

<https://doi.org/10.23946/2500-0764-2020-5-4-97-103>

АЭРОГЕННЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ БОЛЬНИЧНЫХ ПАТОГЕНОВ

БРУСИНА Е.Б., ЧЕЗГАНОВА Е.А.* , ДРОЗДОВА О.М.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Кемерово, Россия

Резюме

На протяжении десятилетий многие аспекты аэрогенной передачи больничных патогенов были и остаются предметом научных дискуссий. Пандемия COVID 19 со всей очевидностью показала необходимость обобщения современных знаний об аэрогенном механизме передачи возбудителей и поиска ответов на нерешенные вопросы.

Цель обзора – суммировать накопленные результаты исследований о биологических аэрозолях, медицинских технологиях, при которых возможна их генерация, особенностях распространения в больничной среде, закономерностях реализации аэрогенного механизма в зависимости от размера частиц аэрозоля, их формы, морфологического и химического состава, термо-и фотофоретического эффектов, эффекта коагуляции, особенностях распространения облака аэрозолей в больничной среде, содержащихся в нем патогенах и их концентрации.

Заключение. Один из наиболее важных вопросов заключается в том, почему некоторые частицы, выброшенные во время любой дыхательной деятельности, несут патогены, а некоторые – нет. Необходимо уточнить, зависит ли носительство от размера частиц, места заражения, места образования частиц (которое может отличаться от места заражения), концентрации патогена в слизи, изменений

характера слизи, вирулентности самого патогена. Более того, похожи ли частицы, несущие вирус, на частицы, переносящие бактерии и грибы? Зависит ли сохранение резервуара внутрибольничных патогенов от морфологического и химического состава пыли. Эти вопросы имеют первостепенное значение для понимания роли дополнительных резервуаров патогенов в больничной среде, влияния поллютантов внешней среды, современных материалов, применяемых в уходе за пациентами и лечебном процессе, на реализацию воздушно-пылевого пути, роли физиологических ниш, которые патогены занимают в организме человека и во время передачи болезней.

Ключевые слова: больничные патогены, аэрозоль, частицы, аэрогенный механизм передачи.

Конфликт интересов

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

Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Субъекта РФ в рамках научного проекта № 20-415-420004 p_a «Оценка роли пыли угольной промышленности в формировании резервуара мультирезистентных госпитальных штаммов микроорганизмов в больничной среде».

Для цитирования:

Брусина Е.Б., Чезганова Е.А., Дроздова О.М. Аэрогенный механизм передачи больничных патогенов. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2020; 5(4):97-103. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2020-5-4-97-103>

*Корреспонденцию адресовать:

Чезганова Евгения Андреевна, 650056, г. Кемерово, ул. Ворошилова, д.22а, echezganova1994@mail.ru
© Брусина Е.Б. и др.

REVIEW ARTICLES

AIRBORNE TRANSMISSION OF HOSPITAL PATHOGENS

ELENA B. BRUSINA, EVGENIA A. CHEZGANOVA** , OLGA M. DROZDOVA

Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation

English ►

Abstract

For decades, there have been a number of controversial issues regarding the airborne transmission of hospital pathogens. Here we decided to perform a critical review on this topic in light of the current COVID-19 pandemic. We summarise the existing knowledge on biological aerosols including techniques of their generation, propagation of bioaerosol particles in a hospital environment, particle size-, shape- and composition-dependent airborne transmission, and microorganisms inhabiting such particles. It is still unclear which of the particles transfer the pathogens, which of the pathogens are capable of adhering to the particulate matter, and whether such adhesion affects pathogen virulence. Intriguingly, viruses, bacteria and fungi seemingly have distinct patterns of interactions with the bioaerosols. Moreover, particle formation and their colonization may be separated in time, further compli-

cating the puzzle. Apparently, pathogen interactions with the particulate matter are of paramount importance to better understand the role of bioaerosol particles as a potential pathogen reservoir in the hospital environment and to properly assess the influence of environmental pollutants, novel biomedical materials and treatment technologies on airborne transmission of hospital pathogens.

