

14. Jones R.S. et al. Near-infrared transillumination at 1310-nm for the imaging of early dental decay // Optics Express. 2003. Vol. 11. № 18. PP. 2259-2265.
15. Brex M.C. et al. Comparison between histological and clinical parameters during human experimental gingivitis // Journal of Periodontal Research. 1987. Vol. 22. PP. 50-57.

Александр Владимирович Колпаков,
ассистент,
кафедра «Биомедицинские технические системы» (БМТ-1),
начальник сектора,
Илья Николаевич Юдин,
техник,
Научно-исследовательский и испытательный центр
биометрической техники (НИИЦ БТ),
МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Оксана Александровна Зорина,
д-р мед. наук, зав. отделением
терапевтической стоматологии,
Центральный научно-исследовательский институт
стоматологии и челюстно-лицевой хирургии
Министерства здравоохранения
Российской Федерации,
Игорь Николаевич Спиридонов,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой БМТ-1, директор НИИЦ БТ,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Москва,
e-mail: kolpakovalex@yandex.ru

Д.А. Попов, Н.М. Анучина

Микробиологическая эффективность деkontаминации больничной среды аэрозолем пероксида водорода

Аннотация

Метод деkontаминации поверхностей и воздуха аэрозолем пероксида водорода позволяет значимо снизить микробную обсемененность объектов больничной среды (с 83,3 до 36,7 %, $p = 0,0006$) и воздуха (с 360 до 140 КОЕ/м³) и может использоваться в дополнение к стандартным методам дезинфекции помещений, особенно при наличии труднодоступных и/или труднообрабатываемых объектов.

Введение

Оборотной стороной прогресса современных медицинских технологий является возрастание значимости проблемы нозокомиальных инфекций. По некоторым данным, даже в области «чистой» кардиохирургии частота различных инфекционных осложнений может достигать 21 % [1]. Основной причиной этого является высокая инвазивность применяемых пособий.

Ведущей, но не единственной причиной развития внутрибольничных инфекций является экзогенное инфицирование, которое может происходить вследствие проведения различных инвазивных процедур (катетеризации сосудов, мочевого пузыря, полостей, искусственной вентиляции легких, применения различных систем вспомогательного кровообращения, собственно хирургической операции и т. д.). Важную роль при «больших», травматичных операциях играет также эндогенное инфицирование вследствие транслокации эндогенной микрофлоры больного при повышении проницаемости слизистотканевых барьеров на фоне микроциркуляторных нарушений [2].

Агрессивность больничной среды в немалой степени связана с высоким уровнем устойчивости госпитальных штаммов к антимикробным препаратам, что в наибольшей мере прослеживается в отношении грамотрицательных бактерий, доля которых в общей структуре нозокомиальных патогенов достигает 70 % и более. При этом среди энтеробактерий в последнее десятилетие наблюдается широкое распространение штаммов, продуцирующих бета-лактамазы расширенного спектра. Эти ферменты, разрушающие большинство применяемых на практике бета-лактамов антибиотиков, вырабатывают более 90 % штаммов *K. pneumoniae* [3], [4]. Появление карбапенемаз, являющихся следующим «витком эволюции» резистентности, угрожает вывести карбапенемы из группы препаратов резерва [5]. Большую проблему представляет собой появление и распространение штаммов *A. baumannii*, устойчивых к карбапенемам и сульбактаму, а также полирезистентных штаммов *P. aeruginosa* [4].

В связи с изложенным выше большое значение в предупреждении развития инфекций имеет создание безопасной больничной среды, важнейшим компонентом чего является снижение уровня микробной контаминации рабочих поверхностей и воздуха в рабочих помещениях, лимитируемых по микробиологическим показателям. Данная задача решается проведением соответствующих дезинфекционных мероприятий, эффективность которых контролируется с помощью санитарно-бактериологического мониторинга.

