочтительным.

15

В зависимости от пути введения может требоваться, чтобы активные компоненты, которые содержат бактерии, были покрыты материалом для защиты указанных организмов от действия ферментов, кислот и других природных условий, которые могут инактивировать указанные организмы. С целью введения бактерий путем, отличным от парентерального введения, бактерии должны быть покрыты материалом для защиты от инактивации или должны вводиться вместе с указанным материалом. Например, бактерии можно вводить совместно с ингибиторами ферментов или в липосомах. Ингибиторы ферментов включают ингибитор трипсина поджелудочной железы, диизопротилфлуорофосфат (DFP) и тразилол. Липосомы включают эмульсии Р40 вода-в-масле-в-воде, а также общепринятые и специально разработанные липосомы, которые транспортируют бактерии, такие как *Lactobacillus*, или их побочные продукты, к внутренней мишени субъекта-хозяина.

20

25

30

Одну бактерию можно ввести саму по себе или в сочетании с второй, отличной бактерией. Любое число различных бактерий можно применять в сочетании. Под «в сочетании с» подразумевают «вместе», по существу одновременно или последовательно. Композиции можно также вводить в форме таблетки, драже

или капсулы, например, такой как высушенная сублимацией капсула, содержащая бактерии или фармацевтические композиции согласно настоящему изобретению, либо в виде замороженного раствора бактерий или фармацевтических композиций согласно настоящему изобретению, содержащего

5 DMSO или глицерол. Другая предпочтительная форма применения включает приготовление лиофилизированных капсул бактерий или фармацевтических композиций согласно настоящему изобретению. Еще одна предпочтительная форма применения включает приготовление высушенной теплом капсулы бактерий или фармацевтических композиций согласно настоящему изобретению.

10

Рекомбинантные аттенуированные по вирулентности грамотрицательные бактерии или фармацевтическую композицию, подлежащие введению, можно ввести с помощью инъекции. Формы, подходящие для инъекционного применения, включают моносептические или стерильные водные растворы (в

15 случае водорастворимых компонентов) либо дисперсии и стерильные порошки для приготовления стерильных инъекционных растворов или дисперсии непосредственно перед применением. Во всех случаях форма должна быть моносептической или стерильной и должна быть жидкой в той степени, чтобы ее можно было с легкостью ввести через шприц. Форма должна быть стабильной в

20 условиях производства и хранения. Носитель может представлять собой растворитель или дисперсионную среду, содержащую, например, воду, этанол, многоатомный спирт (например, глицерол, пропиленгликоль, жидкий полиэтиленгликоль и т.п.), подходящие смеси данных компонентов и растительные масла. Надлежащую текучесть можно поддерживать, например,

25 посредством использования покрытия, такого как лецитин, посредством поддержания требуемого размера частиц в случае дисперсии. Во многих случаях будет предпочтительно включать в композицию изотонические вещества, например, сахара или хлорид натрия. Пролонгированное всасывание инъекционных композиций можно обеспечить посредством применения в

30 композиции веществ, которые отсрочивают всасывание, например, моностеарата алюминия и желатина.

В некоторых вариантах реализации настоящего изобретения рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят

субъекту совместно с сидерофором. Данные варианты реализации являются предпочтительными. Сидерофоры, которые можно вводить совместно, представляют собой сидерофоры, включая гидроксамат, катехолат и сидерофоры со смешанными лигандами. Предпочтительные сидерофоры представляют собой

5 дефероксамин (также известный как десферриоксамин В, десфероксамин В, DFO-B, DFOA, DFB или Десферал), десферриоксамин Е, деферазирокс (Эксиджад, Десирокс, Дефриджет, Десифер) и деферипрон (Феррипрокс), более предпочтительным является дефероксамин. Дефероксамин представляет собой

10 бактериальный сидерофор, продуцируемый актинобактерией *Streptomyces pilosus*, который является коммерчески доступным, например, от компании Novartis Pharma Schweiz AG (Швейцария).

Совместное введение с сидерофором можно проводить до, одновременно с или после введения рекомбинантного аттенуированного по вирулентности

15 грамотрицательного штамма бактерий. Предпочтительно, сидерофор вводят до введения рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, более предпочтительно, вводят по меньшей мере за 1 час, предпочтительно, по меньшей мере за 6 часов, более предпочтительно, по меньшей мере за 12 часов, в частности, по меньшей мере за 24 часа до введения субъекту рекомбинантного аттенуированного по

20 вирулентности грамотрицательного штамма бактерий. В конкретном варианте реализации субъект получает предварительное лечение десфероксамином за 24 ч до инфицирования рекомбинантным аттенуированным по вирулентности грамотрицательным штаммом бактерий для обеспечения роста бактерий. Обычно сидерофор вводят совместно в однократной дозе от приблизительно $0,5 \times 10^{-5}$

25 моль до приблизительно 1×10^{-3} моль, более предпочтительно, от приблизительно 1×10^{-5} моль до приблизительно 1×10^{-4} моль, предпочтительно, от приблизительно $3,5 \times 10^{-5}$ моль до приблизительно $1,1 \times 10^{-4}$ моль на кг массы тела. Обычно десфероксамин вводят совместно в однократной дозе от приблизительно 20 мг до приблизительно 60 мг, предпочтительно, от

30 приблизительно 20 мг до приблизительно 60 мг на кг массы тела.

Режимы дозирования при введении рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий или фармацевтической композиции, описанных в настоящем документе, будут варьировать в

зависимости от конкретной поставленной цели, возраста и физического состояния субъекта, лечение которого проводят, длительности лечения, природы сопутствующей терапии и конкретной применяемой бактерии, как известно специалисту. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий обычно вводят субъекту согласно режиму введения доз, состоящему из однократной дозы каждые 1 – 20 дней, предпочтительно, каждые 1 – 10 дней, более предпочтительно, каждые 1 – 7 дней. Период введения составляет обычно от приблизительно 20 до приблизительно 60 дней, предпочтительно, приблизительно 30 – 40 дней. В качестве альтернативы, период введения составляет обычно от приблизительно 8 до приблизительно 32 недель, предпочтительно, от приблизительно 8 до приблизительно 24 недель, более предпочтительно, от приблизительно 12 до приблизительно 16 недель.

В следующем варианте реализации в настоящем изобретении предложен набор для лечения рака, например, такого как злокачественные солидные опухоли, предпочтительно, у человека. Такие наборы, как правило, будут содержать рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий или фармацевтическую композицию, описанную в настоящем документе, и инструкции по применению набора. В некоторых вариантах реализации наборы содержат носитель, упаковку или контейнер, который разделен с получением одного или нескольких контейнеров, таких как флаконы, пробирки и т.п., причем каждый из контейнера или контейнеров содержит один из отдельных элементов для применения в способе, описанном в настоящем документе. Подходящие контейнеры включают, например, бутылки, флаконы, шприцы и лабораторные пробирки. В других вариантах реализации контейнеры изготовлены из множества материалов, таких как стекло или пластик.

Примеры

30 Пример 1:

А) Материалы и методы

Штаммы бактерий и условия роста. Штаммы, применявшиеся в данном исследовании, перечислены на фиг. 3А – *M. E. coli* Top10, который применяли

для очистки и клонирования плазмиды, и *E. coli* Sm10 λ pir, который применяли для конъюгации, а также *E. coli* BW19610³¹, который применяли для размножения pKNG101, выращивали общепринятым способом на чашках с агаром LB и в бульоне LB при температуре 37°C. Ампициллин использовали в концентрации 200 мкг/мл (*Yersinia*) или 100 мкг/мл (*E. coli*) для отбора векторов экспрессии. Стрептомицин использовали в концентрации 100 мкг/мл для отбора векторов-«самоубийц». *Y. enterocolitica* MRS40 (O:9, биотип 2)²⁰, не устойчивое к ампициллину E40-производное¹⁹, и полученные из него штаммы выращивали общепринятым способом на сердечно-мозговом экстракте (Brain Heart Infusion BHI; Difco) при к.т. (комнатной температуре). Ко всем штаммам *Y. enterocolitica* добавляли налидиксовую кислоту (35 мкг/мл), а ко всем штаммам *Y. enterocolitica* *asd* дополнительно добавляли 100 мкг/мл мезо-2,6-диаминопимелиновой кислоты (*mDAP*, Sigma Aldrich). *S. enterica* SL1344 выращивали общепринятым способом на чашках с агаром LB и в бульоне LB при температуре 37°C. Ампициллин использовали в концентрации 100 мкг/мл для отбора векторов экспрессии в *S. enterica*.

Генетические манипуляции с *Y. enterocolitica*. Генетические манипуляции с *Y. enterocolitica* были описаны в публикации^{32,33}. Вкратце, мутаторы для модификации или делеции генов в плазидах pYV или на хромосоме конструировали с помощью ПЦР с перекрывающимися праймерами из 2-х фрагментов с применением в качестве матрицы очищенной плазмиды pYV40 или геномной ДНК, что приводило к получению фланкирующих последовательностей размером 200 – 250 п.о. на обеих сторонах делетированной или модифицированной части соответствующего гена. Полученные в результате фрагменты клонировали в pKNG101²⁹ в *E. coli* BW19610³¹. Плазмидами с подтвержденной последовательностью трансформировали *E. coli* Sm10 λ pir, из которого плазмиды мобилизировали в соответствующий штамм *Y. enterocolitica*. Мутанты, несущие встроенный вектор, размножали для получения нескольких поколений без давления отбора. Затем для отбора клонов, которые утратили вектор, использовали сахарозу. Наконец, мутанты идентифицировали с помощью ПЦР для отбора колоний. Конкретные мутаторы (pSi_408, pSi_419) перечислены в таблице III.

Конструкция плазмид. Плазмиду pBad_Si2 или pBad_Si1 (фиг. 2) применяли для клонирования слитых белков с N-концевыми 138 аминокислотами YopE (SEQ ID No. 2). pBad_Si2 была сконструирована путем клонирования содержащих фрагмент SycE-YopE₁₋₁₃₈ эндогенных промоторов для YopE и SycE из очищенной pYV40 в сайт KpnI/HindIII pBad-MycHisA (Invitrogen). 5 Дополнительные модификации включают удаление фрагмента NcoI/BglII pBad-MycHisA путем расщепления, обработку фрагментом Кленова и повторное лигирование. Двухнаправленный терминатор транскрипции (Bba_B1006; iGEM foundation) клонировали в разрез KpnI, обработанный фрагментом Кленова (pBad_Si2), или сайт разреза BglII (pBad_Si1). Затем на 3'-конце YopE₁₋₁₃₈ были добавлены следующие сайты расщепления: XbaI-XhoI-BstBI-(HindIII) (фиг. 2 B). pBad_Si1 аналогична pBad_Si2, но кодирует EGFP, амплифицированный из pEGFP-C1 (Clontech) в сайте NcoI/BglII под контролем индуцибельного арабинозой промотора. Плазмиды pSi_266, pSi_267, pSi_268 и pSi_269, 10 содержащие соответствующий эндогенный промотор и фрагмент SteA₁₋₂₀ (pSi_266), полноразмерную последовательность SteA (pSi_267), фрагмент SopE₁₋₈₁ (pSi_268) или фрагмент SopE₁₋₁₀₅ (pSi_269), амплифицировали из геномной ДНК *S. enterica* SL1344 и клонировали в сайт NcoI/KpnI pBad-MycHisA 20 (Invitrogen).

Полноразмерные гены или их фрагменты амплифицировали со специфичными праймерами, перечисленными в таблице I ниже, и клонировали в виде слияний с YopE₁₋₁₃₈ в плазмиду pBad_Si2 или, в случае z-BIM (SEQ ID No. 16), – в pBad_Si1 (см. таблицу II ниже). Для слияния с SteA или SopE синтетические конструкции

5 ДНК расщепляли KpnI/HindIII и клонировали в pSi_266, pSi_267, pSi_268 или pSi_269, соответственно. В случае генов бактериальных видов в качестве матрицы применяли очищенную геномную ДНК (*S. flexneri* M90T, *Salmonella enterica* подвид *enterica* серовар *Тифимуриум* SL1344, *Bartonella henselae* ATCC 49882). Для генов человека применяли универсальную библиотеку кДНК

10 (Clontech), если не указано обратное (фиг. 3А – М, гены данио-перио амплифицировали из библиотеки кДНК (любезно предоставленной М. Affolter)). Лигированные плазмиды клонировали в *E. coli* Top10. Секвенированные плазмиды переносили посредством электропорации в желаемый штамм *Y. enterocolitica* или *S. enterica* с применением настроек для стандартной

15 электропорации *E. coli*.

Таблица I (№ Si Праймера_ :Последовательность)

20 Seq_Id_No_51: Праймер №: Si_285
CATACCATGGGAGTGAGCAAGGGCGAG

Seq_Id_No_52: Праймер №: Si_286
GGAAGATCTtACTTGTACAGCTCGTCCAT

25 Seq_Id_No_53: Праймер №: Si_287
CGGGGTACCTCAACTAAATGACCGTGGTG

Seq_Id_No_54: Праймер №: Si_288
30 GTTAAAGCTTtcgaatctagactcgagCGTGGCGAACTGGTC

Seq_Id_No_55: Праймер №: Si_387
CGTAtctagaATGGACTGTGAGGTCAACAA

35 Seq_Id_No_56: Праймер №: Si_391
CGTAtctagaGGCAACCGCAGCA

Seq_Id_No_57: Праймер №: Si_389
GTTAAAGCTTTCAGTCCATCCCATTTCTg

40 Seq_Id_No_58: Праймер №: Si_436
CGTAtctagaATGCCCCGCCCC

Seq_Id_No_59: Праймер №: Si_437
GTAAAGCTTCTACCCACCGTACTCGTCAAT

5 Seq_Id_No_60: Праймер №: Si_438
CGTAtctagaATGTCTGACACGTCCAGAGAG

Seq_Id_No_61: Праймер №: Si_439
GTAAAGCTTTCATCTTCTTCGCAGGAAAAAG

10 Seq_Id_No_62: Праймер №: Si_463
CAGTctcgaggaaagcttgttaaggggc

15 Seq_Id_No_63: Праймер №: Si_464
cagtTTCGAAttagcgacggcgacg

Seq_Id_No_64: Праймер №: Si_476
GTAAAGCTTtACTTGTACAGCTCGTCCAT

20 Seq_Id_No_65: Праймер №: Si_494
CGTAtctagaATGGCCGAGCCTTG

Seq_Id_No_66: Праймер №: Si_495
GTAAAGCTTtaTTGAAGATTTGTGGCTCC

25 Seq_Id_No_67: Праймер №: Si_504
CGTAtctagaGAAAATCTGTATTTTCAAAGTGAAAATCTGTATTTTCAAAGTA
TGCCCCGCCCC

30 Seq_Id_No_68: Праймер №: Si_505
GTAAAGCTTCCCACCGTACTCGTCAATtc

Seq_Id_No_69: Праймер №: Si_508
CGTAtctagaGAAAATCTGTATTTTCAAAGTGAAAATCTGTATTTTCAAAGTA
TGCCCGAGCCTTG

35 Seq_Id_No_70: Праймер №: Si_509
GTAAAGCTTTTGAAGATTTGTGGCTCCc

40 Seq_Id_No_71: Праймер №: Si_511
CGTAtctagaGAAAATCTGTATTTTCAAAGTGAAAATCTGTATTTTCAAAGTG
TGAGCAAGGGCGAG

45 Seq_Id_No_72: Праймер №: Si_512
CGTAtctagaGAAAATCTGTATTTTCAAAGTGAAAATCTGTATTTTCAAAGTC
CGCCGAAAAAAAAACGTAAAGTTGTGAGCAAGGGCGAG

50 Seq_Id_No_73: Праймер №: Si_513
GTAAAGCTTtAAAACCTTACGTTTTTTTTTCGGCGGCTTGTACAGCTCGTCC
AT

Seq_Id_No_74: Праймер №: Si_515

CGTAtctagaGAAAATCTGTATTTTCAAAGTGAAAATCTGTATTTTCAAAGTG
ATTATAAAGATGATGATGATAAAATGGCCGAGCCTTG

5 Seq_Id_No_75: Праймер №: Si_677

TTACTATTCGAAGAAATTATTCATAATATTGCCCGCCATCTGGCCCAAATT
GGTGATGAAATGGATCATTAAGCTTGGAGTA

Seq_Id_No_76: Праймер №: Si_678

10 TACTCCAAGCTTAATGATCCATTTTCATCACCAATTTGGGCCAGATGGCGGG
CAATATTATGAATAATTTCTTCGAATAGTAA

Seq_Id_No_77: Праймер №: Si_682

15 TTACTACTCGAGAAAAAАСТGAGCGAATGTCTGCGCCGCATTGGTGATGA
ACTGGATAGСТАAGCTTGGAGTA

Seq_Id_No_78: Праймер №: Si_683

20 TACTCCAAGCTTAGСТАТССAGTTTCATCACCAATGCGGCGCAGACATTCGC
TCAGTTTTTTCTCGAGTAGTAA

Seq_Id_No_79: Праймер №: Si_580

catgccatggatttatggcatagatatgacctc

Seq_Id_No_80: Праймер №: Si_612

25 CGGGGTACCCatgagtagcttatttctgataaag

Seq_Id_No_81: Праймер №: Si_613

CGGGGTACCCataattgtccaatagttatggtagc

30 Seq_Id_No_82: Праймер №: Si_614

catgccatggCGGCAAGGCTCCTC

Seq_Id_No_83: Праймер №: Si_615

35 cggggtaccTTTATTTGTCAACACTGCCC

Seq_Id_No_84: Праймер №: Si_616

cggggtaccTGCGGGTCTTTACTCG

Seq_Id_No_85: Праймер №: Si_585

40 CAGTctcgagATGCAGATCTTCGTCAAGAC

Seq_Id_No_86: Праймер №: Si_586

GTТААAGCTTgctagctcgaaACCACCACGTAGACGТАAGAC

45 Seq_Id_No_87: Праймер №: Si_588

cagtTTCGAAGATTATAAAGATGATGATGATAAAATGGCCGAGCCTTG

Seq_Id_No_88: праймер № 733

50 TTACTACTCGAGGGTGCCATCGATGCCGAAGAAATTATTCATAATATTGCC
CG

Seq_Id_No_89: праймер № 735
ТАСТССТТСТСГААТТААТГАТССАТТТСАТСАССААТТТГ

5 Seq_Id_No_90: праймер № 736
ТТАСТАСТСГААГГТГССАТСГАТГССААААААСТГАГСГААТГТСТГСГ

Seq_Id_No_91: праймер № 738
ТАСТССТТСТСГААТТАГСТАТССАГТТСАТСАССААТГ

10 Seq_Id_No_92: праймер № 734
ТАСТССТТСТСГААГГСАССАТГАТССАТТТСАТСАССААТТТГГ

Seq_ID_No_93: праймер № 725:
15 ТТАСТАТТСТСГААГАААТТАТТСАТАААТТТГСС

Seq_ID_No_94: праймер № 726:
ТАСТССААГСТТАСГГТТГААТАТТАТГАТССАТТТСАТСАССААТТТГГ

20 Seq_ID_No_95: праймер № 727:
ТТАСТАТТСТСГААГССГГТГГТГССГААГАААТТАТТСАТАААТТТГССС

Seq_ID_No_96: праймер № 728:
ТАСТССААГСТТААТГАТССАТТТСАТСА

25 Seq_ID_No_97: праймер № 737:
ТАСТССТТСТСГААГГСАССГСТАТССАГТТСАТСАССААТГ

Seq_ID_No_101: праймер № 869:
gatcgtcgcacTTAAGTTCAATGGAGCGTTTAATATC

30 Seq_ID_No_102: праймер № 870:
ctttgactggcgagaacscTCTTAACATGAGGCTGAGCTC

Seq_ID_No_103: праймер № 871:
35 GAGCTCAGCCTCATGTTAAGAgcgtttctcgccagtcaag

Seq_ID_No_104: праймер № 872:
gatagccccgagcctgtGCACTTTGTCATTAACCTCAGC

40 Seq_ID_No_105: праймер № 873:
GCTGAGGTTAATGACAAAGTGCacaggctcgggggctatc

Seq_ID_No_106: праймер № 874:
catgtctagaCCCTCAGCATAАТААСГАСТС

45 Seq_ID_No_107: праймер № 600:
catgacatgtTGGCGTTTCTCGCC

Seq_ID_No_108: праймер № 601:

catgacatgtATTAACCTCAGCCCTGACTATAAG

Seq_ID_No_119: праймер № 1010:

5 cacatgtctagaCAACCGTTTCCGAAAGGTGATCTG

Seq_ID_No_120: праймер № 1012:

atccCAagctTATTGGCGTTGGGTGGTAAAAATTTTG

10 Seq_ID_No_121: праймер № 1021:

cacatgtctagaATGACCGCCGAACAACGC

Seq_ID_No_122: праймер № 1022:

15 catgaagcttaCGGACCCGGATTTTGGCTC

>Seq_ID_No_123: праймер № 1023:

catgaagcttaCGGTTCTTCTTGAATAAAAATTTGAATG

Seq_ID_No_124: праймер № 1024:

20 catgaagcttaTTGCAGCACTTTCGGCCAATTT

Seq_ID_No_125: праймер № 1025:

cacatgtctagaATGAGCATTTGTGTGTAGCGC

25

Seq_ID_No_126: праймер № 1026:

catgaagcttaGCTTTCATCCACGGCCGG

Seq_ID_No_127: праймер № 1027:

30 catgaagcttaATTACCGGTTTGGCGCAGC

Таблица II: Клонированные слитые белки

Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Seq. ID. № белка	Каркасная плаزمиды	Название полученно й в результате плазмиды	Праймеры . Si_Nr.:	Seq. ID № праймера
YopE1-138-MycHis	3	pBad-MycHisA (Invitrogen)	pBad_Si_1	285/286 (EGFP), 287/288 (sycE-YopE1-138)	51/52 и 53/54
YopE1-138-MycHis	3	pBad-MycHisA (Invitrogen)	pBad_Si_2	287/288 (sycE-	53/54

				YopE1-138)	
YopE1-138- Bid человека	16	pBad_Si_2	pSi_85	387/391	55/56
YopE1-138- t-Bid человека	17	pBad_Si_2	pSi_87	389/391	55/57
YopE1-138-ET1	9	pBad_Si_2	pSi_120	436/437	58/59
YopE1-138-z-BIM	16	pBad_Si_1	pSi_121	438/439	60/61
YopE1-138- протеаза TEV S219V	12	pBad_Si_2	pSi_132	463/464	62/63
YopE1-138-Ink4C	8	pBad_Si_2	pSi_151	494/495	65/66
YopE1-138-2x сайт TEV - ET1	11	pBad_Si_2	pSi_156	504/505	67/68
YopE1-138-2x сайт TEV- EGFP	98	pBad_Si_2	pSi_158	511/476	71/64
YopE1-138-2x сайт TEV - EGFP - NLS	99	pBad_Si_2	pSi_159	511/513	71/73
YopE1-138-2x сайт TEV - NLS - EGFP	100	pBad_Si_2	pSi_160	512/476	72/64
YopE1-138-2x сайт TEV - INK4C	10	pBad_Si_2	pSi_161	508/509	69/70
YopE1-138-2x сайт TEV - Flag - INK4C	13	pBad_Si_2	pSi_164	515/509	74/70
YopE1-138-кодон-оптимизированная для <i>Y. enterocolitica</i> часть ВНЗ tBid мыши	19	pBad_Si_2	pSi_318	677/678	75/76
YopE1-138-кодон-оптимизированная для <i>Y. enterocolitica</i> часть ВНЗ Вах мыши	20	pBad_Si_2	pSi_322	682/683	77/78
SteA1-20	5	pBad-MycHisA (Invitrogen)	pSi_266	580/612	79/80
SteA	4	pBad-MycHisA (Invitrogen)	pSi_267	580/613	79/81
SopE1-81	6	pBad-MycHisA (Invitrogen)	pSi_268	614/615	82/83
SopE1-105	7	pBad-MycHisA (Invitrogen)	pSi_269	614/616	82/84
YopE1-138-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> tBid мыши	21	pBad_Si_2	pSi_315	синтетическая конструкция	/

YopE1-138-Убиквитин	14	pBad_Si_2	pSi_236	585/586	85/86
YopE1-138-Убиквитин-Flag-INK4C-MycHis	15	pSi_236	pSi_237_II	588/509	87/70
YopE1-138-(кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica часть ВНЗ tBid мыши), готовая для вставки дополнительных доменов	25	pBad_Si_2	pSi_357	733/735	88/89
YopE1-138-(кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica часть ВНЗ ВАХ мыши), готовая для вставки дополнительных доменов	26	pBad_Si_2	pSi_358	736/738	90/91
YopE1-138-(кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica часть ВНЗ tBid мыши) ₂	27	pSi_357	pSi_371	733/734	88/92
YopE1-(138-кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica часть ВНЗ tBid мыши- кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica часть ВНЗ ВАХ мыши	28	pSi_358	pSi_373	733/734	88/92
YopE1-138- кодон-оптимизированная удлиненная часть ВНЗ tBid мыши	22	pBad_Si_2	pSi_353	725/726	93/94
YopE1-138-линкер 10 АК - кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica часть ВНЗ tBid мыши	23	pBad_Si_2	pSi_354	727/728	95/96
YopE1-138-кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica часть ВНЗ Вах мыши- кодон-	24	pSi_357	pSi_374	736/737	90/97

оптимизированная для <i>Y. enterocolitica</i> часть ВНЗ tBid мыши					
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные для <i>Y. enterocolitica</i> два домена CARD RIG-1 человека (AK 1-245)	37	pBad_Si_2	pSi_453	синтетическая конструкция	/
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные для <i>Y. enterocolitica</i> два домена CARD RIG-1 мыши (AK 1-246)	38	pBad_Si_2	pSi_454	синтетическая конструкция	/
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> GCN4 <i>S. cerevisiae</i> (AK 249-278) - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> WspR <i>P. aeruginosa</i> (AK 172-347)	39	pBad_Si_2	pSi_452	синтетическая конструкция	/
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> IRF3 S397D мыши	40	pBad_Si_2	pSi_428	синтетическая конструкция	/
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> DncV <i>V. Cholerae</i> (M3toL413)	41	pBad_Si_2	pSi_482	синтетическая конструкция	/
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> DisA-подобный белок <i>B. cereus</i> (PDB: 2FB5; AK 76-205)	42	pBad_Si_2	pSi_483	синтетическая конструкция	/
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> cGAS анемона (<i>N. vectensis</i>) (Ensembl: A7SFB5.1)	43	pBad_Si_2	pSi_484	синтетическая конструкция	/
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные	110	pBad_Si_2	pSi_521	1021/1022	122/123

для <i>Y. enterocolitica</i> домены CARD RIG1 мыши (AK 1-229)					
YopE1-138 - кодон-оптимизированные для <i>Y. enterocolitica</i> домены CARD RIG1 мыши (AK 1-218)	111	pBad_Si_2	pSi_522	1021/1023	122/124
YopE1-138 - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> MDA5 мыши (AK 1-294)	112	pBad_Si_2	pSi_517	синтетическая конструкция	/
YopE1-138 - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> MDA5 мыши (AK 1-231)	113	pBad_Si_2	pSi_524	1025/1026	126/127
YopE1-138- кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> cGAS человека (AK 161-522)	115	pBad_Si_2	pSi_515	синтетическая конструкция	/
YopE1-138- кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> CARD MAVS человека (AK 1-100)	116	pBad_Si_2	pSi_539	синтетическая конструкция	/
YopE1-138- кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> cGAS анемона (<i>N. vectensis</i>) (AK 60-422) (Ensembl: A7SFB5.1)	117	pBad_Si_2	pSi_503	1010/1012	120/121
YopE1-138- кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> CdaA <i>Listeria</i> (AK 101-273)	118	pBad_Si_2	pSi_518	синтетическая конструкция	/

Таблица III: Мутаторы для генетической модификации

Мутатор/конструкция	Подлежит вставке в:	Каркасная плазмида	Название полученной в результате	Праймеры, Si_Nr.:	Seq.Id № праймеров	Применяли с конкретным
----------------------------	----------------------------	---------------------------	---	--------------------------	---------------------------	-------------------------------

			те плазмид ы			родите льски м штамм ом
YopE ₁₋₁₃₈ - ВНЗ tBID мышь	pYV	pKNG101	pSi_408	Синтети ческий ген	/	/
YopE ₁₋₁₃₈ - (ВНЗ tBID мышь) ₂	pYV	pKNG101	pSi_437	Синтети ческий ген	/	Штамм , мутиро ванный pSi_40 8
YopE ₁₋₁₃₈ - кодон- оптимизи рованные для Y. enterocolit ica два домена CARD RIG-1 мышь (AK 1- 246)	pYV	pKNG101	pSi_456 (Seq ID No 50)	Синтети ческий ген	/	/
pYV-asd	pYV	pKNG101	pSi_417	ПЦР1: 869/870; ПЦР2: 871/872; ПЦР3: 873/874; ПЦР с перекры	ПЦР1: 101/102; ПЦР2: 103/104; ПЦР3: 105/106; ПЦР с перекры	<i>Δasd</i>

				вающим ися праймер ами 869/874	вающим ися праймер ами 101/106	
pYV-virF- hairpinI	pYV	pKNG101	pSi_441	Синтети ческий ген	/	/
pYV- pAra-VirF	pYV	pKNG101	pSi_439	Синтети ческий ген	/	/

Секретция Уор. Индукцию регулона *uor* проводили посредством переноса культуры в температуру 37°C в ВНИ-Ох (пермиссивные условия для секреции) ³⁴. В качестве источника углерода добавляли глюкозу (4 мг/мл).

- 5 Суммарные клетки и фракции супернатанта разделяли путем центрифугирования при 20800 g в течение 10 мин. при температуре 4°C. Осадок клеток отбирали в виде суммарной фракции клеток. Белки в супернатанте преципитировали 10% трихлоруксусной кислотой (масса/объем) на конечном этапе в течение 1 ч при температуре 4°C. После центрифугирования (20800 g в течение 15 мин.) и
- 10 удаления супернатанта полученный в результате осадок промывали в ледяном ацетоне в течение ночи. Образцы снова центрифугировали, супернатант отбрасывали, осадок высушивали на воздухе и ресуспендировали в 1x ДСН (додecilсульфате натрия) и красителе для нанесения.
- Секретированные белки анализировали методом ПААГ-ДСН (электрофореза в
- 15 полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия); в каждом случае на дорожку наносили белки, секретированные 3×10^8 бактерий. Обнаружение конкретных секретированных белков методом иммуноблоттинга проводили с применением 12,5% гелей ПААГ-ДСН. Для обнаружения белков в суммарных
- 20 клетках на дорожку наносили 2×10^8 бактерий, если не указано обратное, и белки разделяли на 12,5% гелях ПААГ-ДСН перед обнаружением методом иммуноблоттинга.

Иммуноблоттинг проводили с применением моноклональных антител крысы против YopE (MIRA193 – 13A9 ; 1:1000, ³⁵). Антисыворотку предварительно абсорбировали дважды в течение ночи против *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ *asd* для снижения фонового окрашивания. Обнаружение проводили с помощью вторичных антител, направленных против антител крысы и конъюгированных с пероксидазой хрена (1:5000; Southern biotech), с последующим развитием визуализации с помощью хемилюминесцентного субстрата ECL (LumiGlo, KPM).

- 10 **Культура клеток и инфекции.** Клетки HeLa Ccl2 и V16F10 культивировали в среде Игла в модификации Дульбекко (Dulbecco's modified Eagle's medium, DMEM) с добавлением 10% ЭТС (эмбриональной телячьей сыворотки) и 2 mM L-глутамин (сDMEM). Клетки 4T1 культивировали в RPMI 1640 с добавлением 10% ЭТС и 2 mM L-глутамин. *Y. enterocolitica* выращивали в ВНИ с добавками в течение ночи при к.т., разводили в свежем ВНИ до ОП₆₀₀ 0,2 и выращивали в течение 2 ч при к.т. до повышения температуры до 37°C на шейкере с водяной баней в течение еще 30 мин. или в течение 1 ч в случае доставки EGFP. Наконец, бактерии собирали путем центрифугирования (ОЦУ, относительное центробежное ускорение, 6000, 30 сек.) и промывали один раз DMEM с добавлением 10 mM HEPES и 2 mM L-глутамин. Наконец, бактерии собирали путем центрифугирования (6000 ОЦУ, 30 сек.) и промывали один раз DMEM с добавлением 10 mM HEPES и 2 mM L-глутамин. Клетки, которые высевали в 96-луночные (для анализа иммунофлуоресценции) или 6-луночные (для вестернблоттинга) планшеты, инфицировали при указанных МЗ в DMEM с добавлением 10 mM HEPES и 2 mM L-глутамин. После добавления бактерий планшеты центрифугировали в течение 1 мин. при 1750 об./мин. и помещали в температуру 37°C на указанные периоды времени. Внеклеточные бактерии уничтожали гентамицином (100 мг/мл), если это указано. В случае анализа иммунофлуоресценции анализы инфекционности останавливали с помощью фиксации в 4% ПФА (параформальдегиде). Для анализа методом вестернблоттинга клетки промывали дважды ледяным ФБР и с целью лизирования клеток добавляли буфер для лизиса PhosphoSafe (Novagen). После инкубации на льду клетки центрифугировали (16000 ОЦУ, 25 мин., 4°C).

Супернатанты собирали и анализировали для определения суммарного содержания белка методом Брэдфорда – методом с бицинхониновой кислотой (Pierce), после чего проводили анализ методом ПААГ-ДСН и вестернблоттинга с применением антитела против актина (Millipore), против Bid (Cell Signaling),
5 против Мус (Santa Cruz), против каспазы-3 p17 (Cell Signaling) и против Ink4C (Cell Signaling).

Вестернблоттинг транслоцированных с помощью ТЗSS белков из инфицированных клеток. Клетки HeLa в 6-луночных планшетах инфицировали при МЗ 100, как описано выше. В случае коинфекции с транслоцирующим протеазу TEV штаммом *Y. enterocolitica* задавали ОП₆₀₀ штаммов, и две бактериальные суспензии перед добавлением к клеткам перемешивали в пробирке в соотношении 1:1 (если не указано обратное). По окончании инфицирования клетки дважды промывали ледяным ФБР и собирали путем соскабливания в небольшой объем ледяного ФБР. После центрифугирования (16000 ОЦУ, 5 мин., 4°C) осадок растворяли в 0,002% дигитонине с добавлением коктейля ингибиторов протеаз (Roche complete, Roche). Растворенный осадок инкубировали в течение 5 минут на льду, а затем центрифугировали (16000 ОЦУ, 25 мин., 4°C). Супернатанты собирали и анализировали для определения суммарного содержания белка методом Брэдфорда – методом с бицинхониновой кислотой (Pierce), после чего проводили анализ методом ПААГ-ДСН и вестернблоттинга с применением антитела против Мус (Santa Cruz, 9E11) или против Ink4C (Cell Signaling).
10
15
20

Автоматизированная микроскопия и анализ изображений. Изображения были автоматически получены с помощью системы ImageXpress Micro (Molecular devices, Саннивей, США). Количественное определение интенсивностей окрашивания против Мус проводили с применением программного обеспечения MetaXpress (Molecular devices, Саннивей, США). Области в пределах клеток, за исключением областей ядра и областей, содержащих бактерии, выбирали вручную (круги площадью 40 пикселей), записывали среднюю интенсивность.
25
30

Биораспределение на моделях аллотрансплантата опухоли на мышях В16-F10 и 4Т1

Все эксперименты на животных были одобрены (лицензия 1908; Kantonales Veterinäramt Basel-Stadt) и проводились в соответствии с местными руководствами (Tierschutz-Verordnung, Basel-Stadt) и законом Швейцарии о защите животных (Tierschutz-Gesetz). Мышей C57Bl/6 и BALB/c в возрасте 6
5 недель заказывали в компании Janvier Labs. После по меньшей мере одной недели адаптации мышам проводили анестезию изофлураном и подкожно инъецировали в бок C57Bl/6 и BALB/c 100 мкл клеток B16-F10 или 4T1 (1×10^5 – 1×10^6 клеток), соответственно. В течение всего эксперимента проводили оценку поведения и внешнего вида мышей, поверхностной температуры, а также измеряли массу
10 тела.

После развития опухолей мышам вводили раствор Десферала 8 мг/мл (10 мл/кг) путем и.п. инъекции. На следующий день мышей инфицировали *Y. enterocolitica* MRS40 или *Y. enterocolitica* MRS40 ДНОРЕМТ (2×10^5 , 1×10^6 или 1×10^7
15 бактерий) путем инъекции в хвостовую вену. Инокулом, который в.в. вводили мышам, подтверждали с помощью посева методом разведения. В некоторых экспериментах прогрессирование опухоли отслеживали путем ежедневных изменений длины и ширины опухоли с помощью цифрового штангенциркуля. Объем опухоли определяли как $0,523 \times \text{длина} \times \text{ширина}^2$. В соответствующие дни
20 после анализа мышей умерщвляли с помощью ингаляции CO₂. Немедленно отбирали образец крови путем аспирации из сердца. Отбирали печень, селезенку, легкие и опухоль и определяли их массу. Органы и опухоль гомогенизировали. КОЕ в каждом образце определяли путем точечного нанесения серийных разведений на чашки с агаром LB, содержащие налидиксовую кислоту (35
25 мкг/мл).