Keywords: hospital pathogens, aerosol, particles, airborne transmission.

Conflict of Interest

None declared.

Funding

The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research and Kemerovo Region, project number № 20-415-420004 «Coal-derived particulate matter as a possible reservoir of multidrug-resistant microorganisms in a hospital environment».

For citation:

Elena B. Brusina, Evgenia A. Chezganova, Olga M. Drozdova. Airborne transmission of hospital pathogens. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2020; 5(4): 97-103. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2020-5-4-97-103>

****Corresponding author:**

Evgenia A. Chezganova, 22a, Voroshilova Street, Kemerovo, Russian Federation, 650056, e-mail: echezganova1994@mail.ru
© Elena B. Brusina et al.

На протяжении десятилетий многие аспекты аэрогенной передачи больничных патогенов были и остаются предметом научных дискуссий [1].

Возрождение интереса к проблеме обеспечения эпидемиологической безопасности воздушной среды обусловлено:

эпидемиями коронавирусных респираторных инфекций (SARS, MERS), пандемией COVID 19 (SARS-CoV-2);

эпидемиями гриппа и туберкулеза;

глобальным распространением мультирезистентных бактерий;

интенсивным развитием медицинских технологий;

технологической насыщенностью операций;

применением новых материалов, влияющих на состав и структуру пылевых частиц, ми-

кробную контаминацию воздуха [2].

Аэрогенный механизм передачи возбудителей инфекций обеспечивает сохранение паразитических видов с основной локализацией в дыхательных путях и реализуется воздушно-капельным и воздушно-пылевым путями передачи в три стадии [3, 4]:

1 стадия – выделение возбудителей из зараженного организма – при дыхании, разговоре, кашле, чихании;

2 стадия – пребывание во внешней среде – в воздухе, где образуется биологический аэрозоль;

3 стадия – внедрение в восприимчивый организм при вдохе.

Аэрозоль представляет собой дисперсную систему, в которой дисперсионной (сплошной) средой является газ, в частности воздух, а дисперсной фазой – твердые или жидкие части-

цы. Различают первичный и вторичный аэрозоль. Аэрозоль имеет капельную, ядрышковую и пылевую фазу. Пыль относится к аэрозолям и представляет собой диспергированные вещества [5].

В ранних исследованиях было установлено, что аэрозольные частицы при нормальном дыхании образуются в результате процессов конденсации [6]. Теплый и влажный газ из альвеолярной области легких поступает в верхние дыхательные пути, где охлаждается до состояния жидкости. Турбулентный высокоскоростной поток воздуха выталкивает жидкость во время выдоха в виде аэрозольных частиц. При разговоре, чихании и кашле аэрозольные частицы выбрасываются с высокой скоростью [7].

Более поздние исследования показали, что образование аэрозольных частиц во время дыхания происходит также из-за повторного открывания просвета мелких бронхов при выдохе [8] и разрыва слизистых пленок, закрывающих их просвет. Во время выдоха эластичные стенки бронхов сокращаются, и слизистая жидкость в просвете образует сплошную пленку, которая может полностью заполнять дыхательные пути. Во время последующего вдоха бронхиолы расширяются, и пленка разрывается, образуя частицы, которые перемещаются в альвеолы и затем выдыхаются [9,10]. Подобный механизм, как полагают, происходит и в гортани во время речи, поскольку голосовые связки многократно смыкаются и открываются при вокализации [11]. При смыкании голосовых связок также образуются слизистые пленки, которые могут разрываться во время последующего размыкания.

Важнейшей характеристикой аэрозоля является размер частиц. В зависимости от этого параметра аэрозоль классифицируют на крупнокапельный (размер частиц 251–400 мкм), мелкокапельный (101–250 мкм), низкодисперсный (26–100 мкм), среднелдисперсный (6–25 мкм) и высокодисперсный (0,5–5 мкм) [5].

