

***Bacillus cereus*: контаминант или возбудитель тяжелых инфекций у детей? (Обзор литературы)**

Д.П. Гладин¹, И.А. Баранов¹, Н.С. Козлова², Е.С. Зубарева¹, А.Ю. Пырх¹, Д.А. Гусева¹,
И.Д. Гладин³, Е.А. Свинцицкая¹

¹ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

² Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

³ Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Проблема нозокомиальных инфекций в детских стационарах сохраняет свою актуальность во всем мире. Наиболее подвержены госпитальным инфекциям новорожденные, дети с онкологическими заболеваниями, первичными иммунодефицитами, а также находящиеся в отделениях реанимации и интенсивной терапии. Незрелость иммунной системы, наличие сопутствующей патологии и частое проведение инвазивных медицинских вмешательств создают предпосылки для развития тяжелых инфекционных процессов, таких как вентилятор-ассоциированная пневмония, катетер-ассоциированный сепсис и инфекции кровотока. Среди широкого спектра возбудителей внутрибольничных инфекций особую тревогу вызывают микроорганизмы группы ESKAPE, устойчивые к антимикробным препаратам. Несмотря на наличие общих закономерностей, этиологическая структура госпитальных инфекций определяется спецификой стационара и даже его отделения, а также интенсивностью применения антимикробных препаратов. Среди грамотрицательных патогенов в стационарах, особенно многопрофильных, доминирует *Klebsiella pneumoniae* и *Acinetobacter baumannii*, среди грамположительных преобладают *Staphylococcus aureus* и коагулазонегативные стафилококки. Однако в последнее время в литературе стали появляться сообщения о случаях тяжелых инвазивных инфекций, вызванных *Bacillus cereus*, у недоношенных новорожденных. Сегодня *B. cereus* признан серьезным оппортунистическим патогеном, способным вызывать у детей смертельно опасные инфекционные процессы, такие как сепсис, менингит, эндокардит, инфекции мягких тканей и костей, характеризующиеся высокой летальностью. Проблема усугубляется трудностями в постановке диагноза и выборе эмпирической терапии в связи с отсутствием специфических симптомов заболеваний и несовершенством методов идентификации *B. cereus*, а также резистентностью возбудителя к целому ряду антимикробных препаратов. В обзоре представлены данные о биологических свойствах и методах идентификации *B. cereus*, эпидемиологии и патогенезе вызываемых им инфекций у детей, а также рассмотрены основные принципы лечения и профилактики заболеваний, ассоциированных с этим патогеном.

Ключевые слова: *Bacillus cereus*, инвазивная инфекция, дети, новорожденные, сепсис, менингит, факторы вирулентности, антибиотикорезистентность

Как цитировать

Гладин Д.П., Баранов И.А., Козлова Н.С., Зубарева Е.С., Пырх А.Ю., Гусева Д.А., Гладин И.Д., Свинцицкая Е.А. *Bacillus cereus*: контаминант или возбудитель тяжелых инфекций у детей? (Обзор литературы). *Педиатр*. 2026;17(2):5–19. <https://doi.org/10.56871/PED.2026.77.16.001>.

***Bacillus cereus*: contaminant or causative agent of severe infections in children? (Literature review)**

Dmitry P. Gladin¹, Ilya A. Baranov¹, Nadezhda S. Kozlova², Elizaveta S. Zubareva¹, Alexandra Yu. Pyrkh¹, Darya A. Guseva¹, Ilya D. Gladin³, Ekaterina A. Svintsitskaya¹

¹ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russia

³ Pushkin Leningrad State University, Saint-Petersburg, Russia

ABSTRACT

The problem of nosocomial infections in children's hospitals remains relevant worldwide. Newborns, children with cancer, primary immunodeficiencies, and those in intensive care units are particularly susceptible to hospital-acquired infections. The immature immune system, concomitant pathologies, and frequent invasive medical interventions create conditions for the development of severe infectious processes, such as ventilator-associated pneumonia, catheter-associated sepsis, and bloodstream infections. Among the wide range of pathogens of nosocomial infections, microorganisms of the ESKAPE group resistant to antimicrobial drugs are of particular concern. Despite the general patterns, the etiological structure of hospital infections is determined by the specifics of the hospital and the intensity of the use of antimicrobial drugs. Among the gram-negative pathogens, *Klebsiella pneumoniae* and *Acinetobacter baumannii* dominate, while among the gram-positive pathogens, *Staphylococcus aureus* and coagulase-negative staphylococci predominate. However, in recent years, there have been reports in the literature of severe invasive infections caused by *Bacillus cereus* in premature newborns. Today, *B. cereus* is recognized as a serious opportunistic pathogen that can cause fatal infections in children, such as sepsis, meningitis, endocarditis, and soft tissue and bone infections, with extremely high mortality rates. The problem is exacerbated by difficulties in making a diagnosis and choosing an empirical treatment due to the lack of specific symptoms of the disease and the imperfections of *B. cereus* identification methods, as well as the pathogen's resistance to a wide range of antimicrobial drugs. The review presents data on the biological properties and identification methods of *B. cereus*, the epidemiology and pathogenesis of infections caused by this pathogen in children, and discusses the basic principles of treatment and prevention of diseases associated with this pathogen.

Keywords: *Bacillus cereus*, invasive infection, children, newborns, sepsis, meningitis, virulence factors, antibiotic resistance

To cite this article

Gladin D.P., Baranov I.A., Kozlova N.S., Zubareva E.S., Pyrkh A.Yu., Guseva D.A., Gladin I.D., Svintsitskaya E.A. *Bacillus cereus*: contaminant or causative agent of severe infections in children? (Literature review). *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2026;17(2):5–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/PED.2026.77.16.001>.

ВВЕДЕНИЕ

Представители группы *Bacillus cereus* часто ассоциируются с пищевыми отравлениями, однако могут вызывать у человека и широкий спектр тяжелых гнойно-септических инфекций, включающих сепсис, менингиты, абсцессы мозга, эндофтальмиты, пневмонии, эндокардиты, остеомиелиты [1, 2] и септические артриты у детей [3]. *B. cereus* представляет собой грамположительную спорообразующую бактерию, которая встречается повсеместно [4] как в окружающей среде (почве, воде, воздухе и продуктах питания), так и на коже человека, в том числе и на руках медицинского персонала [5]. Споры этого микроорганизма, устойчивые к разным неблагоприятным факторам, позволяют ему длительно сохраняться в окружающей среде [6, 7], в том числе и в условиях многопрофильных стационаров. Это обусловлено также способностью *B. cereus* образовывать биопленки на абиотических поверхностях больничной среды [8], в том числе разнообразных медицинских девайсах (венозных катетерах и др.) [9, 10], а также приобретенной устойчивостью ряда штаммов к антимикробным препаратам [11]. О тяжелых системных инфекциях, вызванных *B. cereus*, известно давно, при этом большинство из них возникали у новорожденных, пациентов с ослабленным иммунитетом и злокачественными заболеваниями крови, а также у инъекционных наркоманов [12]. В последнее время *B. cereus* играет все более важную роль в развитии оппортунистических инфекций у групп риска, прежде всего у недоношенных новорожденных со сниженной массой тела [13], у которых такие инфекции часто заканчиваются летально (14–40% случаев) [2, 14]. Это происходит в результате незрелости отдельных звеньев иммунной системы таких детей и наличия сопутствующей патологии, что делает их более уязвимыми для инвазивных патогенов, особенно в госпитальных условиях в отделениях реанимации и интенсивной терапии [15, 16]. Отсутствие типичных клинических проявлений инфекций, вызванных *B. cereus*, и ошибочная оценка при их выявлении в исследуемом материале, особенно в крови, как контаминация, может привести к неправильной или несвоевременной этиологической диагностике заболевания [17, 18]. Именно поэтому систематизация и анализ данных по особенностям биологических свойств *B. cereus*, прежде всего факторов ее вирулентности и обусловленного ими патогенеза вызываемых ею инфекций, а также их клинических проявлений и современных методов диагностики, будет полезна для клиницистов различного профиля и врачей-микробиологов.

ТАКСОНОМИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА *BACILLUS CEREUS*

Вид *Bacillus cereus* принадлежит к типу *Firmicutes*, классу *Bacilli*, порядку *Bacillales*, семейству *Bacillaceae*, роду *Bacillus*. В настоящее время *B. cereus* входит в состав филогенетического комплекса, известного как «группа *Bacillus cereus sensu lato*». Эта группа представляет собой комплекс видов, включающий множество близкородственных генетических линий, которые различаются

по своей способности вызывать заболевания у людей и животных. В таксономии *B. cereus* за последние 25 лет произошло множество изменений, что привело к определенным затруднениям у исследователей [19] и ошибкам в идентификации [20]. *Bacillus cereus sensu lato* представлен тремя основными видами: *B. cereus* (*B. cereus sensu stricto*), *Bacillus thuringiensis* и *Bacillus anthracis*. Позднее были добавлены еще четыре вида: *Bacillus mycoides*, *Bacillus weihenstephanensis*, *Bacillus pseudomycoides* и *Bacillus cytotoxicus* [21–23]. В настоящее время выделяют кладу *Cereus* [24, 25], в которую входят 8 близкородственных видов — *B. cereus*, *B. cytotoxicus*, *B. mycoides*, *B. pseudomycoides*, *B. thuringiensis*, *B. weihenstephanensis*, *B. toyonensis* и *B. anthracis* [17]. Сегодня группа пополнилась новыми видами, выделенными из морского грунта: *Bacillus paranthracis*, *Bacillus pacificus*, *Bacillus tropicus*, *Bacillus albus*, *Bacillus mobilis*, *Bacillus luti*, *Bacillus proteolyticus*, *Bacillus nitratireducens* и *Bacillus paramycoides*.