В сердечно-сосудистой хирургии адекватная деkontаминация объектов внешней среды и оборудования особенно актуальна, так как осуществление лечебно-диагностического процесса в данной области сопряжено с высокой инвазивностью применяемых методов. Так, помимо стандартных процедур, которым могут подвергаться больные общехирургического профиля, операции на сердце зачастую требуют применения ряда дополнительных процедур, представляющих собой потенциальный риск инфицирования. В частности, к ним относятся методы искусственного и вспомогательного кровообращения, инвазивный мониторинг центральной гемодинамики, ведение пациентов в условиях протонгированной стернотомии и пр., что значительно увеличивает риск развития экзогенного инфицирования [6].

Дезинфекционные мероприятия в лечебно-профилактических учреждениях обычно осуществляются путем комбинированного использования различных методов, среди которых наиболее широко применяется химическая дезинфекция с использованием средств на основе галогенов, альдегидов, спиртов, пероксидов или аминов. При этом обработка больничных помещений, как правило, осуществляется ручным способом, с применением рабочих растворов дезинфицирующих средств. Наряду с простотой и общедоступностью, такой подход не всегда позволяет обеспечить требуемый результат, что в немалой степени может быть обусловлено «человеческим фактором», в частности, несоблюдением режимов применения дезинфицирующих средств, а также пропусками или некачественной обработкой некоторых объектов, особенно тех, доступ к которым затруднен. Кроме того, применение ряда средств

способно приводить к необратимому повреждению обрабатываемых предметов (например, сенсорных экранов медицинской аппаратуры), что существенно ограничивает арсенал используемых препаратов и усложняет алгоритмы их применения.

Необходимость обеспечения должного уровня дезинфекции в палатах современных медицинских учреждений, насыщенных различной аппаратурой, требует внедрения новых технологий, позволяющих эффективно снижать уровень микробной контаминации, не приводя к порче дорогостоящего оборудования. В качестве одного из таких методов может быть рассмотрено контролируемое распыление мелкодисперсного аэрозоля на основе пероксида водорода, действующее в объеме всего обрабатываемого помещения и приводящее к инактивации микроорганизмов при воздействии свободных кислородных радикалов на жизненно важные компоненты клетки. С учетом того, что растворы пероксида водорода в бактерицидных концентрациях при непосредственном контакте могут вызывать раздражение кожи и слизистых оболочек, процесс обеззараживания должен осуществляться в автоматическом режиме, что нивелирует возможные нежелательные последствия.

Цель исследования

Целью исследования является изучение микробиологической эффективности метода дезинфекции поверхностей и воздуха путем распыления в рабочих помещениях кардиохирургического стационара аэрозоля на основе пероксида водорода.

Материал и методы исследования

Объектами исследования являлись смывы ($n = 38$) с рабочих поверхностей и воздух ($n = 2$) в перевязочном кабинете (объем – 70 м³, инвентарь и оборудование: перевязочный стол, манипуляционные столы, транспортный стол, лекарственный шкаф, шкаф для хранения стерильного перевязочного материала и инструментов, стойки капельниц, лампа бестеневая, хирургический электрокоагулятор, емкости для дезинфекции инструментов и материалов, дозаторы жидкого мыла и кожного антисептика, раковины для раздельного мытья рук и инструментов), а также смывы ($n = 22$) в палате для пребывания больных [объем – 56 м³, инвентарь и оборудование: монитор витальных функций, коннектор кислородной магистрали, ингалятор, увлажнитель воздуха, стойка капельницы, стеллаж, шкаф, кровать, стул, детское кресло, холодильник (отключен), тумбочка]. Исследования выполнялись в условиях естественной биоагрузки по стандартной методике. Во время цикла дезинфекции дверцы шкафов и холодильника были открыты. Места отбора проб для микробиологического исследования располагались на различном удалении от аппарата. Взятие смывов осуществляли с нескольких мест каждого исследуемого предмета суммарной площадью порядка 100 см². Пробы брали дважды: до обработки помещения (оценивалась исходная контаминация объектов окружающей среды) и после завершения цикла работы аппарата.