Парадигма различий между капельной и ядрышковой фазами (капельным и воздушным путями передачи) основана на ранних исследованиях Wells W.F., который описал осаждение выброшенных частиц как функцию размера, времени и испарения [13] и Hamburger M. et al., оценивших расстояние, пройденное частицами, выброшенными во время чихания и кашля, как функцию времени [14]. Всемирная

организация здравоохранения, чтобы разграничить передачу воздушным (≤ 5 мкм) и капельным (> 5 мкм) путями, применяет границу раздела 5 мкм [15,16], однако некоторые исследователи считают, что пограничным размером является размер 10 мкм [17,18,19].

Высокодисперсный аэрозоль способен проникать глубоко в дыхательные пути [6] и даже в кровоток [15], в то время как более крупные частицы задерживаются в верхних отделах дыхательных путей [5]. Акселерационной масс-спектрометрией в эксперименте на мышах показано, что при ежедневном 30-минутном вдыхании в течение пяти дней аэрозольных частиц радиоактивно меченого полистирола 14C-ПС, состоящего из смеси частиц размером 225 нм на 1 см^3 и 5×10^3 частиц размером 25 нм на 1 см^3 , несколько миллионов частиц размером 225 нм откладывались в легких и медленно выводились из них в течение двух недель после контакта. Проникновение частиц вещества наблюдалось также в тканях печени, почек и мозга, но не обнаружено в миокарде [20].

Крупно- и мелкокапельный аэрозоль на выдохе испаряется и оседает на расстоянии не дальше 1,5 м, при чихании и кашле это расстояние увеличивается и может превышать 2 м. При оседании контаминированных капель возбудитель может сохраняться на поверхностях и распространяться с различными факторами передачи, прежде всего руками. Высокодисперсный аэрозоль (ядрышковая фаза) способен находиться во взвешенном состоянии неопределенно долгое время и с потоками воздуха распространяться на расстояние более 6 м [11] (**рисунок 1**).

Доказано, что даже тихая речь дает значительно больше частиц, чем нормальное дыхание, при этом частицы, генерируемые во время речи, в среднем немного больше. С увеличением громкости речи число выдыхаемых частиц возрастает [21].

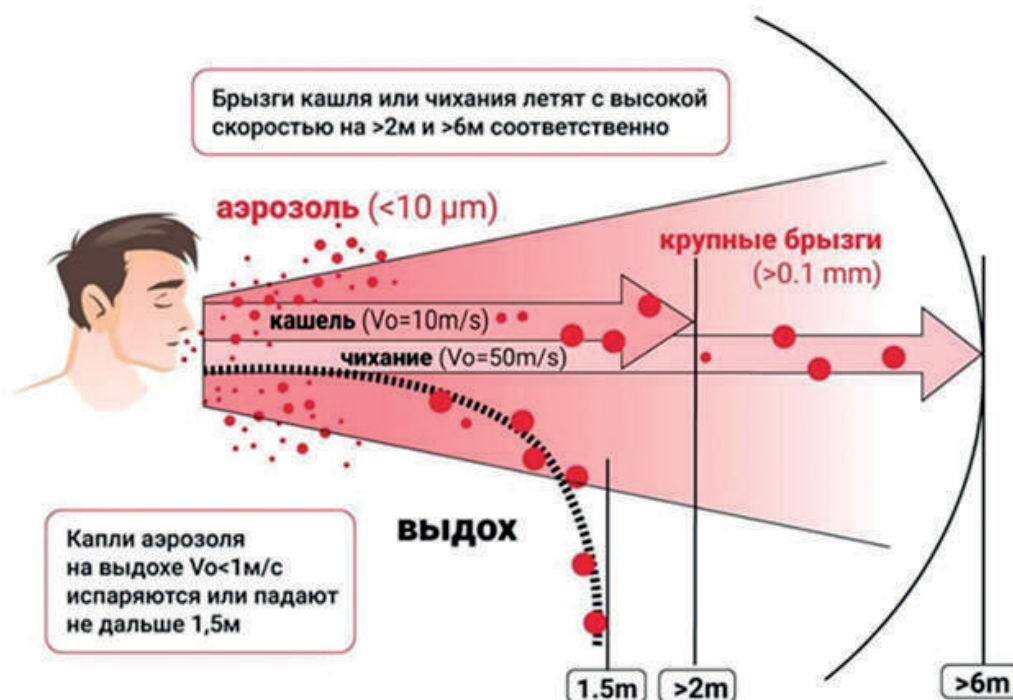
По неясным причинам некоторые люди выделяют намного больше частиц, чем другие. Известно, что неустойчивость Рэлея-Плато, которая приводит к образованию мелких капель во время «разрыва пленки», чувствительна к межфазному натяжению, плотности и вязкости жидкости [22], поэтому авторы считают, что одним из возможных объяснений является то, что слизь у разных людей имеет разные свойства и, возможно, производит больше или меньше ка-