Классификация этой группы бактерий основана на секвенировании гена *panC*, детерминирующего синтез пantoат-бета-аланинлигазы С [26–29]. *B. cereus* является спорообразующей грамположительной аэробной или факультативно анаэробной бактерией. При микроскопическом исследовании они определяются как тонкие, прямые или слегка изогнутые палочки, размер которых составляет 1×3–4 мкм, могут образовывать цепочки. Имеют жгутики, расположенные по перитрихальному типу [29], наиболее вирулентные клинически значимые штаммы образуют капсулу, по химической природе сходную с полипептидной капсулой *B. anthracis* [30].

Эти бактерии не требовательны к питательным средам, растут в широком диапазоне температур от +5 до +50 °С. Для их культивирования используют желточно-полимиксинный агар, хромогенную среду *Bacillus cereus* агар (BBC) [31], кровяной агар, на котором выявляются зоны гемолиза [32] и другие среды. Морфология и культуральные свойства *B. cereus* представлены на рисунках 1, 2 [33].

Некоторые штаммы *B. cereus sensu stricto* обладают высокой вирулентностью, благодаря чему вызывают различные

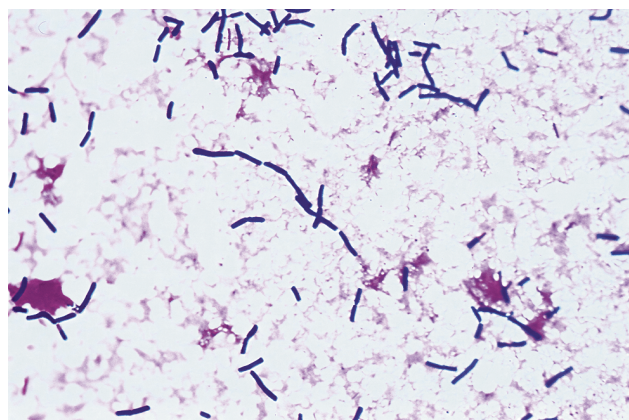


Рис. 1. *B. cereus* в крови. Окраска по Граму [33]

Fig. 1. *B. cereus* in blood. Gram staining [33]



Рис. 2. Рост *B. cereus* на кровяном агаре. Вокруг колоний видны зоны бета-гемолиза [33]

Fig. 2. Growth of *B. cereus* on blood agar. Beta-hemolysis zones are visible [33]

инвазивные и часто смертельные инфекции, особенно у пациентов с ослабленным иммунитетом, в том числе у недоношенных новорожденных. *B. cereus sensu stricto* трудно отличить от других представителей группы при помощи рутинных микробиологических методов, поэтому большинство патологических процессов, вызываемых *B. cereus*, рассматривают как инфекции, ассоциируемые с различными видами группы *B. cereus* [2]. Связь *B. cereus* с тяжелыми заболеваниями обусловлена широким спектром факторов вирулентности, которые можно разделить на несколько групп.

1. Факторы адгезии, колонизации и инвазии. Основными адгезинами являются фимбрии и белок CalY (камелизин), который играет ключевую роль в адгезии на клетках и в формировании биопленок [34–37]. Клеточную стенку *B. cereus* покрывают белковые S-слои [33, 38, 39], которые повышают адгезивные свойства и придают устойчивость к фагоцитозу и действию комплемента. Некоторые высоковирулентные изоляты *B. cereus* могут образовывать капсулу, продукты распада которой угнетают врожденный иммунитет, однако в литературе данные по способности к капсулообразованию противоречивы и неоднозначны [30]. Деградация клеток и тканей также способствуют различным протеазы.

2. Ферменты вирулентности, сидерофоры и пигменты. *Bacillus cereus* обладает высокой ферментативной активностью и помимо токсинов продуцирует широкий спектр ферментов вирулентности [30]. Среди них наибольшее значение в патогенезе тяжелых инфекций имеют металлопротеазы (InhA1, InhA2, InhA3), вызывающие гибель макрофагов [40], фосфохолин — специфическая фосфолипаза C (PC-PLC) и сфингомиелиназа (SMase), разрушающие мембраны клеток, коллагеназа (ColA), способствующая распространению бактерий [41–43], а также экзопротеин EntD, оказывающий цитотоксическое действие [44].

Все ферменты потенцируют действие токсинов *B. cereus*, что особенно важно в развитии сепсиса. Размножению способствует продукция некоторыми штаммами сидерофо-

ров, связывающих ионы железа и обладающих антиоксидантной активностью пигментов [45], вероятно, повышающих выживаемость в фагоцитах.

3. Токсины. Цереулид (эметический токсин, рвотный токсин) впервые описан в 1994 г. [46], обладает термостабильностью, устойчивостью к колебаниям pH и желудочным ферментам. Цереулид действует на серотониновые рецепторы блуждающего нерва, импульсы от которых поступают в рвотный центр в продолговатом мозге. Действие этого токсина может вызвать рабдомиолиз, поражение печени и полиорганную недостаточность, а также снизить защитные иммунные механизмы кишечника [41].

Белковые энтеротоксины включают три токсина: гемолизин BL (Hbl), негемолитический энтеротоксин (Nhe) и цитотоксин K (CytK). Энтеротоксины Hbl и Nhe состоят из трех белковых компонентов каждый и детерминируются хромосомными [47, 48] и, возможно, плазмидными генами [49, 50]. Hbl и Nhe относятся к семейству порообразующих токсинов, при этом Hbl обладает дерматонекротическим, гемолитическим и цитотоксическим действием [41]. Nhe преимущественно обладает цитотоксическим действием на различные эпителиальные клетки, приводящим к их лизису [51]. Трехкомпонентные токсины *B. cereus* способны взаимодействовать с различными клеточными рецепторами, вызывая поражение эндотелия сосудов, толстой кишки, печени, легких, мышечной и соединительной ткани, T- и B-лимфоциты, а также макрофаги и клетки кожи [41, 52–57]. Это приводит к индукции воспаления, пироптозу и полиорганному поражению при тяжелых инвазивных инфекциях у детей.

Цитотоксин K (CytK), в отличие от Hbl и Nhe, представлен одним белковым компонентом, является порообразующим токсином, оказывающим дерматонекротическое действие и сильное цитотоксическое действие на эпителиоциты кишечника человека. Интересно, что этот токсин чаще обнаруживают у *B. cytotoxicus*, относящемуся к комплексу *B. cereus* [58, 59].

Кроме вышеуказанных токсинов, *B. cereus* обладает четырьмя типами гемолизина. Гемолизин I типа (цериолизин O) обладает цитолитическим действием, гемолизины II и IV типов вызывают апоптоз макрофагов [60], роль гемолизина III типа в патогенезе пока не выяснена [41]. Основные факторы вирулентности *B. cereus* представлены в таблице 1.

Эпидемиология и факторы риска у детей

Убиквитарное распространение *B. cereus* обуславливает его попадание в организм ребенка, где микроорганизм может колонизировать кишечник, составляя часть транзиторной микробиоты [61], и затем выделяться в окружающую среду, в том числе и больничную [14]. Средняя продолжительность носительства микроорганизмов разных видов у детей в отделении реанимации и интенсивной терапии представлена на рисунке 3.

Интересно, что *B. cereus* может колонизировать не только кишечник, но и дыхательные пути, что способствует

Таблица 1. Факторы вирулентности *B. cereus*

Table 1. Virulence factors of *B. cereus*

Фактор вирулентности / The virulence factor	Биологический эффект / Biological effect
Белок CalY (камелизин) / CalY protein (camelysin) [33–36]	Адгезия и колонизация / Adhesion and colonization [33–36]
S-слои / S-layers [37–39]	Адгезия, устойчивость к фагоцитозу и комплементу / Adhesion, resistance to phagocytosis and complement [37–39]
Капсула / The capsule [30]	Устойчивость к фагоцитозу, ингибирование врожденного иммунитета / Resistance to phagocytosis, inhibition of innate immunity [30]
Металлопротеазы (InhA1, InhA2, InhA3) / Metalloproteinases (InhA1, InhA2, InhA3) [40]	Гибель макрофагов / Death of macrophages [40]
Фосфолипаза C (PC-PLC), сфингомиелиназа (SMase), коллагеназа (ColA) / Phospholipase C (PC-PLC), sphingomyelinase (SMase), collagenase (ColA) [41–43]	Разрушение клеток и тканей / Destruction of cells and tissues [41–43]
Экзопротеин EntD / Exoprotein EntD [44]	Цитотоксичность / Cytotoxicity [44]
Цереулид (эметический токсин, рвотный токсин) / Cerulide (emetic toxin, vomiting toxin) [41]	Рвота, токсическое действие на ткани / Vomiting and toxic effects on tissues [41]
Белковые энтеротоксины гемолизин BL (Hbl), негемолитический энтеротоксин (Nhe), цитотоксин K (CytK) / Protein enterotoxins Hemolysin BL (Hbl), non-hemolytic enterotoxin (Nhe), cytotoxin K (CytK) [47–50]	Диарея, токсическое действие на ткани / Diarrhea and tissue toxicity [47–50]
Гемолизины / Hemolysins [41, 60]	Цитолитическое действие, апоптоз макрофагов / Cytolytic effect, macrophage apoptosis [41, 60]