Прямой анализ активации интерферона I типа. Клетки меланомы мыши B16F10, RAW264.7 мыши дикого типа или макрофаги с нокаутом MAVS, стабильно экспрессирующие секретлируемую эмбриональную щелочную
30 фосфатазу (secreted embryonic alkaline phosphatase, SEAP) или секретлируемую люциферазу Lucia под контролем промотора I-ISG54, который состоит из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE, заказывали в компании InvivoGen (B16-Blue ISG, RAW-Blue ISG, RAW-Lucia ISG и RAW-

Lucia ISG-KO-MAVS). Условия роста и анализ ИФН I типа адаптировали на основании протоколов, предоставленных InvivoGen. Вкратце, 12500 клеток B16-Blue ISG, или 30000 клеток RAW-Blue, RAW-Lucia или RAW-Lucia KO-MAVS ISG в 150 мкл среды для анализа (RPMI + 2мМ L-глутамин + 10% ЭТС для 5 клеток B16-Blue ISG; DMEM + 2мМ L-глутамин + 10% ЭТС для клеток RAW-Blue, RAW-Lucia и RAW-Lucia KO-MAVS ISG) на лунку высевали в 96-луночный планшет с плоским дном (NUNC или Corning). На следующий день клетки инфицировали штаммами бактерий для оценки посредством добавления 15 мкл на лунку желаемой множественности заражения (МЗ, разводили в среде 10 для анализа). Через 2 часа инкубации (37°C и 5% CO₂) бактерии убивали добавлением среды для анализа, содержащей пенициллин (100 Ед./мл) и стрептомицин (100 мкг/мл). Инкубацию продолжали в течение 20 – 24 ч. Обнаружение SEAP и люциферазы проводили согласно протоколам QUANTI-Blue™ и QUANTI-Luc™ (InvivoGen), соответственно. Для обнаружения SEAP: 15 20 мкл супернатанта клеток инкубировали с 180 мкл реактива для обнаружения (QUANTI-Blue™, InvivoGen). Планшет инкубировали при температуре 37°C, и активность SEAP измеряли путем считывания ОП при 650 нм с применением считывающего устройства для микропланшетов (Molecular Devices). В качестве положительного контроля использовали ИФН γ мыши (базовый раствор: 20 1000000 Ед./мл), разведенный до соответствующих концентраций в среде для анализа. Для обнаружения люциферазы: к 20 мкл супернатанта клеток добавляли 50 мкл реактива для обнаружения (QUANTI-Luc™, InvivoGen) в непрозрачных планшетах (ThermoScientific). Немедленно измеряли люминесценцию с применением считывающего устройства для планшетов (BioTek).

25

Непрямой анализ активации интерферона I типа. Клетки B16F10 или 4T1 мыши инфицировали с указанной множественностью заражения (МЗ) штаммами бактерий, которые оценивали, в течение в сумме 4 ч, как описано выше. Затем супернатант клеток переносили на клетки меланомы мыши B16F10, стабильно экспрессирующие секретлируемую эмбриональную щелочную фосфатазу (SEAP) под контролем промотора I-ISG54 (состоит из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE; заказывали в компании InvivoGen, клетки B16-Blue ISG). Условия роста и анализ ИФН I типа адаптировали на

30

основании протоколов, предоставленных InvivoGen. Вкратце, 12500 клеток B16-Blue ISG в 150 мкл среды для анализа (RPMI + 2 mM L-глутамин + 10% ЭТС) на лунку высевали в 96-луночный планшет с плоским дном (NUNC). На следующий день всю среду удаляли и добавляли 100 мкл супернатанта клеток, предварительно инфицированных B16F10 или 4T1. Планшеты инкубировали в течение 20 – 24 ч при температуре 37°C и 5% CO₂. Обнаружение SEAP проводили согласно протоколу QUANTI-Blue™ (InvivoGen). 20 мкл супернатанта клеток инкубировали с 180 мкл реактива для обнаружения (QUANTI-Blue™, InvivoGen). Планшет инкубировали при температуре 37°C, и активность SEAP измеряли путем считывания ОП при 650 нм с применением считывающего устройства для микропланшетов (Molecular Devices).

Исследование прогрессирования опухоли на модели аллотрансплантата опухоли B16F10 на мышах после внутриопухолевого лечения. Все эксперименты на животных были одобрены ответственными органами и проводились в соответствии с местными руководствами и законами о защите животных. Самок мышей C57Bl/6 в возрасте 5 – 7 недель заказывали в компании Charles River (L'Arbresles). После по меньшей мере одной недели адаптации мышам проводили анестезию изофлураном, и в правый бок мышей подкожно инъецировали 1×10^6 клеток B16-F10 в 200 мкл RPMI 1640. Через регулярные промежутки времени оценивали поведение и внешний вид мышей и измеряли массу тела.

Лечение начинали, когда опухоли достигали объема 60 – 130 мм³ (определяли как день 0). Мышам вводили штаммы бактерий, оценку которых проводили, в дни 0, 1, 2, 3, 6 и 9 путем внутриопухолевой инъекции ($7,5 \times 10^7$ бактерий в 50 мкл ФБР на введение) с анестезией изофлураном. Инокулюм, который внутриопухолево вводили мышам, подтверждали с помощью посева методом разведения. В качестве контроля мышам инъецировали только не содержащий эндотоксины ФБР. За 24 часа до последнего введения бактерий (день 8) мышам вводили раствор Десферала 8 мг/мл (10 мл/кг) путем и.п. инъекции. Прогрессирование опухоли отслеживали путем измерения длины и ширины опухоли с помощью цифрового штангенциркуля. Объем опухоли определяли как $0,5 \times \text{длина} \times \text{ширина}^2$. Объем опухоли, превышающий 1500 мм³, определяли как конечную точку для человека.

Исследование прогрессирующей опухоли и повторной антигенной стимуляции на моделях аллотрансплантата опухоли на мышях ЕМТ-6 после внутриопухолевого лечения. Все эксперименты на животных были одобрены

5 ответственными органами и проводились в соответствии с местными руководствами и законами о защите животных. Самок мышей BALB/c в возрасте 5 – 7 недель (BALB/cByJ) заказывали в компании Charles River (L'Arbresles). После по меньшей мере одной недели адаптации мышам проводили анестезию изофлураном, и в правый бок мышей подкожно инъецировали 1×10^6 клеток
10 ЕМТ-6 в 200 мкл RPMI 1640. Через регулярные промежутки времени оценивали поведение и внешний вид мышей и измеряли массу тела.

Лечение начинали, когда опухоли достигали объема 60 – 130 мм³ (определяли как день 0). Мышам вводили штаммы бактерий, оценку которых проводили, в дни 0, 1, 5, 6, 10 и 11 путем внутриопухолевой инъекции ($7,5 \times 10^7$ бактерий в 50 мкл
15 ФБР на введение) с анестезией изофлураном. Инокулом, который внутриопухолево вводили мышам, подтверждали с помощью посева методом разведения. В качестве контроля мышам инъецировали только не содержащий эндотоксины ФБР. За 24 часа до последнего введения бактерий (день 10) мышам вводили раствор Десферала 8 мг/мл (10 мл/кг) путем и.п. инъекции.

20 Прогрессирование опухоли отслеживали путем измерения длины и ширины опухоли с помощью цифрового штангенциркуля. Объем опухоли определяли как $0,5 \times \text{длина} \times \text{ширина}^2$. Объем опухоли, превышающий 1500 мм³, определяли как конечную точку для человека. Мышам, у которых наблюдалась полная регрессия опухоли в день 54 после начала лечения, проводили анестезию изофлураном, и в
25 противоположный (левый) бок относительно первой инъекции опухолевых клеток подкожно инъецировали 1×10^6 клеток ЕМТ-6 в 200 мкл RPMI 1640. В качестве контрольной группы в исследование включали ранее не использованных в экспериментах мышей, которым ранее не трансплантировали клетки ЕМТ-6. Прогрессирование опухоли отслеживали путем измерения длины
30 и ширины опухоли с помощью цифрового штангенциркуля. Объем опухоли определяли как $0,5 \times \text{длина} \times \text{ширина}^2$. Объем опухоли, превышающий 1500 мм³, определяли как конечную точку для человека.

Исследование прогрессирования опухоли на моделях аллотрансплантата опухоли ЕМТ-6 на мышах после внутривенного лечения.

Все эксперименты на животных были одобрены ответственными органами и проводились в соответствии с местными руководствами и законами о защите животных. Самок мышей BALB/c в возрасте 5 – 6 недель (BALB/cByJ) заказывали в компании Charles River (L'Arbresles). После по меньшей мере одной недели адаптации мышам проводили анестезию изофлураном, и в правый бок мышей подкожно инъецировали 1×10^6 клеток ЕМТ-6 в 200 мкл RPMI 1640. Через регулярные промежутки времени оценивали поведение и внешний вид мышей и измеряли массу тела.

Мышей рандомизировали на группы лечения, когда опухоли достигали объема $80 - 250 \text{ мм}^3$ (определяли как день 0). За 24 часа до рандомизации (Д-1) мышам вводили раствор Десферала 8 мг/мл (10 мл/кг) путем и.п. инъекции. В день 0 мышам вводили штаммы бактерий, оценку которых проводили, путем внутривенной инъекции (5×10^6 бактерий в 100 мкл ФБР на введение) с анестезией изофлураном. Инокулюм, который внутривенно вводили мышам, подтверждали с помощью посева методом разведения. В качестве контроля мышам инъецировали только не содержащий эндотоксины ФБР. Прогрессирование опухоли отслеживали путем измерения длины и ширины опухоли с помощью цифрового штангенциркуля. Объем опухоли определяли как $0,5 \times \text{длина} \times \text{ширина}^2$. Объем опухоли, превышающий 1500 мм^3 , определяли как конечную точку для человека.

Измерение секреции ИФН β после инфекции изолятов опухолевых клеток.

Все эксперименты на животных были одобрены (лицензия 1908; Kantonales Veterinäramt Basel-Stadt) и проводились в соответствии с местными руководствами (Tierschutz-Verordnung, Basel-Stadt) и законом Швейцарии о защите животных (Tierschutz-Gesetz). Мышей BALB/c в возрасте 6 недель заказывали в компании Janvier Labs. Через неделю адаптации мышам проводили анестезию изофлураном, и в бок мышей подкожно инъецировали 100 мкл клеток ЕМТ-6 (1×10^6 клеток). В течение всего эксперимента проводили оценку поведения и внешнего вида мышей, поверхностной температуры и измеряли массу тела. Прогрессирование опухоли отслеживали путем измерения длины и ширины опухоли с помощью цифрового штангенциркуля. Объем опухоли

определяли как 0,5 x длина x ширина². В день анализа опухоли отбирали, разрезали на небольшие кусочки размером 1 – 2 мм, расщепляли в течение 1 – 1,5 часов и пропускали через нейлоновую сеть с размером ячейки 70 мкм для получения суспензии отдельных клеток. Определяли число клеток в данном
5 неочищенном изоляте клеток, и в 24-луночный планшет с плоским дном (Corning) высевали по 300000 клеток на лунку в среде роста (DMEM + L-глутамин + заменимые аминокислоты + 10% ЭТС). Через 1 час инкубации при температуре 37°C и 5% CO₂ клетки инфицировали штаммами бактерий, оценку которых проводили, посредством добавления по 100 мкл на лунку титра бактерий
10 (различная МЗ, разведение в среде роста). Через 1 час инкубации (37°C и 5% CO₂) бактерии убивали добавлением среды роста, содержащей пенициллин (100 Ед./мл) и стрептомицин (100 мкг/мл). Инкубацию продолжали в течение еще 3 часов. Планшет центрифугировали для сбора всех клеток на дне ячеек и анализировали концентрацию ИФНβ в супернатанте с помощью ELISA для
15 ИФН-β мыши LumiKine™ Xpress (Invivogen) согласно инструкциям производителя.

В) РЕЗУЛЬТАТЫ

20 **Система доставки белков на основе секрети 3 типа слитых белков YopE**
Несмотря на то, что самый N-конец эффектора T3SS YopE *Y. enterocolitica* (SEQ ID № 1) содержит сигнал секреции, достаточный для транслокации гетерологичных белков²², он не содержит сайт связывания шаперона (chaperone-binding site, CBS) для его шаперона (SycE)³⁶. Авторы настоящего изобретения
25 выбрали N-концевые 138 аминокислот YopE (SEQ ID № 2) для слияния с белками, подлежащими доставке, поскольку данный подход, как было показано, демонстрировал наилучшие результаты при транслокации других гетерологичных субстратов T3S²⁴. Поскольку данные N-концевые 138 аминокислот YopE содержат CBS, авторы настоящего изобретения затем решили
30 коэкспрессировать SycE. Фрагмент SycE-YopE₁₋₁₃₈, клонированный из очищенной плазмиды вирулентности pYV40 *Y. enterocolitica*, содержит эндогенные промоторы YopE и его шаперона SycE (фиг. 2). Вследствие этого SycE и любой слитый белок YopE₁₋₁₃₈ индуцируется быстрым сдвигом температуры от выращивания при к.т. до 37°C. Время культивирования при

температуре 37°C будет влиять на количество слитого белка, присутствующее в бактериях. На 3'-конце YopE₁₋₁₃₈ добавляли сайт множественного клонирования (multiple cloning site, MCS) (фиг. 2 В), за которым следовали Muc и bх метка His, а также стоп-кодон.

5 Фоновый штамм тщательно выбирали. Во-первых, для ограничения транслокации эндогенных эффекторов авторы настоящего изобретения использовали штамм *Y. enterocolitica*, в котором были делетированы все известные эффекторы, Yop H, O, P, E, M и T (названный ΔНОРЕМТ)³⁷. Помимо этого, авторы настоящего изобретения иногда использовали ауксотрофный мутант, который не может расти при отсутствии экзогенной мезо-2,6-диаминопимелиновой кислоты³⁸. В данном штамме был делетирован ген аспартат-бета-полуальдегид-дегидрогеназы (*Δasd*), и его классифицировали как соответствующий уровню биологической безопасности 1 согласно Швейцарскому агентству безопасности (поправка к A010088/2). Помимо этого, авторы настоящего изобретения делетировали белки адгезии YadA и/или InvA для обеспечения большего выбора фоновых штаммов. В то время как применение штаммов *yadA* или *yadA/invA* снизило индуцированную фоновую передачу сигналов³⁹, также оказывалось влияние на количество доставленного белка⁴⁰.

20 Удаление добавки YopE₁₋₁₃₈ после транслокации слитого белка в эукариотическую клетку

Несмотря на то, что фрагмент YopE₁₋₁₃₈ обеспечивает большое преимущество при бактериальной доставке, он может препятствовать функции и/или локализации слитых белков. Вследствие этого его удаление после доставки белков будет оптимальным. С данной целью авторы настоящего изобретения ввели два сайта расщепления TEV (ENLYFQS)⁴¹⁻⁴³ между YopE₁₋₁₃₈ и партнером слияния (регулятор транскрипции ET1-Muc (SEQ ID № 9 и 11)⁴⁴ и INK4C человека (SEQ ID № 8 и SEQ ID № 10)). Для сохранения преимуществ представленного способа авторы настоящего изобретения дополнительно слили протеазу TEV (вариант S219V;⁴⁵) с YopE₁₋₁₃₈ (SEQ ID № 12) в другом штамме *Y. enterocolitica*. Клетки HeLa инфицировали обоими штаммами одновременно. Для обеспечения анализа только транслоцированной фракции белков инфицированные клетки HeLa лизировали в течение 2 ч после инфекции дигитонином, который, как известно,

не лизирует бактерии (⁴⁶). Анализ методом вестернблоттинга выявил присутствие YopE₁₋₁₃₈-2х сайт расщепления TEV-ET1-Мус или YopE₁₋₁₃₈-2х сайт расщепления TEV-Flag-INK4C-Мус, только когда клетки инфицировали соответствующим штаммом. После расщепления данного лизата клеток очищенной протеазой TEV в течение ночи наблюдали смещенную полосу. 5 Данная полоса соответствует ET1-Мус или Flag-INK4C с N-концевыми остатками сайта расщепления TEV, наиболее вероятно, только одним серином. После коинфекции клеток штаммом, доставляющим протеазу TEV, становится видимым такой же отщепленный фрагмент ET1-Мус или Flag-INK4C; это 10 свидетельствует, что протеаза TEV, доставленная с помощью T3SS, является функциональной, и что единичные клетки были инфицированы обоими штаммами бактерий. Несмотря на то что расщепление еще не закончено, большинство транслоцированных белков отщепляется уже через 2 ч после инфекции, и даже расщепление очищенной протеазой TEV в течение ночи не 15 позволило достичь более высокую степень расщепления. Как сообщается, для зависимого от протеазы TEV расщепления может требоваться оптимизация в зависимости от слитого белка ^{47,48}. Вследствие этого зависимое от протеазы TEV удаление добавки YopE₁₋₁₃₈ после транслокации впервые обеспечивает доставку белков с помощью T3SS для практически нативных гетерологичных белков с 20 изменением аминокислотного состава только на одну N-концевую аминокислоту. Альтернативный подход по сравнению с зависимым от протеазы TEV расщеплением фрагмента YopE заключается во встраивании в слитый белок, представляющий интерес, убиквитина. Действительно, убиквитин процессируется на С-конце группой эндогенных убиквитин-специфичных С- 25 концевых протеаз (деубиквитинизирующие ферменты, ДУБ). Поскольку расщепление, как полагают, происходит на самом С-конце убиквитина (после G76), белок, представляющий интерес, не должен содержать дополнительной аминокислотной последовательности. Данный способ исследовали на слитом белке YopE₁₋₁₃₈-Убиквитин-Flag-INK4C-МусHis. В контрольных клетках, 30 инфицированных экспрессирующими YopE₁₋₁₃₈-Flag-INK4C-МусHis бактериями, была обнаружена полоса, соответствующая YopE₁₋₁₃₈-Flag-INK4C-МусHis; это свидетельствует об эффективной транслокации слитого белка. Когда клетки инфицировали в течение 1 ч экспрессирующими YopE₁₋₁₃₈-Убиквитин-Flag-INK4C-МусHis бактериями, была визуализирована дополнительная полоса,

соответствующая по размеру Flag-INK4C-MycHis; это свидетельствует, что часть слитого белка была отщеплена. Данный результат демонстрирует, что введение убиквитина в слитый белок делает возможным отщепление фрагмента YopE1-138 без потребности в экзогенной протеазе.

5

Аттенуирование по вирулентности путем делеции/мутации бактериальных эффекторных белков с вирулентной активностью в отношении эукариотических клеток

В случае *Y. enterocolitica* вирулентность снижали в результате делеции шести эндогенных эффекторных белков, называемых «внешние белки *Yersinia*» (Yersinia outer proteins, Yop), более конкретно, YopH, O, P, E, M, T (MRS40 pIML421 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135])³⁷. Данные Yop кодируются на «плазмиде вирулентности *Yersinia*» (pYV), плазмиде размером приблизительно 70 т.п.о., на которой кодируется полная система секреции 3 типа (T3SS), а также другие белки, обуславливающие вирулентность (фиг. 4). YopH, O, P, E, M и T представляют собой шесть эффекторных белков, которые доставляются в клетки-хозяева бактериальной системой секреции третьего типа для модулирования и ослабления иммунной системы. Каждый Yop обладает специфической биохимической активностью в клетке-хозяине. YopT отщепляет С-концевой цистеин Rho-ГТФаз и, таким образом, удаляет изопренильную группу, которая заякоривает ГТФазы в мембрану. Данная инактивация Rho в связи с изменением расположения позволяет избежать фагоцитоза иммунными клетками, такими как макрофаги и нейтрофилы⁴⁹. В том же пути YopE выступает в качестве белка, активирующего ГТФазу (GTPase activating protein, GAP), для Rho-ГТФаз, деактивируя их. Это приводит к снижению уровня фагоцитоза и ингибированию высвобождения иммунными клетками ИЛ-1 бета⁴⁹. Более того, YopO выступает в качестве ингибитора диссоциации нуклеотида гуанидина (guanidine nucleotide dissociation inhibitor, GDI), деактивируя Rho-ГТФазы. YopO также содержит серин/треонин-киназный домен, оказывающий действие на актиновый цитоскелет способом, который до конца не понятен⁴⁹. YopH представляет собой тирозинфосфатазу, воздействующую на белки фокальной адгезии, такие как киназа фокальной адгезии (Focal adhesion kinase, Fak), паксиллин и другие, таким образом, в высокой степени предотвращая фагоцитоз макрофагами и нейтрофилами⁴⁹. Было

10

15

20

25

30

обнаружено, что YopP, обозначаемый YopJ у *Y. pseudotuberculosis* или *Y. pestis*, инактивирует в иммунных клетках путь MAPK/NFkB, предотвращая высвобождение ФНО α и ИЛ-8, стимулированных присутствием бактерий, из иммунных клеток. Более того, было обнаружено, что YopP индуцирует в

5 иммунных клетках апоптоз, что может быть связано с эффектом, нарушающим путь MAPK, который в своем активированном состоянии защищает клетки от апоптоза⁴⁹. Роль YopM пока что полностью не ясна, но было обнаружено, что он связан с рибосомальной S6 киназой 1 (ribosomal S6 kinase 1, RSK1) и C-подобной протеинкиназой 2 (protein kinase C-like 2, PRK2). Представляется, что YopM

10 может стимулировать фосфорилирование RSK1 и, таким образом, воздействовать на нижестоящие мишени, такие как, например, прогрессирование клеточного цикла⁴⁹. В результате делеции одного или нескольких из данных Yop защитный механизм бактерий против иммунной системы кардинально нарушается⁵⁰. Мутацию соответствующих уор подтверждали методом ПЦР в

15 соответствующей области и с помощью анализа секреции *in vitro*. Анализ секреции *in vitro* методом ПААГ-ДСН и окрашивание Кумасси голубым подтвердили отсутствие полноразмерного YopH, O, M и YopE.

Более того, был сконструирован штамм *Y. enterocolitica* с делециями в *asd* (аспаратат-полуальдегид-дегидрогеназе). Мутация в *asd* приводит к полной утрате

20 способности к росту без добавления мезо-диаминопимелиновой кислоты. Данный подход позволяет получить не содержащие антибиотики системы, поддерживающие плазмиду, на основании присутствия *asd* на соответствующей плазмиде. Аналогично, можно использовать другие ауксотрофные мутанты.

25 **Получение усиленных проапоптотических бактерий**

Для оптимизации доставки или проапоптотических белков получали штаммы, трансформированные различными проапоптотическими белками, согласно таблице IV.

30 **Таблица IV: Штаммы, трансформированные различными проапоптотическими белками**

Название штамма	Фоновый штамм	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плаزمиды	Название полученной в результате плазмиды	Праймеры. Si_Nr.:	Устойчивости
YopE1-138- (кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica удлинённая часть ВНЗ tBid мыши)	Y. enterocolitica ΔyopH,O,P, E,M,T Δasd	YopE1-138-кодон-оптимизированный для Y. enterocolitica удлинённый ВНЗ tBid мыши (на 4 АК)	pBad_Si_2	pSi_353		Nal Amp
YopE1-138-линкер 10 АК-(кодон-оптимизированная для Y. enterocolitica часть ВНЗ tBid мыши)	Y. enterocolitica ΔyopH,O,P, E,M,T Δasd	YopE1-138-линкер 10 АК-кодон-оптимизированный для Y. enterocolitica ВНЗ tBid мыши	pBad_Si_2	pSi_354	727/728	Nal Amp
YopE1-(138-кодон-оптимизированная для Y.	Y. enterocolitica ΔyopH,O,P, E,M,T Δasd	YopE1-138-кодон-оптимизированный для Y.	pSi_357	pSi_374	736/737	Nal Amp

enterocolitica часть ВНЗ Вах мыши- кодон- оптимизиро ванная для У. enterocolitica часть ВНЗ tBid мыши		enterocolitic а ВНЗ Вах мышь -. кодон- оптимизиро ванный для У. enterocolitic а ВНЗ tBID мышь				
--	--	--	--	--	--	--

- Укорачивание доставляемых белков до существенных доменов, необходимых для передачи сигналов (например, домена ВНЗ t-BID (SEQ ID № 19)), может увеличить эффективность уничтожения клеток (**фиг. 5**). Не опираясь на какую-либо теорию, считают, что данное увеличение эффективности, вероятно, связано с увеличением количества продукции белка и последующей доставки с помощью T3SS благодаря меньшему размеру доставляемого белка. Введение линкера между частью YopE и доменом ВНЗ tBID (SEQ ID № 23) снижало эффективность, как и удлинение домена ВНЗ на 4 дополнительные аминокислоты (SEQ ID № 22) (**фиг. 5**).
- Дополнительно получали синтетические грузы с повторами таких существенных доменов (например, домена ВНЗ t-BID (SEQ ID № 27)) или с комбинациями данных существенных доменов (например, домена ВНЗ t-BID и домена ВНЗ ВАХ (SEQ ID № 24 и 28)). Неожиданно было обнаружено, что тандемные повторы одинаковых или различных доменов ВНЗ приводят в результате к усилению индукции апоптоза на раковых линиях клеток (включая клетки 4T1 и B16F10, **фиг. 5**). Было обнаружено, что IC50 (половина максимальной ингибирующей концентрации), обозначающая число бактерий на эукариотическую клетку (M3), необходимое для гибели 50% таких клеток, снижается после доставки тандемных повторов домена ВНЗ tBID по сравнению с единичным доменом ВНЗ tBID (**фиг. 5**). Данный результат был неожиданным, поскольку размер белка увеличивается при слиянии с вторым доменом ВНЗ t-BID. В связи с этим можно было ожидать снижения уровней экспрессии и доставки YopE₁₋₁₃₈-(ВНЗ tBID)₂ (SEQ ID № 27)

по сравнению с YopE₁₋₁₃₈-BH3 tBID (SEQ ID № 19 и 25), и в лучшем случае можно было ожидать эквивалентных уровней. Для достижения увеличения активности по уничтожению клеток слитые домены BH3 tBID должны одновременно действовать совместно после доставки в эукариотические клетки с помощью T3SS. В случае только одного домена BH3 tBID в YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂ конструкция будет функциональной и в лучшем случае можно ожидать такую же эффективность, как для YopE₁₋₁₃₈-BH3 tBID.

С целью увеличения генетической стабильности YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂ (SEQ ID № 27) для исследований *in vivo* авторы настоящего изобретения клонировали YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂ (SEQ ID № 27) путем гомологичной рекомбинации на плазмиде вирулентности *Yersinia* pYV в нативном сайте YopE и под контролем нативного промотора YopE (с применением плазмид-мутаторов pSI_408 и pSI_419). Такие мутаторы содержат последовательность ДНК, кодирующую желаемый белок, фланкированную с обеих сторон последовательностями размером 200 – 250 п.о., которые соответствуют сайту соответствующего гена, в котором должна пройти интеграция. Данными плазмидами трансформировали *E. coli* Sm10 λ pig, из которых плазмиды мобилизовали в соответствующий штамм *Y. enterocolitica*. Мутантов, несущих вектор, размножали для получения нескольких поколений без давления отбора. Затем для отбора клонов, которые утратили вектор, использовали сахарозу. Наконец, мутанты идентифицировали с помощью ПЦР для отбора колоний. Эндогенные белки для транспортирования с помощью T3SS (называемые «внешние белки *Yersinia*», Yop) кодируются *Y. enterocolitica* на данной плазмиде размером 70 т.о., называемой плазмидой вирулентности *Yersinia* (pYV), которая дополнительно кодирует аппарат T3SS.

Оценивали способность штаммов *Yersinia*, кодирующих YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID) (SEQ ID № 19 и 25) или YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂ (SEQ ID № 27) на плазмиде вирулентности *Yersinia* pYV в нативном сайте YopE и под контролем нативного промотора YopE, индуцировать апоптоз в раковых клетках (включая клетки 4T1 и B16F10, **фиг. 6**). Было обнаружено, что IC50 (половина максимальной ингибирующей концентрации), обозначающая число бактерий на эукариотическую клетку (M3), необходимое для гибели 50% таких клеток, снижается после доставки тандемных повторов домена BH3 tBID по сравнению с единичным доменом BH3 tBID, когда оба белка кодируются на плазмиде вирулентности *Yersinia* pYV в нативном сайте YopE и под контролем нативного

промотора *YopE* (фиг. 6). Это согласуется с результатами, полученными с плазмидой экспрессии, обеспечивающей доставку данных белков (фиг. 5). Данный результат вновь был неожиданным, поскольку при слиянии с вторым доменом ВНЗ t-BID размер белка увеличивается. В связи с этим можно было

5 ожидать снижения уровней экспрессии и доставки $YopE_{1-138}-(ВНЗ\ tBID)_2$ (SEQ ID № 27) по сравнению с $YopE_{1-138}-ВНЗ\ tBID$ (SEQ ID № 19 и 25), и в лучшем случае можно было ожидать эквивалентных уровней. Для достижения увеличения активности по уничтожению клеток слитые домены ВНЗ tBID должны

10 одновременно действовать совместно после доставки с помощью T3SS в эукариотические клетки. В случае только одного домена ВНЗ tBID в $YopE_{1-138}-(ВНЗ\ tBID)_2$ конструкция будет функциональной, и в лучшем случае можно ожидать такую же эффективность, как для $YopE_{1-138}-ВНЗ\ tBID$. Более того,

сравнивали способность штаммов *Yersinia*, кодирующих $YopE_{1-138}-(ВНЗ\ tBID)_2$ (SEQ ID № 27), на плазмиде вирулентности *Yersinia* pYV в нативном сайте *YopE*

15 и под контролем нативного промотора *YopE*, индуцировать апоптоз в раковых клетках с доставкой $YopE_{1-138}-(ВНЗ\ tBID)_2$ на основе плазмиды экспрессии (на основе pBad-MyсHisA). В соответствии с более высоким числом копий pBad-MyсHisA (20 – 25 копий) по сравнению с pYV (сообщалось о 1 – 6 копиях)

20 доставка $YopE_{1-138}-(ВНЗ\ tBID)_2$ (SEQ ID № 27) на основе pBad-MyсHisA привела к незначительному снижению значения IC50 на клетках 4T1 и В16F10 (фиг. 6).

Исследования биораспределения на модели меланомы на мышах

Для подтверждения возможности применения грамотрицательных бактерий с мутацией или мутациями на ключевых детерминантах вирулентности, таких как

25 эффекторы T3SS, в качестве опухоль-специфичного носителя, проводили исследования на аллотрансплантатах опухоли на мышах с применением надежно отработанной модели меланомы В16F10 (ATCC № CRL-6475). Когда п.к.

опухоли достигали определенного размера (приблизительно 100 – 200 мм³), мышей в.в. инфицировали 2×10^5 КОЕ *Y. enterocolitica* подвид *palaearctica* MRS40

30 или *Y. enterocolitica* подвид *palaearctica* MRS40 Δ*yopH,O,P,E,M,T*. Для обеспечения роста бактерий мышам предварительно вводили десфреоксамин за 24 ч до инфицирования. Мыши, инфицированные штаммом *Y. enterocolitica* подвид *palaearctica* MRS40 ДТ, характеризовались повышенным баллом при

оценке внешнего вида и поведения (фиг. 47-48), и у них наблюдалась

значительная потеря массы тела в течение первых 48 ч инфекции (**фиг. 49**), что заставило авторов настоящего изобретения умертвить всех мышей в данной группе уже в день 2 после инфекции. Напротив, у мышей, инфицированных аттенуированным по вирулентности штаммом *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* MRS40 Δ*YopH,O,P,E,M,T*, не наблюдалось значительной потери массы тела, и они все еще получали нормальный балл при оценке по внешнему виду и поведению (**фиг. 47-49**) в день 4 после инфекции. У мышей, инфицированных штаммом ДТ (*Y. enterocolitica* подвид *palearctica* MRS40), живые бактерии были обнаружены во всех изученных органах и, более того, в крови (**фиг. 51**). Хотя бактерии ДТ были обнаружены в злокачественной солидной опухоли, такое же или даже большее число бактерий было обнаружено в других органах, наибольшее – в селезенке (**фиг. 51**). Наоборот, у мышей, инфицированных *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* MRS40 Δ*YopH,O,P,E,M,T*, в день 1 после инфекции живые бактерии, главным образом, были обнаружены в злокачественной солидной опухоли, а число бактерий, обнаруженных в селезенке, печени и легких, было низким. Примечательно, что в день 4 после инфекции число бактерий в злокачественной солидной опухоли увеличилось в несколько десятков раз (и достигло более 10^8 КОЕ/г опухолевой ткани), в то время как во всех остальных изученных органах число бактерий снизилось ниже предела обнаружения (**фиг. 50**). Таким образом, *Y. enterocolitica* подвид *palearctica* MRS40 Δ*YopH,O,P,E,M,T* накапливался в день 4 после инфекции в участке злокачественной солидной опухоли в дозе, превышающей приблизительно (минимально) в один миллион раз дозу в селезенке или печени (при расчете дозы по сравнению с пределом обнаружения).

Аналогично высокое число бактерий на грамм солидных опухолей в день 5 или 8 после внутривенного введения в латеральную хвостовую вену мышей с меланомой B16F10 было определено для *Y. enterocolitica* Δ*HOPEMT*, *Y. enterocolitica* Δ*HOPEMT* + pYV-*YopE*₁₋₁₃₈- CARD RIG1 мыши или *Y. enterocolitica* Δ*HOPEMT* Δ*HairpinI-VirF* + pYV-*YopE*₁₋₁₃₈ - CARD RIG1 мыши (**фиг. 26**). Это подтверждает, что груз гетерологичного белка и дополнительные мутации, влияющие на регуляцию T3SS (*VirF*), не влияют на колонизацию бактериями солидных опухолей на моделях на мышах.

Полученные результаты подтверждают данную стратегию аттенуации по вирулентности с помощью мутации ключевых детерминант вирулентности для

получения бактериального носителя, который специфично нацелен на злокачественную солидную опухоль.

Подтверждение опухоль-специфичного роста *in vivo* до дня 14 после введения бактерий

5 Эксперимент по колонизации опухоли генетически модифицированными *Y. enterocolitica* повторяли на сингенной аллотрансплантатной модели на мышах (модель рака молочной железы 4T1), и колонизацию бактериями отслеживали в течение двух недель. На этот раз мышей инфицировали $1 * 10^6$ колониобразующих единиц (КОЕ) *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T$. Хотя и были получены результаты, подобные результатам, полученным на модели B16F10, в течение первых дней после инфекции, авторы настоящего изобретения смогли дополнительно продемонстрировать, что колонизация опухоли согласованно обнаруживалась в день 8 и вплоть до дня 14 после инфекции (фиг. 7). Более того, колонизация оставалась высокоспецифичной, и во всех других изученных органах было обнаружено лишь незначительное число бактерий (фиг. 8). Данные результаты свидетельствуют, что *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T$ способен устанавливать персистентную колонизацию опухоли, тем самым предотвращая клиренс со стороны иммунной системы.

20

Эффективность *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT$ по отсрочиванию прогрессирования опухоли

Для оценки влияния $YopE_{1-138}-(BH3\ tVID)_2$, доставленного в опухолевые клетки *in vivo*, авторы настоящего изобретения проводили исследование на мышах 25 Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы 4T1. Целью авторов настоящего изобретения была оценка штамма *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT$, кодирующего $YopE_{1-138}-(BH3\ tVID)_2$, на плазмиде вирулентности *Yersinia pYV* в нативном сайте *YopE* и под контролем нативного промотора *YopE*, который дополнительно оптимизировали путем делеции области шпильки 30 I в направлении 3' – 5' от *VirF* для увеличения количества доставленных белков. Мышам в.в. инъецировали ФБР или $1 * 10^7$ *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT$ $\Delta HairpinI-virF$ *pYV-YopE*₁₋₁₃₈-(BH3 tVID)₂, когда опухоль достигала размера 150 – 250 мм³. День в.в. инъекции бактерий обозначали как день 0. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней (с дня 0 по день 9 после в.в. инъекции бактерий) с

помощью штангенциркуля. Объем опухоли нормировали к объему опухоли в день 0 для учета любой исходной гетерогенности размера опухоли. Лечение *Y. enterocolitica* Δ НОРЕМТ Δ HairpinI-VirF pYV-YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBD)₂ продемонстрировало влияние на прогрессирование объема опухоли со статистически значимым снижением опухоли в день 8, 9 и 10 после введения бактерий (фиг. 9). Важно отметить, что было обнаружено, что *Y. enterocolitica* Δ НОРЕМТ сам по себе не влиял на прогрессирование опухоли на модели рака на мышцах 4T1 (фиг. 10). Данные результаты подчеркивают, что такие бактерии и их T3SS можно применять для препятствования прогрессированию опухоли.