Рисунок 1.

Динамика капельной и ядрышковой фаз аэрозоля при дыхании, кашле и чихании [12].

Figure 1.

Bioaerosol distribution during exhaling, coughing and sneezing [12].



пель. Примечательно, что различные болезненные состояния, как известно, изменяют физико-химические свойства слизи, выстилающей дыхательные пути, поэтому вполне возможно, что инфицированные люди могут генерировать количества частиц, значительно отличающиеся от тех, которые выбрасываются здоровыми людьми [23].

Чихание и кашель состоят не только из слизисто-слюнных капель, но в основном из многофазного турбулентного газового, слоевого облака, которое захватывает окружающий воздух и переносит внутри него капли с микроорганизмами. Влажная и теплая атмосфера в облаке позволяет каплям избегать испарения до нескольких минут и распространяться на расстояние до 6–8 метров. Затем ядра испарившихся капель часами могут находиться в воздухе, двигаясь в воздушном потоке, попадая в системы вентиляции или климат-контроля [24]. Кашель без маски создаст струю выдыхаемого воздуха в средней сагитальной плоскости в 68 см; ношение хирургической маски уменьшает это расстояние до 30 см.

Изучение этих механизмов играет ключевую роль в понимании явления «сверхраспространения» возбудителей. Как известно, «суперраспространитель» – это заразный человек, который заражает непропорционально большое количество восприимчивых контактов [25,26,27].

Уменьшение концентрации мелкого аэрозоля пропорционально квадрату расстояния. На рас-

стоянии 3 м концентрация аэрозоля снижается в 9 раз, 4 м – в 16 раз. Именно поэтому защита расстоянием играет важную роль в профилактике инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. Крупнодисперсный аэрозоль оседает со скоростью 1,0–7,5 см/сек, мелкодисперсный – 0,00075 – 0,75 см/сек [24].

Свойства аэрозолей зависят от их формы. Научные данные о волокнах, как об аэродисперсных системах, ограничены по сравнению с данными об аэрозолях с изометрическими частицами. Форма частиц зависит от их фазового состояния и механизма образования. Жидкие частицы, как правило, имеют сферическую форму, тогда как твердые – обычно неправильную форму. Частицы пыли характеризуются широкой вариабельностью структуры и формы, однако в качестве их определяющей характеристики принят аэродинамический диаметр [28].

На образование аэрозоля влияют термофоретический, фотофоретический эффекты и эффект коагуляции.

Термофоретический эффект – это самопроизвольное удаление частиц аэрозоля от источника тепла. Термофорез обусловлен тем, что молекулы воздуха перед частицей прогреваются сильнее и с большей силой ударяют о частицу, чем молекулы воздуха за ней. Термофорез сопровождается термопреципитацией – осаждением частиц на холодных участках неравномерно нагретого тела [29].

Фотофоретический эффект заключается в том, что в результате поглощения аэрозольной частицей видимого света и теплового излучения поверхность частицы неравномерно разогревается. Молекулы газа после соударения с частицей покидают её поверхность с большей скоростью там, где она разогрета сильнее, что приводит к нарушению баланса импульса, передаваемого частице молекулами газа. В результате возникает сила, которая приводит частицу в движение. Неравномерность разогрева поверхности частицы может быть обусловлена её оптическими свойствами. Освещение частицы видимым излучением только с одной стороны приводит к движению аэрозольных частиц от источника света. Однако в результате лучепреломления более разогретой может оказаться теньевая сторона частицы. В этом случае частица приходит в движение к источнику света. Фотофорез рассматривается как один из эффектов, оказывающих влияние на распространение аэрозоля в среде. В сочетании с действием на частицу силы тяжести фотофоретический эффект приводит к явлению гравитофотофореза, который ещё недостаточно хорошо изучен [29].