Таблица составлена авторами / The table is prepared by the authors

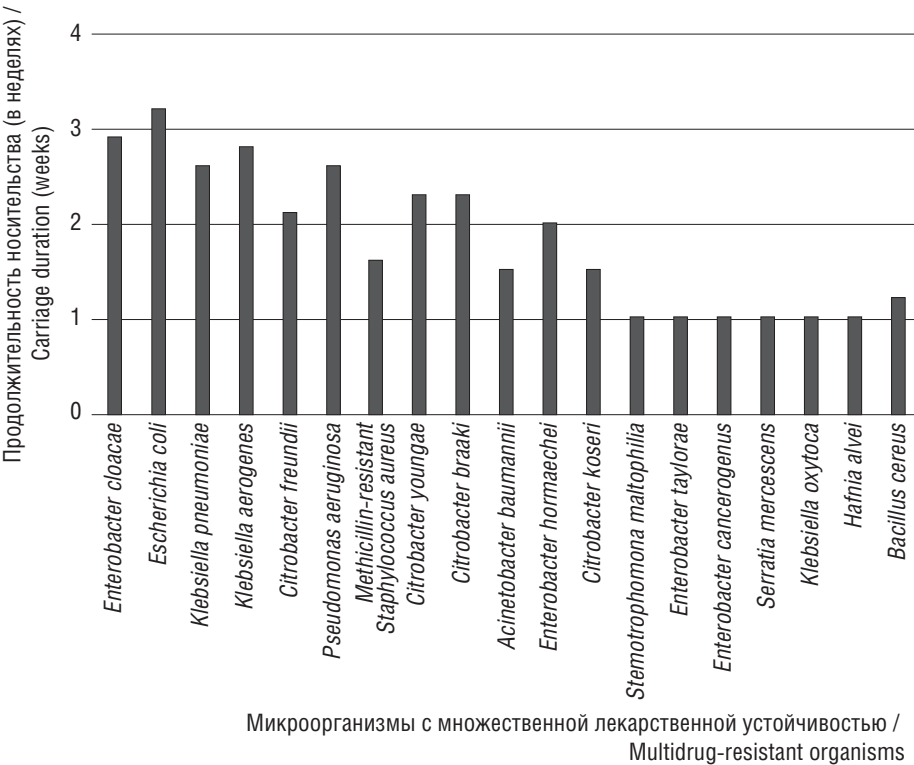


Рис. 3. Средняя продолжительность носительства микроорганизмов разных видов у детей в отделении реанимации и интенсивной терапии [14]

Fig. 3. Average duration of carriage of microorganisms of different species in the intensive care unit [14]

его распространению. Так, в одном из исследований микробиоты носоглотки здоровых детей, проведенном в Российской Федерации, *B. cereus* был обнаружен у 25% обследованных детей от 3 до 4 лет, у 68,8% детей 5–7 лет и у 51%

детей 8–12 лет [62]. Его споры высокоустойчивы к действию физических и химических факторов, включая ультрафиолетовое излучение, высушивание и действие многих дезинфектантов. Это обуславливает широкую контаминацию

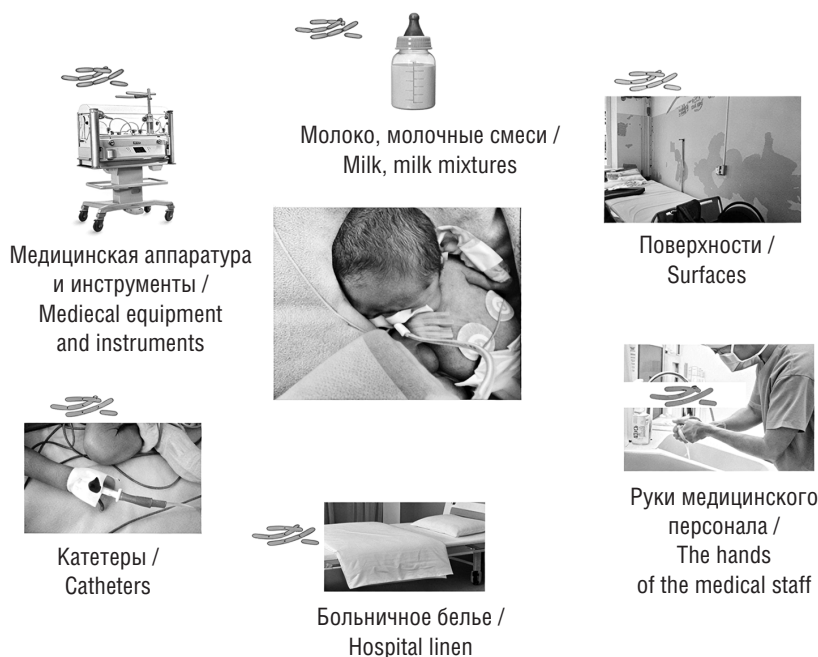


Рис. 4. Источники инфицирования новорожденных *B. cereus* (рисунок авторов)

Fig. 4. Sources of *B. cereus* infection in newborns (drawing by the authors)

больничной среды спорами [63]. Споры бацилл обнаруживаются практически во всех объектах больничной среды и медицинских девайсах. К ним относятся системы вентиляции воздуха [64], оборудование для бронхоскопии [65], постельное белье [63], медицинские перчатки [66], руки персонала [67], внутривенные катетеры [12], антисептические растворы [68], пищевые продукты, растворы для парентерального питания, грудное молоко и пищевые продукты. Так, уникальным, на наш взгляд, является случай бактериемии в одной из больниц Японии, вызванной *B. cereus* у 17-летней девушки с острым лимфобластным лейкозом, причиной которой стало употребление чая [69] из чайных пакетиков, в которых при микробиологическом исследовании был выявлен *B. cereus* [58]. Из-за широкого распространения спор в пыли, воде и больничной среде *B. cereus* обычно считается контаминантом при выделении этого микроорганизма из клинического материала пациентов, а его роль в этиологии тяжелой патологии, как правило, ставится под сомнение или не рассматривается. В то же время становится несомненной этиологическая роль *B. cereus* в возникновении ряда внутрибольничных вспышек среди госпитализированных пациентов с ослабленным иммунитетом и новорожденных [58].

Таким образом, несмотря на широкое распространение *B. cereus* в абиотической среде, выделение этого микроорганизма из любого биоматериала, в первую очередь из крови, может говорить о его этиологической роли в инвазивной патологии. И поэтому лабораториям клинической микробиологии крайне важно информировать клиницистов и эпидемиологов о каждом случае выделения *B. cereus* из патологического материала. Это позволит своевременно назначить адекватную эмпирическую терапию и повысить эффективность противоэпидемических мероприятий.

Все изоляты *B. cereus* необходимо направлять в молекулярно-биологическую лабораторию для определения клонального родства штаммов с целью установления источника инфицирования. К сожалению, в большинстве детских многопрофильных стационаров РФ нет координированного взаимодействия врачей бактериологических лабораторий, эпидемиологов и клиницистов, а также отсутствует необходимое оборудование для молекулярно-генетических исследований, что приводит к невозможности определения идентичности штаммов *B. cereus* из объектов окружающей среды и биоматериала пациентов. Показательным является молекулярно-эпидемиологическое исследование 10 случаев бактериемии у недоношенных новорожденных, проведенное в период с 2018 по 2023 гг. [70]. При помощи полногеномного секвенирования авторы показали, что 10 клинических штаммов принадлежали к 10 различным сиквенстипам, а штаммы из окружающей среды — к 18. При этом два штамма из окружающей среды, вызвавшие бактериемию, были идентичны штаммам, выделенным в медицинских кабинетах, а пять — штаммам, выделенным в раздевалке для медицинских сестер.

Тяжелые инфекции могут возникать у всех детей, однако наиболее часто страдают дети из групп риска, особенно пациенты с онкогематологическими заболеваниями. Нейтропения, индуцированная химиотерапией, повреждение слизистых оболочек и наличие устанавливаемых на длительное время центральных венозных катетеров, безусловно, предрасполагают к развитию инфекции [1, 21]. Инвазивным инфекциям наиболее подвержены также пациенты с иммунодефицитами, дети после обширных хирургических вмешательств, ожогов, травм и пациенты с врожденными пороками развития. Основные источники инфицирования новорожденных детей представлены на рисунке 4.

ПАТОГЕНЕЗ И КЛИНИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ИНВАЗИВНЫХ ИНФЕКЦИЙ У ДЕТЕЙ

Патогенез инвазивной инфекции представляет собой сложный процесс взаимодействия факторов вирулентности *B. cereus* с иммунной системой организма ребенка. В зависимости от состояния иммунитета могут развиваться локальные и системные воспалительные процессы. Споры и вегетативные клетки возбудителя проникают через поврежденные кожные покровы и слизистые оболочки (место катетеризации, эндотрахеальная трубка и др.) при аспирации и через ротовую полость. Благодаря продукции возбудителем многочисленных ферментов происходит локальное повреждение тканей с развитием местного воспаления. Затем за счет бактериальной транслокации микроорганизмы проникают в лимфу и кровяное русло, где часть бактериальных клеток разрушается, а часть распространяется по организму, попадая в различные внутренние органы. Системная диссеминация сопровождается массивным выбросом токсинов, что приводит к повреждению эндотелия, гемолизу, нарушению коагуляции и полиорганной недостаточности. При проникновении через гематоэнцефалический барьер развивается менингоэнцефалит, характеризующийся обширным некрозом ткани мозга и высокой летальностью. Патологические процессы, вызываемые *B. cereus* у детей, представлены на рисунке 5.