10

***Y. enterocolitica* Δ НОРЕМТ с делецией в термочувствительной области РНК в направлении 3' - 5' от гена, кодирующего ДНК-связывающий белок типа AraC**

Наиболее известные гены вирулентности *Yersinia* не экспрессируются за пределами эукариотического хозяина и индуцируются только после поступления в окружающую среду хозяина. Экспрессия данных генов вирулентности индуцируется резким повышением температуры, связанным с поступлением в хозяина. Таким образом в особенности регулируются кодируемые pYV факторы вирулентности, такие как T3SS и ее эффекторные белки (Yop). При комнатной температуре (20 – 25°C) гены, необходимые для регуляции T3SS, образования T3SS самой по себе и доставляемых эффекторов, не экспрессируются, и экспрессия индуцируется только после такого повышения температуры до 37°C. Экспрессия большинства кодируемых pYV генов вирулентности (*yadA* и генов, связанных с T3SS) индуцируется температурой, и для этого требуется ДНК-связывающий белок типа AraC VirF в *Y. enterocolitica* (LcrF – в других видах *Yersinia*). Считают, что терморегуляция экспрессии LcrF осуществляется посредством плавления при более высоких температурах «петли на стебле» РНК в мРНК, которая в нерасплавленном состоянии изолирует сайт связывания рибосомы, таким образом, предотвращая трансляцию⁵¹. В *Y. enterocolitica*, напротив, было показано, что транскрипция VirF зависит, главным образом, от температуры⁵². Совсем недавние исследования продемонстрировали более сложную картину с участием термочувствительного регулятора, называемого YmoA⁵¹, хотя было обнаружено, что термосенсор РНК в направлении 3' – 5' от LcrF,

30

главным образом, отвечает за температурную регуляцию LcrF и, таким образом, зависимых от температуры генов вирулентности.

Для увеличения уровней секреции гетерологичного груза, экспрессированного с рYV под контролем нативного промотора YopE, целью авторов настоящего изобретения было делетирование одной из данных шпилечных структур РНК в *Y. enterocolitica* в направлении 3' – 5' от VirF. Несмотря на то, что важность таких «петель на стебле» РНК на *Y. enterocolitica* не была однозначно показана, и температурная индукция была скорее характерной изменениям транскрипции, авторы настоящего изобретения смогли идентифицировать шпильку I⁵¹ в направлении 3' – 5' от VirF *Y. enterocolitica*. Затем авторы настоящего изобретения удалили путем гомологичной рекомбинации части шпильки I (от -111 до -57, как в публикации⁵¹) и оценивали способность секреции кодируемого рYV белка YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂ (SEQ ID NO: 27) или YopE₁₋₁₃₈-CARD₂ RIG-1 мыши (SEQ ID NO: 38) (каждый в нативном сайте YopE) в анализе секреции *in vitro* (фиг. 11). Неожиданно было обнаружено, что делеция части области шпильки I в направлении 3' – 5' от VirF в *Y. enterocolitica* увеличила секрецию гетерологичных белков *in vitro* (фиг. 11 А и В), в отличие от предыдущих сообщений о *Y. enterocolitica*⁵², в которых считали, что транскрипция VirF являлась основной движущей силой терморегуляции.

Чтобы сделать возможной искусственную индукцию экспрессии T3SS и доставки белков с помощью T3SS, авторы настоящего изобретения заменили в другом штамме эндогенный промотор VirF на рYV индуцибельным арабинозой промотором, известным из pBad-MyсHisA. Помимо замены промотора VirF, авторы настоящего изобретения ввели в направлении 3' – 5' (в обратной ориентации) полный ген araC. Затем авторы настоящего изобретения оценивали способность секреции YopE₁₋₁₃₈-(BH3 tBID)₂ (SEQ ID NO: 27) (кодируемый рYV; в нативном сайте YopE) при отсутствии или в присутствии арабинозы в анализе секреции *in vitro* (фиг. 11 А). Было обнаружено, что гетерологичный белок секретруется с помощью T3SS только после добавления арабинозы, что согласуется с регуляцией экспрессии VirF арабинозой.

***Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ с увеличенной стабильностью гетерологичного груза (*in vitro* и *in vivo*)**

Было продемонстрировано, что *Y. enterocolitica* Δ*yoрН,О,Р,Е,М,Т* является высокоспецифичным штаммом для нацеливания на солидные опухоли в экспериментах авторов настоящего изобретения на мышах; при этом было обнаружено, что зависящая от T3SS доставка цитотоксических белков эффективна в культуре клеток на раковых клетках. Для объединения двух данных свойств необходимо оптимально сконструировать бактерии, колонизирующие солидную опухоль, чтобы они стабильно кодировали цитотоксический груз в течение нескольких дней или даже недель, *in vivo*. В связи с регуляторными требованиями использование классической устойчивости к антибиотикам для поддержания чужеродной плазмиды в бактериях является неприемлемым. Таким образом, в исследованиях на аллотрансплантатах на мышах авторы настоящего изобретения оценивали систему поддержания плазмиды, не включающую устойчивость к антибиотикам. Данная система основана на хромосомной делеции существенного гена (такого как аспартат-полуальдегид-дегидрогеназа, *asd*) и кодировании данного гена на гетерологичной плазмиде для поддержания роста бактерий. Дополнение делеции *asd* для поддержания плазмиды было продемонстрировано ранее ⁵³, хотя сообщалось о сложностях с воспроизводимостью и персистенцией в течение нескольких дней ⁵⁴. Авторы настоящего изобретения адаптировали данную систему для применения в *Y. enterocolitica* Δ*yoрН,О,Р,Е,М,Т*, в котором авторы настоящего изобретения дополнительно делетировали кодируемый хромосомно *asd* (что привело к получению *Y. enterocolitica* Δ*yoрН,О,Р,Е,М,Т* Δ*asd*), который затем возвращали на плазмиду со средним числом копий, pBad-MyсHisA (pBad-MyсHisA-*asd*). Ген *asd* клонировали из *Y. enterocolitica* 8081 и встраивали в сайт PciI pBad-MyсHisA в прямой и обратной ориентации, соответственно, с его эндогенным промотором и терминатором транскрипции. Характеристики роста полученных в результате штаммов *Y. enterocolitica* Δ*yoрН,О,Р,Е,М,Т* Δ*asd* + pBad-MyсHisA-*asd* (прямая или обратная ориентация *asd*) сравнивали в культуральных колбах *in vitro* (среда ВНИ) с ДТ и родительскими штаммами *Y. enterocolitica* Δ*yoрН,О,Р,Е,М,Т* Δ*asd* (фиг. 12). В обеих ориентациях pBad-MyсHisA-*asd* восстанавливал фенотип, наблюдаемый после делеции *asd* (фиг. 12). Напротив, на модели меланомы В16F10 на мышах, а также на модели 4Т1 авторы настоящего изобретения обнаружили, что *Y. enterocolitica* Δ*yoрН,О,Р,Е,М,Т* Δ*asd* + pBad-MyсHisA-*asd* не колонизирует солидные опухоли в достаточной степени (фиг. 13 и 14), и из

нескольких выделенных колоний авторам настоящего изобретения не удалось восстановить плазмиду pBad-MycHisA-asd. Более того, колонии, выделенные из модели меланомы B16F10 на мышах, подтверждали применительно к росту на содержащих ампициллин планшетах, который подтверждал наличие плазмиды pBad-MycHisA-asd, кодирующей устойчивость к ампициллину. В день 4 после в.в. инъекции только незначительная фракция выделенных колоний демонстрировала устойчивость к ампициллину (**фиг. 13**). Данный результат может отражать утрату pBad-MycHisA-asd, но также может быть связан с утратой только гена устойчивости к ампициллину или с трудностями при повторном начале экспрессии гена устойчивости к ампициллину, достаточно быстром, чтобы избежать гибели под действием ампициллина. В любом случае колонизация опухоли *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T \Delta asd + pBad-MycHisA-asd$, которая наблюдалась на модели меланомы B16F10 на мышах, а также на модели 4T1, продемонстрировала быстрое снижение числа бактерий в солидной опухоли, в отличие от *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T$. Таким образом, делеция хромосомного asd и дополнение на pBad-MycHisA приводит к резкому снижению выживаемости и способности бактерий размножаться *in vivo*. Данное наблюдение согласуется с сообщениями о снижении жизнеспособности вследствие несбалансированных уровней asd ⁵⁴.

Эндогенные белки для транспортирования с помощью T3SS (называемые «внешние белки *Yersinia*», Yop) кодируются *Y. enterocolitica* на плазмиде размером 70 т.о. Данная плазида, называемая плазмидой вирулентности *Yersinia* (pYV), дополнительно кодирует аппарат T3SS. Авторы настоящего изобретения оценивали стабильность плазмиды pYV на аллотрансплантатной модели 4T1 на мышах. Авторы настоящего изобретения успешно выделили pYV из штаммов, отобранных в день 9 или 10 после инфекции мыши (**фиг. 15**). Затем авторы настоящего изобретения провели анализы, подтверждающие присутствие и функциональность T3SS выделенных штаммов бактерий через восемь дней роста в солидной опухоли *in vivo*. Таким образом, авторы настоящего изобретения посчитали pYV вектором, предпочтительным для кодирования гетерологичного груза с целью доставки *in vivo*. Несмотря на это, авторы настоящего изобретения обнаружили, что процент колоний бактерий, несущих плазмиду pYV, является гетерогенным после роста в течение 9 – 10 дней в солидных опухолях 4T1 на мышах (**фиг. 15**). Помимо собственной нестабильности pYV, штамм *Y.*

enterocolitica $\Delta yopH,O,P,E,M,T$ утратил селективное преимущество увеличения вирулентности *Yop in vivo*.

Для стабилизации pYV и, таким образом, гетерологичного груза, кодируемого на pYV, авторы настоящего изобретения адаптировали «asd»-систему для применения в *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T$ на pYV. Авторы настоящего изобретения делетировали кодируемый хромосомно asd (что привело к получению *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T \Delta asd$), который затем возвращали на pYV (называемую pYV-asd). Ген asd клонировали из *Y. enterocolitica* 8081 (*Y. enterocolitica* подвид *enterocolitica* 8081; эталонная последовательность NCBI: NC_008800.1) и встраивали путем гомологичной рекомбинации в pYV (в природную область вставки перед *SycO*) с его эндогенным промотором и терминатором транскрипции. Характеристики роста полученных в результате штаммов *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T \Delta asd$ + pYV-asd сравнивали в культуральных колбах *in vitro* (среда ВНИ) с ДТ и родительскими штаммами *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T \Delta asd$ (фиг. 12). pYV-asd был способен восстанавливать фенотип, наблюдаемый после делеции asd (фиг. 12), при этом восстановление не было полным, и могло наблюдаться незначительное снижение роста *in vitro*. Напротив, на сингенной модели рака 4Т1 на мышах *in vivo* авторы настоящего изобретения обнаружили, что *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T \Delta asd$ + pYV-asd эффективно колонизирует солидные опухоли (фиг. 16). Поразительно, но было обнаружено, что все колонии, выделенные из солидной опухоли в день 9 – 10 после инъекции, все еще содержали плазмиду pYV (селекция на содержащих арсенит планшетах для роста; устойчивость к арсениту связана с присутствием генов *arsRBC* на pYV⁵⁵) (фиг. 15). Следовательно, pYV-asd неожиданно продемонстрировала, что является стабильным *in vivo* вектором для кодирования гетерологичных белков, подлежащих экспрессии в солидных опухолях путем колонизации бактерий, в течение нескольких дней и недель в исходном штамме *Y. enterocolitica* $\Delta yopH,O,P,E,M,T \Delta asd$.

30 Эффективность *Y. enterocolitica* $\Delta HOPEMT$ по отсрочиванию прогрессирования опухоли и влияние изменения активности VirF, а также увеличения стабильности

Эксперименты, подобные проведенным с клетками 4Т1 (фиг. 9 и 10), проводили на модели рака молочной железы ЕМТ6 на мышах, в которой мышам Balb/C

дикого типа п.к. вводили аллотрансплантат клеток рака молочной железы ЕМТ6 и лечили однократным в.в. введением бактерий, когда опухоль достигала размера приблизительно 80 – 250 мм³. День в.в. инъекции бактерий обозначали как день 0, все мыши получали и.п. инъекцию Десферала за один день до Д0. Лечение *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ не влияло на прогрессирование опухоли по сравнению с солевым раствором. *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ pYV-YopE₁₋₁₃₈-(ВНЗ tVID)₂ продемонстрировал незначительное влияние на прогрессирование опухоли, которое усиливалось при применении *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ ΔHairpinI-VirF pYV-YopE₁₋₁₃₈-(ВНЗ tVID)₂ (фиг. 45). Данные результаты подчеркивают, что такие бактерии и их ТЗСС можно применять для препятствования прогрессированию опухоли, и что манипуляции с активностью VirF можно применять для модуляции активности бактериальной ТЗСС после введения *in vivo*. Более того, применение *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ ΔHairpinI-VirF Δasd pYV-**asd**-YopE₁₋₁₃₈-(ВНЗ tVID)₂ дополнительно усиливает влияние на прогрессирование опухоли (фиг. 45), подчеркивая преимущества усиленной генетической стабильности после системного введения.

Доставка триггерных белков пути RIG-1-подобного рецептора с помощью бактериальной ТЗСС для индукции ответа ИФН I типа

Цитозольные нуклеиновые кислоты воспринимаются рецептором, таким как члены семейства RIG-1-подобного рецептора (RLR), которые обнаруживают РНК из патогена в цитозоле⁵⁶. RIG-1 и MDA5 состоят из двух N-концевых доменов CARD и центрального (DEXD/H) геликазного домена, воспринимающего специфичные нуклеотиды⁵⁶. Связывание со стимуляторной РНК вызывает структурные перестройки в RIG-I (и MDA5), в результате которых CARD высвобождается для последующего связывания с незаякоренными связанными с K63 цепями убиквитина для образования олигомеров⁵⁶ (а в случае MDA5 – для образования филаментов⁵⁶). Олигомеризованные домены CARD RIG-I и MDA5 взаимодействуют с доменом CARD MAVS. Данное взаимодействие стимулирует полимеризацию единичного домена CARD MAVS, которая индуцирует нижестоящую передачу сигналов, в конечном итоге приводящую к индукции генов ИФН I типа⁵⁶.

Авторы настоящего изобретения получили штаммы бактерий, экспрессирующие два N-концевых домена CARD RIG-1, полученного от человека или мыши,

слитые с N-концевым бактериальным сигналом секреции для доставки с помощью T3SS, в частности, YopE₁₋₁₃₈ (SEQ ID NO: 37 и 38). Доставку слитого белка YopE₁₋₁₃₈ - CARD₂ RIG-1 оценивали с помощью стандартного анализа секреции *in vitro*, и функциональность доставленных белков оценивали на репортерной линии клеток для индукции ИФН I типа. Репортерные клетки меланомы мыши B16F10 для стимуляции ИФН I типа основаны на активности секретированной щелочной фосфатазы, находящейся под контролем промотора I-ISG54, который состоит из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE. Репортерные клетки инфицировали различными количествами (МЗ) штаммов бактерий, экспрессированных из полученной из pBadMycHisA плазмиды (pBad_Si2) и транслоцирующих белок YopE₁₋₁₃₈ - CARD₂ RIG-1. N-концевые домены CARD RIG-1 мыши и человека продемонстрировали индукцию дозозависимого ответа ИФН I типа в репортерной линии клеток (**фиг. 17**), в то время как фоновый штамм бактерий (*Y. enterocolitica* ΔHOPEMT) не был способен индуцировать такой ответ (**фиг. 17**). Домены CARD RIG-1 человека и мыши индуцировали подобный ответ ИФН I типа на репортерной линии клеток мыши (**фиг. 17**), что согласуется с высокой степенью идентичности (76%) и подобия (88,5%) последовательности.

Таким образом, слияние с N-концевым сигналом секреции бактерий привело к успешной доставке экспрессированных в бактериях белков YopE₁₋₁₃₈ - CARD₂ RIG-1 человека и мыши и не предотвратило фолдинг и функцию доменов CARD RIG-1 в эукариотической клетке. Это означает, что слитые с YopE домены CARD RIG1 все еще способны мультимеризоваться и индуцировать мультимеризацию MAVS, что является неожиданным.

В следующих экспериментах с применением данной репортерной линии клеток ИФН I типа B16F10 авторы настоящего изобретения сравнивали *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT с *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде (pBad_Si2) YopE₁₋₁₃₈-MycHis или YopE₁₋₁₃₈ - CARD₂ RIG1 человека. Вновь доставка доменов CARD RIG-1 человека индуцировала дозозависимый ответ ИФН I типа, тогда как *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, доставляющие YopE₁₋₁₃₈-MycHis, не оказывали влияния на ответ ИФН I типа (**фиг. 18**). В этом же анализе авторы настоящего изобретения сравнивали потенциал индукции ИФН I типа бактерий, доставляющих домены CARD RIG-1, с положительным контролем, интерфероном гамма (ИФНγ) мыши.

Весьма неожиданно было установлено, что бактериальная доставка доменов CARD RIG-1 была способна индуцировать максимальный ответ репортерной линии клеток, подобный ответу, полученному в положительном контроле индукции ИФН I типа, ИФН γ (фиг. 18 и 19).

- 5 В следующих экспериментах авторы настоящего изобретения инфицировали клетки рака молочной железы мыши 4T1 или клетки меланомы B16F10 ДТ и переносили супернатант, предположительно, содержащий ИФН, через 4 ч на репортерную линию клеток ИФН I типа B16F10. Данным способом авторы настоящего изобретения сравнивали *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT с *Y. enterocolitica*
- 10 Δ HOPEMT, кодирующим на эндогенной плазмиде вирулентности (pYV) YopE₁₋₁₃₈ - CARD₂ RIG1 мыши. Доставка кодируемых pYV доменов CARD RIG-1 мыши индуцировала дозозависимый ответ ИФН I типа, тогда как *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT не оказывал влияния на ответ ИФН I типа на клетках B16F10 ДТ (фиг. 20) или 4T1 (фиг. 21).
- 15 В следующем эксперименте оценивали потенциал нескольких версий, состоящих из различных длин CARD RIG-1 мыши, индуцировать ответ ИФН I типа. Домены CARD RIG-1, как прогнозируют, кодируются аминокислотами 1 – 172 (последовательность мыши, Uniprot № Q6Q899). Авторы настоящего изобретения оценивали YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, YopE₁₋₁₃₈-
- 20 домены CARD₁₋₂₂₉ RIG1 мыши и YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши на ИФН-репортерных клетках меланомы B16F10, а также ИФН-репортерных клетках макрофагов RAW (фиг. 27-28). Было обнаружено, что YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₂₉ RIG1 мыши и YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши являются в равной степени активными.
- 25 В следующем эксперименте авторы настоящего изобретения оценивали биологическую активность доставленных с помощью бактерий MDA5. Авторы настоящего изобретения клонировали несколько версий, состоящих из различных длин CARD MDA5 мыши, и оценивали их биологическую активность при индукции ответа ИФН I типа на ИФН-репортерных клетках B16F10. Домены
- 30 CARD MDA5, как прогнозируют, кодируются аминокислотами 1 – 190 (последовательность мыши, Uniprot № Q8R5F7). Авторы настоящего изобретения оценивали YopE₁₋₁₃₈- домены CARD₁₋₂₉₄ MDA5 мыши и YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₃₁ MDA5 мыши на ИФН-репортерных клетках меланомы

V16F10. Было обнаружено, что все варианты являются активными (фиг. 29). Неожиданно было обнаружено, что активность доставленных CARD MDA5 была гораздо менее высокой, чем CARD RIG-1, даже несмотря на то, что белки характеризовались весьма подобной биологической функцией и структурой белка, состоящей из двух N-концевых доменов CARD и центрального (DEXD/H) геликазного домена, воспринимающего специфичные нуклеотиды ⁵⁶.

10 Доставка триггерных белков пути cGAS/STING с помощью бактериальной T3SS для индукции ответа ИФН I типа

В пути cGAS/STING цитозольная двухцепочечная ДНК обнаруживается в результате связывания с ферментом циклической ГМФ-АМФ синтазой (cGAS). После связывания с дсДНК (двухспиральной ДНК) cGAS активируется и продуцирует второй мессенджер-циклический динуклеотид, циклический ГМФ-АМФ (цГАМФ). цГАМФ напрямую связывается с рецепторным белком эндоплазматического ретикула STING (Stimulator of IFN Genes, стимулятор генов ИФН). После связывания с цГАМФ STING активируется и индуцирует путь передачи сигналов, приводящий к транскрипции ИФН I типа и других корегулируемых генов ⁵⁷. CGAS человека продуцирует 2',3'-цГАМФ (содержащий 2'-5' и 3'-5' фосфодиэфирные связи), однако было показано, что другие циклические динуклеотиды способны индуцировать STING мыши или человека на различных уровнях. Такие циклические динуклеотиды включают 3',3'-цГАМФ (например, продуцируемый DncV *Vibrio cholera* или некоторыми эукариотическими cGAS), циклический ди-АМФ (например, продуцируемый CdaA или DisA различных грамположительных видов) или циклический ди-ГМФ (например, продуцируемый WspR *Pseudomonas aeruginosa*) ^{57,58}. В то время как STING человека ДТ (и STING мыши) распознает 2',3'-цГАМФ, 3',3'-цГАМФ, циклический ди-АМФ и циклический ди-ГМФ, некоторые природные варианты STING человека отвечают на данные агонисты различным образом ⁵⁹.

30 Для активации пути cGAS/STING после доставки белков бактериями авторы настоящего изобретения клонировали подлежащий экспрессии WspR *P. aeruginosa*, продуцирующий циклический ди-ГМФ, и доставляли с использованием *Y. enterocolitica* с помощью T3SS. Для увеличения активности WspR применяли только его домен GGDEF (дигуанилатциклазный домен), и

домен стебля, расположенный в направлении 3' – 5', заменяли мотивом лейциновой молнии GCN4 из дрожжей. Известно, что для проявления активности WspR необходима димеризация, и было продемонстрировано, что лейциновая молния GCN4 образует параллельные двойные спирали и, таким образом, выступает в качестве мощного модуля демеризации. Мотив GCN4 был слит с доменом GGDEF WspR, включая природный линкер между GGDEF и спиральным стеблем, чтобы обеспечить междоменную гибкость, сравнимую с WspR дикого типа⁶⁰.

10 Доставку слитого белка YopE₁₋₁₃₈ –лейциновая молния GCN4 - домен GGDEF WspR (сокращенно: YopE₁₋₁₃₈ – WspR) (SEQ ID NO: 39) оценивали на репортерной линии клеток для индукции ИФН I типа. Репортерные клетки меланомы мыши B16F10 для стимуляции ИФН I типа основаны на активности секретированной щелочной фосфатазы, находящейся под контролем промотора I-ISG54, который состоит из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE. Репортерные клетки инфицировали различными количествами (МЗ) штаммов бактерий, экспрессированных из полученной из pBadMycHisA плазмиды (pBad_Si2) и транслоцирующих белок YopE₁₋₁₃₈ - WspR. Домен GGDEF WspR *P. aeruginosa*, слитый с мотивом лейциновой молнии GCN4, продемонстрировал дозозависимую индукцию ответа ИФН I типа в репортерной линии клеток (**фиг. 22**), в то время как фоновый штамм бактерий (*Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ) не был способен индуцировать такой ответ (**фиг. 22**).

20 Таким образом, слияние с N-концевым сигналом секреции бактерий привело к успешной доставке экспрессированного в бактериях белка YopE₁₋₁₃₈ - лейциновая молния GCN4 (дрожжи) - GGDEF WspR (*P. aeruginosa*) и не предотвратило фолдинг и функцию данного состоящего из трех частей белка в эукариотической клетке. Это означает, что слитые с YopE лейциновая молния GCN4 - GGDEF WspR все еще способны димеризоваться и, таким образом, приводить к получению активных доменов GGDEF, что является неожиданным.

30 Для следующих экспериментов авторы настоящего изобретения клонировали DncV *V. cholerae* (продуцирующий 3',3'-цГАМФ)⁵⁷, DisA-подобный белок *Bacillus cereus* (продуцирующий циклический ди-АМФ)⁶¹ и cGAS эукариотического анемона (*Nematostella vectensis*) (продуцирующий 3',3'-цГАМФ)⁵⁷, которые, как сообщалось, являются активными при отсутствии

внешних стимулов, для экспрессии и транслокации бактериями. Циклазы типа DisA обычно образуют октамеры ⁶¹, которые могут быть не совместимыми с N-концевым слиянием YopE и бактериальной доставкой. DisA-подобный белок *V. cereus* (код PDB 2fb5) идентифицировали на основании структурного подобия

5 диаденилатциклазному (DAC) домену классических белков DisA ⁶¹, но, что примечательно, в нем отсутствуют все спирали, которые, как известно для других белков DisA, необходимы для мультимеризации. Авторы настоящего изобретения, таким образом, решили использовать преимущество предположительно мономерного активного DisA-подобного белка из *V. cereus*

10 (код PDB 2fb5; остатки 76 – 205).

Доставку слитого белка YopE₁₋₁₃₈ – DncV *V. cholerae* (SEQ ID NO: 41), YopE₁₋₁₃₈ - DisA-подобный белок *V. cereus* (SEQ ID NO: 42) и YopE₁₋₁₃₈- cGAS анемона (SEQ ID NO: 43) оценивали на репортерной линии клеток для индукции ИФН I типа. Репортерные клетки меланомы мыши B16F10 для стимуляции ИФН I типа

15 основаны на активности секретированной щелочной фосфатазы, находящейся под контролем промотора I-ISG54, который состоит из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE. Репортерные клетки инфицировали различными количествами (МЗ) штаммов бактерий, экспрессированных из полученной из pBadMycHisA плазмиды (pBad_Si2) и

20 транслоцирующих YopE₁₋₁₃₈ – DncV *V. cholerae*, YopE₁₋₁₃₈ - DisA-подобный белок *V. cereus* и YopE₁₋₁₃₈- cGAS анемона. YopE₁₋₁₃₈ – DncV *V. cholerae*, YopE₁₋₁₃₈ - DisA-подобный белок *V. cereus* и YopE₁₋₁₃₈- cGAS анемона все продемонстрировали дозозависимую индукцию ответа ИФН I типа в репортерной линии клеток (**фиг. 23**), в то время как фоновый штамм бактерий (*Y. enterocolitica* ΔHOPEMT) или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT, доставляющий YopE₁₋

25 ₁₃₈-MycHis, не были способны индуцировать такой ответ (**фиг. 23**). cGAS анемона (*Nematostella vectensis*), продуцирующий 3',3'-цГАМФ, продемонстрировал наивысшую активность, вместе с тем было обнаружено, что DncV *V. cholerae* (продуцирующий 3',3'-цГАМФ) и DisA-подобный белок *Bacillus cereus*

30 (продуцирующий циклический ди-АМФ) активируют ответ ИФН I типа в аналогичной степени.

Таким образом, слияние с N-концевым сигналом секреции бактерий привело к успешной доставке экспрессированных в бактериях белков YopE₁₋₁₃₈ – DncV *V. cholerae*, YopE₁₋₁₃₈ - DisA-подобный белок *V. cereus* и YopE₁₋₁₃₈- cGAS анемона и

не предотвратило фолдинг и функцию данных белков в эукариотической клетке, что не могло быть предсказано.

В качестве альтернативы, IRF3 мыши, центральный фактор транскрипции, функционирующий ниже RLR- или cGAS/STING-зависимой передачи сигналов⁶², клонировали для экспрессии и транспортирования бактериями. При отсутствии активации IRF-3 находится в латентной конформации в цитоплазме. Только после активации вышестоящих рецепторов, таких как RIG-1, MDA5 или STING, IRF-3 фосфорилируется посредством TBK1 и IKKε и, таким образом, активируется. Фосфорилирование IRF-3 приводит к димеризации, транслокации в ядро и связыванию с коактиваторами⁶². Для получения конститутивно активной версии IRF3 авторы настоящего изобретения заменили один из наиболее важных сайтов фосфорилирования (Ser397 в IRF3 мыши) на Asp⁶². Доставку слитого белка YopE₁₋₁₃₈-IRF3 Ser397Asp мыши (SEQ ID NO: 40) оценивали в анализе секреции *in vitro*, в котором искусственно индуцировали секрецию белка в окружающую жидкость. После преципитации белка с помощью трихлоруксусной кислоты для определения секретированных количеств белка применяли анализ методом вестернблоттинга с антителом против YopE (**фиг. 24**). Хотя штаммы ΔНОРЕМТ, кодирующие YopE₁₋₁₃₈-ВНЗ tBID мыши, привели к получению мощной полосы в секретированной фракции (на уровне 15 – 20 кДа), было обнаружено, что также, хотя и в меньшей степени, секретировается YopE₁₋₁₃₈-IRF3 Ser397Asp мыши (на уровне 50 – 75 Да) (**фиг. 24**). Анализ суммарной фракции бактериальных клеток выявил, что уровни экспрессии YopE₁₋₁₃₈-ВНЗ tBID мыши и YopE₁₋₁₃₈-IRF3 Ser397Asp мыши являются сопоставимыми, хотя для YopE₁₋₁₃₈-IRF3 Ser397Asp мыши наблюдался паттерн полос деградации (**фиг. 24**).

Доставка триггерных белков путей cGAS/STING и RIG-1-подобного рецептора с помощью бактериальной T3SS для индукции ответа ИФН I типа в иммунных клетках.

Доставку слитого белка YopE₁₋₁₃₈-CARD₂ RIG-1 мыши, YopE₁₋₁₃₈-DncV *V. cholerae*, YopE₁₋₁₃₈-DisA-подобный белок *B. cereus* и YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона оценивали на иммунной репортерной линии клеток для индукции ИФН I типа.

- Репортерные клетки макрофагов RAW264.7 мыши для стимуляции ИФН I типа были основаны на активности секретированной щелочной фосфатазы, находящейся под контролем промотора I-ISG54, который состоит из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE.
- 5 Репортерные клетки инфицировали различными количествами (МЗ) штаммов бактерий, экспрессированных из полученной из pBadMycHisA плазмиды (pBad_Si2) и транслоцирующих YopE₁₋₁₃₈ – CARD₂ RIG-1 мыши, YopE₁₋₁₃₈ – DncV *V. cholerae*, YopE₁₋₁₃₈ - DisA-подобный белок *B. cereus* и YopE₁₋₁₃₈- cGAS анемона. YopE₁₋₁₃₈ – CARD₂ RIG-1 мыши, YopE₁₋₁₃₈ – DncV *V. cholerae* и YopE₁₋₁₃₈- cGAS
- 10 анемона все продемонстрировали дозозависимую индукцию ответа ИФН I типа на данной иммунной репортерной линии клеток (**фиг. 25**), в то время как фоновый штамм бактерий (*Y. enterocolitica* ΔHOPEMT) не был способен индуцировать такой ответ (**фиг. 25**). YopE₁₋₁₃₈ – CARD₂ RIG-1 мыши продемонстрировал наивысшую активность, за ним следовали cGAS анемона
- 15 (*Nematostella vectensis*), продуцирующий 3',3'-цГАМФ, и DncV *V. cholerae* (продуцирующий 3',3'-цГАМФ). Было обнаружено, что DisA-подобный белок *Bacillus cereus* (продуцирующий циклический ди-АМФ) лишь слабо активировал ответ ИФН I типа.
- 20 Для следующих экспериментов авторы настоящего изобретения клонировали аминокислоты 161 – 522 cGAS человека (Uniprot № Q8N884 и SEQ ID № 115; продуцирующий 2',3'-цГАМФ)⁵⁷ для экспрессии и транслокации бактериями. Репортерные клетки меланомы мыши B16F10 и макрофаги мыши RAW для стимуляции ИФН I типа были основаны на активности секретированной
- 25 щелочной фосфатазы, находящейся под контролем промотора I-ISG54, который состоит из ИФН-индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE. Репортерные клетки были инфицированы различными количествами (МЗ) штаммов бактерий, экспрессированных из полученной из pBadMycHisA плазмиды (pBad_Si2) и транслоцирующих YopE₁₋₁₃₈ – cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, и
- 30 продемонстрировали дозозависимую индукцию ответа ИФН I типа в репортерной линии клеток, так же как штамм бактерий, экспрессированный из полученной из pBadMycHisA плазмиды (pBad_Si2) и транслоцирующий YopE₁₋₁₃₈- cGAS анемона, YopE₁₋₁₃₈- cGAS₆₀₋₄₂₂ анемона, YopE₁₋₁₃₈- CdaA₁₀₁₋₂₇₃ *Listeria*,

YopE₁₋₁₃₈- DncV *V. cholerae* или YopE₁₋₁₃₈- DisA-подобный белок *B. cereus* (фиг. 32-33). Наиболее мощная активация наблюдалась для YopE₁₋₁₃₈ – cGAS₁₆₁₋₅₂₂ человека, за ним следовали YopE₁₋₁₃₈- cGAS анемона, YopE₁₋₁₃₈- cGAS₆₀₋₄₂₂ анемона. Интересно отметить, что наиболее короткий вариант cGAS₆₀₋₄₂₂ анемона
 5 был незначительно более активным. YopE₁₋₁₃₈- CdaA₁₀₁₋₂₇₃ *Listeria*, YopE₁₋₁₃₈- DncV *V. cholerae* или YopE₁₋₁₃₈- DisA-подобный белок *B. cereus* также демонстрировали дозозависимую активацию ИФН, хотя и в меньшей степени, чем белки cGAS (фиг. 32-33).

10 Доставка MAVS с помощью бактериальной T3SS для индукции ответа ИФН I типа

Цитозольные нуклеиновые кислоты воспринимаются рецептором, таким как члены семейства RIG-1-подобного рецептора (RLR), которые обнаруживают РНК из патогена в цитозоле⁵⁶. RIG-1 и MDA5 состоят из двух N-концевых
 15 доменов CARD и центрального (DEXD/H) геликазного домена, воспринимающего специфичные нуклеотиды⁵⁶. Связывание со стимуляторной РНК вызывает структурные перестройки в RIG-I (и MDA5), которые высвобождают CARD для последующего связывания с незакоренными связанными с K63 цепями убиквитина для образования олигомеров⁵⁶ (а в случае
 20 MDA5 – для образования филаментов⁵⁶). Олигомеризованные домены CARD RIG-I и MDA5 взаимодействуют с доменом CARD MAVS. Данное взаимодействие стимулирует полимеризацию единичного домена CARD MAVS, которая индуцирует нижестоящую передачу сигналов, в конечном итоге приводящую к индукции генов ИФН I типа⁵⁶.

25 Авторы настоящего изобретения получили штаммы бактерий (на основе *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT), экспрессирующие N-концевые домены CARD MAVS, полученные от человека, слитые с N-концевым бактериальным сигналом секреции для доставки с помощью T3SS, в частности, YopE₁₋₁₃₈. Доставку слитого белка YopE₁₋₁₃₈ – CARD MAVS оценивали с помощью стандартного анализа
 30 секреции *in vitro*, и функциональность доставленных белков оценивали на репортерной линии клеток для индукции ИФН I типа. Репортерные клетки меланомы мыши B16F10 и макрофаги мыши RAW для стимуляции ИФН I типа были основаны на активности секретированной щелочной фосфатазы, находящейся под контролем промотора I-ISG54, который состоит из ИФН-

индуцибельного промотора ISG54, усиленного мультимерным ISRE. Репортерные клетки инфицировали различными количествами (МЗ) *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, экспрессированного из полученной из pBadMycHisA плазмиды (pBad_Si2) и транслоцирующего белок YopE₁₋₁₃₈ – CARD MAVS человека. N-концевой домен CARD MAVS мыши продемонстрировал дозозависимую индукцию ответа ИФН I типа в репортерной линии клеток (фиг. 30-31), в то время как фоновый штамм бактерий (*Y. enterocolitica* Δ HOPEMT) не был способен индуцировать такой ответ (фиг. 30-31). cGAS человека и домены CARD RIG-1 мыши индуцировали ответ ИФН I типа аналогичным образом на репортерных линиях клеток мыши (фиг. 30-31), причем RIG-1 демонстрировал наивысший потенциал активации, за ним следовали MAVS и cGAS.

Таким образом, слияние с N-концевым сигналом секреции бактерий привело к успешной доставке экспрессированного в бактериях белка YopE₁₋₁₃₈ - CARD MAVS человека и не предотвратило фолдинг и функцию домена CARD MAVS в эукариотической клетке. Это означает, что слитый с YopE домен CARD MAVS все еще способен мультимеризоваться и индуцировать мультимеризацию MAVS, что является неожиданным. Еще более неожиданным является то, что было показано, что только CARD MAVS был неспособен индуцировать нижестоящую передачу сигналов ИФН ⁶⁴, после чего авторы настоящего изобретения обнаружили, что слитый с YopE домен CARD MAVS мощно активирует путь ИФН I типа.

Более того, было продемонстрировано, что C-концевой трансмембранный домен MAVS является существенным для функционирования MAVS после трансфекции ДНК, и было продемонстрировано, что домен CARD MAVS сам по себе является неактивным при экспрессии из трансфицированных конструкций ДНК ⁶⁶. Более того, было продемонстрировано, что CARD MAVS, слитый с трансмембранной областью, которая обладает способностью при экспрессии из трансфицированной ДНК или в виде очищенного белка активировать ответ ИФН I типа ^{64,66}, зависел от эндогенных MAVS, агрегацию и, таким образом, активацию которых он начинал⁶⁴. Авторы настоящего изобретения с применением линии клеток MAVS KO смогли продемонстрировать (фиг. 52), что доставленный бактериями слитый с YopE CARD MAVS является активным без эндогенных MAVS, присутствующих на митохондриях. То, что CARD MAVS, слитый с YopE, способен мультимеризоваться и активировать нижестоящие

партнеры без трансмембранного домена и, более того, без эндогенных MAVS, является неожиданным.