В аэрозольных системах хорошо известно явление коагуляции, когда в результате броуновского движения частицы сталкиваются и под действием сил адгезии объединяются в более крупную структуру – аэрозольный агломерат. Процесс коагуляции приводит к образованию аэрозольных кластеров, обладающих рядом интересных физических свойств. Аэрозоль зачастую представляет собой именно аэрозольные кластеры и частицы сложной формы [30].

Негативный эффект биологического аэрозоля главным образом обусловлен:

- характером возбудителя заболевания;
- жизнеспособностью патогенного биоагента;
- величиной ингалированной дозы, которая, в свою очередь, определяется концентрацией живых микроорганизмов во вдыхаемом воздухе (биологическая концентрация);
- продолжительностью ингаляции;
- объемом легочной вентиляции зараженного субъекта [5].

Уменьшение инфицирующих доз при эффективном заражении снижает риск заболевания и увеличивает риск носительства.

Биоаэрозоли в больничной среде образуются при разговоре, кашле, чихании, ручной вентиляции легких перед интубацией, искусственной вентиляции легких, санации трахеобронхиаль-

ного дерева, неинвазивной вентиляции легких, трахеотомии, высокопоточной кислородотерапии, манипуляциях с кислородной маской или ViPAP, бронхоскопии, инсталляции назогастрального зонда, отсасывании биологических жидкостей, компрессии грудной клетки, при работе систем вентиляции, пользовании душевыми кабинами, смывании воды в унитазе, сборе мокроты, работе высокоэнергетических инструментов, охлаждаемых водой, небулайзеров, увлажнителей, турبوустановок, ультразвуковых скалеров и др. [31, 32].

Биоаэрозоли с содержанием пылевых частиц образуются при проникновении уличной пыли, смене постельного белья, сухой уборке, активности пациента в постели, перемещении мебели или аппаратуры [31,32]. Среднее значение бактериальной нагрузки аэрозолей составляет при этом от 0,8 до 3,8 Log⁻¹⁰ КОЕ/м³. Вирусные нагрузки в биоаэрозоле варьируются от Log 2,2 бляшкообразующих единиц/м³ в воздухе с положительным результатом на риносинтициальный вирус до Log 5,5 БОЕ /м³ в воздухе палаты с пациентами с положительным результатом на вирус гриппа А. Грибковая нагрузка – Log 0,8–3,5 КОЕ/м³ в различных больничных палатах. Средняя бактериальная нагрузка в биоаэрозолях в стоматологических кабинетах варьировала от Log 1–3,9 КОЕ /м³ [33].

Исследованиями было показано, что больничная пыль, оседающая из воздуха на вентиляционных решетках, содержит органический субстрат для размножения и накопления микроорганизмов и может быть рассмотрена в качестве дополнительного резервуара мультирезистентных госпитальных штаммов микроорганизмов. Выявленные авторами различия по элементному составу подтверждают триггерную роль угольной пыли в поддержании этого резервуара. Наличие наноразмерной фракции пыли свидетельствует о вероятности их длительного пребывания в зоне дыхания пациентов и персонала с риском инфицирования нижних дыхательных путей [34].

Заключение. Пандемия COVID 19 показала необходимость дополнительного изучения аэрогенного механизма передачи. Возможно, самый важный вопрос, на который нет ответа, заключается в том, почему некоторые частицы, выброшенные во время любой дыхательной деятельности, несут патогены, а некоторые – нет.

Необходимо выяснить, зависит ли носительство от размера частиц, места заражения, места

образования частиц (которое может отличаться от места заражения), концентрации патогена в слизи, изменений характера слизи, вирулентности самого патогена. Более того, похожи ли частицы, несущие вирус, на частицы, переносимые бактериями и грибами? Зависит ли сохранение резервуара внутрибольничных патогенов пыли от ее морфологического и химического состава.