Неонатальный сепсис — это критическое, крайне тяжелое состояние, угрожающее жизни новорожденных. Частота неонатального сепсиса среди новорожденных составляет от 4,5 до 9,7% и увеличивается по мере снижения гестационного возраста и массы тела [17, 71]. Септицемия, вызванная *B. cereus*, составляет примерно 2% всех случаев бактериемии или фунгемии, однако число случаев тяжелых инфекций сильно занижено и не зарегистрировано документально [29, 61]. Эта патология, ассоциированная с *B. cereus*, является наиболее частой формой инвазивной инфекции у ослабленных детей и характеризуется острым началом, высокой лихорадкой, системным воспалительным ответом, сопровождающимся выбросом цитокинов.

Отличительной чертой сепсиса, вызванного *B. cereus*, является развитие геморрагического синдрома с петехиальной сыпью и внутрисосудистого гемолиза вследствие действия цереолизина и других токсинов возбудителя [72]. Сепсис данной этиологии встречается достаточно редко [13] и характеризуется чаще всего молниеносным, с быстрым развитием септического шока и полиорганной недостаточности, течением. Так, в Японии из 12 описанных смертельных случаев сепсиса у четырех больных с острым лейкозом он был вызван *B. cereus* [72].

Восемь случаев сепсиса у недоношенных новорожденных, вызванного *B. cereus*, описаны в Шанхайской детской больнице с января 2015 г. по декабрь 2019 г. Один из случаев закончился летальным исходом [17]. Септицемия, вызванная *B. cereus*, у недоношенных детей нередко протекает в тяжелой форме и заканчивается летально, при этом у таких пациентов возможно развитие неврологической симптоматики. В связи с этим у новорожденных с неонатальным сепсисом, особенно с симптомами поражения центральной нервной системы, в частности при развитии геморрагического менингоэнцефалита [73], обязательно проводить микробиологическое исследование ликвора с целью обнаружения *B. cereus*.

Течение неонатального сепсиса, вызванного *B. cereus*, может осложняться абсцессом головного мозга. Так, в Польше [13] был описан случай развития абсцесса головного мозга у недоношенного младенца весом 730 г, родившегося на 27-й неделе беременности и находившегося на лечении в течение 140 дней. Пациенту назначили курс адекватной антимикробной терапии, после которого его выписали из больницы в удовлетворительном состоянии.

Предрасполагает к развитию сепсиса наличие у ребенка коморбидного состояния, а также длительная химиотерапия. В эту группу риска, как было отмечено выше, входят дети с онкологическими заболеваниями крови. Заслуживает особого внимания смертельный случай сепсиса у 15-летней девочки, страдающей острым лимфобластным лейкозом,

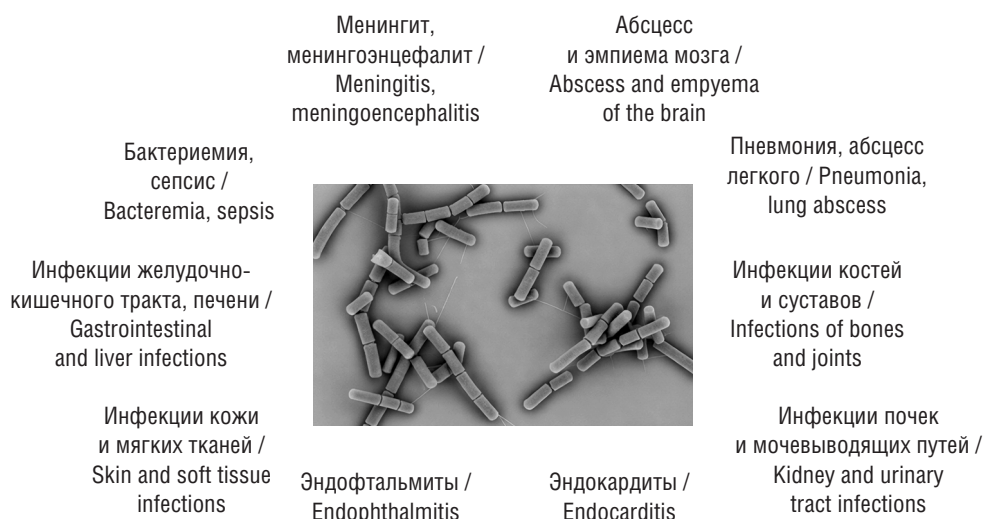


Рис. 5. Инфекции, вызываемые *B. cereus*, у новорожденных (рисунок авторов)

Fig. 5. Sources of *B. cereus* infection in newborns (drawing by the authors)

поступившей в одну из тайваньских больниц с лихорадкой [74]. После выявления в моче *Escherichia coli* ($>10^5$ колоний/мл), чувствительной к ампициллину, гентамицину и цефепиму, был назначен цефепим, на фоне применения которого состояние пациентки не улучшилось. Позднее развились угнетение мозговой деятельности, носовое кровотечение и отек легких. Назначенная эмпирическая терапия, включавшая меропенем, ванкомицин, ацикловир и флуканазол, оказалась неэффективной, и пациентка умерла через два дня после появления симптомов септического шока. В крови больной был выявлен *B. cereus*, идентификацию которого осуществили при помощи рутинных микробиологических методик, подтвержденных секвенированием 16S рибосомальной РНК [74].

Таким образом, особенностью сепсиса, вызванного *B. cereus*, является частая диссеминация возбудителя в мозговые оболочки и ткани мозга с развитием менингита, менингоэнцефалита, абсцессов и некроза [2]. В случаях менингита, возникающего у пациентов с нейтропенией, лабораторные показатели могут быть изменены незначительно [75], что затрудняет своевременную диагностику. У таких детей часто развивается фатальная форма инфекции [15, 20]. Клиническая картина может не отличаться от менингита другой этиологии, однако для *B. cereus* характерно крайне агрессивное течение с быстрым формированием обширных участков некроза мозговой ткани, внутримозговых кровоизлияний и формированием абсцессов, возможно возникновение субдуральной эмпиемы, сопровождающейся скоплением гноя в оболочках мозга [76].

Менингоэнцефалит новорожденных, вызванный *B. cereus*, встречается редко, однако в большинстве случаев инфекция приводит к летальному исходу из-за обширного повреждения и некроза инфицированных тканей, вызванных токсинами, вырабатываемыми *B. cereus*. Поражение мозга *B. cereus* у недоношенных детей клинически протекает тяжело с частым развитием абсцессов [77]. К предрасполагающим факторам относятся васкулит, спазм сосудов, гидроцефалия, часто наблюдаемые у недоношенных детей [73].

Bacillus cereus может вызывать тяжелые поражения мозга и у детей среднего возраста. В литературе описан случай развития множественных абсцессов головного мозга у 8-летнего мальчика, проходившего химиотерапию в связи с острым лимфобластным лейкозом [78]. Уровень смертности при абсцессах головного мозга, вызванных *B. cereus*, высок и составляет 42% [78].

Не менее тяжелое течение имеет поражение дыхательной системы, вызванное *Bacillus cereus*. Описан смертельный случай быстро прогрессирующей некротической пневмонии, вызванной *B. cereus*, у ребенка, родившегося на 26-й неделе беременности, при этом инфекция носила внутрибольничный характер [79]. Некротические изменения в легких при минимальных признаках воспаления, обнаруженные при вскрытии, позволили предположить преимущественную роль токсинов возбудителя. К другим тяжелым

инфекциям, вызываемым *Bacillus cereus*, следует отнести эндокардиты, эндофталмиты, инфекции кожи и мягких тканей, костей и внутриутробные инфекции. В Китае описан лабораторно подтвержденный случай внутриутробной гибели плода на 17-й неделе беременности, связанной с острым хориоамнионитом. Бактериологическое исследование материнской крови и тканей плаценты позволило выявить *B. cereus* [80]. В клинике Сямэньского университета (Китай) в 2025 г. был выявлен случай острой внутриматочной инфекции после процедуры амниоцентеза. Через 27 часов после процедуры у матери развился септический шок, диссеминированное внутрисосудистое свертывание, и наступила смерть плода. Микробиологический анализ образцов плаценты, тканей плода и крови матери также выявил *B. cereus*, что подтвердило его роль в развитии внутриутробной инфекции [81]. Крайне настороженно нужно относиться к любым клиническим проявлениям со стороны кожных покровов ребенка. Начинаясь как локальный процесс, инфекции кожи и мягких тканей у детей с низкой массой тела могут быстро прогрессировать с развитием мионекроза, фасциита и целлюлита [82], ввиду чего клиницисты должны помнить о возможности молниеносного течения этой патологии у таких детей и назначать своевременную терапию.

Экзогенный эндофталмит, вызванный *B. cereus*, обычно возникает после травмы глаза и составляет 5,1–18,5% случаев посттравматического эндофталмита. В исследовании, проведенном в Китае, показано, что 20% детей до 10 лет с этой патологией получили травму бамбуковыми палочками, используемыми для приема пищи [83]. Воспаление внутренних оболочек глазного яблока может иметь и эндогенное происхождение, возникая в результате гематогенного заноса *B. cereus* в ткани глаза. Эндофталмит, ассоциированный с *B. cereus*, является тяжелой, быстро прогрессирующей инфекцией. Это обусловлено действием широкого спектра ферментов вирулентности *B. cereus*, разрушающих ткани макроорганизма [84], а также с наличием у возбудителя пилей, обуславливающих адгезию и взаимодействие с рецепторами врожденного иммунитета [85]. Эндокардит, вызванный *B. cereus*, встречается редко. Наибольшая вероятность попадания бацилл в кровяное русло наблюдается при хирургических вмешательствах (при протезировании сердечных клапанов). Чаще всего *B. cereus* поражает аортальный клапан, реже — митральный и трикуспидальный [86].