Сравнительный анализ с низкомолекулярным агонистом STING с целью

5 индукции ответа ИФН I типа *in vitro*

Циклические динуклеотиды представляют собой хорошо известные агонисты пути STING, приводящие к нижестоящей индукции передачи сигналов ИФН I типа. Агонисты STING были описаны в литературе ⁵⁹ и, как было обнаружено, они, главным образом, воздействуют на иммунные клетки, причем наивысшая
 10 активность была продемонстрирована на дендритных клетках ⁵⁹. Передача сигналов RLR, напротив, как было обнаружено, экспрессируется более повсеместно ⁶³. Авторы настоящего изобретения, таким образом, сравнивали бактерии *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, доставляющие ферменты, которые образуют циклические динуклеотиды (YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона и YopE₁₋₁₃₈-cGAS
 15 человека), или бактерии, доставляющие YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши, с низкомолекулярным агонистом STING 2'3'-c-di-AM(PS)₂ (Rp,Rp) (подобен ADU-S100 от компании Adugo Biotech) на иммунных клетках (ИФН-репортерные клетки макрофаги RAW) и неиммунных клетках (ИФН-репортерные клетки меланомы B16F1) в отношении интерферон-индуцирующего потенциала. На
 20 иммунных клетках аналогичный активирующий потенциал наблюдался для низкомолекулярного агониста STING 2'3'-c-di-AM(PS)₂ (Rp,Rp) и всех трех исследованных штаммов бактерий, доставляющих белок (YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона, YopE₁₋₁₃₈-cGAS человека или YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши), в то время как бактерии *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, не доставляющие белок,
 25 продемонстрировали весьма слабый активирующий потенциал (**фиг. 34-37**). На неиммунных клетках (раковые клетки, меланома) доставленные бактериями YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₁₈ RIG1 мыши, доставленные бактериями YopE₁₋₁₃₈-cGAS анемона и YopE₁₋₁₃₈-cGAS человека работали в равной степени хорошо и практически превосходили низкомолекулярный агонист STING, что
 30 подчеркивает более повсеместное присутствие RLR по сравнению со STING (**фиг. 34-37**).

Строгая зависимость от T3SS доставленных бактериями доменов CARD RIG1 или CARD MAVS

Для доказательства строго зависящего от T3SS транспортирования делетировали один из белков T3SS, образующий транслокационную пору в мембране эукариотической клетки (YopB). Потенциал таких бактерий с делетированным уорВ (называемых *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT-уорВ), экспрессирующих YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши или YopE₁₋₁₃₈ – CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека, оценивали на ИФН-репортерной линии клеток макрофагов RAW и сравнивали с экспрессирующими уорВ бактериями *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, также экспрессирующими YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши или YopE₁₋₁₃₈ – CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека (**фиг. 38**). Хотя бактерии с уорВ дикого типа, экспрессирующие YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши или YopE₁₋₁₃₈ – CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека, демонстрировали дозозависимую активацию ответа ИФН I типа, штаммы с делетированным уорВ, экспрессирующие эти же белки, были неспособны индуцировать такой ответ выше фонового уровня, обусловленного фоновым штаммом бактерий, который не экспрессировал белок, подлежащий доставке (**фиг. 38**). Это подтверждает, что YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши или YopE₁₋₁₃₈ – CARD₁₋₁₀₀ MAVS человека оба транспортировались через иглу T3SS в эукариотические клетки-мишени.

Индукция ответа ИФН I типа в неочищенном изоляте опухоли

Для подтверждения того, что ответ ИФН I типа можно иницировать в микроокружении опухоли, авторы настоящего изобретения проводили анализ на неочищенных изолятах опухоли, инфицированных *ex vivo* штаммами бактерий, с последующим анализом интерферона бета методом ELISA. Мышей Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы EMT6 умерщвляли, когда опухоль достигала объема. Опухоли растирали, расщепляли и высевали в виде суспензии отдельных клеток на 24-луночных планшетах. Такие клетки от двух различных опухолей оставляли неинфицированными (пунктирные линии на **фиг. 39**) или инфицировали *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT или *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодируемым на полученной из pBadMycHisA плазмиде YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши. Стимуляцию ИФН оценивали с применением ELISA для интерферона бета, и было продемонстрировано, что, хотя *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT был неспособен индуцировать секрецию интерферона бета, инфекция *Y. enterocolitica* Δ HOPEMT, кодирующим YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши, привела к дозозависимой секреции интерферона

бета неочищенным изолятом опухоли двух различных опухолей (фиг. 39). Это подтверждает, что доставленные с помощью бактерий домены CARD RIG1 способны индуцировать продукцию интерферона в смешанных популяциях клеток, состоящих из раковых клеток, иммунных клеток и всех других клеток, в микроокружении опухоли.

Эффективность *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, доставляющего CARD RIG1 или cGAS, по отсрочиванию прогрессирования опухоли

Для оценки влияния YopE₁₋₁₃₈-домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши и YopE₁₋₁₃₈-cGAS человека, доставленных в опухолевые клетки *in vivo*, авторы настоящего изобретения проводили исследование на мышах Balb/C дикого типа с п.к. аллотрансплантатом клеток рака молочной железы ЕМТ6. Мышам внутриопухолево (в.о.) инъецировали ФБР (фиг. 40) или $7,5 * 10^7$ *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ + YopE₁₋₁₃₈ домены CARD₁₋₂₄₆ RIG1 мыши или *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ + YopE₁₋₁₃₈ cGAS человека, когда опухоль достигала размера приблизительно 60 – 130 мм³. День первой в.о. инъекции бактерий обозначали как день 0. Мышам вводили в.о. инъекции в Д0, Д1, Д5, Д6, Д10 и Д11. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней с помощью штангенциркуля. Лечение *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ самим по себе продемонстрировало влияние на прогрессирование объема опухоли, у 4/14 мышей наблюдалась полная регрессия опухоли (фиг. 41). Было обнаружено, что *Y. enterocolitica* ΔНОРЕМТ, который доставляет белок, индуцирующий ответ ИФН I типа, будь то CARD RIG1 или cGAS, приводил к более выраженному влиянию на прогрессирование опухоли; у 8/14 (CARD RIG1) или 8/15 (cGAS) мышей наблюдалась полная и длительная регрессия опухоли (фиг. 42-43). Данные результаты подчеркивают, что такие бактерии и их Т3SS можно применять, чтобы весьма значительно препятствовать прогрессированию опухоли, и что доставка белков, индуцирующих ИФН I типа, хорошо подходит для индукции регрессии первичной опухоли.

Затем за мышами с полной регрессией опухоли наблюдали вплоть до дня 65 после исходной аллотрансплантации опухоли, после чего в день 65 проводили повторную антигенную стимуляцию клетками рака молочной железы ЕМТ6 на противоположной стороне для оценки иммуно-опосредованной памяти и системной активности против данных раковых клеток. В данном исследовании

повторной антигенной стимуляции дополнительное лечение не вводили, и за мышами просто наблюдали применительно к прогрессированию опухоли на противоположной стороне и сравнивали с ранее не использованными в экспериментах мышами (мышами, которых ранее не подвергали воздействию

5 клеток рака молочной железы ЕМТ6, но все другие параметры которых, такие как возраст, были идентичными). Было обнаружено, что в то время как на ранее не использованных в экспериментах мышах п.к. аллотрансплантированные опухолевые клетки привели к росту опухоли, все мыши с предварительно вылеченной опухолью ЕМТ6 с полной регрессией на противоположной стороне

10 были защищены от роста опухоли (**фиг. 44**). Следует отметить, что опухоли у мышей с предшествующей полной регрессией, индуцированной лечением бактериями, на противоположной стороне начинали расти в течение нескольких дней и достигали объемов вплоть до $>100 \text{ мм}^3$ (при максимальном объеме приблизительно в день 10 после второй трансплантации), а затем сморщивались

15 (**фиг. 44**). Данный лаг-период может свидетельствовать об адаптивном ответе иммунной системы, которому требуется несколько дней, прежде чем полностью установиться.

В следующих экспериментах для оценки влияния YopE_{1-138} -домены CARD_{1-246} RIG1 мыши и YopE_{1-138} -сGAS человека, доставленных в опухолевые клетки *in vivo*, авторы настоящего изобретения провели исследование на мышах C57BL/6

20 дикого типа с п.к. аллотрансплантатом раковых клеток меланомы B16F10. Мышам внутриопухолево (в.о.) инъецировали ФБР или $7,5 * 10^7$ *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT , *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT + YopE_{1-138} домены CARD_{1-246} RIG1 мыши или *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT + YopE_{1-138} сGAS человека, когда опухоль

25 достигала размера приблизительно 75 мм^3 . День первой в.о. инъекции бактерий обозначали как день 0. Мышам вводили в.о. инъекции в Д0, Д1, Д2, Д3, Д6 и Д9. Объем опухоли измеряли в течение следующих дней с помощью штангенциркуля. Лечение *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT самим по себе продемонстрировало влияние на прогрессирование объема опухоли, у 1/15

30 мышей наблюдалась полная регрессия опухоли (**фиг. 46**). Было обнаружено, что *Y. enterocolitica* ΔHOPEMT , который доставлял белок, индуцирующий ответ ИФН I типа, будь то CARD RIG1 или сGAS, приводил к весьма выраженному влиянию на прогрессирование опухоли; у 5/15 (CARD RIG1) или 8/15 (сGAS) мышей наблюдалась полная и длительная регрессия опухоли (**фиг. 46**). Данные

результаты подчеркивают, что такие бактерии и их T3SS можно применять, чтобы весьма значительно препятствовать прогрессированию опухоли, и что доставка белков, индуцирующих ИФН I типа, хорошо подходит для индукции регрессии первичной опухоли. Примечательно, особенно в случае бактерий, доставляющих YopE₁₋₁₃₈-cGAS человека, что сразу после первых введений 5 наблюдалось увеличение объема опухоли по сравнению с контролем, получавшим ФБР, что может быть вызвано миграцией лейкоцитов в опухоль (псевдопрогрессирование), вызванной внутриклеточной доставкой белка cGAS, индуцирующего ИФН I типа.

Перечень литературных источников

- 1 Hayes, C. S., Aoki, S. K. & Low, D. A. Bacterial contact-dependent delivery systems. *Annu Rev Genet* **44**, 71-90, doi:10.1146/annurev.genet.42.110807.091449 (2010).
- 5 2 Cornelis, G. R. The type III secretion injectisome. *Nat Rev Microbiol* **4**, 811-825, doi:nrmicro1526 [pii]10.1038/nrmicro1526 (2006).
- 3 Blanco-Toribio, A., Muyldermans, S., Frankel, G. & Fernandez, L. A. Direct injection of functional single-domain antibodies from *E. coli* into human cells. *PLoS One* **5**, e15227, doi:10.1371/journal.pone.0015227 (2010).
- 10 4 Bichsel, C. *et al.* Direct reprogramming of fibroblasts to myocytes via bacterial injection of MyoD protein. *Cell Reprogram* **15**, 117-125, doi:10.1089/cell.2012.0058 (2013).
- 5 Bichsel, C. *et al.* Bacterial delivery of nuclear proteins into pluripotent and differentiated cells. *PLoS One* **6**, e16465, doi:10.1371/journal.pone.0016465 (2011).
- 15 6 Chamekh, M. *et al.* Delivery of biologically active anti-inflammatory cytokines IL-10 and IL-1ra in vivo by the *Shigella* type III secretion apparatus. *J Immunol* **180**, 4292-4298 (2008).
- 20 7 Skurnik, M. & Wolf-Watz, H. Analysis of the *yopA* gene encoding the Yop1 virulence determinants of *Yersinia* spp. *Mol Microbiol* **3**, 517-529 (1989).
- 8 Isberg, R. R., Voorhis, D. L. & Falkow, S. Identification of invasins: a protein that allows enteric bacteria to penetrate cultured mammalian cells. *Cell* **50**, 769-778 (1987).
- 25 9 Mota, L. J. & Cornelis, G. R. The bacterial injection kit: type III secretion systems. *Ann Med* **37**, 234-249, doi:R673752030212825 [pii]10.1080/07853890510037329 (2005).
- 10 Trosky, J. E., Liverman, A. D. & Orth, K. *Yersinia* outer proteins: Yops. *Cell Microbiol* **10**, 557-565, doi:10.1111/j.1462-5822.2007.01109.x (2008).
- 30 11 Brenner, D. & Mak, T. W. Mitochondrial cell death effectors. *Curr Opin Cell Biol* **21**, 871-877, doi:S0955-0674(09)00160-4 [pii]10.1016/j.ceb.2009.09.004 (2009).
- 12 Chalah, A. & Khosravi-Far, R. The mitochondrial death pathway. *Adv Exp Med Biol* **615**, 25-45, doi:10.1007/978-1-4020-6554-5_3 (2008).
- 35 13 Fuchs, Y. & Steller, H. Programmed cell death in animal development and disease. *Cell* **147**, 742-758, doi:S0092-8674(11)01283-9 [pii]10.1016/j.cell.2011.10.033 (2011).
- 14 Waugh, D. S. An overview of enzymatic reagents for the removal of affinity tags. *Protein Expr Purif* **80**, 283-293, doi:S1046-5928(11)00203-8 [pii]10.1016/j.pep.2011.08.005 (2011).
- 40 15 Howard, S. L. *et al.* Application of comparative phylogenomics to study the evolution of *Yersinia enterocolitica* and to identify genetic differences relating to pathogenicity. *J Bacteriol* **188**, 3645-3653, doi:10.1128/JB.188.10.3645-3653.2006 (2006).
- 45 16 Thomson, N. R. *et al.* The complete genome sequence and comparative genome analysis of the high pathogenicity *Yersinia enterocolitica* strain 8081. *PLoS Genet* **2**, e206, doi:10.1371/journal.pgen.0020206 (2006).
- 17 Pelludat, C., Hogardt, M. & Heesemann, J. Transfer of the core region genes of the *Yersinia enterocolitica* WA-C serotype O:8 high-pathogenicity island to *Y.*

- enterocolitica MRS40, a strain with low levels of pathogenicity, confers a yersiniabactin biosynthesis phenotype and enhanced mouse virulence. *Infect Immun* **70**, 1832-1841 (2002).
- 18 Mulder, B., Michiels, T., Simonet, M., Sory, M. P. & Cornelis, G. Identification
5 of additional virulence determinants on the pYV plasmid of *Yersinia*
enterocolitica W227. *Infect Immun* **57**, 2534-2541 (1989).
- 19 Sory, M. P. & Cornelis, G. R. Translocation of a hybrid YopE-adenylate cyclase
from *Yersinia enterocolitica* into HeLa cells. *Mol Microbiol* **14**, 583-594
(1994).
- 10 20 Sarker, M. R., Neyt, C., Stainier, I. & Cornelis, G. R. The *Yersinia* Yop virulon:
LcrV is required for extrusion of the translocators YopB and YopD. *J Bacteriol*
180, 1207-1214 (1998).
- 21 Neubauer, H., Aleksic, S., Hensel, A., Finke, E. J. & Meyer, H. *Yersinia*
enterocolitica 16S rRNA gene types belong to the same genospecies but form
15 three homology groups. *Int J Med Microbiol* **290**, 61-64, doi:10.1016/S1438-
4221(00)80107-1 (2000).
- 22 Feldman, M. F., Muller, S., Wuest, E. & Cornelis, G. R. SycE allows secretion
of YopE-DHFR hybrids by the *Yersinia enterocolitica* type III Ysc system. *Mol*
Microbiol **46**, 1183-1197, doi:3241 [pii] (2002).
- 20 23 Ramamurthi, K. S. & Schneewind, O. A synonymous mutation in *Yersinia*
enterocolitica yopE affects the function of the YopE type III secretion signal. *J*
Bacteriol **187**, 707-715, doi:10.1128/JB.187.2.707-715.2005 (2005).
- 24 Wolke, S., Ackermann, N. & Heesemann, J. The *Yersinia enterocolitica* type 3
secretion system (T3SS) as toolbox for studying the cell biological effects of
25 bacterial Rho GTPase modulating T3SS effector proteins. *Cell Microbiol* **13**,
1339-1357, doi:10.1111/j.1462-5822.2011.01623.x (2011).
- 25 Forsberg, A. & Wolf-Watz, H. Genetic analysis of the yopE region of *Yersinia*
spp.: identification of a novel conserved locus, yerA, regulating yopE
expression. *J Bacteriol* **172**, 1547-1555 (1990).
- 30 26 Sambrook, J. (ed David W. Russell) (Cold Spring Harbor Laboratory Press,
Cold Spring Harbor, N.Y. , 2001).
- 27 Alto, N. M. & Dixon, J. E. Analysis of Rho-GTPase mimicry by a family of
bacterial type III effector proteins. *Methods Enzymol* **439**, 131-143, doi:S0076-
6879(07)00410-7 [pii]10.1016/S0076-6879(07)00410-7 (2008).
- 35 28 Alto, N. M. *et al.* Identification of a bacterial type III effector family with G
protein mimicry functions. *Cell* **124**, 133-145, doi:S0092-8674(05)01229-8
[pii]10.1016/j.cell.2005.10.031 (2006).
- 29 Kaniga, K., Delor, I. & Cornelis, G. R. A wide-host-range suicide vector for
improving reverse genetics in gram-negative bacteria: inactivation of the blaA
40 gene of *Yersinia enterocolitica*. *Gene* **109**, 137-141, doi:0378-1119(91)90599-
7 [pii] (1991).
- 30 Yoneda, Y. *et al.* A long synthetic peptide containing a nuclear localization
signal and its flanking sequences of SV40 T-antigen directs the transport of IgM
into the nucleus efficiently. *Exp Cell Res* **201**, 313-320 (1992).
- 45 31 Metcalf, W. W., Jiang, W. & Wanner, B. L. Use of the rep technique for allele
replacement to construct new *Escherichia coli* hosts for maintenance of R6K
gamma origin plasmids at different copy numbers. *Gene* **138**, 1-7 (1994).
- 32 Diepold, A. *et al.* Deciphering the assembly of the *Yersinia* type III secretion
injectisome. *Embo J* **29**, 1928-1940, doi:emboj201084
50 [pii]10.1038/emboj.2010.84 (2010).

- 33 Iriarte, M., Stainier, I. & Cornelis, G. R. The *rpoS* gene from *Yersinia enterocolitica* and its influence on expression of virulence factors. *Infect Immun* **63**, 1840-1847 (1995).
- 34 Cornelis, G., Vanootegem, J. C. & Sluiter, C. Transcription of the *yop* regulon
5 from *Y. enterocolitica* requires trans acting pYV and chromosomal genes. *Microb Pathog* **2**, 367-379, doi:0882-4010(87)90078-7 [pii] (1987).
- 35 Grosdent, N., Maridonneau-Parini, I., Sory, M. P. & Cornelis, G. R. Role of Yops and adhesins in resistance of *Yersinia enterocolitica* to phagocytosis. *Infect Immun* **70**, 4165-4176 (2002).
- 10 36 Boyd, A. P., Lambermont, I. & Cornelis, G. R. Competition between the Yops of *Yersinia enterocolitica* for delivery into eukaryotic cells: role of the SycE chaperone binding domain of YopE. *J Bacteriol* **182**, 4811-4821 (2000).
- 37 Iriarte, M. & Cornelis, G. R. YopT, a new *Yersinia* Yop effector protein, affects the cytoskeleton of host cells. *Mol Microbiol* **29**, 915-929 (1998).
- 15 38 Kudryashev, M. *et al.* In situ structural analysis of the *Yersinia enterocolitica* injectisome. *Elife* **2**, e00792, doi:10.7554/eLife.0079200792 [pii] (2013).
- 39 Schulte, R. *et al.* *Yersinia enterocolitica* invasin protein triggers IL-8 production in epithelial cells via activation of Rel p65-p65 homodimers. *FASEB J* **14**, 1471-1484 (2000).
- 20 40 Mota, L. J., Journet, L., Sorg, I., Agrain, C. & Cornelis, G. R. Bacterial injectisomes: needle length does matter. *Science* **307**, 1278, doi:307/5713/1278 [pii]10.1126/science.1107679 (2005).
- 41 Carrington, J. C. & Dougherty, W. G. A viral cleavage site cassette: identification of amino acid sequences required for tobacco etch virus polyprotein processing. *Proc Natl Acad Sci U S A* **85**, 3391-3395 (1988).
- 25 42 Kapust, R. B., Tozser, J., Copeland, T. D. & Waugh, D. S. The P1' specificity of tobacco etch virus protease. *Biochem Biophys Res Commun* **294**, 949-955, doi:10.1016/S0006-291X(02)00574-0S0006-291X(02)00574-0 [pii] (2002).
- 43 Liang, H., Gao, H., Maynard, C. A. & Powell, W. A. Expression of a self-processing, pathogen resistance-enhancing gene construct in *Arabidopsis*. *Biotechnol Lett* **27**, 435-442, doi:10.1007/s10529-005-1884-9 (2005).
- 30 44 Weber, W. *et al.* Macrolide-based transgene control in mammalian cells and mice. *Nat Biotechnol* **20**, 901-907, doi:10.1038/nbt731nbt731 [pii] (2002).
- 45 Kapust, R. B. *et al.* Tobacco etch virus protease: mechanism of autolysis and
35 rational design of stable mutants with wild-type catalytic proficiency. *Protein Eng* **14**, 993-1000 (2001).
- 46 Lee, V. T., Anderson, D. M. & Schneewind, O. Targeting of *Yersinia* Yop proteins into the cytosol of HeLa cells: one-step translocation of YopE across bacterial and eukaryotic membranes is dependent on SycE chaperone. *Mol
40 Microbiol* **28**, 593-601 (1998).
- 47 Gray, D. C., Mahrus, S. & Wells, J. A. Activation of specific apoptotic caspases with an engineered small-molecule-activated protease. *Cell* **142**, 637-646, doi:S0092-8674(10)00783-X [pii]10.1016/j.cell.2010.07.014 (2010).
- 48 Henrichs, T. *et al.* Target-directed proteolysis at the ribosome. *Proc Natl Acad Sci U S A* **102**, 4246-4251, doi:102/12/4246 [pii]10.1073/pnas.0408520102 (2005).
- 45 49 Aepfelbacher, M., Trasak, C. & Ruckdeschel, K. Effector functions of pathogenic *Yersinia* species. *Thromb Haemost* **98**, 521-529 (2007).
- 50 Trulzsch, K., Sporleder, T., Igwe, E. I., Russmann, H. & Heesemann, J.
50 Contribution of the major secreted yops of *Yersinia enterocolitica* O:8 to

- pathogenicity in the mouse infection model. *Infect Immun* **72**, 5227-5234, doi:10.1128/IAI.72.9.5227-5234.2004 (2004).
- 51 Bohme, K. *et al.* Concerted actions of a thermo-labile regulator and a unique
intergenic RNA thermosensor control Yersinia virulence. *PLoS Pathog* **8**,
5 e1002518, doi:10.1371/journal.ppat.1002518 (2012).
- 52 Rohde, J. R., Luan, X. S., Rohde, H., Fox, J. M. & Minnich, S. A. The Yersinia
enterocolitica pYV virulence plasmid contains multiple intrinsic DNA bends
which melt at 37 degrees C. *J Bacteriol* **181**, 4198-4204 (1999).
- 53 Curtiss, R., 3rd, Galan, J. E., Nakayama, K. & Kelly, S. M. Stabilization of
10 recombinant avirulent vaccine strains in vivo. *Res Microbiol* **141**, 797-805
(1990).
- 54 Spreng, S. & Viret, J. F. Plasmid maintenance systems suitable for GMO-based
bacterial vaccines. *Vaccine* **23**, 2060-2065, doi:10.1016/j.vaccine.2005.01.009
(2005).
- 15 55 Neyt, C., Iriarte, M., Thi, V. H. & Cornelis, G. R. Virulence and arsenic
resistance in Yersiniae. *J Bacteriol* **179**, 612-619 (1997).
- 56 Wu, J. & Chen, Z. J. Innate immune sensing and signaling of cytosolic nucleic
acids. *Annu Rev Immunol* **32**, 461-488, doi:10.1146/annurev-immunol-032713-
120156 (2014).
- 20 57 Kranzusch, P. J. *et al.* Ancient Origin of cGAS-STING Reveals Mechanism of
Universal 2',3' cGAMP Signaling. *Mol Cell* **59**, 891-903,
doi:10.1016/j.molcel.2015.07.022 (2015).
- 58 Commichau, F. M., Dickmanns, A., Gundlach, J., Ficner, R. & Stulke, J. A jack
of all trades: the multiple roles of the unique essential second messenger cyclic
25 di-AMP. *Mol Microbiol* **97**, 189-204, doi:10.1111/mmi.13026 (2015).
- 59 Corrales, L. *et al.* Direct Activation of STING in the Tumor Microenvironment
Leads to Potent and Systemic Tumor Regression and Immunity. *Cell Rep* **11**,
1018-1030, doi:10.1016/j.celrep.2015.04.031 (2015).
- 60 De, N., Navarro, M. V., Raghavan, R. V. & Sondermann, H. Determinants for
30 the activation and autoinhibition of the diguanylate cyclase response regulator
WspR. *J Mol Biol* **393**, 619-633, doi:10.1016/j.jmb.2009.08.030 (2009).
- 61 Witte, G., Hartung, S., Buttner, K. & Hopfner, K. P. Structural biochemistry of
a bacterial checkpoint protein reveals diadenylate cyclase activity regulated by
DNA recombination intermediates. *Mol Cell* **30**, 167-178,
35 doi:10.1016/j.molcel.2008.02.020 (2008).
- 62 Panne, D., McWhirter, S. M., Maniatis, T. & Harrison, S. C. Interferon
regulatory factor 3 is regulated by a dual phosphorylation-dependent switch. *J*
Biol Chem **282**, 22816-22822, doi:10.1074/jbc.M703019200 (2007).
- 63 Engel, C., G. Brugmann, S. Lambing, L.H. Muhlenbeck, S. Marx, C. Hagen, D.
40 Horvath, M. Goldeck, J. Ludwig, A.M. Herzner, J.W. Drijfhout, D. Wenzel, C.
Coch, T. Tuting, M. Schlee, V. Hornung, G. Hartmann, and J.G. Van den Boorn.
2017. RIG-I Resists Hypoxia-Induced Immunosuppression and
Dedifferentiation. *Cancer Immunol Res.* 5:455-467.
- 64 Hou, F., L. Sun, H. Zheng, B. Skaug, Q.X. Jiang, and Z.J. Chen. 2011. MAVS
45 forms functional prion-like aggregates to activate and propagate antiviral innate
immune response. *Cell.* 146:448-461.
- 65 Kranzusch, P.J., A.S. Lee, J.M. Berger, and J.A. Doudna. 2013. Structure of
human cGAS reveals a conserved family of second-messenger enzymes in
innate immunity. *Cell Rep.* 3:1362-1368.

- 66 Seth, R.B., L. Sun, C.K. Ea, and Z.J. Chen. 2005. Identification and characterization of MAVS, a mitochondrial antiviral signaling protein that activates NF-kappaB and IRF 3. *Cell*. 122:669-682.

4. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 1 – 3, отличающийся тем, что указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный
- 5 штамм бактерий дополнительно содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором.
- 10
5. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по п. 4, отличающийся тем, что указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный
- 15 штамм бактерий является дефицитным по продукции по меньшей мере одного бактериального эффекторного белка.
6. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по п. 4 или 5, отличающийся тем, что указанный ген, кодирующий эндогенный белок, необходимый для роста, выбран из гена, кодирующего фермент, необходимый для продукции аминокислоты, гена, кодирующего фермент, участвующий в биосинтезе пептидогликана, гена, кодирующего фермент, участвующий в биосинтезе ЛПС (липополисахарида), гена, кодирующего фермент, участвующий в синтезе нуклеотида, и гена, кодирующего фактор инициации трансляции.
- 20
7. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 4 – 6, отличающийся тем, что указанный ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, представляет собой ген, кодирующий фермент, необходимый для
- 25
- 30 продукции аминокислоты, причем указанный фермент, необходимый для продукции аминокислоты, представляет собой аспартат-бета-полуальдегид-дегидрогеназу (asd).
8. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный
- 35 штамм бактерий по любому из пп. 1 – 7, отличающийся тем, что указанный

рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*.

- 5 9. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 4 – 8, отличающийся тем, что указанный ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, расположенный на эндогенной плазмиде вирулентности, содержит его эндогенный промотор и его эндогенный терминатор транскрипции.
- 10 10. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по п. 9, отличающийся тем, что указанный ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, его эндогенный промотор и его эндогенный терминатор транскрипции расположены на расстоянии 122 п.о. в направлении 3' – 5' от старта *orf155* (*SycO*) на эндогенной плазмиде вирулентности.
- 15 11. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 1 – 10, отличающийся тем, что указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа *AraC*.
- 20 12. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по п. 11, отличающийся тем, что указанная модуляция в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа *AraC*, содержит делецию, которая устраняет шпилечную структуру РНК или ее части в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа *AraC*.
- 25 30 13. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 11 – 12, отличающийся тем, что указанный ДНК-связывающий белок типа *AraC* представляет собой *VirF*.
- 35

14. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 1 – 13, отличающийся тем, что указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой *Yersinia enterocolitica*.
- 5
15. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, содержащий нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем указанная нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит делецию хромосомного гена, кодирующего эндогенный белок, необходимый для роста, и эндогенную плазмиду вирулентности, содержащую нуклеотидную последовательность, которая содержит ген, кодирующий указанный эндогенный белок, необходимый для роста, функционально связанный с промотором.
- 10
- 15
- 20
16. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по п. 15, отличающийся тем, что указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий является дефицитным по продукции по меньшей мере одного бактериального эффекторного белка.
- 25
17. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по п. 15 или 16, отличающийся тем, что указанный ген, кодирующий эндогенный белок, необходимый для роста, выбран из гена, кодирующего фермент, необходимый для продукции аминокислоты, гена, кодирующего фермент, участвующий в биосинтезе пептидогликана, гена, кодирующего фермент, участвующий в биосинтезе ЛПС, гена, кодирующего фермент, участвующий в синтезе нуклеотида, и гена, кодирующего фактор инициации трансляции.
- 30

18. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 15 – 17, отличающийся тем, что указанный ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, представляет собой ген, кодирующий фермент, необходимый для продукции аминокислоты, причем указанный фермент, необходимый для продукции аминокислоты, представляет собой аспартат-бета-полуальдегид-дегидрогеназу (asd).
19. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 15 – 18, отличающийся тем, что указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой штамм *Yersinia*.
20. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 15 – 19, отличающийся тем, что указанный ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, расположенный на эндогенной плазмиде вирулентности, содержит его эндогенный промотор и его эндогенный терминатор транскрипции.
21. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по п. 20, отличающийся тем, что указанный ген, кодирующий эндогенный фермент, необходимый для роста, его эндогенный промотор и его эндогенный терминатор транскрипции расположены на расстоянии 122 п.о. в направлении 3' – 5' от старта *orf155* (*SycO*) на эндогенной плазмиде вирулентности.
22. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 15 – 21, отличающийся тем, что указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа *AgaC*.

23. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий, содержащий нуклеотидную молекулу, которая содержит нуклеотидную последовательность, кодирующую гетерологичный белок, слитую в рамке с 3'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, причем указанная нуклеотидная последовательность, кодирующая сигнал доставки из бактериального эффекторного белка, функционально связана с промотором, и причем указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий дополнительно содержит модуляцию в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC.
24. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по п. 22 или 23, отличающийся тем, что указанная модуляция в термочувствительной области РНК в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC, включает делецию, которая устраняет шпилечную структуру РНК или ее части в направлении 3' – 5' от гена, кодирующего эндогенный ДНК-связывающий белок типа AraC.
25. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 22 – 24, отличающийся тем, что указанный ДНК-связывающий белок типа AraC представляет собой бактериальный белок регуляции транскрипции, который связывается с ДНК посредством мотива спираль-петля-спираль.
26. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 22 – 24, отличающийся тем, что указанный ДНК-связывающий белок типа AraC выбран из группы, состоящей из VirF, LcrF, YbtA, Rns, MxiE, AraC, XylS, ExsA, PerA, MmsR, RhaS, TspN, HrpX, HrpB, GadX, HilC, HilD, MarA, CafR, FapR и InvF.
27. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 22 – 26, отличающийся тем, что

указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий представляет собой *Yersinia enterocolitica*, и указанный ДНК-связывающий белок типа AraC представляет собой VirF.

5

28. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 15 – 27, отличающийся тем, что указанный гетерологичный белок выбран из группы, состоящей из белков, участвующих в индукции или регуляции ответа интерферона (ИФН), белков, участвующих в апоптозе или регуляции апоптоза, регуляторов клеточного цикла, белков анкириновых повторов, белков передачи сигналов клетки, репортерных белков, факторов транскрипции, протеаз, малых ГТФаз, белков, связанных с GPCR (рецептором, сопряженным с G-белком), слитых конструкций нанотел и нанотел, эффекторов бактериальной T3SS, эффекторов бактериальной T4SS и вирусных белков.

10

15

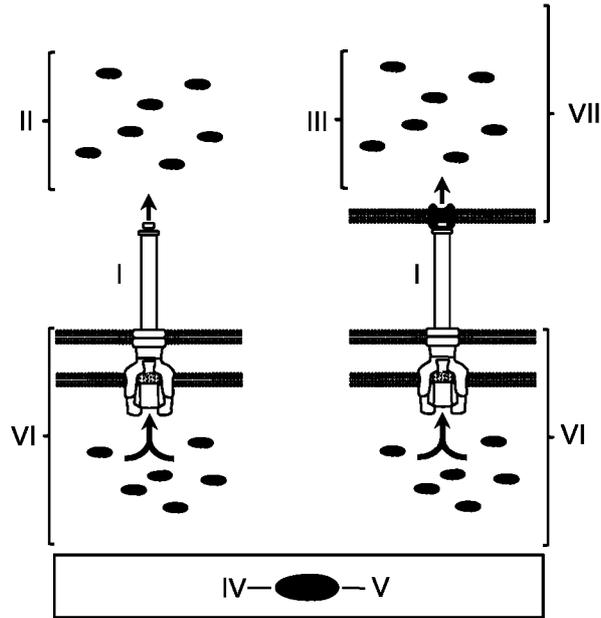
29. Рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий по любому из пп. 1 – 28 для применения в способе лечения рака у субъекта, причем указанный способ включает введение указанному субъекту рекомбинантного аттенуированного по вирулентности грамотрицательного штамма бактерий, причем указанный рекомбинантный аттенуированный по вирулентности грамотрицательный штамм бактерий вводят в количестве, которое является достаточным для лечения субъекта.