При выполнении исследований для мониторинга микробной обсемененности объектов окружающей среды использовали системы с цветными индикаторными средами «Sterikit» («MWE», Англия); оценка результатов осуществлялась по качественному признаку (наличие или отсутствие роста микроорганизмов). Взятие проб воздуха для контроля его микробной обсемененности осуществляли аспирационным методом с помощью импактора «Флора-100», при этом определяли общее микробное число (ОМЧ) и наличие золотистого стафилококка в 1 м³ воздуха. Выделение чистых культур микроорганизмов осуществляли по стандартной методике, их идентификацию проводили с применением микробиологического анализатора «Vitek-2 compact» («bioMérieux», Франция). Учитывались общая микробная контаминация, а также наличие санитарно-показательных микроорганизмов (*Staphylococcus aureus*, бактерий группы кишечной палочки, *Enterococcus spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter spp.* – по локальным данным).

Дезинфекция помещений осуществлялась после выполнения в них текущей уборки, в отсутствие персонала и больных, с применением передвижного аппарата «GLOS AIR™ 400» («Johnson & Johnson», США), путем тонкодисперсного распыления раствора пероксида водорода (5...6 %) с катионами серебра (50 ppm), содержащегося в готовом к применению виде в специальных картриджах. Аппарат рассчитан на обработку закрытых помещений объемом от 10 до 200 м³ путем создания в них взвеси (сухого тумана) дезинфицирующего средства со средним размером частиц 8...12 мкм и концентрацией взвеси порядка 100 ppm. Объем распыляемого дезинфектанта при этом составляет 6 мл/м³, объемная скорость – около 30 мл/мин. Длительность распыления (от 2 до 40 мин) зависит от объема помещения и устанавливается автоматически встроенным программным обеспечением. После распыления препарата необходимо обеспечить его экспозицию не менее 2 ч. Таким образом, максимальное общее время обработки не превышает 3 ч.

Результаты исследования

Исходная бактериальная контаминация имела место на 25 из 30 исследованных объектов, что составило 83,3 %. При этом в трех случаях в смывах с предметов окружающей среды был выявлен рост санитарно-показательных микроорганизмов (*Enterococcus faecium*, *Escherichia coli*). В остальных 22 случаях был выявлен рост индифферентной микрофлоры. Исходная степень обсемененности воздуха находилась в пределах нормативных значений.

После завершения цикла дезинфекции доля контаминированных объектов статистически значимо снизилась в 2,3 раза по сравнению с исходной; рост микроорганизмов был выявлен на 11 из 30 (36,7 %) исследованных образцов ($p = 0,0006$), при этом в одном случае сохранялось присутствие санитарно-показательных микроорганизмов (*Enterococcus faecium*). Обсемененность воздуха (по общему микробному числу) снизилась в 2,6 раза.

Перечень исследованных объектов и результаты санитарно-бактериологических исследований до и после обработки помещений с использованием системы «Glosair™ 400» приведены в табл. 1.

При использовании системы «Glosair™ 400» персоналом отделения не отмечено негативного воздействия распыляемого раствора на элементы отделки помещений, а также на размещенные в них инвентарь и оборудование.

Заключение

Идея распыления средств с антимикробной активностью в воздухе больничных помещений имеет достаточно давнюю историю. Свообразным прообразом рассматриваемой в настоящей статье методики является пульверизатор для карболовой кислоты, созданный в середине XIX века «отцом» антисептики английским хирургом Дж. Листером и применявшийся им для создания асептической атмосферы во время операции. Данный метод был оставлен вскоре после начала его практического применения как вследствие сложности пребывания людей в атмосфере токсичного вещества, так и вследствие понимания главенствующей роли контаминации операционного поля, инструментов и рук хирурга в развитии хирургической инфекции [7].