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ *BACILLUS CEREUS*

Таким образом, обнаружение *B. cereus* в любом виде клинического материала нельзя расценивать как контаминацию. Современная лаборатория клинической микробиологии детского многопрофильного стационара должна располагать полным арсеналом методов выявления и идентификации этого патогена. К таким методам относятся классические микробиологические методики, включающие

Таблица 2. Методы выявления и идентификации *B. cereus***Table 2.** Methods of identification and identification of *B. cereus*

Метод / Method	Решаемые задачи / Tasks to be solved
Микроскопия / Microscopy	Выявление грамположительных бацилл со спорами в исследуемом материале / Detection of gram-positive bacilli with spores in the test material
Культуральное исследование / Cultural research	Выделение чистой культуры <i>B. cereus</i> , идентификация, определение чувствительности к антимикробным препаратам / Isolation of a pure culture of <i>B. cereus</i> , identification, and determination of susceptibility to antimicrobial drugs
Масс-спектрометрия / Mass spectrometry	Идентификация по белковому спектру, точная дифференциация внутри группы, определение токсинов / Identification by protein spectrum, precise differentiation within a group, and determination of toxins
Полимеразная цепная реакция / Polymerase chain reaction	Выявление генов вирулентности (токсинообразования) / Identification of virulence genes (toxin formation)
Полногеномное секвенирование (16S РНК) / Whole Genome Sequencing (16S RNA)	Выявление генов вирулентности, характеристика резистомы, определение клонального родства штаммов / Identification of virulence genes, characterization of the resistome, and determination of the clonal relationship of strains
Биосенсорные тесты / Biosensory tests	Использование моноклональных антител, выявляющих различные антигены <i>B. cereus</i> , быстрая диагностика на месте оказания медицинской помощи / Use of monoclonal antibodies that detect various <i>B. cereus</i> antigens, rapid on-site diagnosis
Иммунохроматографические тесты (рис. 6) [29] / Immunochromatographic tests (Fig. 6) [29]	Выявление токсинов / Detection of toxins
Химические методы (жидкостная хроматография) / Chemical methods (liquid chromatography)	Количественное определение токсинов / Quantitative determination of toxins

Таблица составлена авторами / The table is prepared by the authors

микроскопию и культуральное исследование, масс-спектрометрия, а также молекулярно-генетические методы, позволяющие выявить факторы вирулентности, генетическое родство штаммов и установить источник инфекции. Основные методы выявления и идентификации *B. cereus* представлены в таблице 2. Иммунохроматографические тесты для выявления токсинов *B. cereus* изображены на рисунке 6.

ЛЕЧЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИКА

Выбор антибиотикотерапии при инвазивных инфекциях, вызванных *B. cereus*, представляет определенные трудности в связи с природной и приобретенной резистентностью патогена. *B. cereus* обладает хромосомными бета-лактамазами, что делает его резистентным к пенициллинам и цефалоспорином I–IV поколений [87]. Назначение этих препаратов в качестве эмпирической терапии недопустимо. Для терапии тяжелых инфекций, вызванных *B. cereus*, применяются ванкомицин, гентамицин, линезолид, левофлоксацин и клиндамицин. Для эмпирической терапии возможно применение даптомицина и тигециклина [86].

Согласно данным исследований, проведенных в США, изоляты *B. cereus* сохраняют чувствительность к клиндамицину, ципрофлоксацину, эритромицину и левофлоксацину, устойчивых штаммов к которым не было выявлено. Процент изолятов, устойчивых к гентамицину, составлял 8%, линезолиду — 2%, рифампицину — 8%, тетрациклину — 4% и ванкомицину — 2% [87]. Применение карбапенемов не всегда эффективно ввиду резистентности некоторых изолятов к ним [87–89]. Лечение бактериемии, вызванной

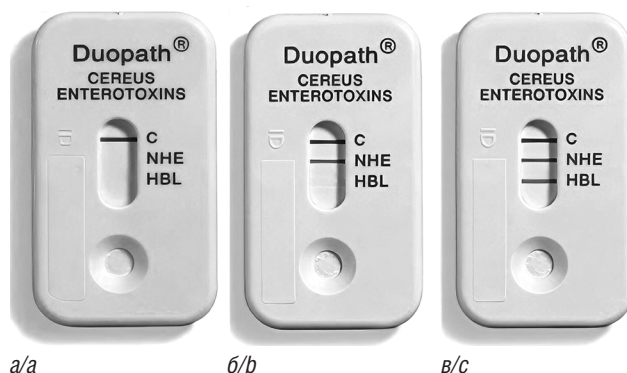


Рис. 6. Иммунохроматографические тесты для выявления токсинов *B. cereus*: а — токсинов не выявлено; б — обнаружен негемолитический энтеротоксин; в — обнаружены негемолитический энтеротоксин и гемолизин BL [29]

Fig. 6. Immunochromatographic tests for the detection of *B. cereus* toxins: а — no toxins were detected; б — non-hemolytic enterotoxin was detected; в — non-hemolytic enterotoxin and hemolysin BL were detected [29]

B. cereus, предусматривает незамедлительное внутривенное введение ванкомицина, эффективность которого была доказана многими исследованиями [90]. Стандартных рекомендаций по лечению инфекций центральной нервной системы, вызванных *B. cereus*, не существует, в то же время описана высокая эффективность комбинации ванкомицина и ципрофлоксацина [91] (применение последнего у детей ограничено). Учитывая появление приобретенной резистентности к антимикробным препаратам, определение чувствительности выделенных изолятов *B. cereus* является

основополагающим для обоснования эмпирической терапии тяжелых инфекций. К общим принципам лечения стоит отнести раннее начало эмпирической терапии и ее адекватную продолжительность, коррекцию иммунного статуса ребенка, удаление инфицированных катетеров и хирургическую санацию очагов инфекции.

Профилактика внутрибольничных инфекций, вызванных *B. cereus*, включает строгое соблюдение противоземидемического режима, предусматривающего уборку больничных помещений, использование дезинфектантов, активных в отношении спор *B. cereus*, строгое соблюдение правил асептики при установке и уходе за сосудистыми катетерами, использование стерильных растворов для парентерального питания и инфузий, изоляцию детей, в кале которых обнаружены *B. cereus*, а также контроль за системами вентиляции и кондиционирования воздуха. Особое внимание уделяется изоляции детей. Для этого применяется протокол изоляции второго уровня (так называемый спорный протокол) — вокруг ребенка-носителя *B. cereus* создается зона ограниченного доступа, используется одноразовый халат с длинными рукавами и одноразовые виниловые перчатки, а окружающее пространство дважды в день обрабатывается спороцидным средством на основе перекиси водорода [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Bacillus cereus — это признанный во всем мире крайне опасный оппортунистический патоген, способный вызывать молниеносные и фатальные инвазивные инфекции у детей. Повсеместное распространение и широкий спектр факторов вирулентности этого микроорганизма определяет множество источников инфицирования детей и многообразие тяжелой патологии с полиорганными поражениями и высокой летальностью. Особенно опасны инфекции кровотока и поражения центральной нервной системы, являющиеся абсолютными показаниями к назначению адекватной эмпирической терапии, протоколы которой должны регулярно пересматриваться ввиду возможной резистентности изолятов *B. cereus* к антимикробным препаратам.

Крайне важным представляется тесная взаимосвязь клиницистов, эпидемиологов и врачей лаборатории клинической микробиологии в рамках стратегии контроля антимикробной терапии в многопрофильных детских стационарах. Для эффективной борьбы с тяжелыми инфекциями у детей необходимо расширение арсенала методов идентификации *Bacillus cereus* с обязательным включением в схемы исследования молекулярно-биологических методик, позволяющих определить клональное родство штаммов, источники инфекции, детерминанты резистентности и вирулентности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Д.А., Калдыркаев А.И., Феоктистова Н.А., Алешкин А.В. Идентификация бактерий *Bacillus cereus* на основе их фенотипической характеристики. Ульяновск: НИИЦМиБ УлГСХА им. П.А. Столыпина; 2013. 98 с.

В настоящее время нельзя недооценивать патогенный потенциал *Bacillus cereus*, его резистом и роль в развитии тяжелых инвазивных инфекций, продолжающих оставаться серьезной проблемой для педиатрических стационаров и особенно для отделений реанимации и интенсивной терапии и онкогематологических отделений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Д.П. Гладин — идея и концепция статьи, общее руководство, написание финального текста обзора; И.А. Баранов — разработка инфографики, системный поиск литературы; Н.С. Козлова — редактирование текста и таблиц статьи; Е.С. Зубарева — работа с литературой, подбор рисунков и создание иллюстративного материала; А.Ю. Пырх — подготовка списка литературы и оформление ссылок; Д.А. Гусева — проведение синтеза данных из различных исследований; И.Д. Гладин — проверка текста обзора на логическую непротиворечивость; Е.А. Свиницкая — методология поиска литературы.