20

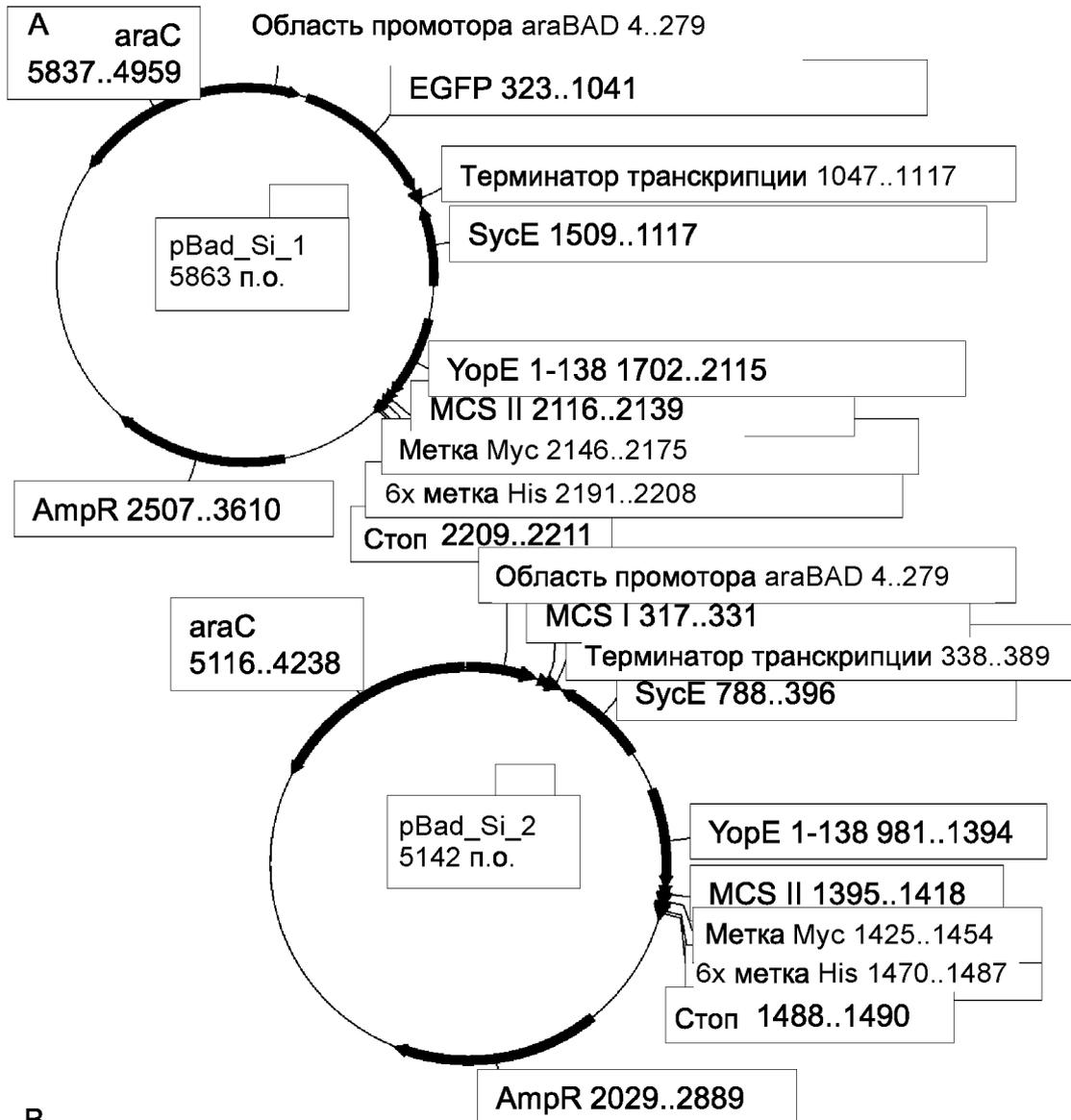
25

Фигура 1

A



Фигура 2



B

```

      YopE1-138  XhoI  XbaI  BstBI
      ───────────┬──────────┬──────────┬──────────
GTTCGCCACG CTGAGTCTA GATTCGAA
  HindIII                эпитоп мус
  ───────────┬──────────┬──────────┬──────────
AAGCTTGGGC CCGAACAAAACTCATCTCA

      ───────────┬──────────┬──────────┬──────────
GAAGAGGATCTGAATAGCGC CGTCGACCAT
      6x метка His
      ───────────┬──────────┬──────────┬──────────
CATCATCATC ATCATTGAGT TAAACGGTC

TCCAGCTTGG CTGTTTTGG C
  
```

Фигура 3А

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плаزمиды	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ	<i>Y. enterocolitica</i>	MRS40 pIML421 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135]					Nal	Iriarte and Cornelis, 1998
ΔНОРЕМТ asd yopB	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T	MRS40 pIML421 [yopBΔ89-217, yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135]					Nal Kan	
ΔНОРЕМТ asd	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T	MRS40 asdΔ292-610 pIML421 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135]					Nal	Kudryashev et al., 2013
ΔНОРЕМТ asd inv	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T	MRS40 asdΔ292-610 invAΔ352-2225::aphA-3 pIML421 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135]				445/446, 447/448, 449/450	Nal Kan	
ΔНОРЕМТ asd inv yadA	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T ΔinvA ΔyadA	MRS40 asdΔ292-610 invAΔ587-836 (коинтеграция вектора) yadAΔ89-354::aphA3 pIML421 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135]				352/353, 354/355, 356/357	Nal Kan Tet	

Фигура 3В

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ asd pBad_Si1	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd	EGFP (индуцибельный арабинозой), фрагмент SycE-YopE1-138-MycHis		pBad-MycHisA (Invitrogen)	pBad_Si_1	285/286 (EGFP), 287/288 (sycE- YopE1-138)	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pBad_Si2	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd	Фрагмент SycE-YopE1-138-MycHis	YopE1-138- MycHis	pBad-MycHisA (Invitrogen)	pBad_Si_2	287/288 (sycE- YopE1-138)	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_85	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138- Bid	pBad_Si_2	pSi_85	387/391	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_87	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138- t-Bid	pBad_Si_2	pSi_87	389/391	Nal Amp	

Фигура 3С

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ asd pSi_120	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-ET1	pBad_Si_2	pSi_120	436/437	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_121	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-z-BIM	pbad_Si_1	pSi_121	438/439	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_132	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-протеаза TEV S219V	pBad_Si_2	pSi_132	463/464	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_158	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138 - 2x сайт TEV -EGFP	pBad_Si_2	pSi_158	511/476	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_151	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-Ink4C	pBad_Si_2	pSi_151	494/495	Nal Amp	

Фигура 3D

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ asd pSi_156	Y. enterocolitica ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-2x сайт TEV - ET1	pBad_Si_2	pSi_156	504/505	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_159	Y. enterocolitica ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-2x сайт TEV - EGFP - NLS	pBad_Si_2	pSi_159	511/513	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_160	Y. enterocolitica ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-2x сайт TEV - NLS - EGFP	pBad_Si_2	pSi_160	512/476	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_161	Y. enterocolitica ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-2x сайт TEV - INK4C	pBad_Si_2	pSi_161	508/509	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_164	Y. enterocolitica ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-2x сайт TEV - Flag - INK4C	pBad_Si_2	pSi_164	515/509	Nal Amp	

Фигура 3Е

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ asd pSi_318	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-кодон-оптимизированная для <i>Y. enterocolitica</i> часть VH3 tBid мыши	pBad_Si_2	pSi_318	677/678	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_322	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-кодон-оптимизированная для <i>Y. enterocolitica</i> часть VH3 Вах мыши	pBad_Si_2	pSi_322	682/683	Nal Amp	
<i>S. enterica</i> SL1344 ΔaroA	<i>S. enterica</i> подвид <i>enterica</i> серовар Тифимуриум SL1344 ΔaroA							Hoiseh and Stocker, 1981
ΔНОРЕМТ asd pSi_315	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> tBid мыши	pBad_Si_2	pSi_315	синтетическая конструкция	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_236	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-убиквитин	pBad_Si_2	pSi_236	585/586	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ asd pSi_237_II	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δasd		YopE1-138-убиквитин-Flag-INK4C-MycHis	pSi_236	pSI_237_II	588/509	Nal Amp	

Фигура 3F

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_357	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T (Δasd)		YopE1-138-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВНЗ tBid мыши	pBad_Si_2	pSi_357	733/735	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_358	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T (Δasd)		YopE1-138-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВНЗ Вах мыши	pBad_Si_2	pSi_358	736/738	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_371	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T (Δasd)		YopE1-138-(кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВНЗ tBid мыши) ₂	pSi_357	pSi_371	733/734	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_373	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T (Δasd)		YopE1-138-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВНЗ tBid мыши-. кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВНЗ Вах мыши	pSi_358	pSi_373	733/734	Nal Amp	

Фигура 3G

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_353	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE1-138-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> удлинённый ВН3 tBid мыши (на 4 АК)	pBad_Si_2	pSi_353	725/726	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_354	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE1-138-линкер 10 АК-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВН3 tBid мыши	pBad_Si_2	pSi_354	727/728	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_374	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE1-138-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВН3 Вах мыши-кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВН3 tBid мыши	pSi_357	pSi_374	736/737	Nal Amp	

Фигура 3Н

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плаزمиды	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_453	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные для <i>Y. enterocolitica</i> два домена CARD RIG-1 человека (AK 1-245)	pBad_Si_2	pSi_453		синтетическая конструкция	Nal Amp
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_454	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные для <i>Y. enterocolitica</i> два домена CARD RIG-1 мыши (AK 1-246)	pBad_Si_2	pSi_454		синтетическая конструкция	Nal Amp
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_452	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> GCN4 <i>S. cerevisiae</i> (AK 249-278) - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> WspR <i>P. aeruginosa</i> (AK 172-347)	pBad_Si_2	pSi_452		синтетическая конструкция	Nal Amp

Фигура 3I

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плаزمиды	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_428	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YorE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> IRF3 S397D мыши	pBad_Si_2	pSi_428		синтетическая конструкция Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_482	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YorE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> DncV <i>V. Cholerae</i> (M3toL413)	pBad_Si_2	pSi_482		синтетическая конструкция Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_483	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YorE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> DisA-подобный белок <i>B. cereus</i> (PDB: 2FB5; AK 76-205)	pBad_Si_2	pSi_483		синтетическая конструкция Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_484	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YorE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> cGAS анемона (<i>N. vectensis</i>) (Ensembl: A7SFB5.1)	pBad_Si_2	pSi_484		синтетическая конструкция Nal Amp	

Фигура 3J

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плаزمида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ asd pYV-asd	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δ <i>asd</i>	MRS40 pIML421 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135, pYV-asd]	/	pKNG101	pSi_417 (Мутатор)	ПЦР1: 869/870; ПЦР2: 871/872; ПЦР3: 873/874; ПЦР с перекрывающимися праймерами 869/874	Nal	
ΔНОРЕМТ asd pBad-asd	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δ <i>asd</i>	MRS40 pIML421 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135]	YopE1-138-MycHis	pBad_Si_2	pSi_397	600/601	Nal	
ΔНОРЕМТ <i>virF-hairpinI</i>	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 <i>virF</i> Δ-111 – -57]	/	pKNG101	pSi_441 (Мутатор)	синтетическая конструкция	Nal	
ΔНОРЕМТ <i>virF-hairpinI</i> pSi_371	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T <i>ΔvirF-hairpinI</i>	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 <i>virF</i> Δ-111 – -57]	YopE1-138-(кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> ВН3 tBid мыши) ₂	pBad_Si_2	pSi_371	733/734	Nal Amp	

Фигура 3К

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плаزمиды	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ pYV-YopE ₁₋₁₃₈ -BH3 tBID мыши	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 yopE::BH3 tBID]	YopE ₁₋₁₃₈ -BH3 tBID	pKNG101	pSI_408 (Мутатор)	синтетическая конструкция	Nal	
ΔНОРЕМТ pYV-YopE ₁₋₁₃₈ - (BH3 tBID) ₂ мыши	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 yopE::(BH3 tBID) ₂]	YopE ₁₋₁₃₈ - (BH3 tBID) ₂	pKNG101	pSI_437 (Мутатор)	синтетическая конструкция	Nal	
ΔНОРЕМТ pYV- <i>virF-hairpinI</i> - YopE ₁₋₁₃₈ - (BH3 tBID) ₂ мыши	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T, yopE::(BH3 tBID) ₂	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 yopE::(BH3 tBID) ₂ <i>virFA</i> -111 – -57]	YopE ₁₋₁₃₈ - (BH3 tBID) ₂	pKNG101	pSI_441 (Мутатор)	синтетическая конструкция	Nal	
ΔНОРЕМТ asd pYV- <i>asd</i> -YopE ₁₋₁₃₈ - (BH3 tBID) ₂ мыши	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T Δ <i>asd</i> pYV- <i>asd</i>	MRS40 pIML421 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135, yopE::(BH3 tBID) ₂ pYV- <i>asd</i>]	YopE ₁₋₁₃₈ - (BH3 tBID) ₂	pKNG101	pSI_437 (Мутатор)	синтетическая конструкция	Nal	

Фигура 3L

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ pYV-YopE ₁₋₁₃₈ -домены CARD RIG-1 мыши	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 yopE::домены CARD RIG-1	YopE ₁₋₁₃₈ - домены CARD RIG-1	pKNG101	pSI_456 (Мутатор)	синтетическая конструкция	Nal	
ΔНОРЕМТ pYV-pAra-virF	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 pAra::virF]	/	pKNG101	pSI_439 (Мутатор)	синтетическая конструкция	Nal	
ΔНОРЕМТ pYV-pAra-virF pSi_371	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T, pYV-pAra-virF	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 pAra::virF]	YopE ₁₋₁₃₈ -(кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> BH3 tBid мыши) ₂	pBad_Si_2	pSi_371	733/734	Nal Amp	

Фигура 3М

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ pYV- <i>virF</i> - <i>hairpinI</i> -YopE ₁₋₁₃₈ - домены CARD RIG-1 мыши	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T yopE::домены CARD RIG-1 мыши	MRS40 [yopHΔ1–352, yopOΔ65–558, yopP23, yopE21, yopM23, yopT135 virFA-111 – -57 yopE::домены CARD RIG-1	YopE ₁₋₁₃₈ - домены CARD RIG-1	pKNG101	pSi_441 (Мутатор)	синтетическая конструкция	Nal	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_521	<i>Y. enterocolitica</i> ΔyopH,O,P,E,M,T (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон- оптимизированные для <i>Y.</i> <i>enterocolitica</i> два домена CARD RIG-1 мыши (AK 1- 229)	pBad_Si_2	pSi_521	1021/1022	Nal Amp	

Фигура 3N

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_522	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные для <i>Y. enterocolitica</i> два домена CARD RIG-1 мыши (AK 1-218)	pBad_Si_2	pSi_522	1021/1023	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_517	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные для <i>Y. enterocolitica</i> два домена CARD MDA5 мыши (AK 1-294)	pBad_Si_2	pSi_517	синтетическая конструкция	Nal Amp	

Фигура 30

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_524	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные для <i>Y. enterocolitica</i> два домена CARD MDA5 мыши (AK 1-231)	pBad_Si_2	pSi_524	1025/1026	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_515	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> cGAS человека (AK 161-522)	pBad_Si_2	pSi_515	синтетическая конструкция	Nal Amp	

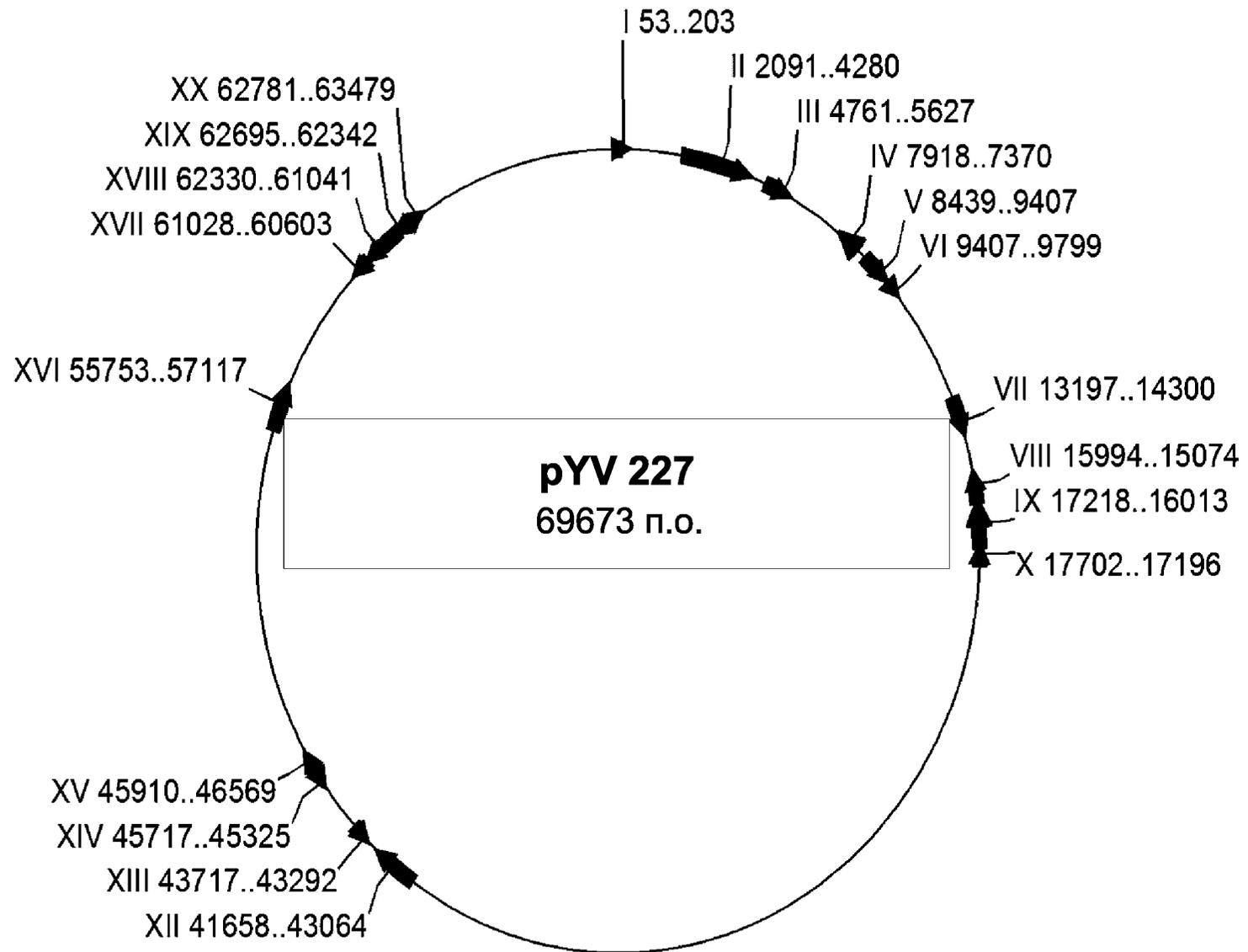
Фигура 3Р

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_539	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> CARD MAVS человека (AK 1-100)	pBad_Si_2	pSi_539	синтетическая конструкция	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_503	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> cGAS анемона (<i>N. vectensis</i>) (AK 60-422) (Ensembl: A7SFB5.1)	pBad_Si_2	pSi_484	1010/1012	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ Или: ΔНОРЕМТ asd pSi_518	<i>Y. enterocolitica</i> ΔуорН,О,Р,Е,М,Т (Δasd)		YopE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для <i>Y. enterocolitica</i> CdaA <i>Listeria monocytogenes</i> (AK 101-273)	pBad_Si_2	pSi_518	синтетическая конструкция	Nal Amp	

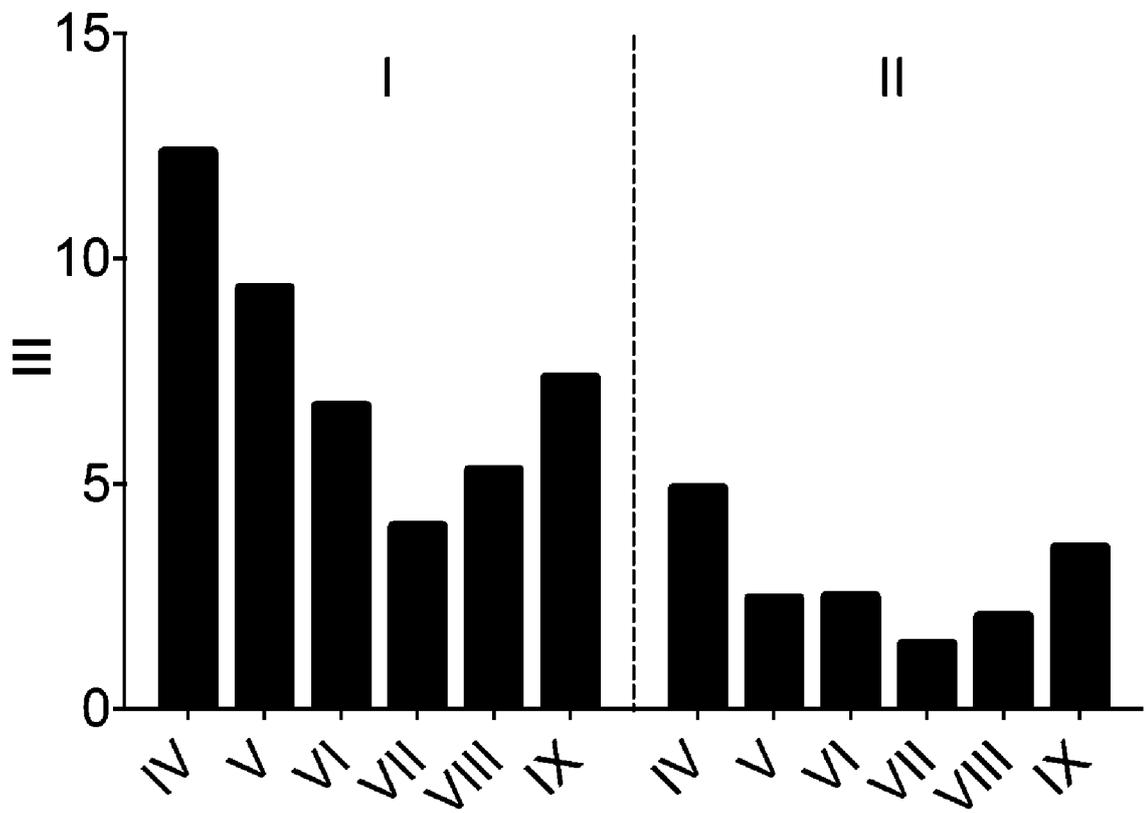
Фигура 3Q

Название штамма	Фоновый штамм	Вставка/соответствующие характеристики	Белок, который будет доставлен с помощью T3SS	Каркасная плазмида	Название полученной в результате плазмиды	Si_№ праймеров	Устойчивость	Литературный источник
ΔНОРЕМТ- uorB pSi_539	Y. enterocolitica ΔuorH,O,P,E,M,T,B	Делеция <i>uorB</i>	YorE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированный для Y. enterocolitica CARD MAVS человека (AK 1-100)	pBad_Si_2	pSi_539	синтетическая конструкция	Nal Amp	
ΔНОРЕМТ- uorB pSi_454	Y. enterocolitica ΔuorH,O,P,E,M,T,B	Делеция <i>uorB</i>	YorE ₁₋₁₃₈ - кодон-оптимизированные для Y. enterocolitica два домена CARD RIG-1 мыши (AK 1-246)	pBad_Si_2	pSi_454	синтетическая конструкция	Nal Amp	