Современная клиническая практика в силу ряда причин, среди которых следует отметить утяжеление контингента больных, расширение объема, сложности и инвазивности выполняемых пособий, а также рост устойчивости микрофлоры к антимикробным препаратам, диктует необходимость повышения качества дезинфекционных мероприятий. В настоящее время очевидно, что применение ручных способов деконтаминации объектов окружающей среды, даже дополненных ультрафиолетовым облучением, не всегда позволяет достичь требуемого уровня обработки. Это обусловило возрождение интереса к методу распыления дезинфектанта, реализация которого в современных условиях позволила обеспечить контролируемый эффективный режим воздействия при минимуме нежелательного влияния на окружающую среду, больных и персонал.

Ряд исследований, посвященных изучению эффективности применения систем контролируемого диспергирования пероксида водорода, результаты которых в настоящее время опубликованы в рецензируемых журналах, показали высокую эффективность данного метода дезинфекции. Так, в работе Cabrera с соавт. в модельном опыте продемонстрировано значимое снижение обсемененности внешней среды при применении аппарата «Glosair™ 400». В частности, авторами отмечено уменьшение уровня контаминации тестовых объектов метциллинрезистентным штаммом *S. aureus* > 4,78 log₁₀ КОЕ, *E. coli* – продуцентом бета-лактамаз расширенного спектра – > 4,71 log₁₀ КОЕ, ванкомицин-резистентными энтерококками – > 4,32 log₁₀ КОЕ, грибами рода *Candida* – > 3,2 log₁₀ КОЕ. Суммарная эффективность воздействия соответствовала снижению уровня микробной обсемененности на 3,46 log₁₀ КОЕ в непосредственной близости от распылителя и 3,09 log₁₀ КОЕ на расстоянии 5...6 м от него при объеме тестового помещения 158 м³ [8]. В реальной клинической практике применение системы «Glosair™ 400» при прочих равных условиях позволило снизить на 64 % суммарный риск колонизации пациентов госпитальными микроорганизмами по сравнению с таковым при

использовании стандартных методов дезинфекции (ОШ 0,36; 95 % ДИ 0,19...0,7; *p* < 0,001). Эффект в наибольшей мере был выражен в отношении ванкомицин-резистентных энтерококков (ОШ 0,2; 95 % ДИ 0,08...0,52, *p* < 0,001) [9].

Важной проблемой современных стационаров является инфекция, вызванная *Clostridium difficile*. Данный микроорганизм обладает высоким уровнем устойчивости к антибиотикам и дезинфектантам; на фоне приема антимикробных препаратов он может обуславливать развитие колитов, наиболее тяжелой формой которой является псевдомембранозный колит, сопровождающийся высокой летальностью. Споры *Clostridium difficile* характеризуются устойчивостью во внешней среде, что предъявляет повышенные требования к дезинфекции палат пребывания больных. В сравнительном рандомизированном исследовании Varbut F. с соавт. заключительная дезинфекция палат после выписки пациентов с *Clostridium difficile* – ассоциированной инфекцией – с применением «сухого тумана» пероксида водорода показала большую эффективность по сравнению с ручной обработкой с использованием 0,5%-го раствора гипохлорита натрия. При этом уровень контаминации объектов окружающей среды *Clostridium difficile*

Таблица 1

Перечень исследованных объектов и результаты санитарно-бактериологических исследований