Эти вопросы имеют первостепенное значение для понимания роли дополнительных резервуаров патогенов в больничной среде, влияния современных материалов, применяемых в уходе за пациентами и лечебном процессе, на реализацию воздушно-пылевого пути, физиологических ниш, которые патогены занимают в организме человека и во время передачи болезней.

Литература / References:

1. *Surgical operations and procedures statistics*. Statistics Explained. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/>. Accessed: 10 Oct, 2020.
2. Sattar SA, Ijaz MK. The Role of Indoor Air as a Vehicle for Human Pathogens: Summary of Presentations, Knowledge Gaps, and Directions for the Future. *Am J Infect Control*. 2016;44(9):144-146. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.06.006>
3. Громашевский Л.В., ред. *Механизм передачи инфекции: (Учение о механизме передачи возбудителей инфекционных болезней и его значение в эпидемиологии)*. 2-е изд., пересмотр. и доп. Киев: Госмедиздат УССР; 1962 [Gromashevskij LV, editor. *Mehanizm peredachi infekcii: (Uchenie o mehanizme peredachi vozbuditelej infekcionnyh boleznej i ego znachenie v jepidemiologii)*. 2nd ed., revised and supplemented with new information. Kiev: Gosmedizdat USSR; 1962. (In Russ..)]
4. Башенин В.А. *Курс общей эпидемиологии*. 2-е изд., испр. и доп. М.; Л.: Наркомздрав СССР – Биомедгиз; 1938 (М.: 16 тип. треста «Полиграфкнига»). [Bashenin VA. *Kurs obshhej jepidemiologii*. 2nd ed., revised and supplemented with new information. Moscow; Leningrad: Narkomzdrav SSSR – Biomedgiz; 1938 (Moscow: 16 tip. tresta «Poligrafkniga»). (In Russ..)]
5. Чекман И.С., Сырочая А.О., Андреева С.В., Макаров В.А. *Аэрозоли – дисперсные системы*. Киев-Харьков; 2013 [Chekman IS, Syrovaja AO, Andreeva SV, Makarov VA. *Ajerozoli – dispersnye sistemy*. Kiev-Kharkiv; 2013. (In Russ..)]
6. Slonim NB, Chapin JL. *Respiratory Physiology*. Saint Louis: The CV Mosby Company; 1967.
7. Ross BB. Physical dynamics of the cough mechanism. *Journal of Applied Physiology*. 1955;8(3):264-268. <https://doi.org/10.1152/jappl.1955.8.3.264>
8. Gebhart J, Anselm A, Heyder J, Stalhofen W. The human lung as aerosol particle Generator. *Journal of Aerosol Medicine*. 1988;1:196-197.
9. Holmgren H, Ljungstrom E, Almstrand A-C, Bake B, Olin A-C. Size distribution of exhaled particles in the range from 0.01 to 2.0µm. *Journal of Aerosol Science*. 2010;41(5):439-446. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2010.02.011>
10. Haslbeck K, Schwarz K, Hohlfeld JM, Seume JR, Koch W. Submicron droplet formation in the human lung. *Journal of Aerosol Science* 2010;41(5):429-438. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2010.02.010>
11. Morawska JG, Ristovski L, Hargreaves Z, Mengersen M., Chao K, Wan Ch, Li M-P, Xie Y, Katoshevski X, Corbett D, Shay. Modality of human expired aerosol size distributions. *Journal of Aerosol Science - J AEROSOL SCI*. 2011;42(12):839-851. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2011.07.009>
12. Sui Huang. COVID-19: Why we should all wear masks – there is new scientific rationale. Available at: <https://medium.com/@Cancerwarrior/covid-19-why-we-should-all-wear-masks-there-is-new-scientific-rationale-280e08ceee71> Accessed: 28 November, 2020.
13. Wells WF. On airborne infection: study II. Droplets and droplet nuclei. *American Journal of Hygiene*. 1934;1934:611-618. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19352700487>
14. Hamburger M, Roberston OH. Expulsion of Group A hemolytic streptococci in droplets and droplet nuclei by sneezing, coughing and talking. *Am J Med*. 1948;4(5):690-701. [https://doi.org/10.1016/s0002-9343\(48\)90392-1](https://doi.org/10.1016/s0002-9343(48)90392-1)
15. WHO. Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory diseases in health care. WHO/CDS/EPR/2007.6. Available at: http://www.who.int/csr/resources/publications/WHO_CDS_EPR_2007_6c.pdf Accessed: 28 November, 2020.
16. Siegel JD, Rhinehart E, Jackson M, Chiarello L, Committee HICPA. Guideline for isolation precautions: preventing transmission of infectious agents in healthcare settings [cited 2008 December 8]. 2007. Available at: <http://www.cdc.gov/ncidod/dhqp/pdf/isolation2007.pdf>. Accessed: 28 November, 2020.
17. Nicas M, Nazaroff WW, Hubbard A. Toward understanding the risk of secondary airborne infection: emission of respirable pathogens. *J Occup Environ Hyg*. 2005;2(3):143-154. <https://doi.org/10.1080/15459620590918466>
18. Stilianakis NI, Drossinos Y. Dynamics of infectious disease transmission by inhalable respiratory droplets. *J R Soc Interface*. 2010;7(50):1355-1366. <https://doi.org/10.1098/rsif.2010.0026>
19. Gralton J, Tovey E, McLaws M-L, Rawlinson WD. The role of particle size in aerosolised pathogen transmission: A review. *J Infect*. 2011;62(1):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2010.11.010>
20. Parkhomchuk EV, Gulevich DG, Taratayko AI, Baklanov AM, Selivanova AV, Trubitsyna TA, Voronova IV, Kalinkin PN, Okunev AG, Rastigeev SA, Reznikov VA, Semeykina VS, Sashkina KA, Parkhomchuk VV. Ultrasensitive detection of inhaled organic aerosol particles by accelerator mass spectrometry. *Chemosphere*. 2016;159:80-88. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.05.078>
21. Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barraza S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep*. 2019;9(1):2348. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z>
22. Eggers J. Nonlinear dynamics and breakup of free-surface flows. *Reviews of Modern Physics*. 1997;69:865-929. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.69.865>
23. Girod S, Zahm JM, Plotkowski C, Beck G, Puchelle E. Role of the physiochemical properties of mucus in the protection of the respiratory epithelium. *Eur Respir J*. 1992;5(4):477-487. PMID: 1563506
24. Bourouiba L, Dehandschoewercker E, Bush J. (2014). Violent expiratory events: On coughing and sneezing. *J Fluid Mech*. 745:537-563. <https://doi.org/10.1017/jfm.2014.88>
25. Lloyd-Smith JO, Schreiber SJ, Kopp PE, Getz WM.