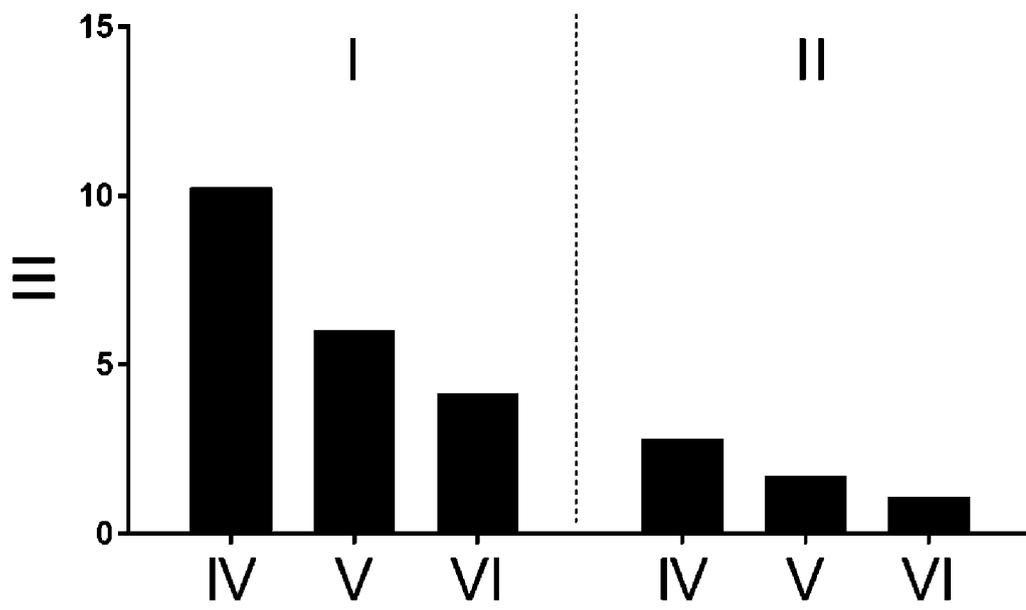
Фигура 4



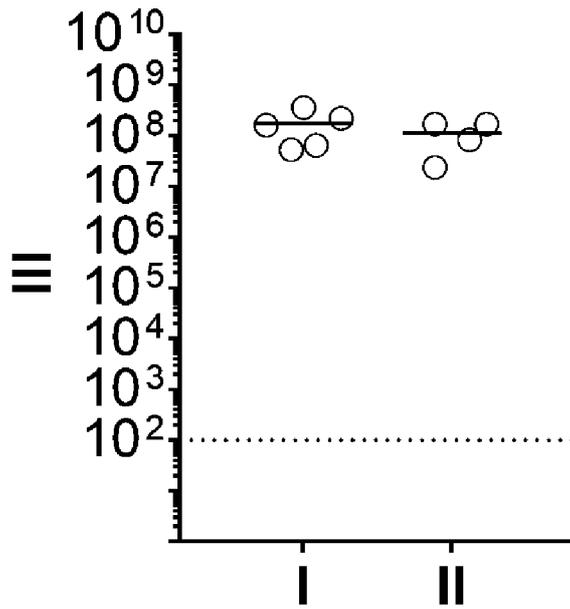
Фигура 5



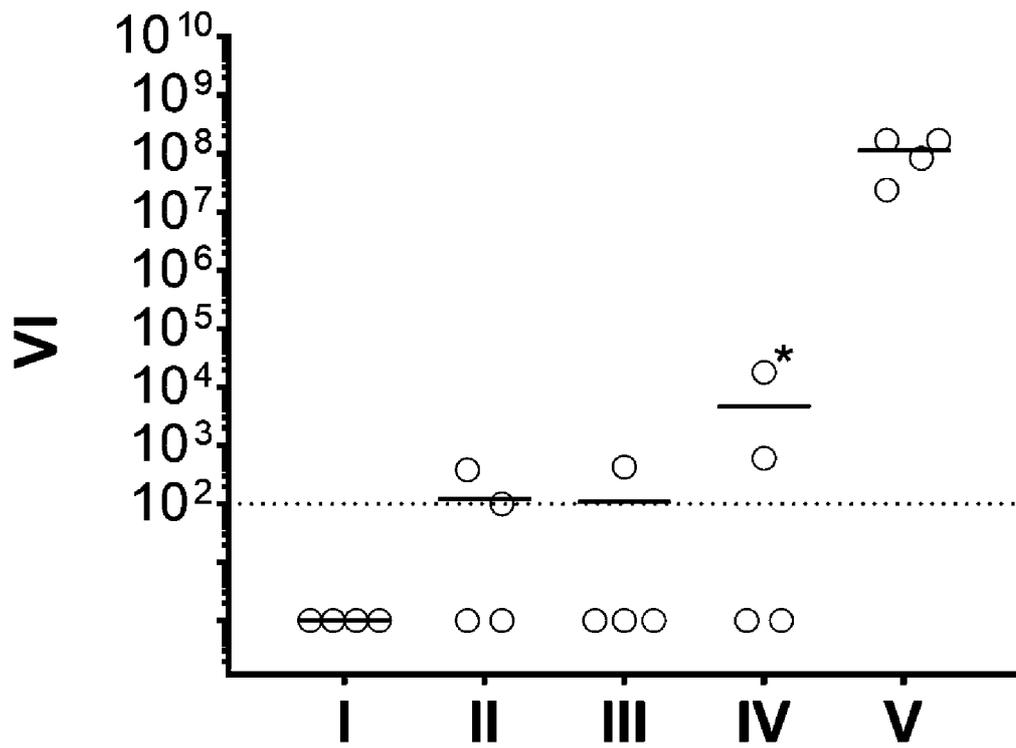
Фигура 6



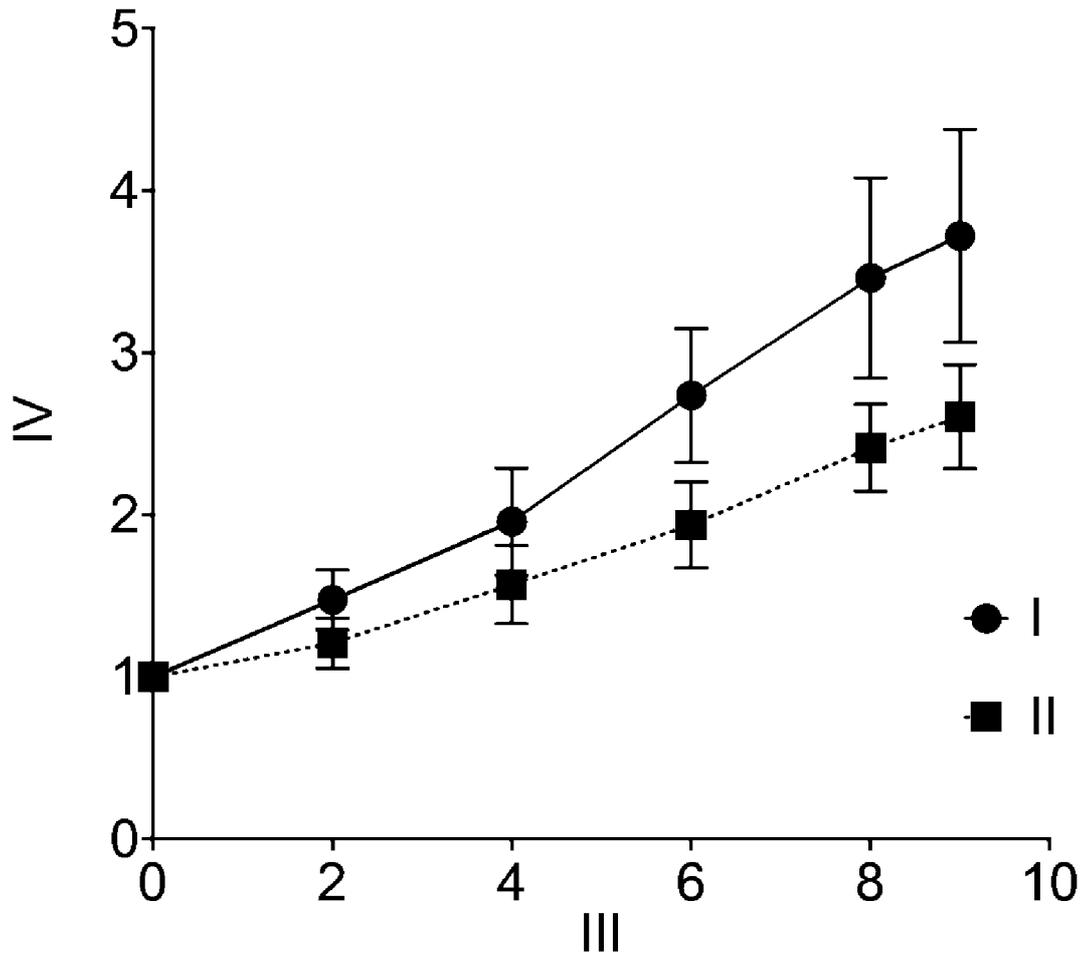
Фигура 7



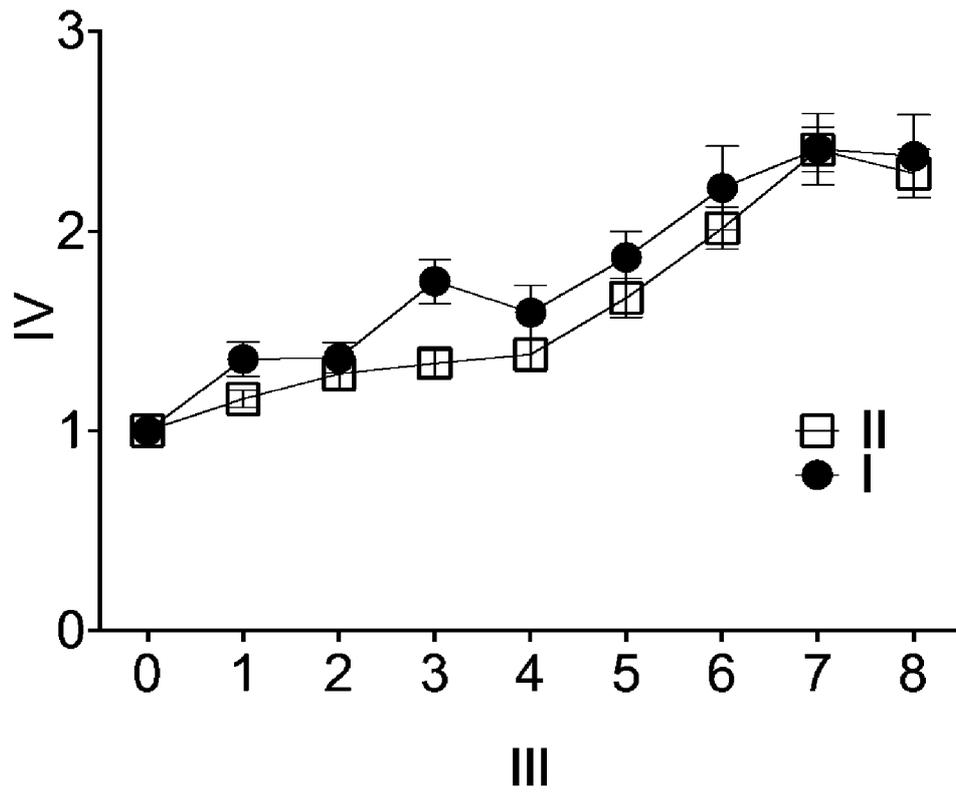
Фигура 8



Фигура 9

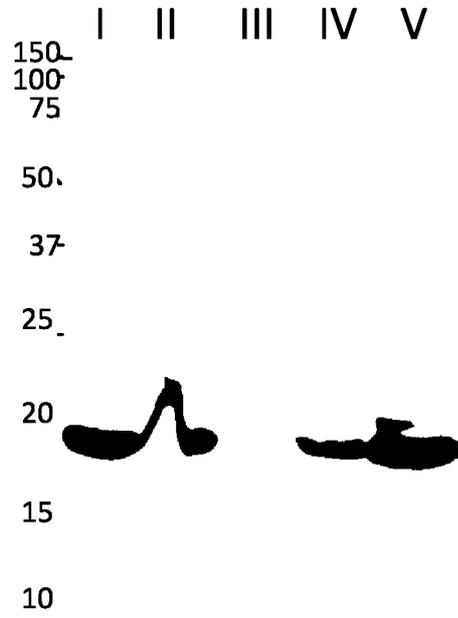


Фигура 10



Фигура 11

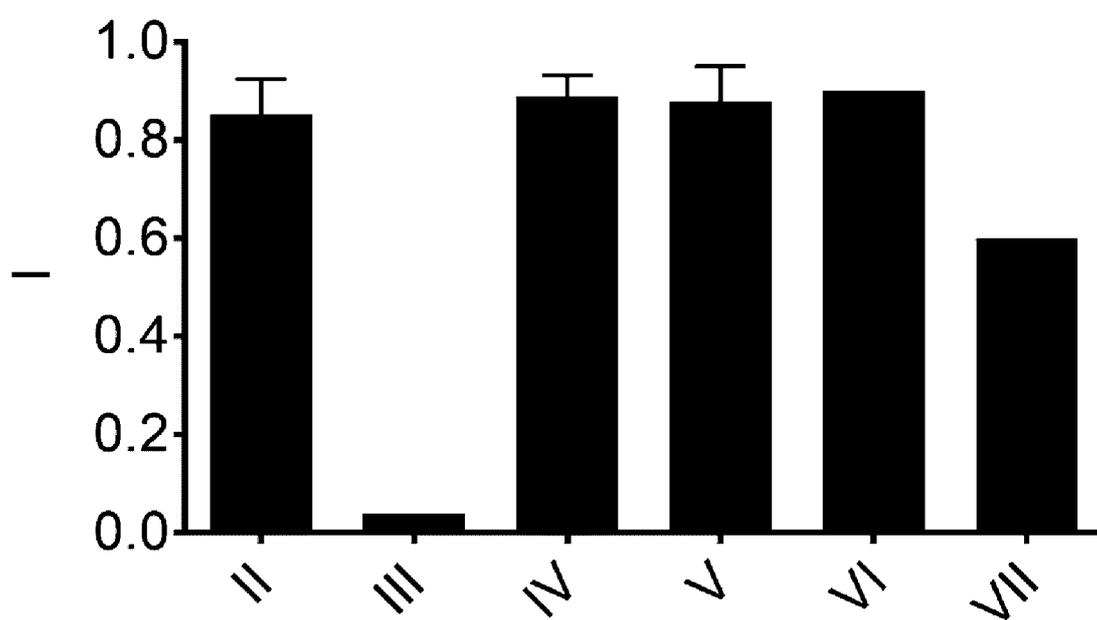
A

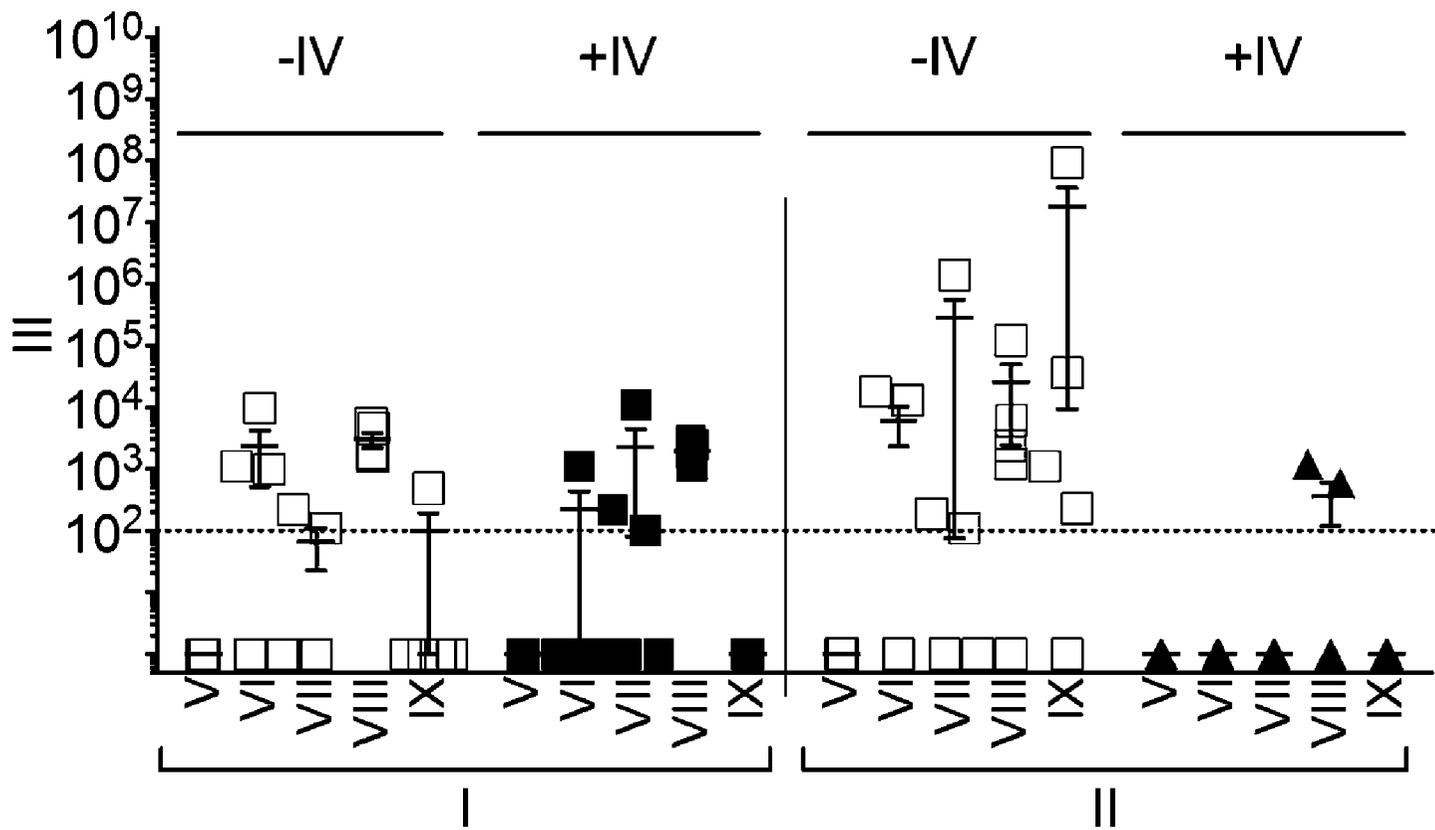


B

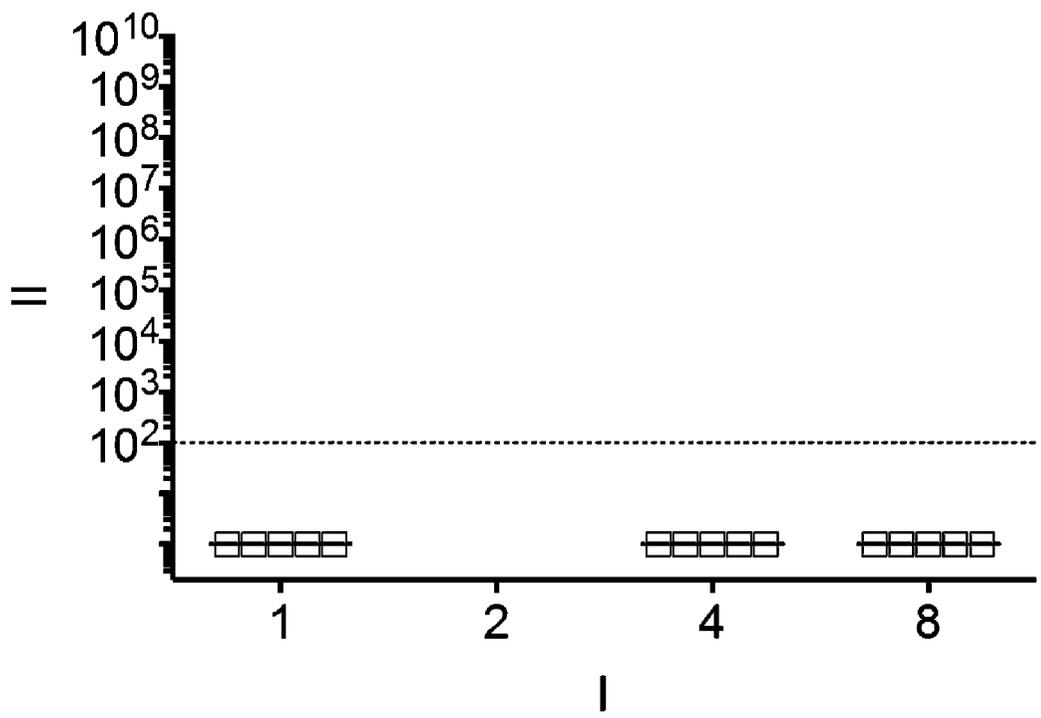


Фигура 12



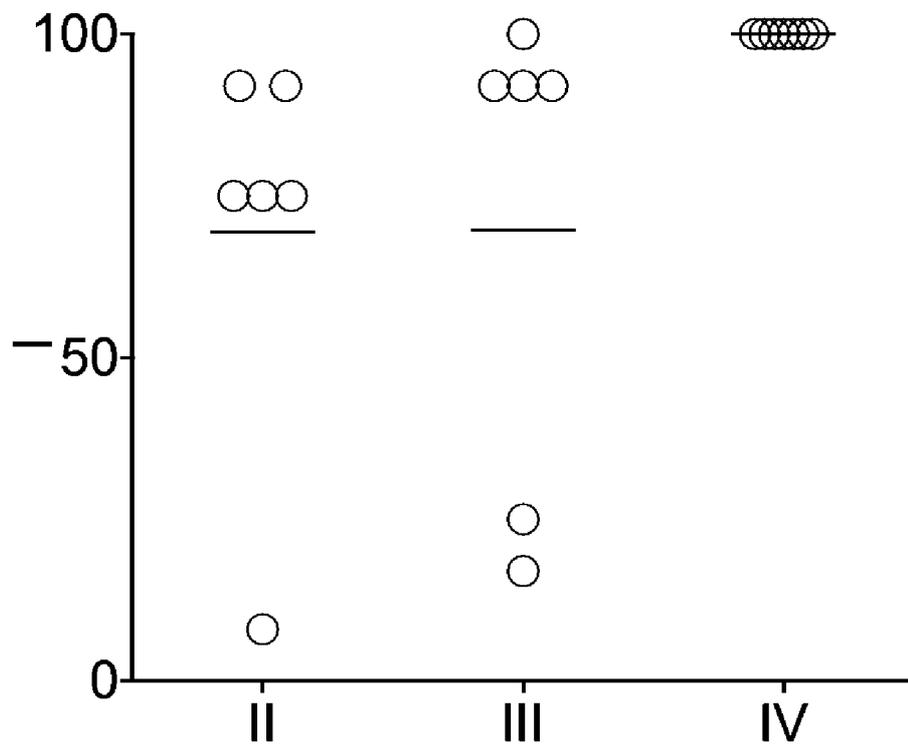


Фигура 13

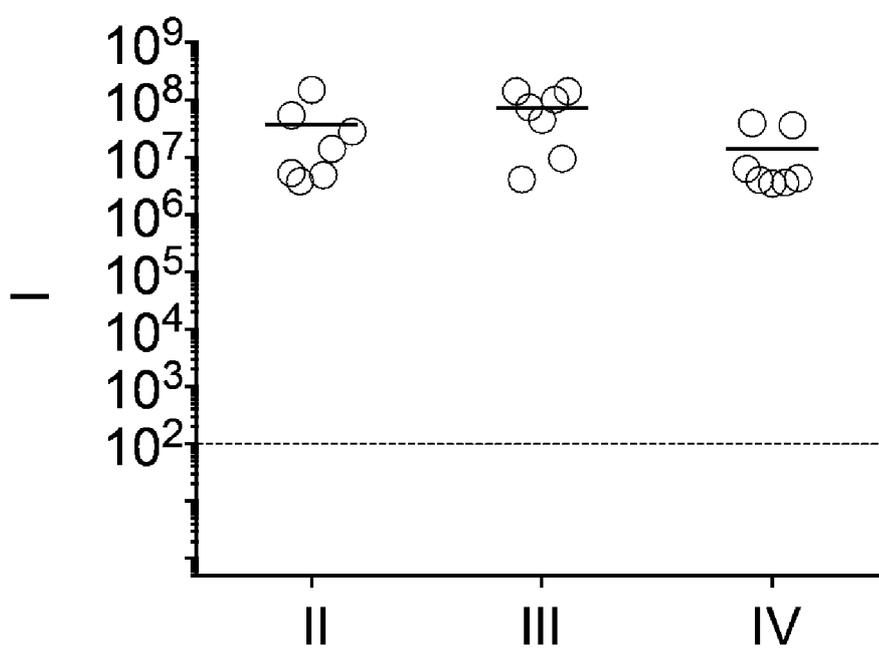


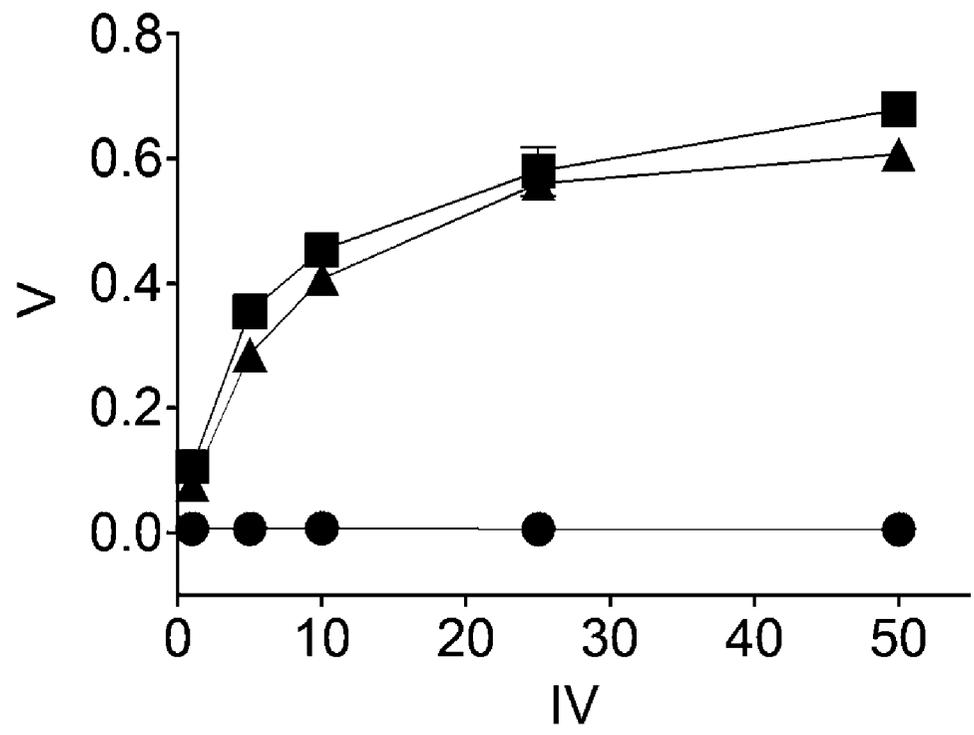
Фигура 14

Фигура 15



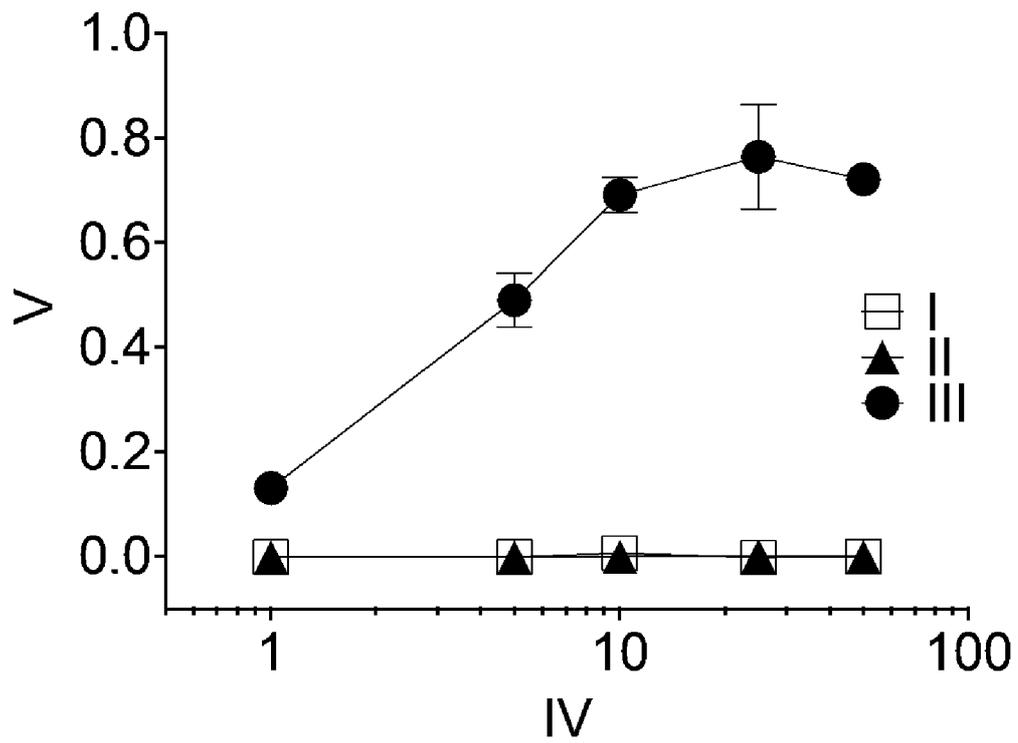
Фигура 16

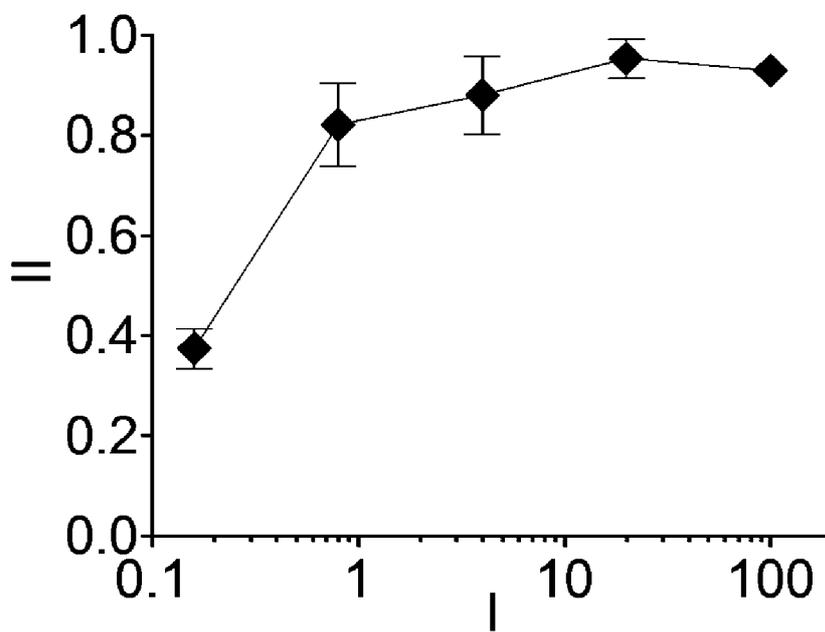




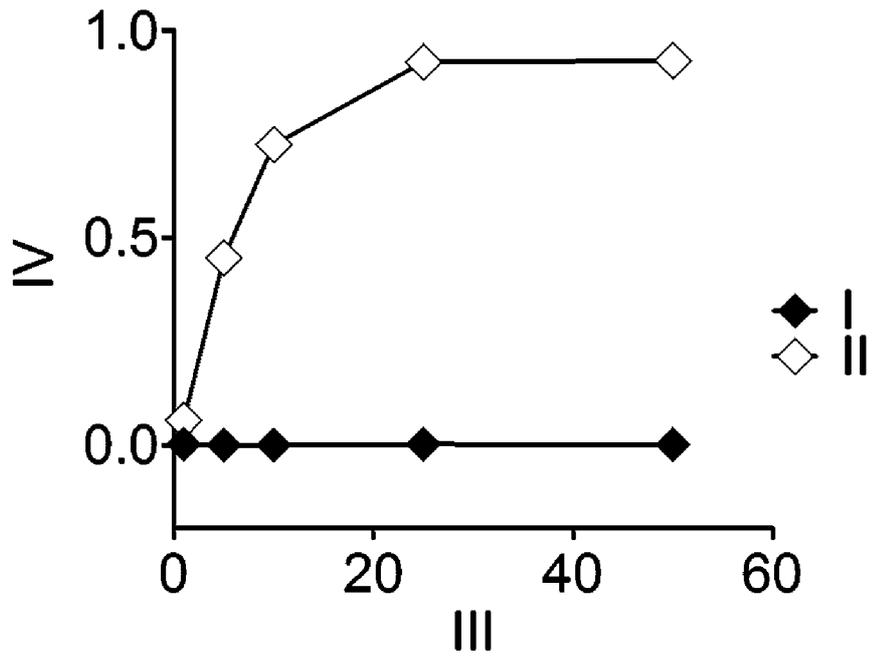
Фигура 17

Фигура 18