Помещение	Объект	Результаты исследования	
		до обработки	после обработки
Перевязочный кабинет	Манипуляционный стол № 1 (рабочая поверхность)	КНС	КНС
	Манипуляционный стол № 2 (рабочая поверхность)	КНС	КНС
	Перевязочный стол (рабочая поверхность)	Спорообразующая флора	Роста нет
	Ручка бестеневого лампы	Роста нет	Роста нет
	Лекарственный шкаф № 1 (полка)	Спорообразующая флора	Роста нет
	Лекарственный шкаф № 2 (полка)	КНС	КНС
	Ручка водопроводного крана (раковина для мытья рук)	<i>Enterococcus faecium</i>	Роста нет
	Ручка водопроводного крана (раковина для мытья инструментов)	КНС	Роста нет
	Крышка емкости для дезинфекции инструментов	КНС	Роста нет
	Ручка дозатора кожного антисептика	КНС	Роста нет
	Подушка для внутривенных инъекций	КНС	Роста нет
	Клавиатура хирургического электрокоагулятора	<i>Micrococcus</i> sp.	Роста нет
	Высокочастотный кабель хирургического электрокоагулятора	КНС	КНС
	Стойка капельницы	Роста нет	Роста нет
	Поверхность стены № 1	Роста нет	Роста нет
	Поверхность стены № 2	КНС	Роста нет
	Поверхность подоконника № 1	<i>Enterococcus faecium</i> , КНС	Роста нет
	Поверхность подоконника № 2	КНС	Роста нет
	Ручка входной двери (с внутренней стороны)	КНС	Роста нет
Воздух	ОМЧ 360 КОЕ/м ³ . <i>S. aureus</i> не обнаружен	ОМЧ 140 КОЕ/м ³ . <i>S. aureus</i> не обнаружен	
Палата для пребывания больных	Внутренняя поверхность шкафа	КНС	КНС
	Внутренняя поверхность холодильника	КНС	КНС
	Наружная поверхность увлажнителя воздуха	<i>Micrococcus</i> sp.	<i>Micrococcus</i> sp.
	Кабель ЭКГ кардиомонитора	КНС	Роста нет
	Ручка водопроводного крана	КНС, <i>E. coli</i> , <i>Enterococcus faecium</i>	<i>Enterococcus faecium</i>
	Спинка кровати	Роста нет	Роста нет
	Матрац	КНС	КНС
	Детское кресло	<i>Micrococcus</i> sp.	Роста нет
	Поверхность подоконника	<i>Micrococcus</i> sp., КНС	КНС
	Поверхность батареи отопления	КНС	КНС
	Ручка входной двери (с внутренней стороны)	Роста нет	Роста нет

КНС – коагулазонегативные стафилококки;

ОМЧ – общее микробное число (предельно допустимый показатель – до 750 КОЕ/м³).

снизились с 19 до 2 % (на 91 %) в группе, где применялся метод аппаратной дезинфекции, а в контрольной группе – с 24 до 12 % (на 50 %), $p < 0,005$ [10].

В нашем исследовании применение метода аппаратной дезинфекции больничной среды мелкодисперсным аэрозолем на основе пероксида водорода позволило значительно снизить микробную контаминацию объектов окружающей среды и воздуха. Основываясь на этих данных, а также на результатах исследований других авторов, в реальной клинической практике описанный метод следует рассматривать как эффективное дополнение к стандартным подходам в комплексе дезинфекционных мероприятий.

Список литературы:

1. *Vranken N.P., Weerwind P.W., Barenbrug P.J. et al.* The role of patient's profile and allogeneic blood transfusion in development of post-cardiac surgery infections: A retrospective study // *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2014 / doi: 10.1093/icvts/ivu096.
2. *Белобородова Н.В., Попов Д.А., Бачинская Е.Н.* Послеоперационные инфекции в кардиохирургии: современное состояние проблемы и перспективы // *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия.* 2004. № 4. С. 54-59.
3. *Решедько Г.К., Рябкова Е.Л., Кречикова О.И. и др.* Резистентность к антибиотикам грамотрицательных возбудителей нозокомиальных инфекций в ОРИТ многопрофильных стационаров России // *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия.* 2008. № 2. С. 96-112.
4. *Попов Д.А., Вострикова Т.Ю.* Микробиологический мониторинг в кардиохирургическом стационаре – опыт за 10 лет // *Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН.* 2012. № 5. С. 68-76.