- Superspreading and the effect of individual variation on disease emergence. *Nature*. 2005;438:355-359. <https://doi.org/10.1038/nature04153>
26. Wong G, Liu W, Liu Y, Zhou B, Bi Y, Gao GF. MERS, SARS, and Ebola: The Role of Super-Spreaders in Infectious Disease. *Cell Host Microbe*. 2015;18(4):398-401. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2015.09.013>
 27. Tiffany A, Riley S, Metcalf CJ, Grenfell BT. Spatial and temporal dynamics of superspreading events in the 2014-2015 West Africa Ebola epidemic. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2017;114(9):2337-2342. <https://doi.org/10.1073/pnas.1614595114>
 28. Chauveaux D. Preventing surgical-site infections: measures other than antibiotics. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2015;101(1 Suppl):S77-83. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.07.028>
 29. Черемисин А.А., Кушнарченко А.В., Кузьмин Д.А., Черников С.В., Шнипов И.С. Параллельное моделирование фотофореза аэрозольных кластеров в разреженной газовой среде. Международный симпозиум «Атмосферная Радиация и Динамика»: тез. докл. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2015:180-181 [Cheremisin AA, Kushnarenko AV, Kuz'min DA, Chernikov SV, Shnipov IS. Parallel'noe modelirovanie fotoforeza aje-rozol'nyh klasterov v razrezhennoj gazovoj srede. Mezhdun-arodnyj simpozium «Atmosfera'naja Radiacija i Dinamika»: tez. dokl. Saint Peterburg: Izd-vo SPbGU; 2015:180-181 (In Russ.).]
 30. Lee V, Waitukaitis S, Miskin M, Jaeger HM. Direct observation of particle interactions and clustering in charged granular streams. *Nature Phys*. 2015;11: 733-737. <https://doi.org/10.1038/nphys3396>
 31. Tran K, Cimon K, Severn M, Pessoa-Silva CL, Conly J. Aerosol generating procedures and risk of transmission of acute respiratory infections to healthcare workers: a systematic review. *PLoS One*. 2012;7(4):e35797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035797>
 32. Roberts K, Hathway A, Fletcher LA, Beggs C, Elliott M, Sleigh A. Bioaerosol production on a respiratory ward. *Indoor and Built Environment*. 2006;5:35-40. <https://doi.org/10.1177/1420326X06062562>
 33. Zemouri C, de Soet H, Crielaard W, Laheij A. A scoping review on bio-aerosols in healthcare and the dental environment. *PLoS One*. 2017;12(5):e0178007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178007>
 34. Чезганова Е.А., Ефимова А.Р., Сахарова В.М., Ефимова А.Р., Созинов С.А., Исмагилов З.Р., Брусина Е.Б. Оценка роли пыли в формировании резервуара мультирезистентных госпитальных штаммов микроорганизмов в отделениях хирургического профиля. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2020;5(1):15-25 [Chezganova EA, Efimova OS, Sakharova VM, Efimova AR, Sozinov SA, Ismagilov, ZR, Brusina EB. Particulate matter as a possible reservoir of multidrug-resistant microorganisms in surgical healthcare settings. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2020;5(1):15-25. (In Russ.).] <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2020-5-1-15-25>