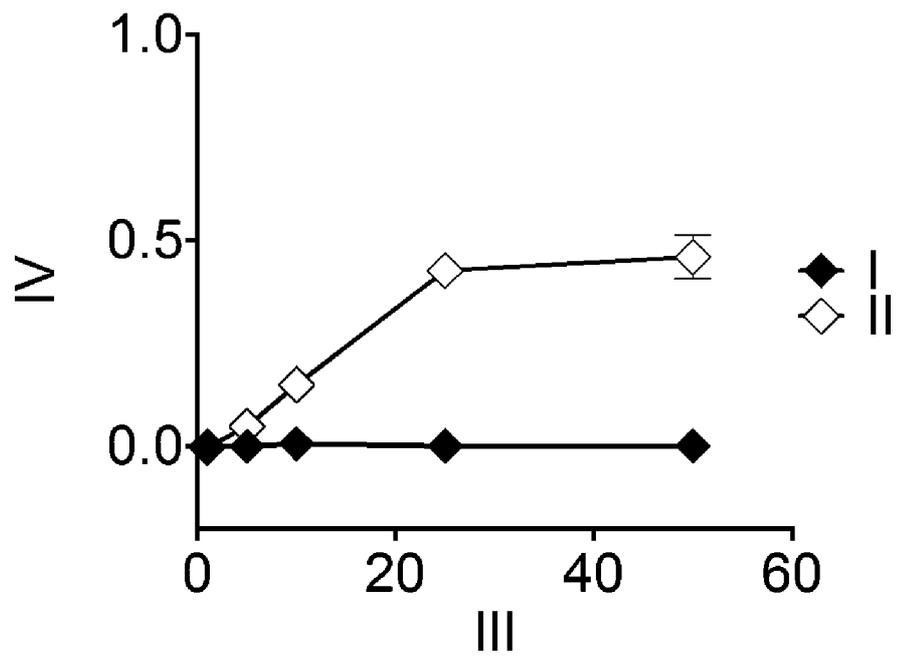


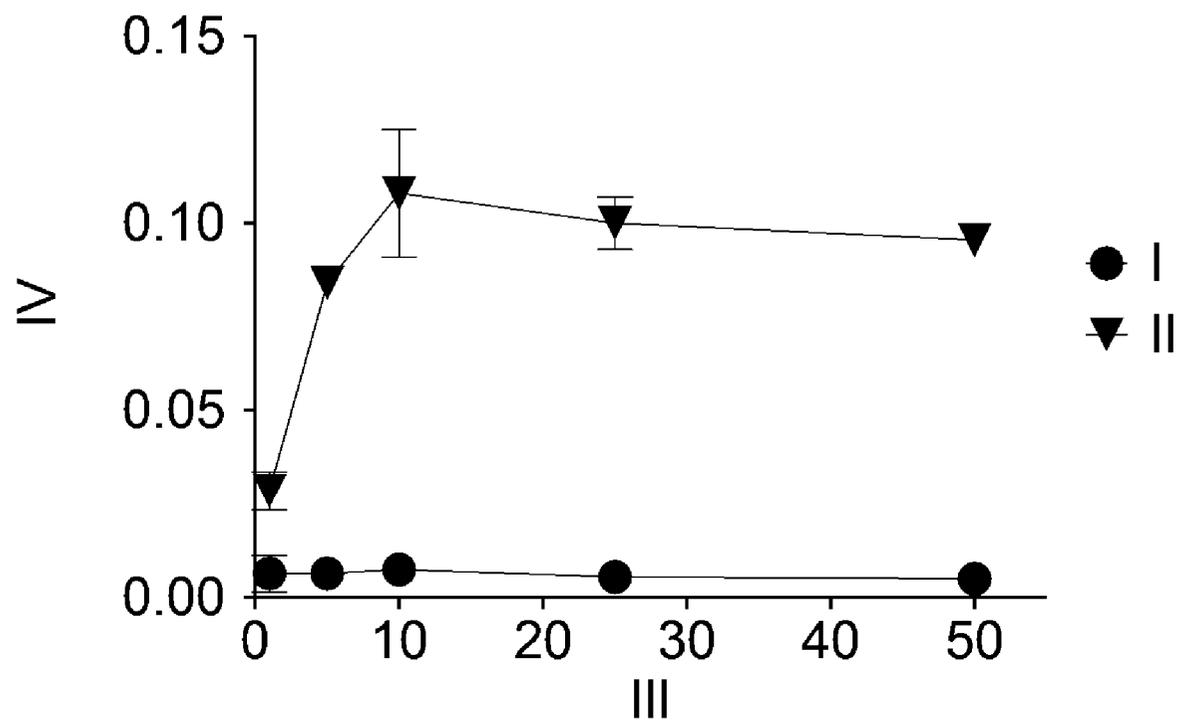
Фигура 19

Фигура 20



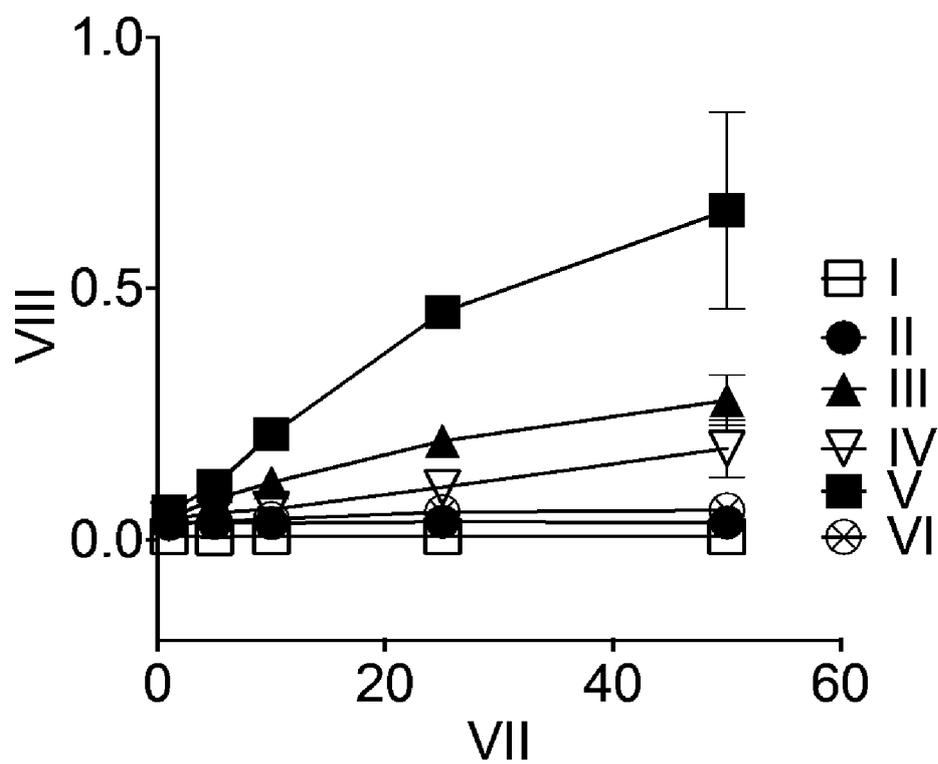
Фигура 21



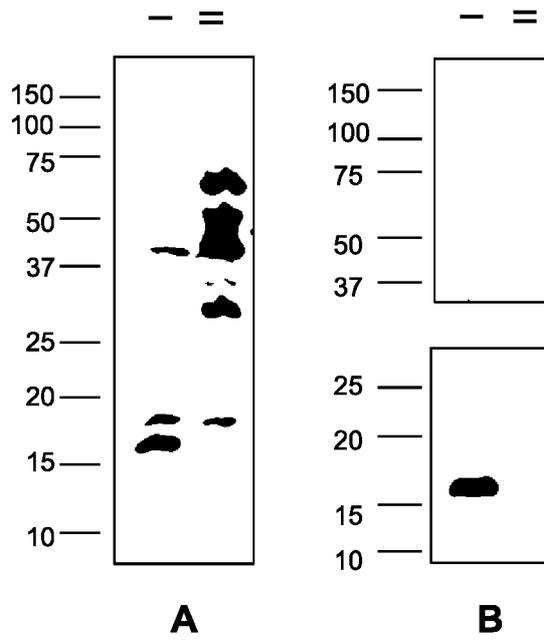


Фигура 22

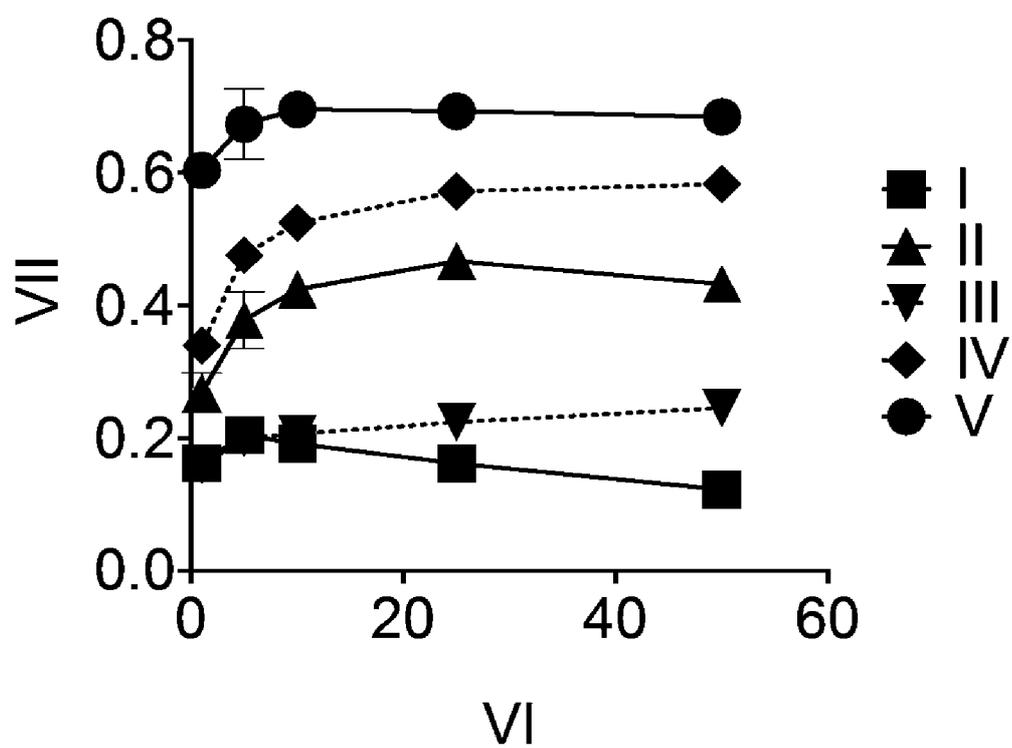
Фигура 23



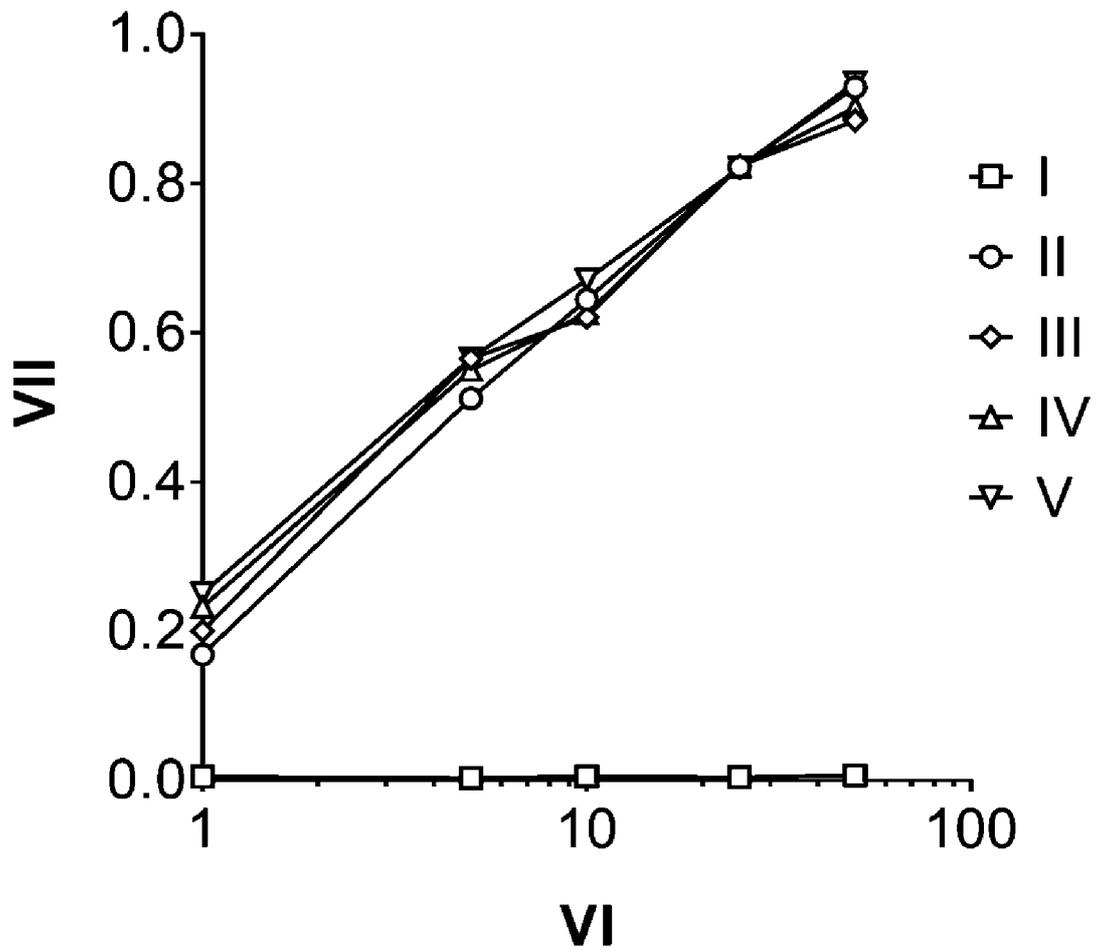
Фигура 24



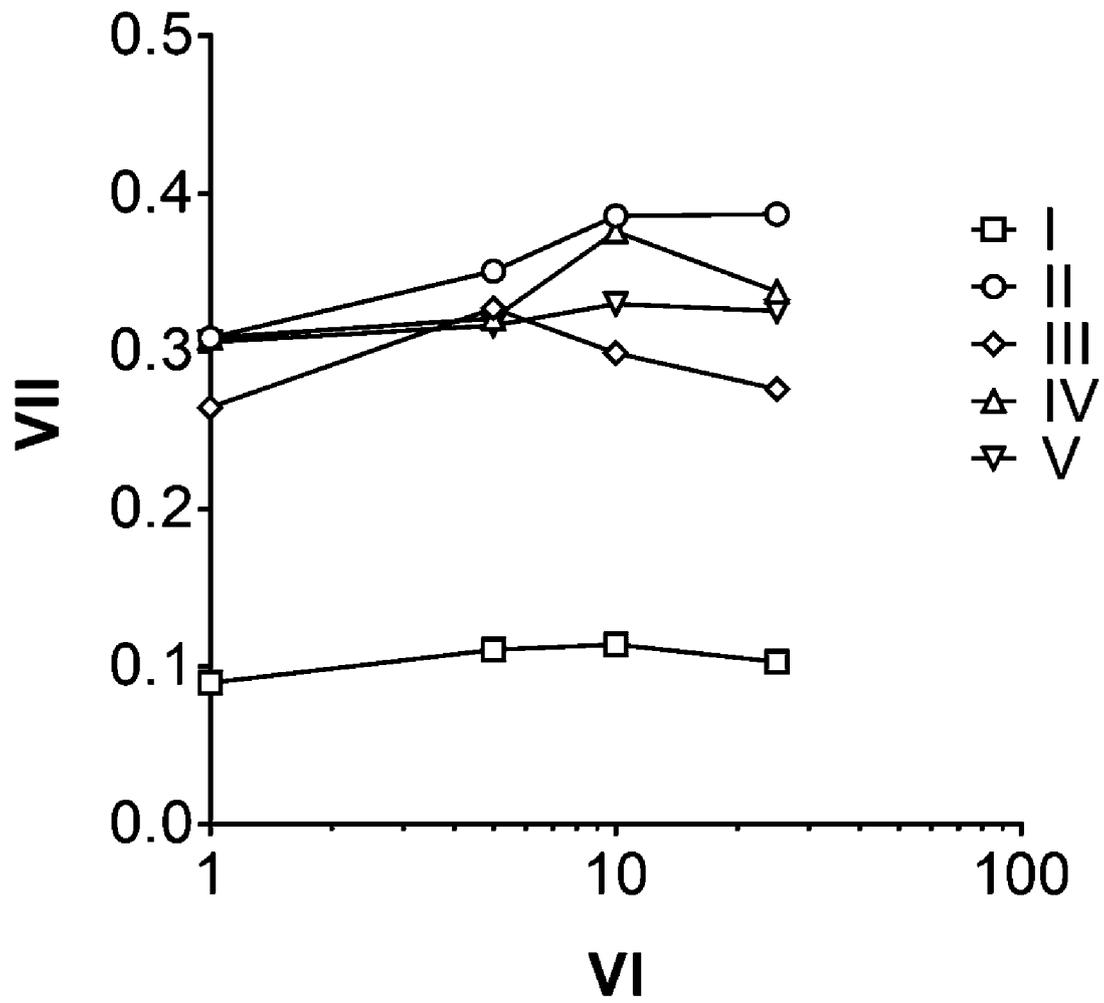
Фигура 25



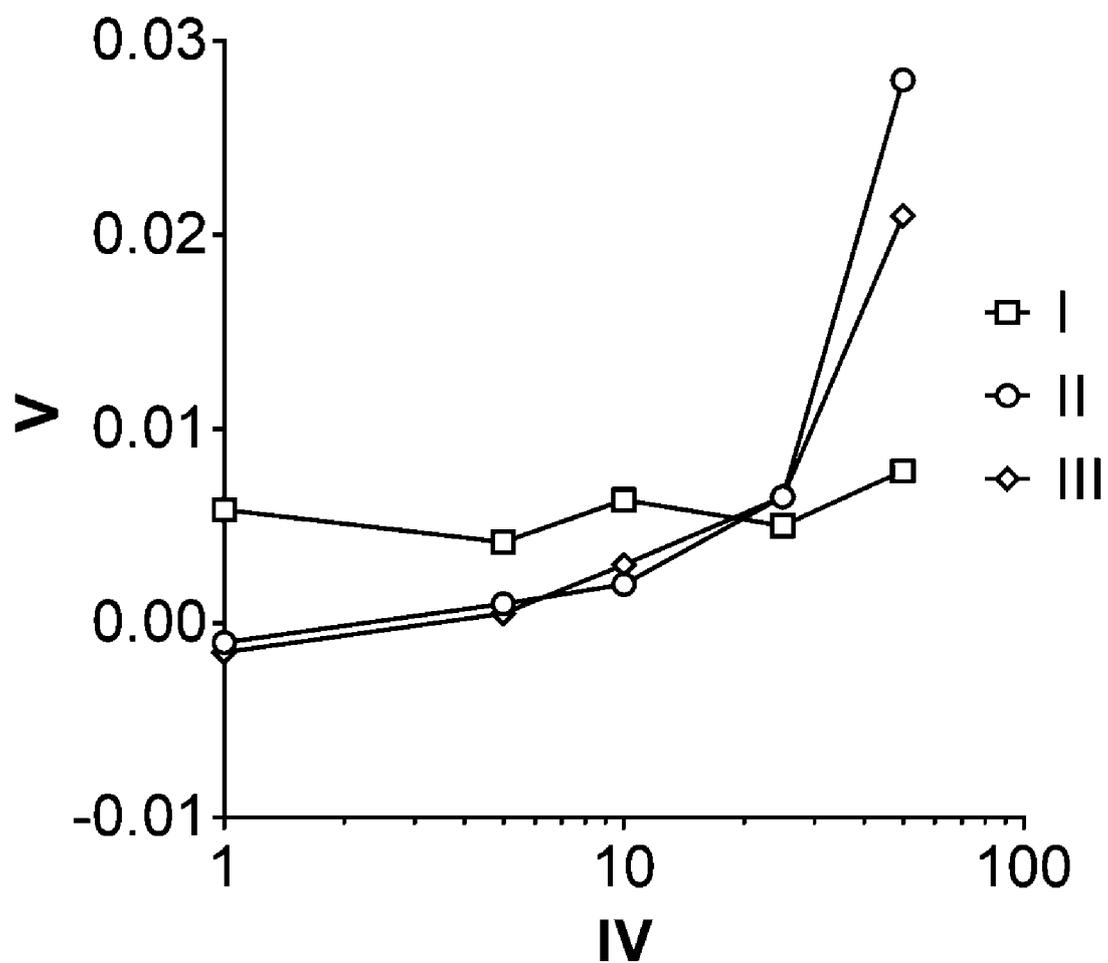
Фигура 27



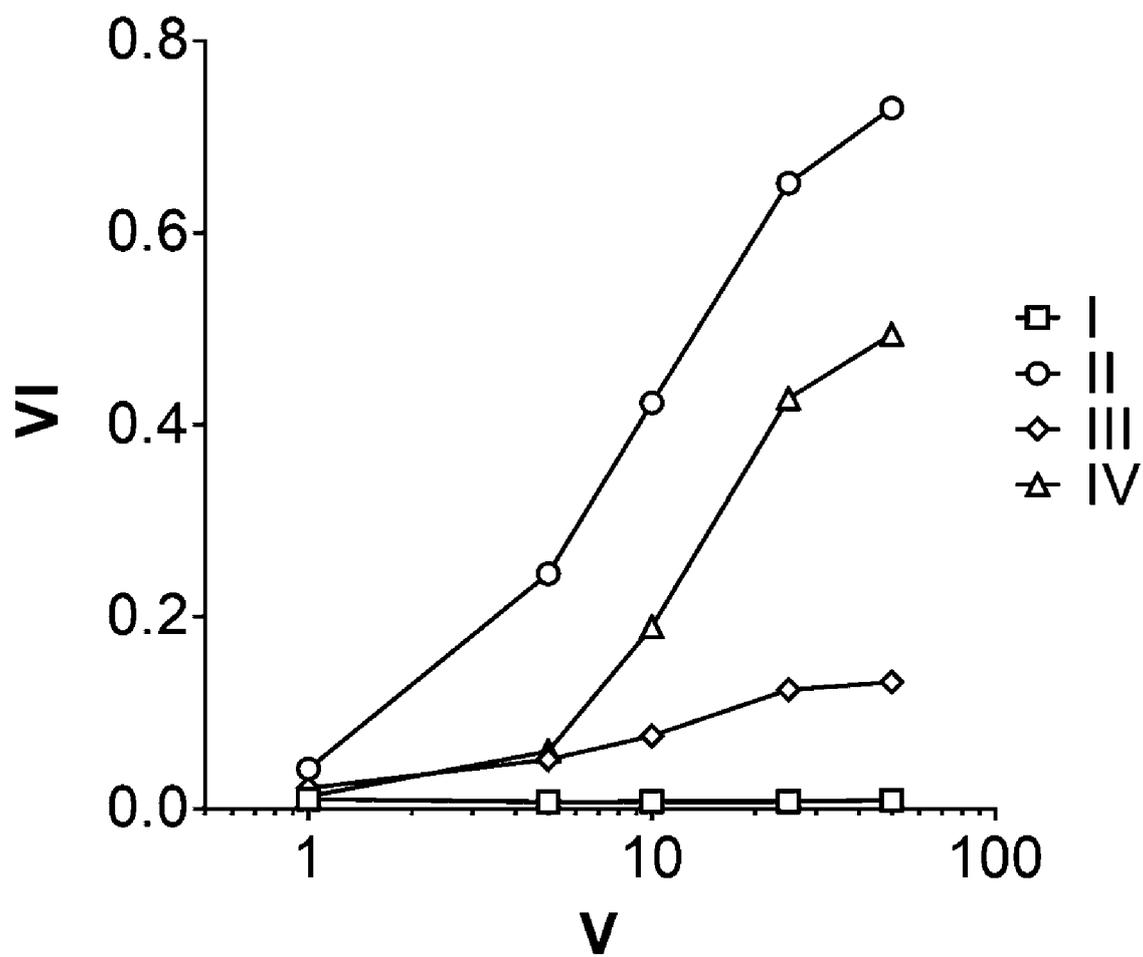
Фигура 28



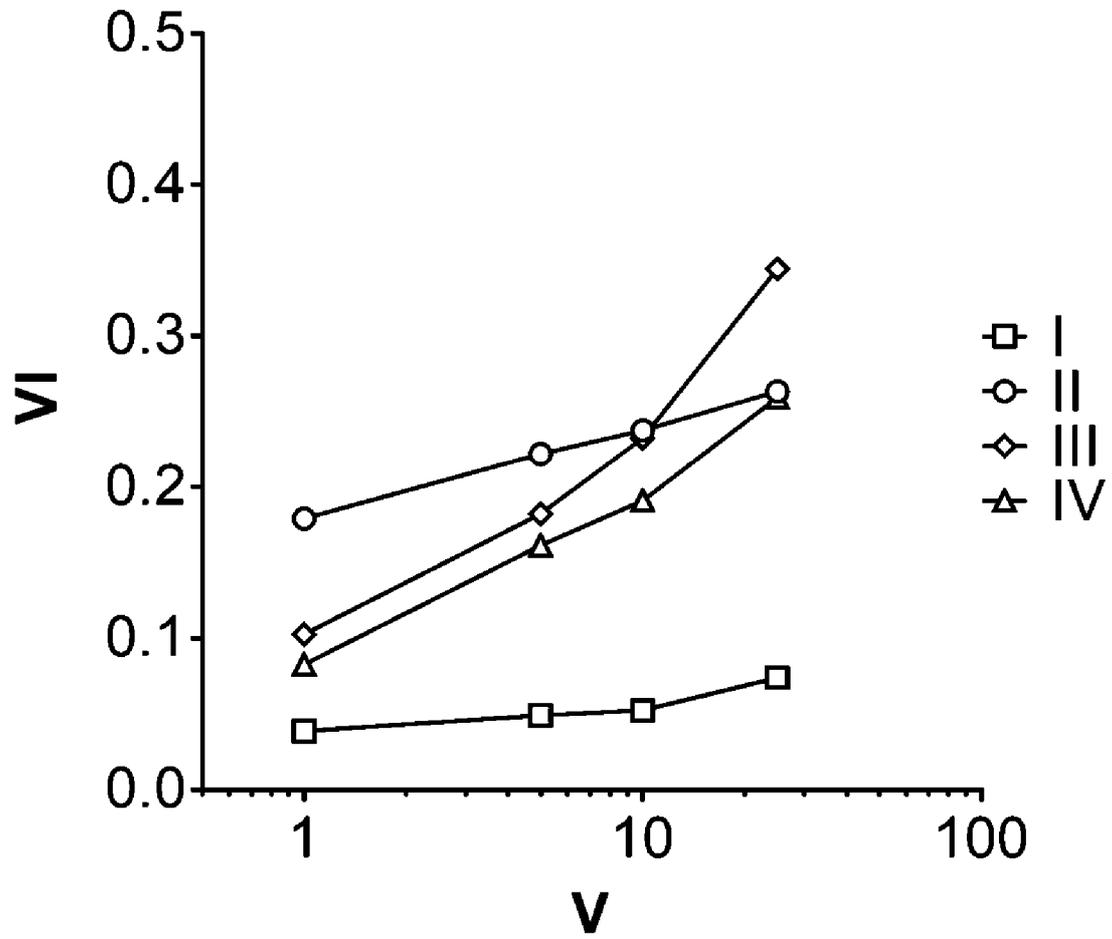
Фигура 29



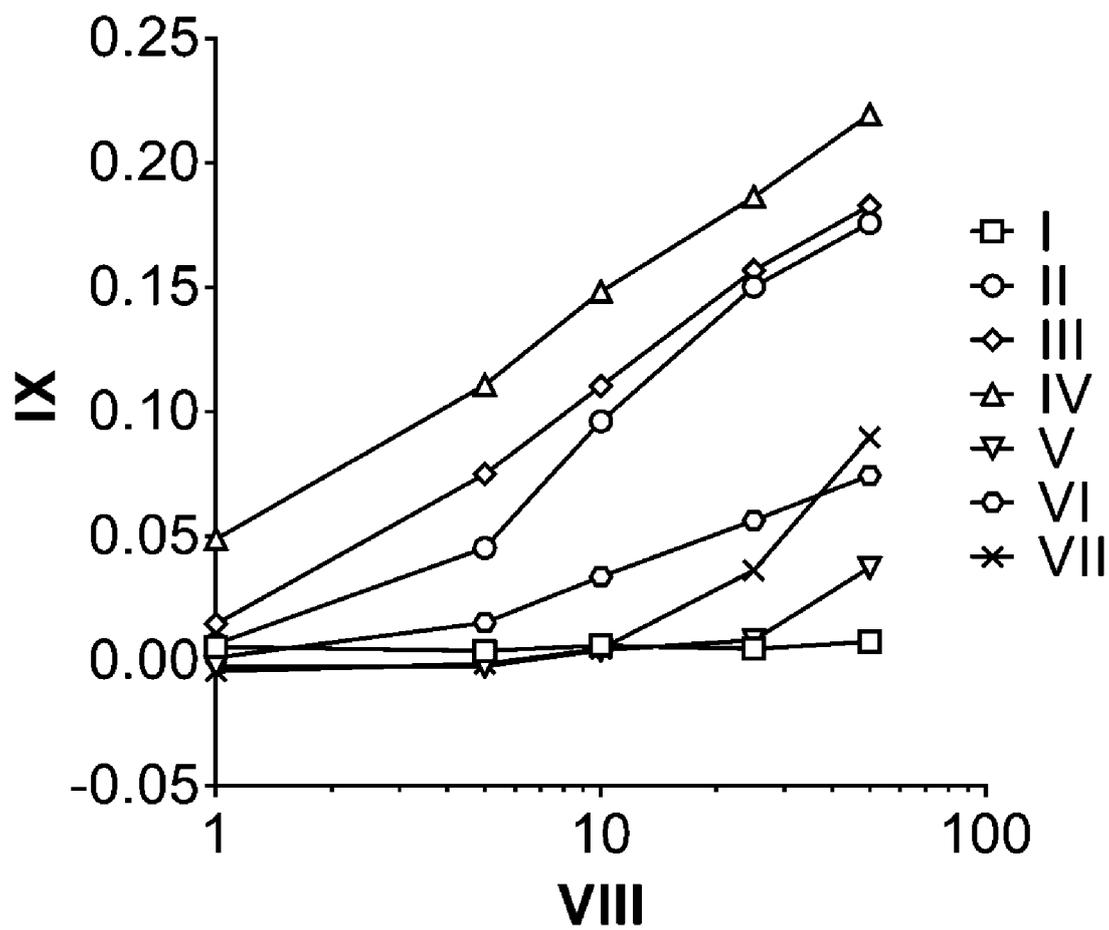
Фигура 30



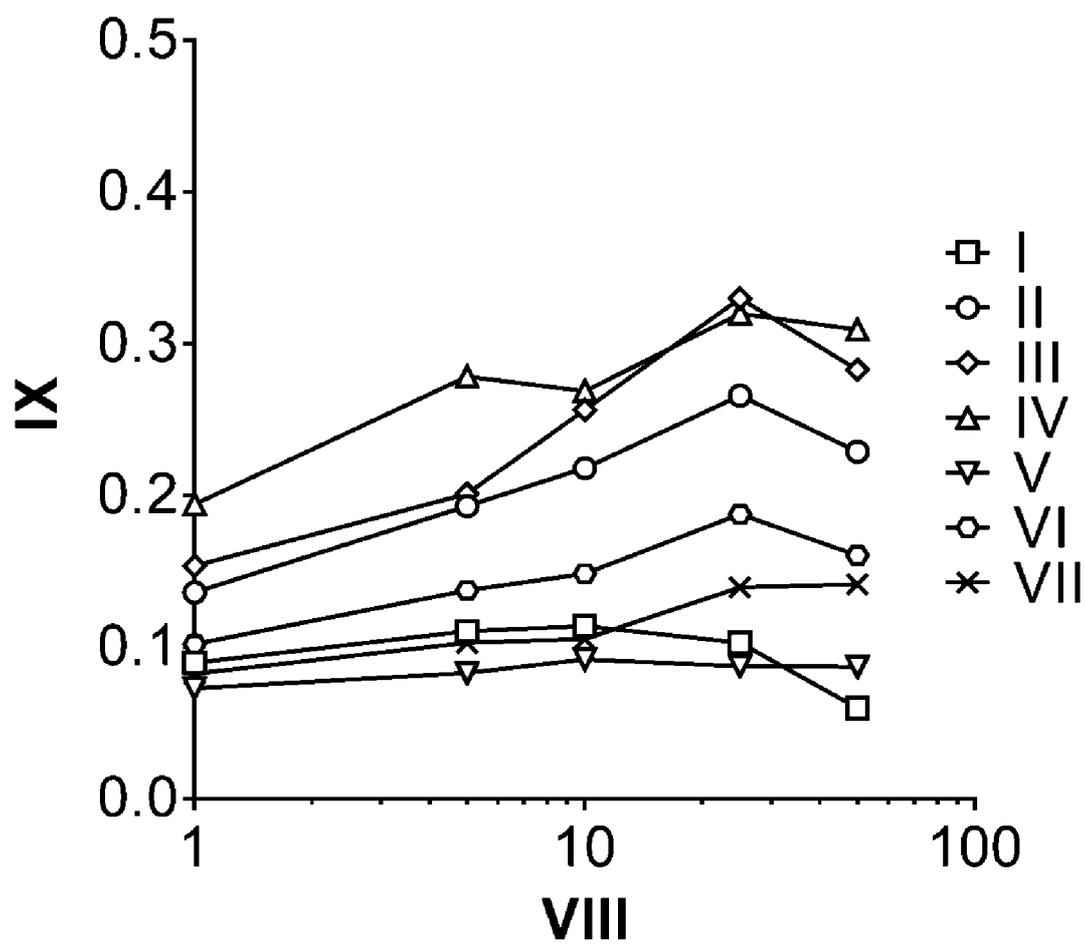
Фигура 31



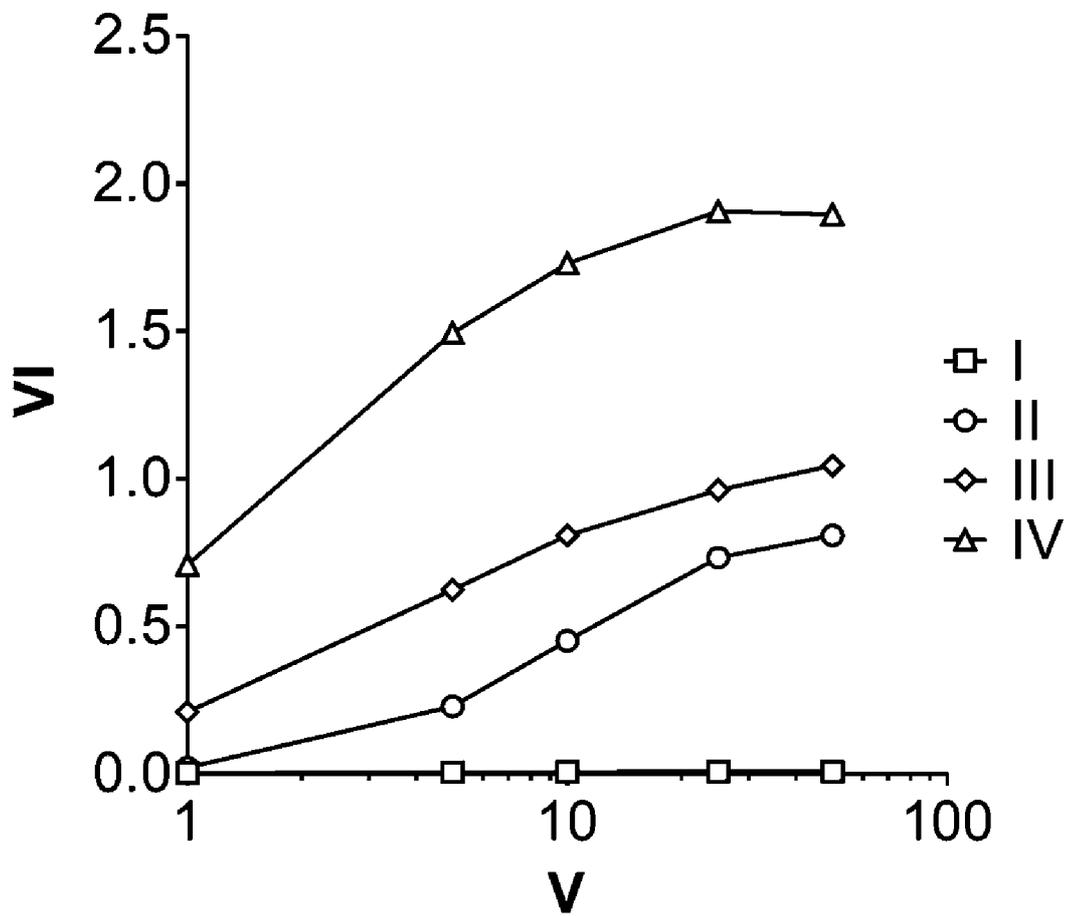
Фигура 32



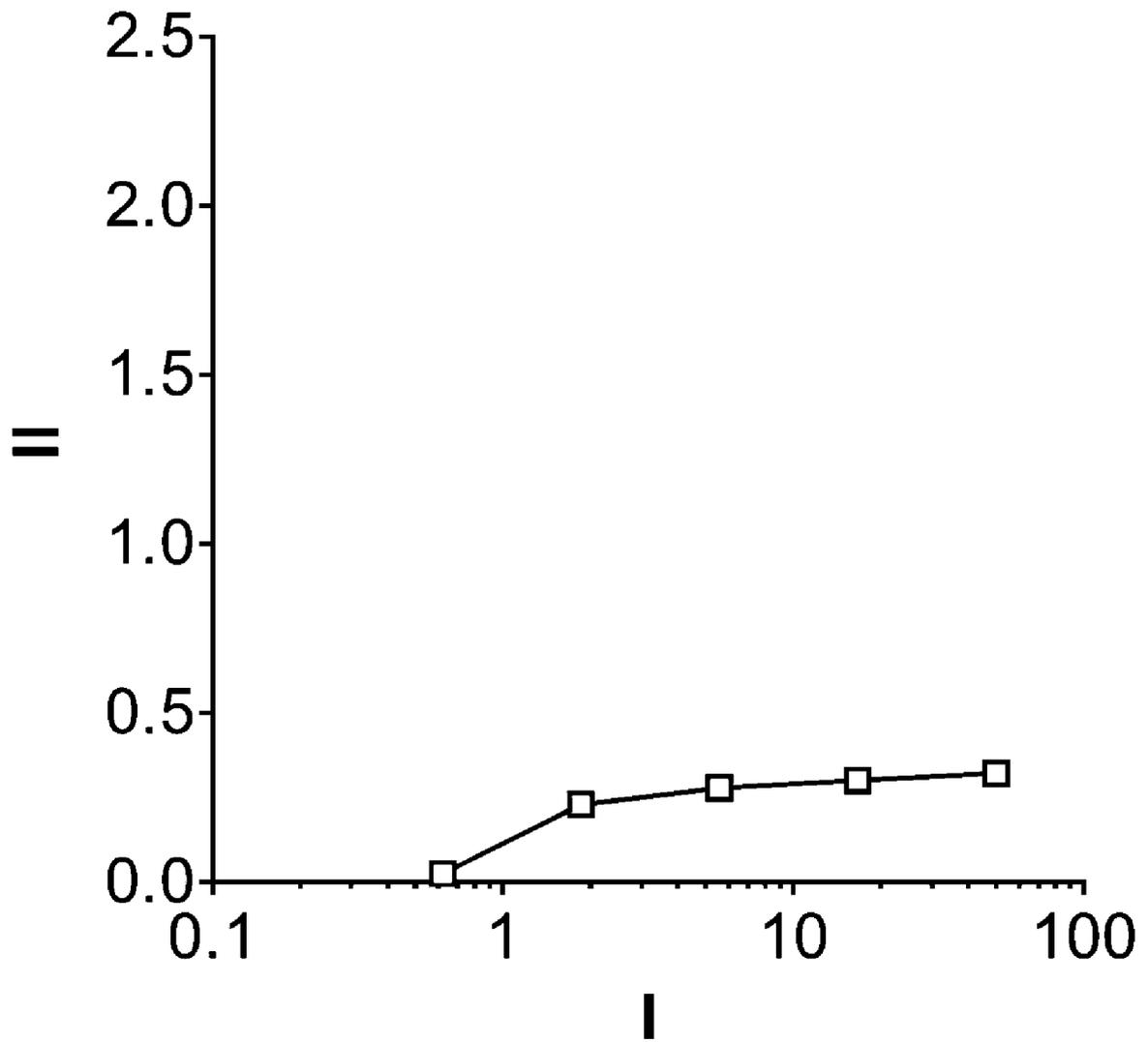
Фигура 33



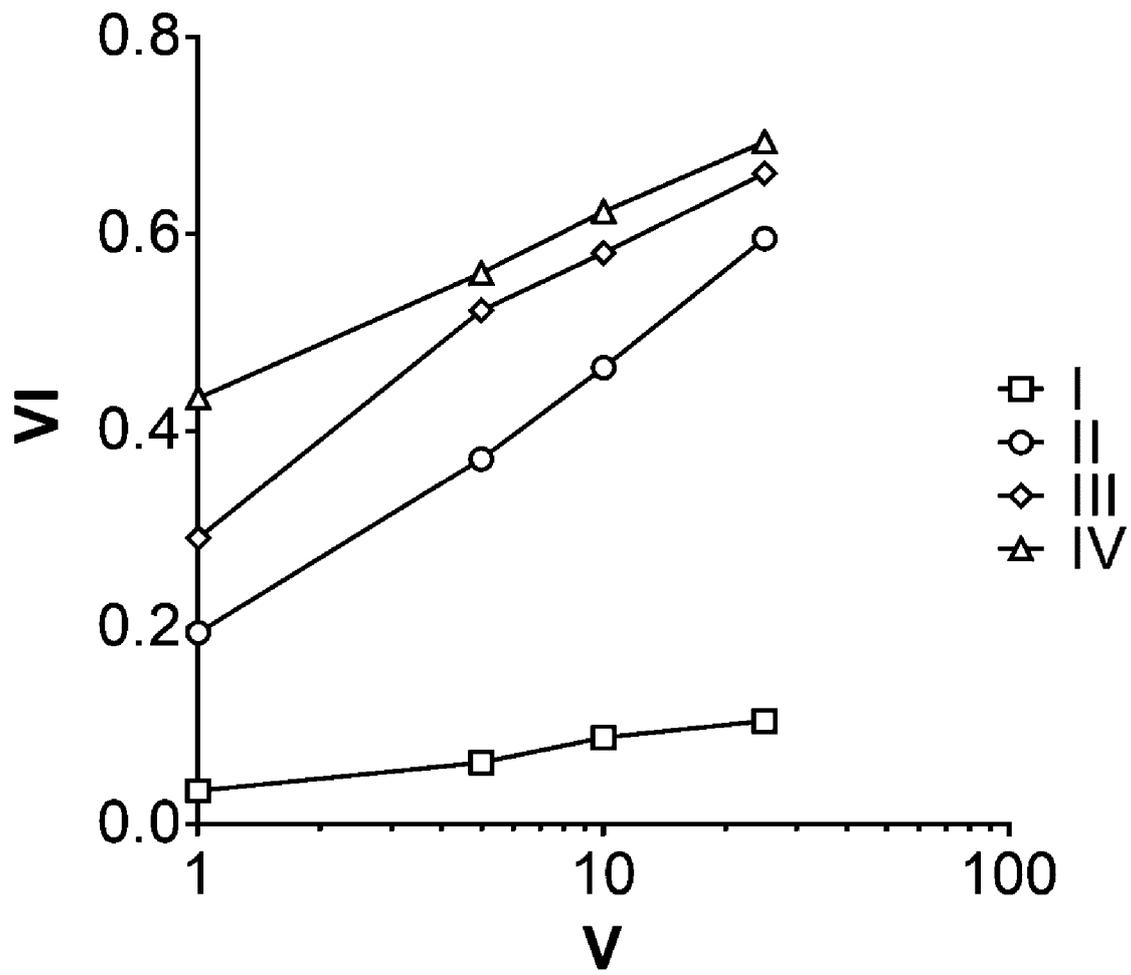
Фигура 34



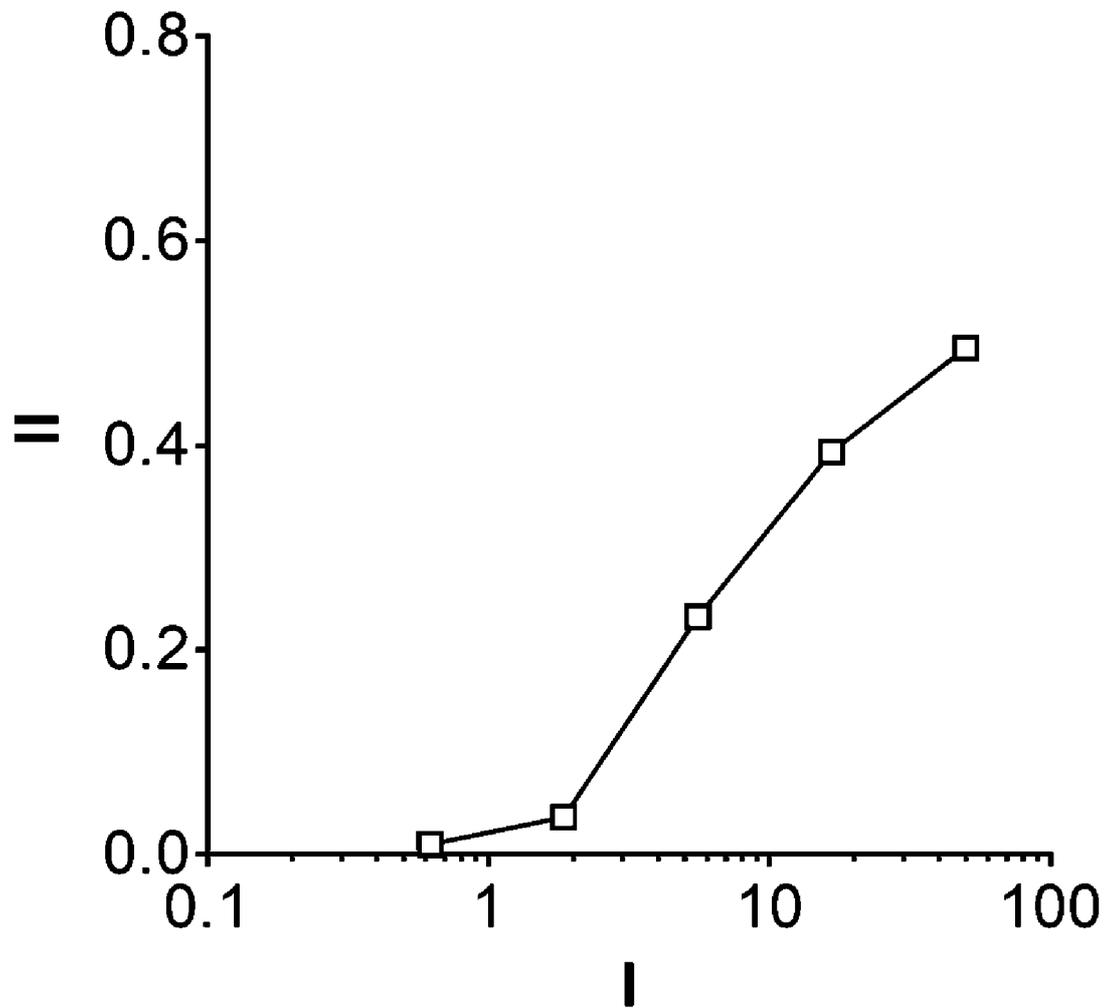