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. D.P. Gladin — idea and concept of the article, general guidance, writing the final text of the review; I.A. Baranov — development of infographics, system search for literature; N.S. Kozlova — editing the text and tables of the article; E.S. Zubareva — work with literature, selection of drawings and creation of illustrative material; A.Yu. Pyrkh — preparation of the list of references and design of references; D.A. Guseva — synthesis of data from various studies; I.D. Gladin — checked the text of the review for logical consistency; E.A. Svintsitskaya — methodology of literature search.

All the authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

Conflict of interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

Vasiliev D.A., Kaldyrkaev A.I., Feoktistova N.A., Alyoshkin A.V. Identification of *Bacillus cereus* bacteria based on their phenotypic characteristics. Ulyanovsk: NIITSMiB UIGSHA named after P.A. Stolypin; 2013. 98 p. (In Russ.).

2. Lotte R., Chevalier A., Boyer L., Ruimy R. *Bacillus cereus* Invasive Infections in Preterm Neonates: an Up-to-Date Review of the Literature. *Clin Microbiol Rev.* 2022;35(2):e0008821. <https://doi.org/10.1128/cmr.00088-21>.
3. Hough I., Young K.L., Ang J., Arora H. *Bacillus cereus* Septic Arthritis in a Two-year-old Male. *Pediatr Infect Dis J.* 2025;44(5):e188–e189. <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000004717>.
4. McDowell R.H., Sands E.M., Friedman H. *Bacillus Cereus*. 2023 Jan 23. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
5. Glasset B., Herbin S., Granier S.A. et al. *Bacillus cereus*, a serious cause of nosocomial infections: Epidemiologic and genetic survey. *PLoS One.* 2018;13(5):e0194346. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194346>.
6. Chen H., Verplaetse E., Jauslin T. et al. The fate of Bacteria of the *Bacillus cereus* Group in the Amoeba Environment. *Microb Ecol.* 2022;83(4):1088–104. <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01828-2>.
7. Zhang W., Ma C., Hu L. et al. Late-onset sepsis in newborns caused by *Bacillus Cereus*: a case report and literature review. *Ann Clin Microbiol Antimicrob.* 2024;23(1):66. <https://doi.org/10.1186/s12941-024-00712-4>.
8. Ryu J.H., Beuchat L.R. Biofilm formation and sporulation by *Bacillus cereus* on a stainless steel surface and subsequent resistance of vegetative cells and spores to chlorine, chlorine dioxide, and a peroxyacetic acid-based sanitizer. *J Food Prot.* 2005;68(12):2614–2622. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-68.12.2614>.
9. Ikram S., Heikal A., Finke S. et al. *Bacillus cereus* biofilm formation on central venous catheters of hospitalised cardiac patients. *Biofouling.* 2019;35(2):204–216. <https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1586889>.
10. Okutani A., Okugawa S., Fujimoto F. et al. Genetic diversity and virulence of *Bacillus cereus* group isolates from bloodstream infections. *Microbiol Spectr.* 2025;13(3):e0240724. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02407-24>.
11. Fiedler G., Schneider C., Igbino E.O. et al. Antibiotics resistance and toxin profiles of *Bacillus cereus*-group isolates from fresh vegetables from German retail markets. *BMC Microbiol.* 2019;19(1):250. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1632-2>.
12. Hernaiz C., Picardo A., Alos J.I., Gomez-Garcia J.L. Nosocomial bacteremia and catheter infection by *Bacillus cereus* in an immunocompetent patient. *Clin Microbiol Infect.* 2003;9(9):973–975. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0691.2003.00682.x>.
13. Pawlik D., Lisowska-Miszczuk I., Radziszewska R. et al. Zakazenie *Bacillus cereus* u noworodka z niewiarygodnie mala urodzeniowa masa ciala [A case of sepsis in ILBW infant caused by *Bacillus cereus*]. *Med Wieku Rozwoj.* 2009;13(1):40–44. (In Polish).
14. Camphuis M.A., Vincent M., Dauwalder O. et al. Multidrug-resistant Organisms and *Bacillus cereus* Colonization in a Neonatal Intensive Care Unit: A Cohort Study. *Pediatr Infect Dis J.* 2025;44(8):798–803. <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000004773>.
15. Tönnies H., Heep A., Herrmann J. et al. Investigating environmental transmission to resolve a *Bacillus cereus* group outbreak in a neonatal intensive care unit using core genome multilocus sequence typing. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2024;13(1):1. <https://doi.org/10.1186/s13756-023-01359-0>.
16. Peláez Bejarano A., García de Lomas J.M., Franco-Huertas M. et al. Successful treatment of postsurgical meningitis caused by *Bacillus cereus*: a case report and literature review. *J Chemother.* 2023;35(6):570–575. <https://doi.org/10.1080/1120009X.2022.2153317>.
17. Li N., Shen Y., Gong X. et al. Clinical features, management, and prognosis of *Bacillus cereus* sepsis in premature neonates. *Medicine (Baltimore).* 2023;102(28):e34261. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000034261>.
18. Hall K.K., Lyman J.A. Updated review of blood culture contamination. *Clin Microbiol Rev.* 2006;19(4):788–802. <https://doi.org/10.1128/CMR.00062-05>.
19. Carroll L.M., Cheng R.A., Wiedmann M., Kovac J. Keeping up with the *Bacillus cereus* group: taxonomy through the genomics era and beyond. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2022;62(28):7677–7702. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1916735>.
20. Carroll L.M., Matle I., Kovac J. et al. Laboratory Misidentifications Resulting from Taxonomic Changes to *Bacillus cereus* Group Species, 2018–2022. *Emerg Infect Dis.* 2022;28(9):1877–1881. <https://doi.org/10.3201/eid2809.220293>.
21. Маринин Л.И., Шишкова Н.А., Хлопова К.В. и др. Опасные патогены из группы *Bacillus cereus* complex. *Бактериология.* 2023;8(4):67–75. <https://doi.org/10.20953/2500-1027-2023-4-67-75>.
22. Guinebretière M.H., Auger S., Galleron N. et al. *Bacillus cytotoxicus* sp. nov. is a novel thermotolerant species of the *Bacillus cereus* Group occasionally associated with food poisoning. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2013;63(1):31–40. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.030627-0>.
23. Okinaka R.T., Keim P. The Phylogeny of *Bacillus cereus* sensu lato. *Microbiol Spectr.* 2016;4(1). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.TBS-0012-2012>.
24. Gupta R.S., Patel S., Saini N., Chen S. Robust Demarcation of 17 Distinct *Bacillus* Species Clades, Proposed as Novel *Bacillaceae* Genera, by Phylogenomics and Comparative Genomic Analyses: Description of *Robertmurraya kyonggiensis* sp. Nov. and Proposal for an Emended Genus *Bacillus* Limiting It Only to the Members of the *Subtilis* and *Cereus* Clades of Species. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2020;70:5753–5798. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004475>.
25. Nikolaidis M., Hesketh A., Mossialos D. et al. A Comparative Analysis of the Core Proteomes within and among the *Bacillus subtilis* and *Bacillus cereus* Evolutionary Groups Reveals the Patterns of Lineage- and Species-Specific Adaptations. *Microorganisms.* 2022;10(9):1720. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091720>.
26. Guinebretière M.H., Thompson F.L., Sorokin A. et al. Ecological diversification in the *Bacillus cereus* Group. *Environ Microbiol.* 2008;10(4):851–865. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01495.x>.