Сведения об авторах

Брусина Елена Борисовна, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой эпидемиологии, инфекционных болезней и дерматовенерологии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, (650056, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 22а).

Вклад в статью: концепция обзора, координация выполнения работы, текст статьи.

ORCID: 0000-0002-8616-3227

Чезганова Евгения Андреевна, аспирант кафедры эпидемиологии, инфекционных болезней и дерматовенерологии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (650056, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 22а).

Вклад в статью: поиск и анализ источников литературы.

ORCID: 0000-0003-0770-0993

Дроздова Ольга Михайловна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры эпидемиологии, инфекционных болезней и дерматовенерологии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, (650056, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 22а).

Вклад в статью: анализ источников литературы.

ORCID: 0000-0001-9380-0901

Статья поступила: 05.11.2020г.

Принята в печать: 30.11.2020г.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

Authors

Prof. Elena B. Brusina, MD, DSc, Professor, Head of the Department of Epidemiology, Infectious Diseases, Dermatology and Venereology, Kemerovo State Medical University (22a, Voroshilova Street, Kemerovo, 650056, Russian Federation).

Contribution: performed a literature search and analysis; wrote the manuscript.

ORCID: 0000-0002-8616-3227

Dr. Evgenia A. Chezganova, MD, PhD Student, Department of Epidemiology, Infectious Diseases, Dermatology and Venereology, Kemerovo State Medical University (22a, Voroshilova Street, Kemerovo, 650056, Russian Federation).

Contribution: performed a literature search and analysis; wrote the manuscript.

ORCID: 0000-0003-0770-0993

Prof. Olga M. Drozdova, MD, DSc, Professor, Department of Epidemiology, Infectious Diseases, Dermatology and Venereology, Kemerovo State Medical University (22a, Voroshilova Street, Kemerovo, 650056, Russian Federation).

Contribution: performed a literature search and analysis; wrote the manuscript.

ORCID: 0000-0001-9380-0901

Received: 05.11.2020

Accepted: 30.11.2020

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.