Фигура 35



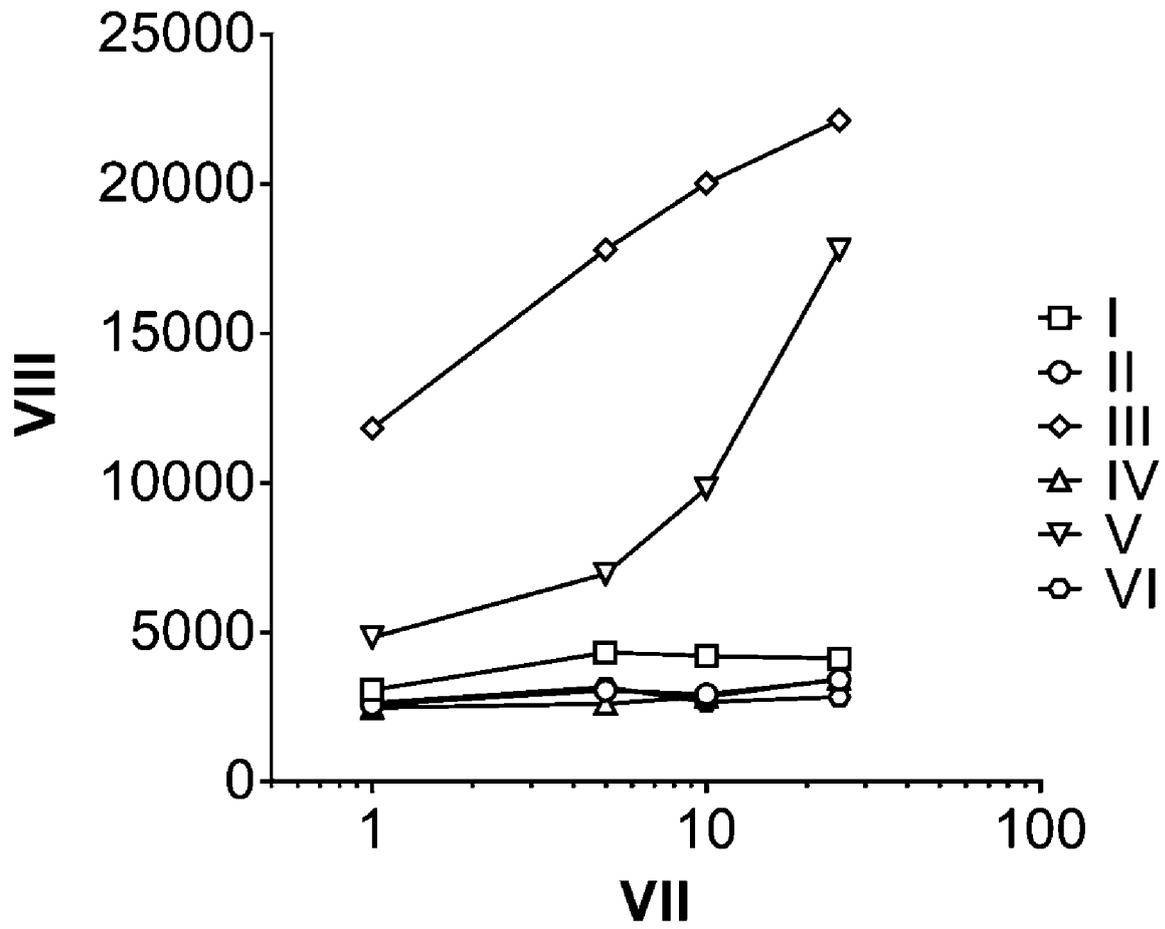
Фигура 36



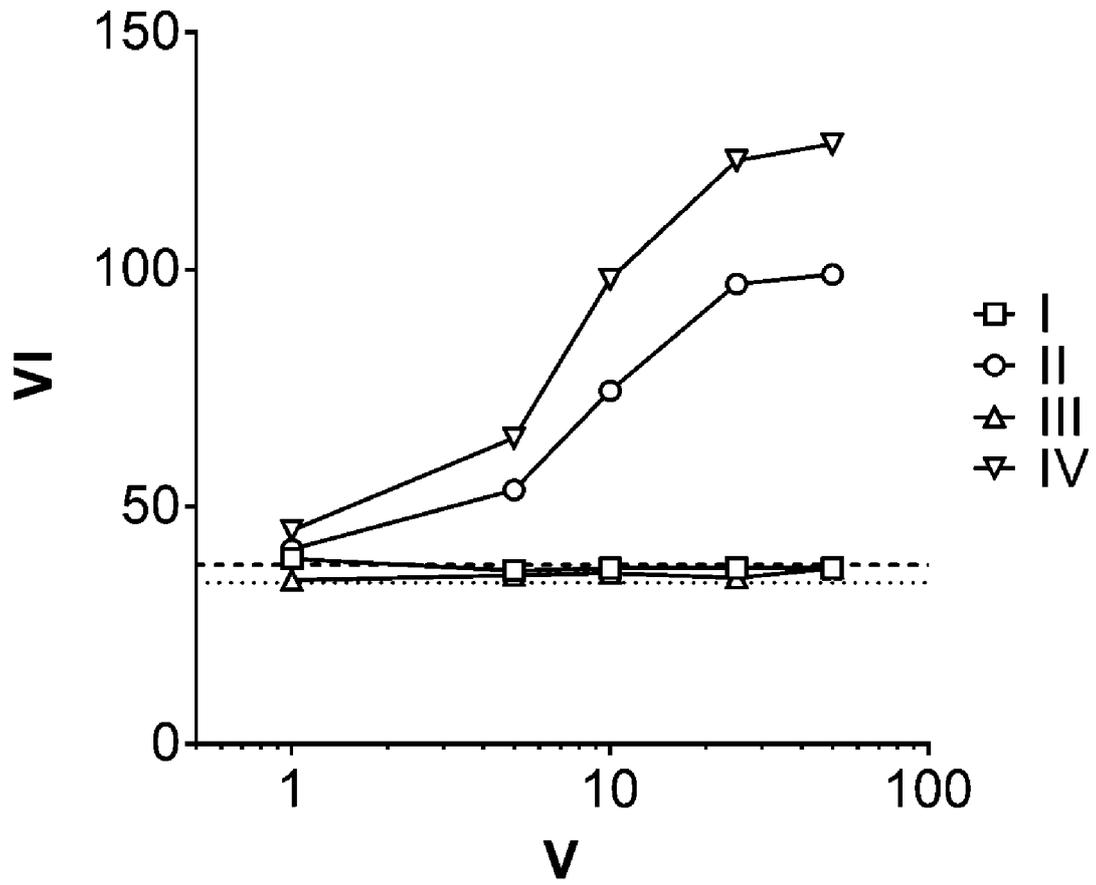
Фигура 37



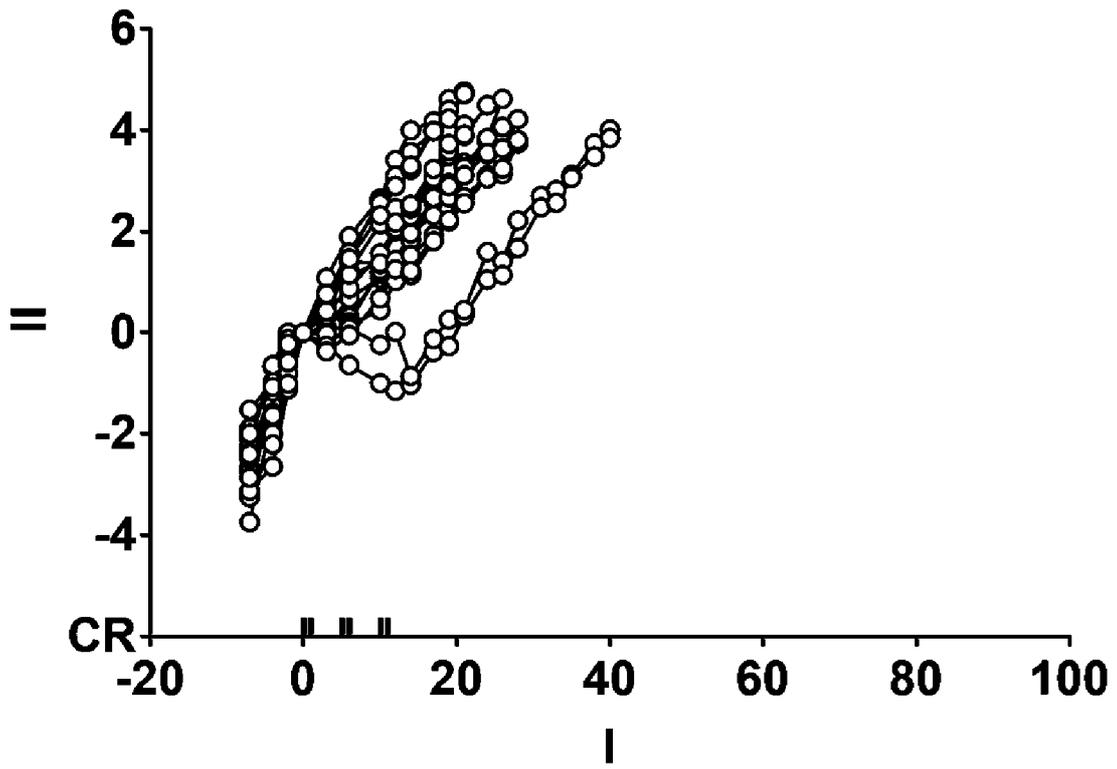
Фигура 38



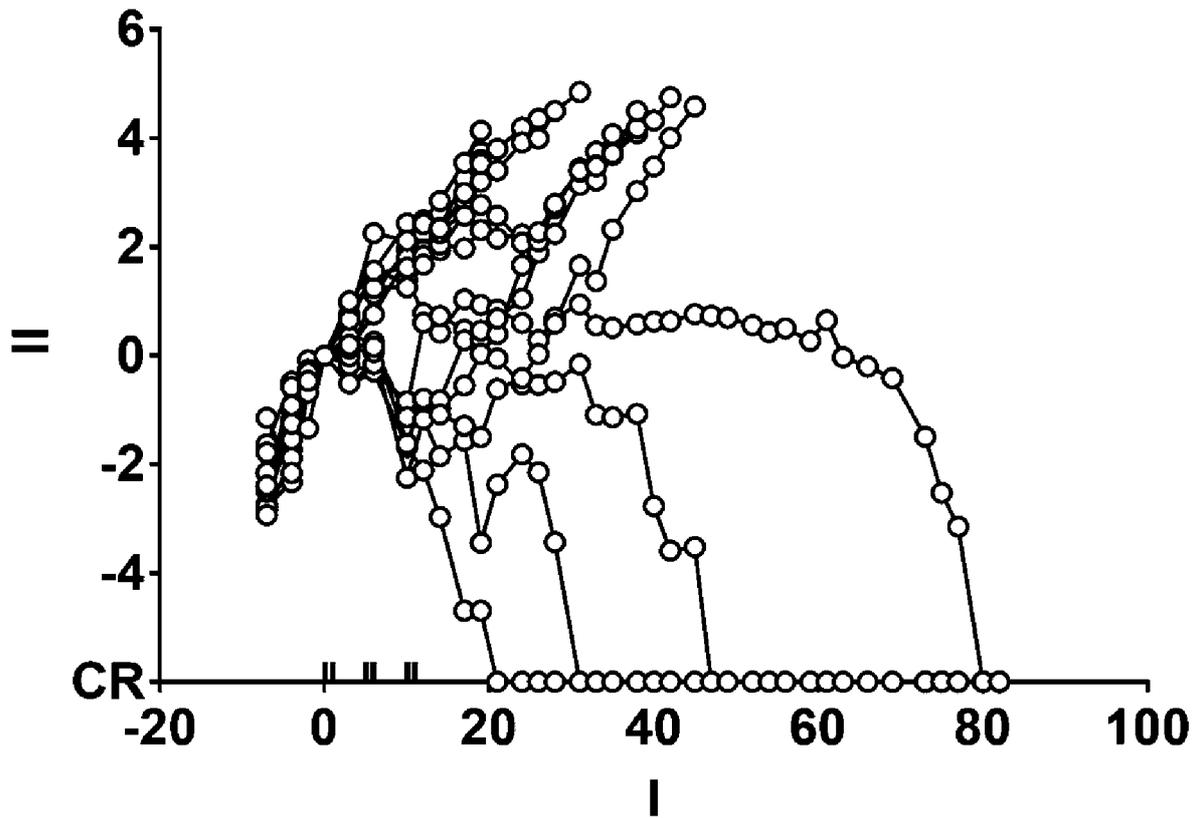
Фигура 39



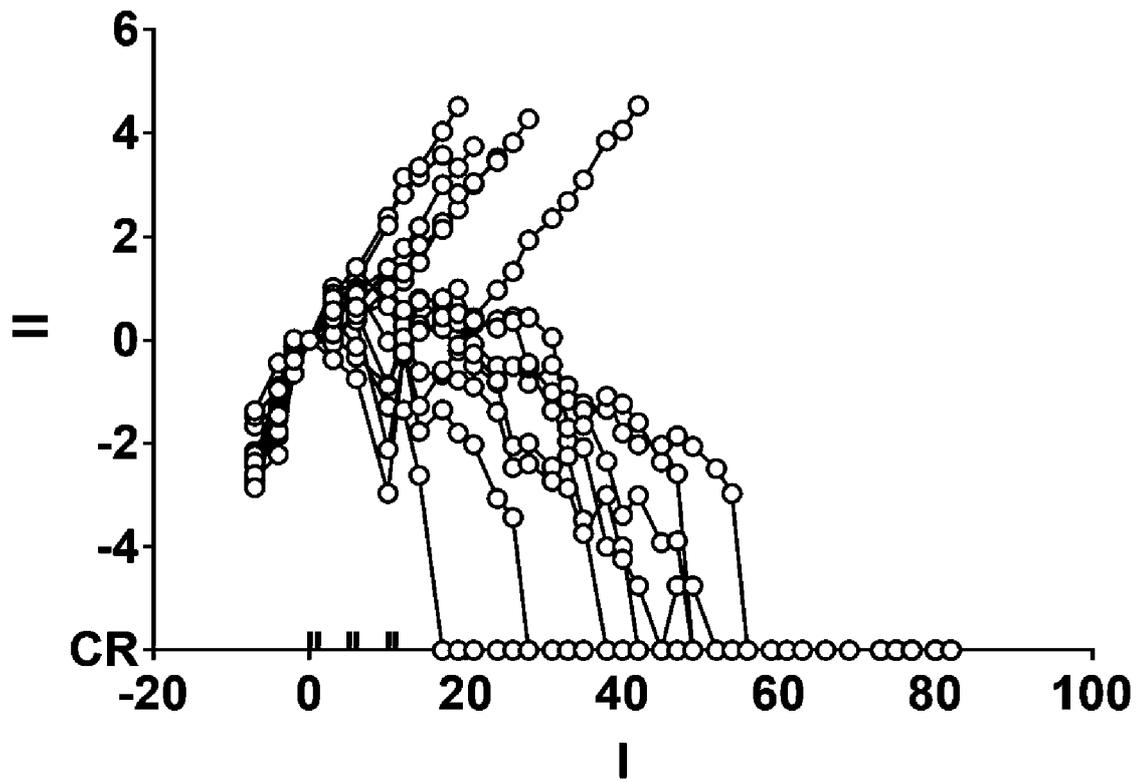
Фигура 40



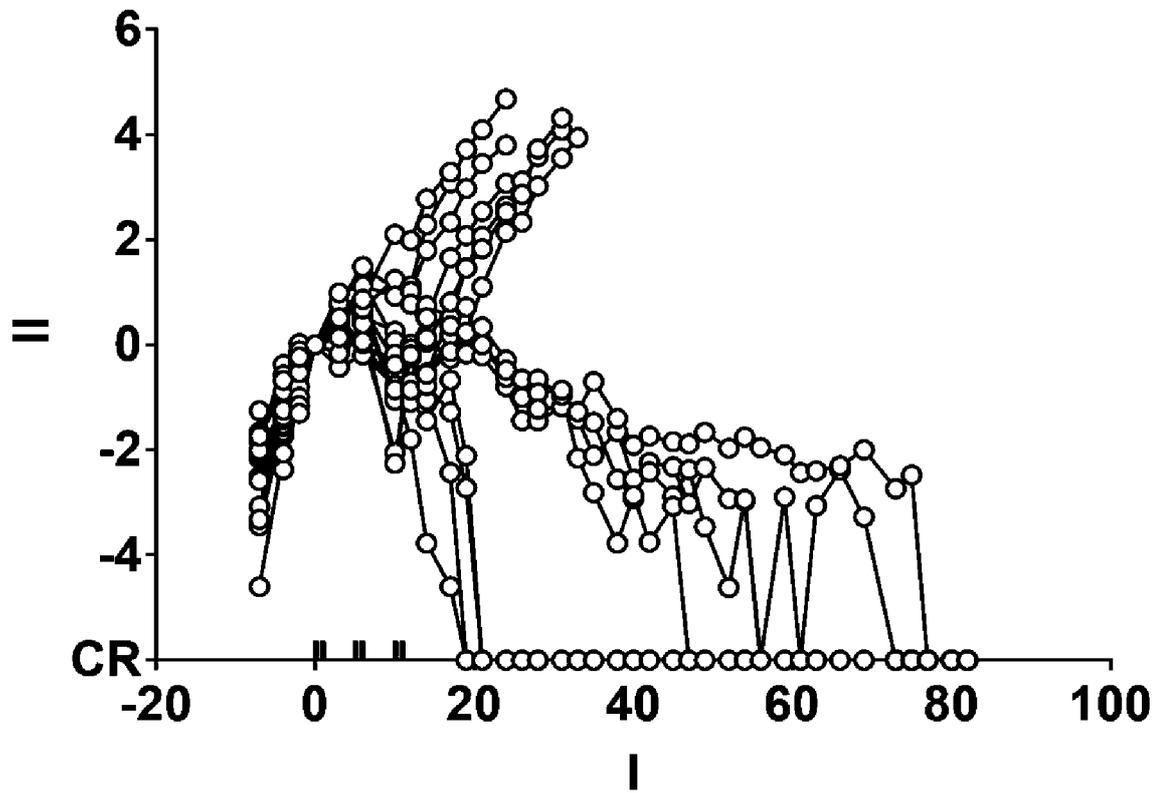
Фигура 41



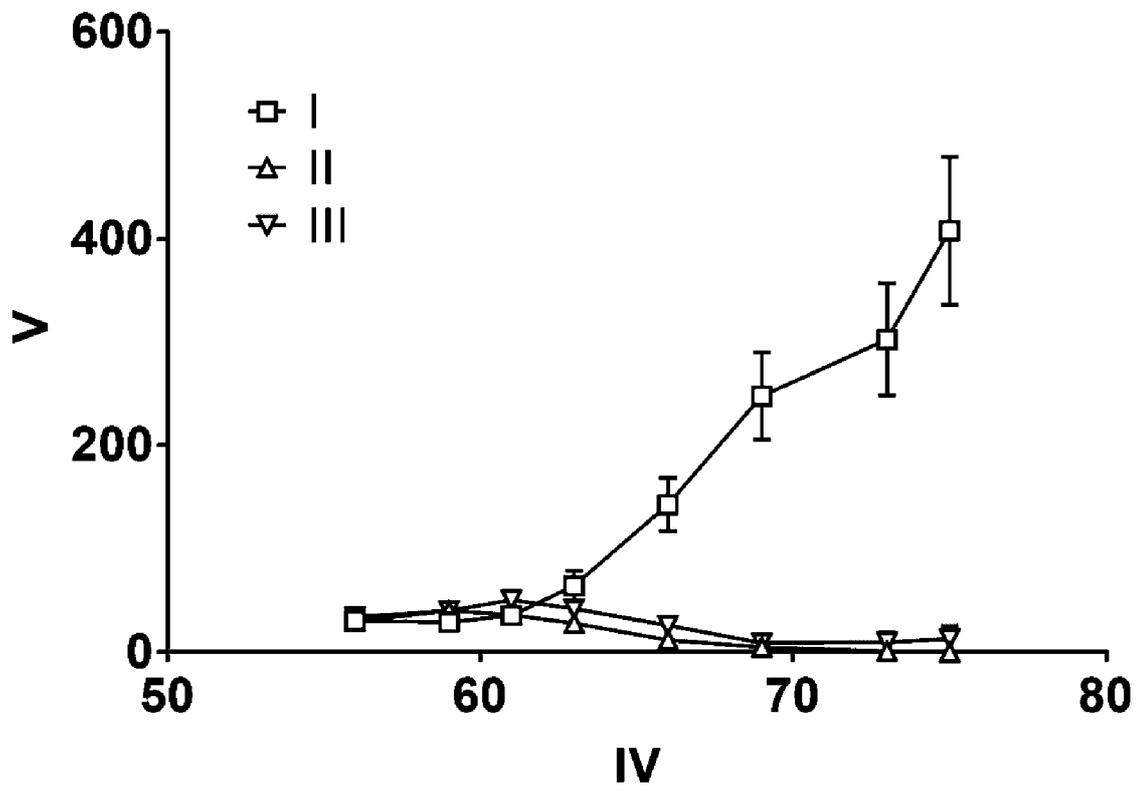
Фигура 42



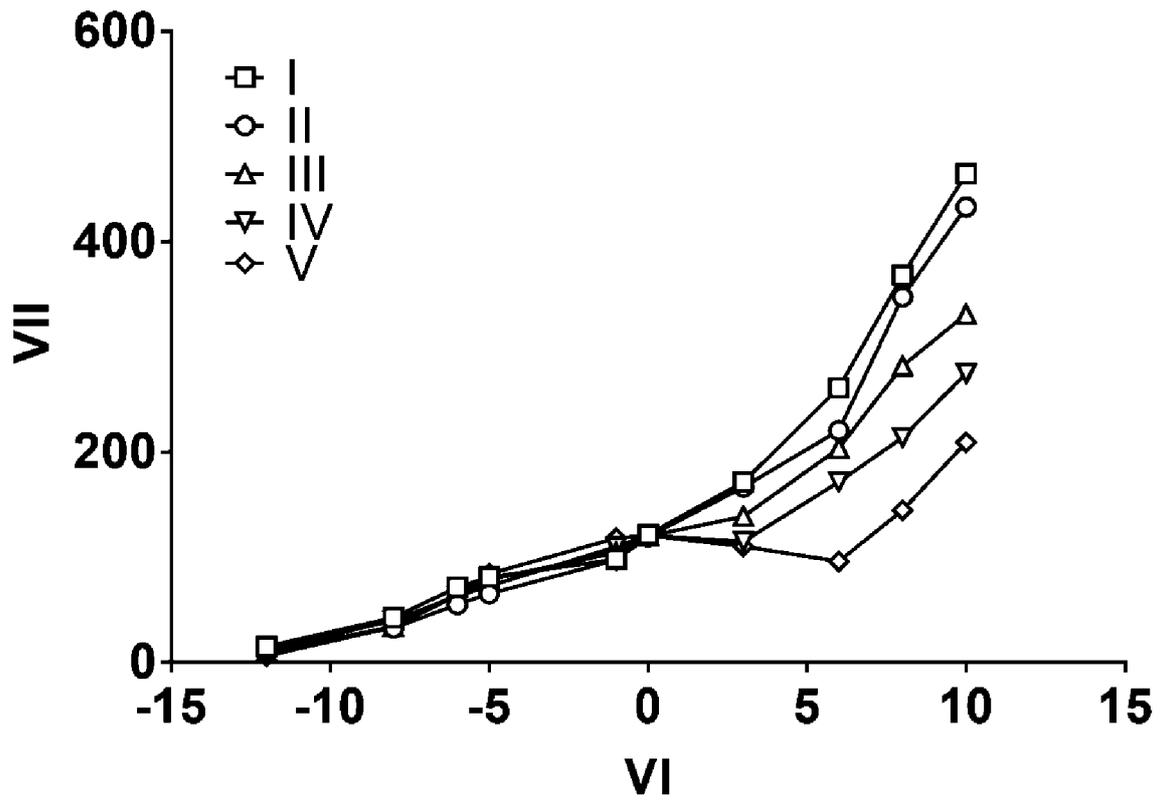
Фигура 43



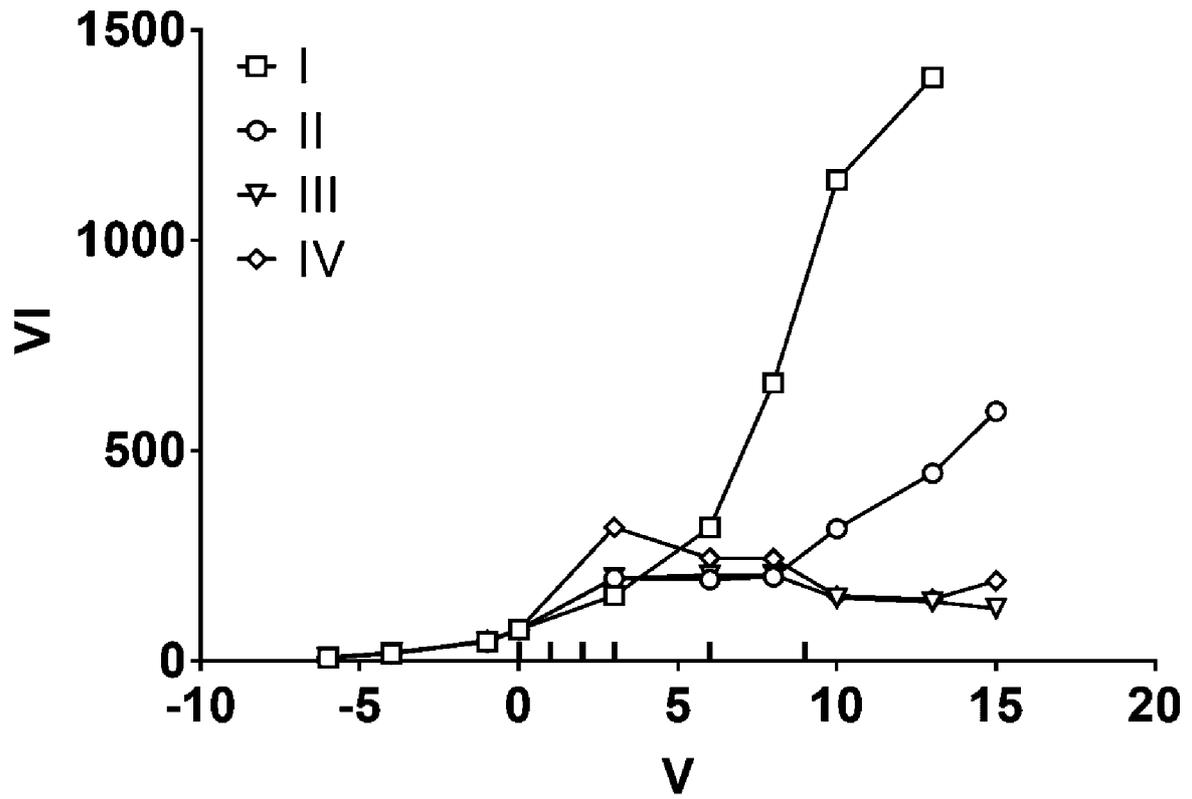
Фигура 44

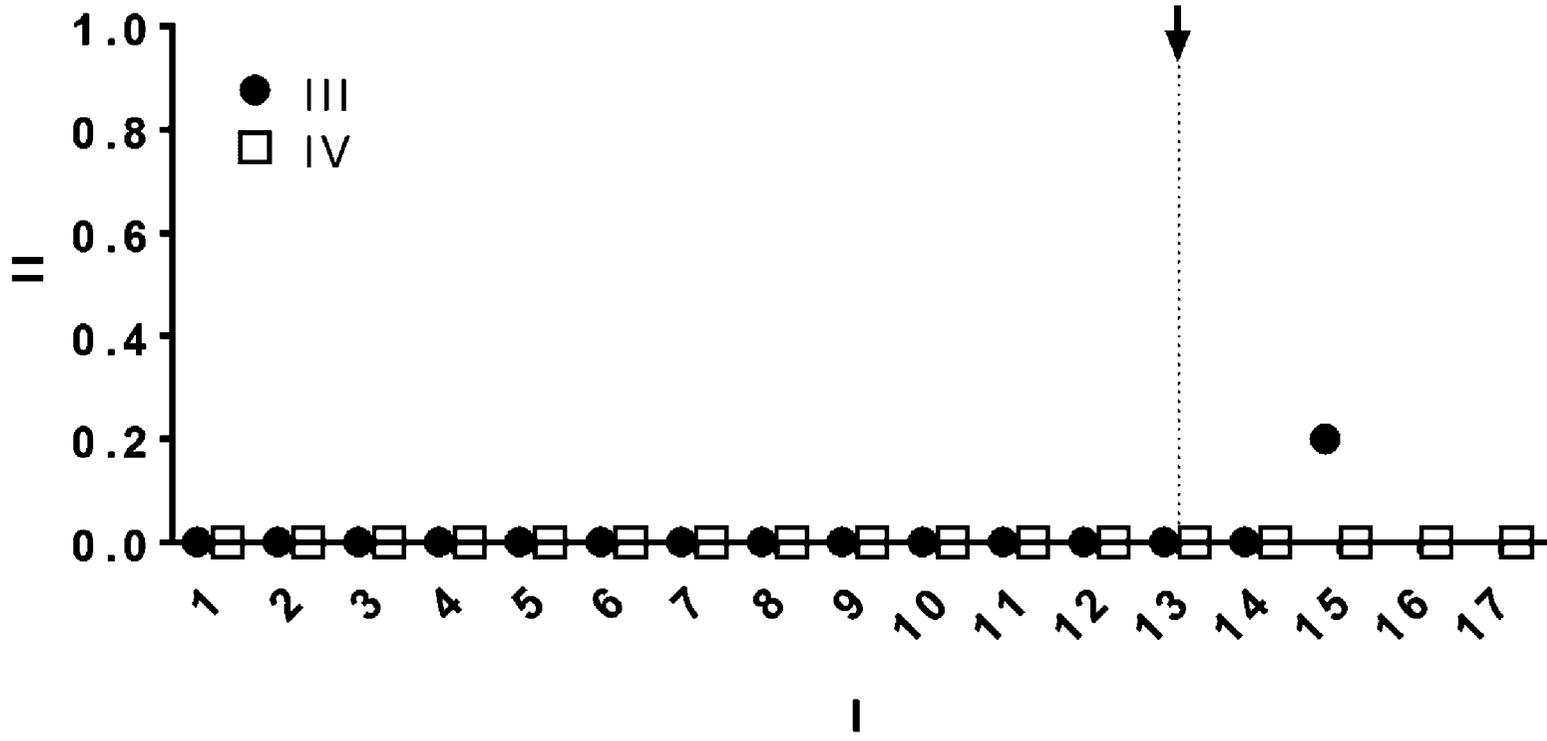


Фигура 45

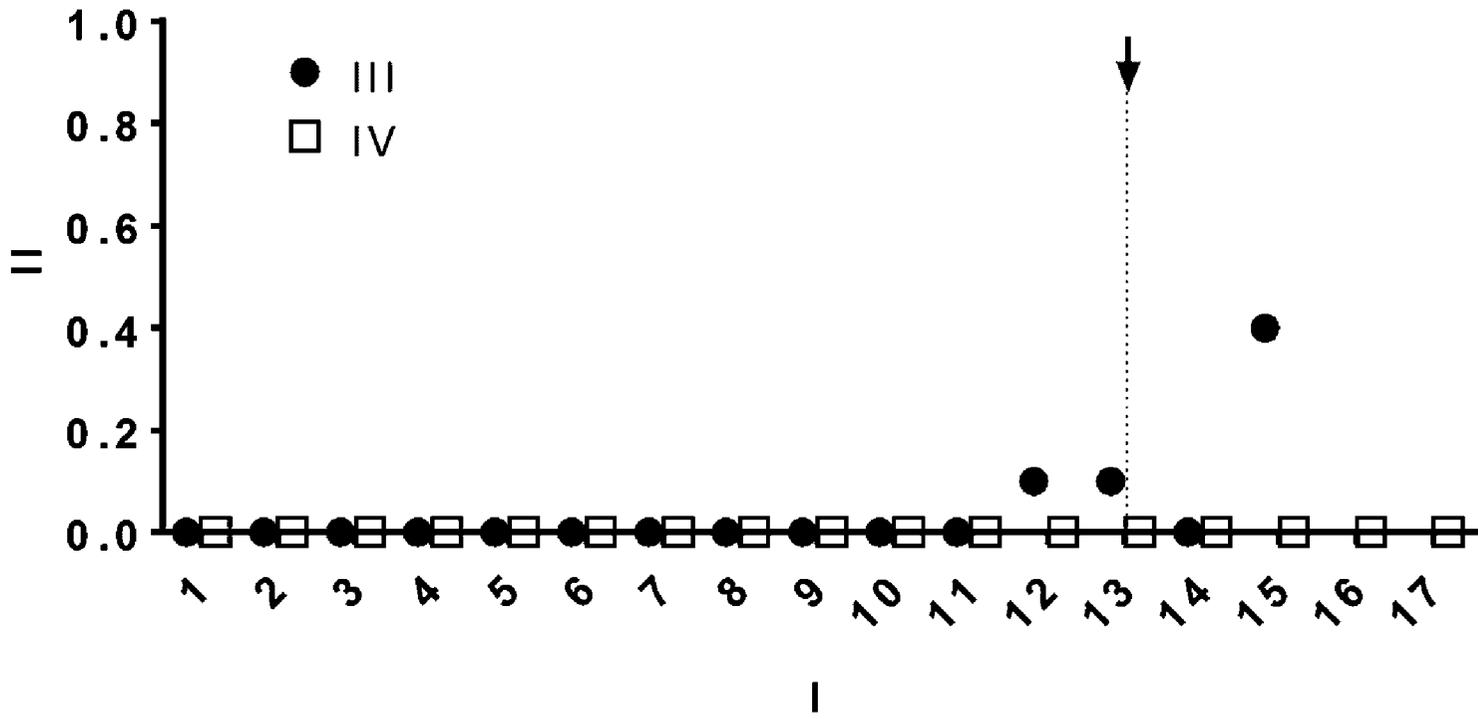


Фигура 46

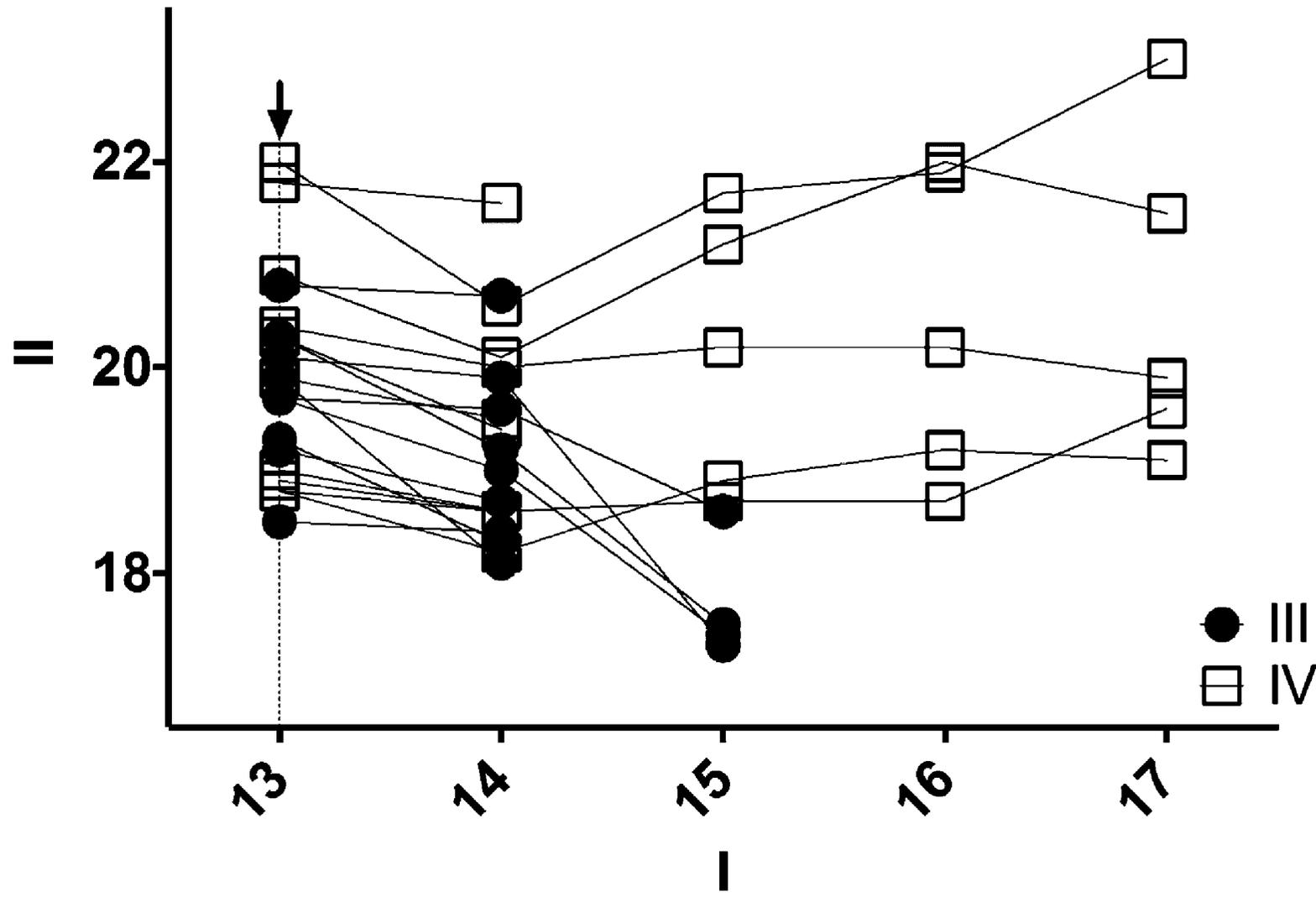




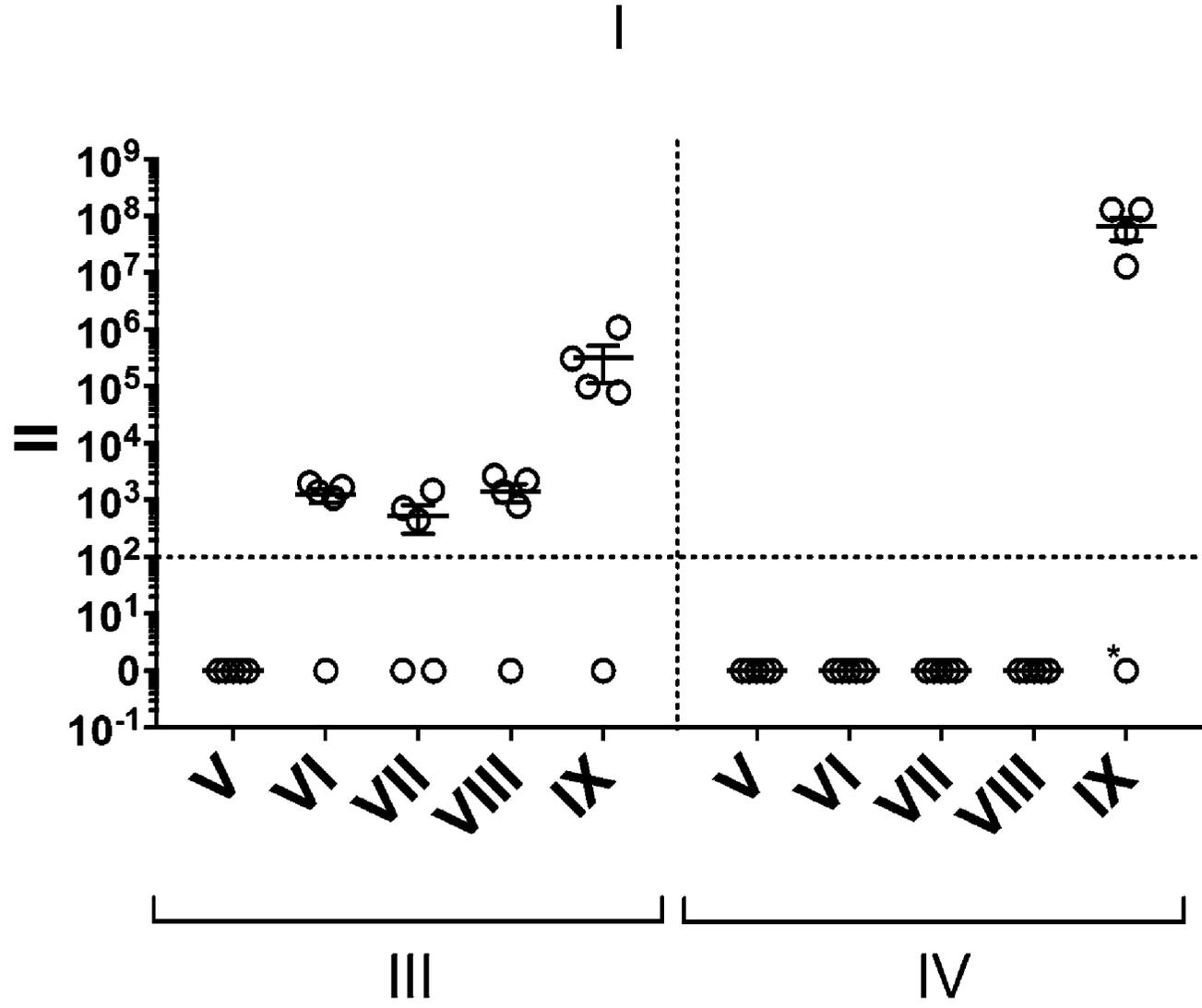
Фигура 47



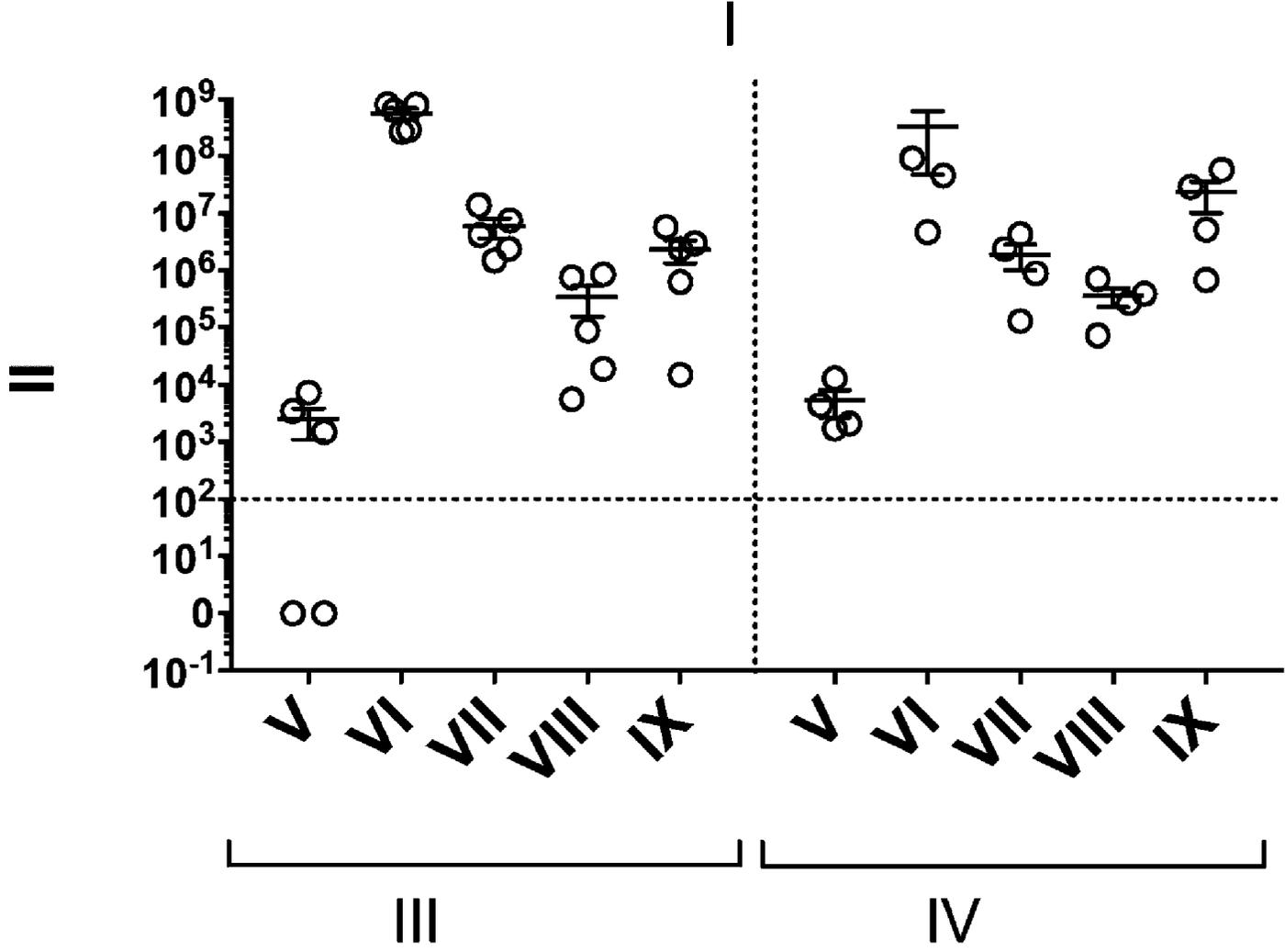
Фигура 48



Фигура 49



Фигура 50



Фигура 51

Фигура 52