27. Liu Y., Lai Q., Göker M. et al. Genomic insights into the taxonomic status of the *Bacillus cereus* group. *Sci Rep.* 2015;5:14082. <https://doi.org/10.1038/srep14082>.
28. Okinaka R.T., Keim P. The phylogeny of *Bacillus cereus sensu lato*. In: *The Bacterial Spore: From Molecules to Systems*. ASM: Washington, DC, USA; 2016. P. 237–251. <https://doi.org/10.1128/9781555819323.ch12>.
29. Ramarao N., Tran S.L., Marin M., Vidic J. Advanced Methods for Detection of *Bacillus cereus* and Its Pathogenic Factors. *Sensors (Basel)*. 2020;20(9):2667. <https://doi.org/10.3390/s20092667>.
30. Ehling-Schulz M., Lereclus D., Koehler T.M. The *Bacillus cereus* Group: *Bacillus* Species with Pathogenic Potential. *Microbiol Spectr.* 2019;7(3):10.1128/microbiolspec.gpp3-0032-2018. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.GPP3-0032-2018>.
31. Chon J.W., Song K.Y., Kim H., Seo K.H. Comparison of 3 selective media for enumeration of *Bacillus cereus* in several food matrices. *J Food Sci.* 2014;79(12):M2480–4. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12594>.
32. Vilas-Boas G., Sanchis V., Lereclus D. et al. Genetic differentiation between sympatric populations of *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis*. *Appl Environ Microbiol.* 2002;68(3):1414–1424. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.3.1414-1424.2002>.
33. Bottone E.J. *Bacillus cereus*, a volatile human pathogen. *Clin Microbiol Rev.* 2010;23(2):382–398. <https://doi.org/10.1128/CMR.00073-09>.
34. Candela T., Fagerlund A., Buisson C. et al. CalY is a major virulence factor and a biofilm matrix protein. *Mol Microbiol.* 2019;111(6):1416–1429. <https://doi.org/10.1111/mmi.14184>.
35. Caro-Astorga J., Pérez-García A., de Vicente A., Romero D. A genomic region involved in the formation of adhesin fibers in *Bacillus cereus* biofilms. *Front Microbiol.* 2015;5:745. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00745>.
36. Fricke B., Drössler K., Willhardt I. et al. The cell envelope-bound metalloprotease (camelysin) from *Bacillus cereus* is a possible pathogenic factor. *Biochim Biophys Acta.* 2001;1537(2):132–146. [https://doi.org/10.1016/S0925-4439\(01\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0925-4439(01)00066-7).
37. Grass G., Schierhorn A., Sorkau E. et al. Camelysin is a novel surface metalloproteinase from *Bacillus cereus*. *Infect Immun.* 2004;72(1):219–228. <https://doi.org/10.1128/IAI.72.1.219-228.2004>.
38. Kotiranta A., Haapasalo M., Kari K. et al. Surface structure, hydrophobicity, phagocytosis, and adherence to matrix proteins of *Bacillus cereus* cells with and without the crystalline surface protein layer. *Infect Immun.* 1998;66(10):4895–4902. <https://doi.org/10.1128/IAI.66.10.4895-4902.1998>.
39. Kotiranta A., Lounatmaa K., Haapasalo M. Epidemiology and pathogenesis of *Bacillus cereus* infections. *Microbes Infect.* 2000;2(2):189–198. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(00\)00269-0](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(00)00269-0).
40. Haydar A., Tran S.L., Guillemet E. et al. InhA1-Mediated Cleavage of the Metalloprotease NprA Allows *Bacillus cereus* to Escape From Macrophages. *Front Microbiol.* 2018;9:1063. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01063>.
41. Dietrich R., Jessberger N., Ehling-Schulz M. et al. The Food Poisoning Toxins of *Bacillus cereus*. *Toxins (Basel)*. 2021;13(2):98. <https://doi.org/10.3390/toxins13020098>.
42. Abfalter C.M., Schöner E., Ponnuraj K. et al. Purification and Characterization of the Collagenase ColA Expressed by *Bacillus cereus* ATCC 14579. *PLoS One.* 2016;11(9):e0162433. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162433>.
43. Kuppe A., Evans L.M., McMillen D.A., Griffith O.H. Phosphatidylinositol-specific phospholipase C of *Bacillus cereus*: cloning, sequencing, and relationship to other phospholipases. *J Bacteriol.* 1989;171(11):6077–6083. <https://doi.org/10.1128/jb.171.11.6077-6083.1989>.
44. Omer H., Alpha-Bazin B., Brunet J.L. et al. Proteomics identifies *Bacillus cereus* EntD as a pivotal protein for the production of numerous virulence factors. *Front Microbiol.* 2015;6:1004. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01004>.
45. Wilson M.K., Abergel R.J., Raymond K.N. et al. Siderophores of *Bacillus anthracis*, *Bacillus cereus*, and *Bacillus thuringiensis*. *Biochem Biophys Res Commun.* 2006;348(1):320–325. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.07.055>.
46. Agata N., Mori M., Ohta M. et al. A novel dodecadepsipeptide, cereulide, isolated from *Bacillus cereus* causes vacuole formation in HEp-2 cells. *FEMS Microbiol Lett.* 1994;121(1):31–34. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1994.tb07071.x>.
47. Granum P.E., O'Sullivan K., Lund T. The sequence of the non-haemolytic enterotoxin operon from *Bacillus cereus*. *FEMS Microbiol Lett.* 1999;177(2):225–229. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13736.x>.
48. Ryan P.A., Macmillan J.D., Zilinskas B.A. Molecular cloning and characterization of the genes encoding the L1 and L2 components of hemolysin BL from *Bacillus cereus*. *J Bacteriol.* 1997;179(8):2551–2556. <https://doi.org/10.1128/jb.179.8.2551-2556.1997>.
49. Lapidus A., Goltsman E., Auger S. et al. Extending the *Bacillus cereus* group genomics to putative food-borne pathogens of different toxicity. *Chem Biol Interact.* 2008;171(2):236–249. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2007.03.003>.
50. Zheng J., Guan Z., Cao S. et al. Plasmids are vectors for redundant chromosomal genes in the *Bacillus cereus* group. *BMC Genomics.* 2015;16(1):6. <https://doi.org/10.1186/s12864-014-1206-5>.
51. Fagerlund A., Lindbäck T., Storset A.K. et al. *Bacillus cereus* Nhe is a pore-forming toxin with structural and functional properties similar to the ClyA (HlyE, SheA) family of haemolysins, able to induce osmotic lysis in epithelia. *Microbiology (Reading)*. 2008;154(3):693–704. <https://doi.org/10.1099/mic.0.2007/014134-0>.
52. Fox D., Mathur A., Xue Y. et al. *Bacillus cereus* non-haemolytic enterotoxin activates the NLRP3 inflammasome. *Nat Commun.* 2020;11(1):760. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14534-3>.
53. Jeßberger N., Dietrich R., Bock S. et al. *Bacillus cereus* enterotoxins act as major virulence factors and exhibit distinct cytotoxicity to different human cell lines. *Toxicon.* 2014;77:49–57. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2013.10.028>.
54. Liu J., Zuo Z., Sastalla I. et al. Sequential CRISPR-Based Screens Identify LITAF and CDIP1 as the *Bacillus cereus* Hemolysin BL Toxin Host Receptors. *Cell Host Microbe.* 2020;28(3):402–410. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2020.05.012>.
55. Mathur A., Feng S., Hayward J.A. et al. A multicomponent toxin from *Bacillus cereus* incites inflammation and shapes

- host outcome via the NLRP3 inflammasome. *Nat Microbiol.* 2019;4(2):362–374. <https://doi.org/10.1038/s41564-018-0318-0>.
56. Sastalla I., Fattah R., Coppage N. et al. The *Bacillus cereus* Hbl and Nhe tripartite enterotoxin components assemble sequentially on the surface of target cells and are not interchangeable. *PLoS One.* 2013;8(10):e76955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076955>.
57. Lund T., Granum P.E. Comparison of biological effect of the two different enterotoxin complexes isolated from three different strains of *Bacillus cereus*. *Microbiology (Reading).* 1997;143(10):3329–3336. <https://doi.org/10.1099/00221287-143-10-3329>.
58. Guinebretiere M.H., Fagerlund A., Granum P.E., Nguyen-The C. Rapid discrimination of *cytK-1* and *cytK-2* genes in *Bacillus cereus* strains by a novel duplex PCR system. *FEMS Microbiol Lett.* 2006;259(1):74–80. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00247.x>.
59. Ramarao N., Sanchis V. The pore-forming haemolysins of *Bacillus cereus*: a review. *Toxins (Basel).* 2013;5(6):1119–1139. <https://doi.org/10.3390/toxins5061119>.
60. Tran S.L., Guillemet E., Ngo-Camus M. et al. Haemolysin II is a *Bacillus cereus* virulence factor that induces apoptosis of macrophages. *Cell Microbiol.* 2011;13(1):92–108. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2010.01522.x>.
61. Jensen G.B., Hansen B.M., Eilenberg J., Mahillon J. The hidden lifestyles of *Bacillus cereus* and relatives. *Environ Microbiol.* 2003;5(8):631–640. <https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2003.00461.x>.
62. Андриянова И.В. Микробиологическая характеристика микробиоты носоглотки здоровых детей в различных возрастных группах. *Мать и дитя в Кузбассе.* 2023;(2):10–16. <https://doi.org/10.24412/2686-7338-2023-2-10-16>.
- Andrianova I.V. The study of the microbiota of the nasopharynx of healthy children in different age groups by gas chromatography. *Mother and baby in Kuzbass.* 2023;(2):10–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2686-7338-2023-2-10-16>.
63. Barrie D., Hoffman P.N., Wilson J.A., Kramer J.M. Contamination of hospital linen by *Bacillus cereus*. *Epidemiol Infect.* 1994;113(2):297–306. <https://doi.org/10.1017/s0950268800051724>.
64. Bryce E.A., Smith J.A., Tweeddale M. et al. Dissemination of *Bacillus cereus* in an intensive care unit. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 1993;14(8):459–462. <https://doi.org/10.1086/646779>.
65. Richardson A.J., Rothburn M.M., Roberts C. Pseudo-outbreak of *Bacillus* species: related to fiberoptic bronchoscopy. *J Hosp Infect.* 1986;7(2):208–210. [https://doi.org/10.1016/0195-6701\(86\)90068-x](https://doi.org/10.1016/0195-6701(86)90068-x).
66. York M.K. *Bacillus* species pseudobacteremia traced to contaminated gloves used in collection of blood from patients with acquired immunodeficiency syndrome. *J Clin Microbiol.* 1990;28(9):2114–2116. <https://doi.org/10.1128/jcm.28.9.2114-2116.1990>.
67. Motoi N., Ishida T., Nakano I. et al. Necrotizing *Bacillus cereus* infection of the meninges without inflammatory reaction in a patient with acute myelogenous leukemia: a case report. *Acta Neuropathol.* 1997;93(3):301–305. <https://doi.org/10.1007/s004010050618>.
68. Hsueh P.R., Teng L.J., Yang P.C. et al. Nosocomial pseudoepidemic caused by *Bacillus cereus* traced to contaminated ethyl alcohol from a liquor factory. *J Clin Microbiol.* 1999;37(7):2280–2284. <https://doi.org/10.1128/JCM.37.7.2280-2284.1999>.
69. El Saleeby C.M., Howard S.C., Hayden R.T., McCullers J.A. Association between tea ingestion and invasive *Bacillus cereus* infection among children with cancer. *Clin Infect Dis.* 2004;39(10):1536–1539. <https://doi.org/10.1086/425358>.
70. Maalouf E., Tosello B., Schipani S. et al. Environmental investigation of 10 cases of nosocomial *Bacillus cereus* bacteraemia between 2018 and 2023. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2025;14(1):62. <https://doi.org/10.1186/s13756-025-01586-7>.
71. Fleischmann-Struzek C., Goldfarb D.M., Schlattmann P. et al. The global burden of paediatric and neonatal sepsis: a systematic review. *Lancet Respir Med.* 2018;6:223–230.
72. Inoue D., Nagai Y., Mori M. et al. Fulminant sepsis caused by *Bacillus cereus* in patients with hematologic malignancies: analysis of its prognosis and risk factors. *Leuk Lymphoma.* 2010;51(5):860–869. <https://doi.org/10.3109/10428191003713976>.
73. Lequin M.H., Vermeulen J.R., van Elburg R.M. et al. *Bacillus cereus* meningoencephalitis in preterm infants: neuroimaging characteristics. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2005;26(8):2137–2143.
74. Chou Y.L., Cheng S.N., Hsieh K.H. et al. *Bacillus cereus* septicemia in a patient with acute lymphoblastic leukemia: A case report and review of the literature. *J Microbiol Immunol Infect.* 2016;49(3):448–451. <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2013.06.010>.
75. Koizumi Y., Okuno T., Minamiguchi H. et al. Survival of a case of *Bacillus cereus* meningitis with brain abscess presenting as immune reconstitution syndrome after febrile neutropenia — a case report and literature review. *BMC Infect Dis.* 2020;20(1):15. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4753-1>.
76. Gunawan P.I., Kartina L., Puspitasari D., Erny E. Uncommon Pathogen *Bacillus Cereus* Causing Subdural Empyema in a Child. *Ethiop J Health Sci.* 2018;28(1):97–100. <https://doi.org/10.4314/ejhs.v28i1.12>.
77. Samarasekara H., Janto C., Dasireddy V. et al. *Bacillus cereus* bacteraemia complicated by a brain abscess in a pre-term neonate. *Access Microbiol.* 2019;2(2):acmi000080. <https://doi.org/10.1099/acmi.0.000080>.
78. Hansford J.R., Phillips M., Cole C. et al. *Bacillus cereus* bacteremia and multiple brain abscesses during acute lymphoblastic leukemia induction therapy. *J Pediatr Hematol Oncol.* 2014;36(3):e197–201. <https://doi.org/10.1097/MPH.0b013e31828e5455>.
79. Viel-Thériault I., Saban J., Lewis A. et al. A Case of Fulminant *Bacillus cereus* Lung Necrosis in a Preterm Neonate. *Pediatr Dev Pathol.* 2019;22(5):461–464. <https://doi.org/10.1177/1093526619825895>.
80. Shea S., Paniz-Mondolfi A., Sordillo E. et al. Florid *Bacillus cereus* Infection of the Placenta Associated With Intrauterine Fetal Demise. *Pediatr Dev Pathol.* 2021;24(4):361–365. <https://doi.org/10.1177/1093526621999026>.
81. Xu Y., Ji Y., Zheng L. et al. Maternal Septic Shock and Fetal Demise Due to *Bacillus cereus* Infection Following Mid-Trimester Genetic Amniocentesis. *Int J Womens Health.* 2025;17:897–902. <https://doi.org/10.2147/IJWH.S511595>.
82. Viel-Thériault I., Puthattayil Z.B., Ferretti E. Fulminant Necrotizing Soft-tissue Infection in an Extremely Low Gestational Age