5. *Munoz-Price L.S., Poirel L., Bonomo R.A. et al.* Clinical epidemiology of the global expansion of *Klebsiella pneumoniae* carbapenemases // *Lancet Infect. Dis.* 2013. № 13 (9). PP. 785-796
6. *Попов Д.А., Анучина Н.М.* Санитарно-бактериологический мониторинг в кардиохирургическом стационаре: 10-летний опыт // *Бюллетень НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН.* 2012. № 3. С. 41-49.
7. *Скорыходов Л.Я., Листер Дж.* Столетие антисептики. – Л.: Изд-во АН СССР «Наука», 1971.
8. *Cabrera R.H., Vizcaino M.J., Herruzo I.* Quantifying Glosair™ 400 efficacy for surface disinfection of American Type Culture Collection strains and micro-organisms recently isolated from intensive care unit patients // *J. Hosp. Infect.* 2014 / doi: 10.1016/j.jhin.2014.04.006.
9. *Passaretti C.L., Otter J.A., Reich N.G. et al.* An evaluation of environmental decontamination with hydrogen peroxide vapor for reducing the risk of patient acquisition of multidrug-resistant organisms // *Clin. Infect. Dis.* 2013. № 56 (1). С. 27-35.
10. *Barbut F., Menuet D., Verachten M., Girou E.* Comparison of the efficacy of a hydrogen peroxide dry-mist disinfection system and sodium hypochlorite solution for eradication of *Clostridium difficile* spores // *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 2009. № 30 (6). PP. 507-514.

*Дмитрий Александрович Попов,
д-р мед. наук, руководитель лаборатории
клинической микробиологии
и антимикробной терапии,
Неля Михайловна Анучина,
научный сотрудник,
ФГБНУ «Научный центр сердечно-сосудистой
хирургии им. А.Н. Бакулева»,
г. Москва.
e-mail: da_popov@inbox.ru*

А.Е. Беркович, А.А. Бурсиан, К.Ю. Сенчик, Н.Н. Петрищев, А.Ю. Цибин, Г.Ю. Юкина

Лабораторный стенд для исследования воздействия фокусированного ультразвука высокой интенсивности на сосуды

Аннотация

Создан лабораторный стенд, представляющий собой комплекс устройств, реализующих функции фиксации и позиционирования объекта исследования, ультразвукового сканирования, прицеливания, дозированного воздействия ФУВИ. Специальная конструкция ультразвукового блока позволяет осуществлять прицеливание и воздействие одновременно (с помощью одного устройства). Произведена калибровка силового излучателя. В эксперименте на кроликах исследовано влияние ФУВИ на бедренные вены.

При интенсивности ультразвука в фокальном пятне около 8,7 кВт/см² во всех слоях стенки вены развиваются структурные изменения; наиболее значимые из них – десквамация эндотелия и дезорганизация коллагена. Эти изменения рассматриваются как основа последующей облитерации.

В настоящее время при лечении варикозного расширения вен нижних конечностей широко применяют малоинвазивные методы: склеротерапию, эндовазальную лазерную облитерацию, радиочастотную абляцию. Принципиально новым подходом к лечению варикозной болезни можно считать использование неинвазивного воздействия на вены фокусированного ультразвука высокой интенсивности (ФУВИ). Однако исследования в этой области немногочисленны, и остаются невыясненными оптимальные режимы воздействия ФУВИ, обеспечивающие облитерацию вен [1]-[3].

Для воздействия на вены ФУВИ нами был использован лабораторный стенд, представляющий собой комплекс устройств, реализующих функции фиксации и позиционирования объекта исследования, ультразвукового сканирования,

прицеливания, дозированного воздействия ФУВИ. Укрупненная структурная схема лабораторного стенда представлена на *рис. 1*.

Рабочая часть лабораторного стенда – ультразвуковой блок (*рис. 2*) включает в себя многоплоскостной ультразвуковой датчик и фокусирующий излучатель.

УЗ-датчик представляет собой сборку из трех одномерных массивов элементов, расположенных параллельно друг другу. Это позволяет получить изображение срезов объекта исследования в трех параллельных плоскостях и построить псевдотрехмерную модель, то есть улучшить восприятие объекта исследования оператором по сравнению с классическим вариантом. Расстояние между массивами составляет 6 мм. В каждом массиве имеется 60 пьезоэлементов, расположенных с шагом