- Infant. *Pediatr Infect Dis J.* 2021;40(5):e189–e190. <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000003064>.
83. Zheng J., Lin L., Liao J. et al. Endophthalmitis Caused by *Bacillus cereus*: Clinical Characteristics, Outcomes and Antibiotic Susceptibility. *Antibiotics (Basel)*. 2024;13(7):658. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13070658>.
 84. Beecher D.J., Pulido J.S., Barney N.P., Wong A.C. Extracellular virulence factors in *Bacillus cereus* endophthalmitis: methods and implication of involvement of hemolysin BL. *Infect Immun.* 1995;63(2):632–639. <https://doi.org/10.1128/iai.63.2.632-639.1995>.
 85. Callegan M.C., Parkunan S.M., Randall C.B. et al. The role of pili in *Bacillus cereus* intraocular infection. *Exp Eye Res.* 2017;159:69–76. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2017.03.007>.
 86. Wright W.F. Central Venous Access Device-Related *Bacillus Cereus* Endocarditis: A Case Report and Review of the Literature. *Clin Med Res.* 2016;14(2):109–115. <https://doi.org/10.3121/cmr.2016.1312>.
 87. Mills E., Sullivan E., Kovac J. Comparative Analysis of *Bacillus cereus* Group Isolates' Resistance Using Disk Diffusion and Broth Microdilution and the Correlation between Antimicrobial Resistance Phenotypes and Genotypes. *Appl Environ Microbiol.* 2022;88(6):e0230221. <https://doi.org/10.1128/aem.02302-21>.
 88. Katsuya H., Takata T., Ishikawa T. et al. A patient with acute myeloid leukemia who developed fatal pneumonia caused by carbapenem-resistant *Bacillus cereus*. *J Infect Chemother.* 2009;15(1):39–41. <https://doi.org/10.1007/s10156-008-0654-8>.
 89. Luna V.A., King D.S., Gullledge J. et al. Susceptibility of *Bacillus anthracis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus pseudomycoides* and *Bacillus thuringiensis* to 24 antimicrobials using Sensititre automated microbroth dilution and Etest agar gradient diffusion methods. *J Antimicrob Chemother.* 2007;60(3):555–567. <https://doi.org/10.1093/jac/dkm213>.
 90. Schoenfeld D., Lee D., Arrington J.A. et al. *Bacillus Cereus* bacteremia complicated by brain abscess in a severely immunocompromised patient: Addressing importance of early recognition and challenges in diagnosis. *IDCases.* 2022;29:e01525. <https://doi.org/10.1016/j.idcr.2022.e01525>.
 91. Amila H.V., Ken K., James K., Andrew W. Successful treatment of *Bacillus cereus* group brain abscesses with a combination of high-dose ciprofloxacin and vancomycin. *J Assoc Med Microbiol Infect Dis.* 2017;2(1):64–68. <https://doi.org/10.3138/jammi.2.1.009>.

ОБ АВТОРАХ

* **Дмитрий Павлович Гладин**, канд. мед. наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет; адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; ORCID: 0000-0003-4957-7110; eLibrary SPIN: 8149-9885; e-mail: gladin1975@mail.ru

Илья Андреевич Баранов, аспирант, кафедра микробиологии, вирусологии и иммунологии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-9741-0230; eLibrary SPIN: 9869-5443; e-mail: iliabaranov2001@yandex.ru

Надежда Сергеевна Козлова, канд. мед. наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-6713-4156; eLibrary SPIN: 7914-4401; e-mail: spbkns@gmail.com

Елизавета Сергеевна Зубарева, ассистент, кафедра медицинской биологии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0008-1068-1109; eLibrary SPIN: 5953-9965; e-mail: elizaveta_zubarevas@mail.ru

Александра Юрьевна Пыркх, ассистент, кафедра патологической физиологии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0001-4761-5067; eLibrary SPIN: 3117-3503; e-mail: apyrkh@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Dmitry P. Gladin**, MD, PhD, Associate Professor, Acting Head of the Department of Microbiology, Virology and Immunology, Saint Petersburg State Pediatric Medical University; address: 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russia; ORCID: 0000-0003-4957-7110; eLibrary SPIN: 8149-9885; e-mail: gladin1975@mail.ru

Ilya A. Baranov, Postgraduate Student, Department of the Microbiology, Virology and Immunology, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-9741-0230; eLibrary SPIN: 9869-5443; e-mail: iliabaranov2001@yandex.ru

Nadezhda S. Kozlova, MD, PhD, Associate Professor of the Department of Microbiology, Virology and Immunology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-6713-4156; eLibrary SPIN: 7914-4401; e-mail: spbkns@gmail.com

Elizaveta S. Zubareva, Assistant Professor, Department of the Microbiology, Virology and Immunology, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0008-1068-1109; eLibrary SPIN: 5953-9965; e-mail: elizaveta_zubarevas@mail.ru

Alexandra Yu. Pyrkh, Assistant Professor, Pathological Physiology Department, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0001-4761-5067; eLibrary SPIN: 3117-3503; e-mail: apyrkh@yandex.ru

ОБ АВТОРАХ

Дарья Александровна Гусева, студентка 5-го курса, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия;
ORCID: 0009-0000-8496-666X;
eLibrary SPIN: 3546-9120; e-mail: dashaguseva2015@yandex.ru

Илья Дмитриевич Гладин, студент 5-го курса, Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: Ilya.gladin2303@mail.ru

Екатерина Андреевна Свинцикая, студентка 5-го курса, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия;
ORCID: 0009-0005-1497-5540; e-mail: Ekkaterina4az@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

Darya A. Guseva, 5th-year student,
Saint Petersburg State Pediatric Medical University,
Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0000-8496-666X;
eLibrary SPIN: 3546-9120; e-mail: dashaguseva2015@yandex.ru

Ilya D. Gladin, 5th-year student, Leningrad State University
named after A.S. Pushkin, Saint Petersburg, Russia;
e-mail: Ilya.gladin2303@mail.ru

Ekaterina A. Svintsitskaya, 5th-year student, Saint Petersburg
State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia;
ORCID: 0009-0005-1497-5540; e-mail: Ekkaterina4az@mail.ru