



Review

Стойкость коронавирусов на неодушевленных поверхностях и их инактивация биоцидными агентами

G. Kampf ^{a, *}, D. Todt ^b, S. Pfaender ^b, E. Steinmann ^b

^aUniversity Medicine Greifswald, Institute for Hygiene and Environmental Medicine, Ferdinand-Sauerbruch-Straße, 17475 Greifswald, Germany

^bDepartment of Molecular and Medical Virology, Ruhr University Bochum, Universitätsstrasse 50, 44801 Bochum, Germany

ARTICLE

INFO

Аннотация

Article history:

Received 31 January 2020

Accepted 31 January 2020

Available online 6 February 2020

Keywords:

Coronavirus

Persistence Inanimate

surfaces Chemical

inactivation Biocidal

agents Disinfection



В настоящее время появление нового коронавируса у человека, SARS-CoV-2, стало глобальной проблемой здравоохранения, вызывающей тяжелые инфекции дыхательных путей у людей. Были описаны случаи передачи вируса от человека к человеку с инкубационным периодом от 2 до 10 дней, что облегчает его распространение воздушно-капельным путем, через грязные руки или поверхности. Поэтому мы рассмотрели всю доступную литературу о стойкости человеческих и ветеринарных коронавирусов на неодушевленных поверхностях, а также о стратегиях инактивации биоцидными агентами, используемыми для химической дезинфекции, например, в учреждениях здравоохранения. Анализ 22 исследований показывает, что коронавирусы человека, такие как коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома (SARS), коронавирус ближневосточного респираторного синдрома (MERS) или эндемические коронавирусы человека (HCoV), могут сохраняться на неодушевленных поверхностях, таких как металл, стекло или пластик, вплоть до 9 дней, но могут быть эффективно инактивированы с помощью процедур дезинфекции поверхности с помощью 62e71% этанола, 0,5% перекиси водорода или 0,1% гипохлорита натрия в течение 1 минуты. Другие биоцидные агенты, такие как 0,05 ± 0,2% хлорид бензалкония или 0,02% диглюконат хлоргексидина, являются менее эффективными. Поскольку для лечения SARS-CoV-2 нет специальных методов лечения, раннее сдерживание и предотвращение дальнейшего распространения будут иметь решающее значение для прекращения продолжающейся вспышки и для контроля этой новой инфекционной нити.

^a 2020 The Healthcare Infection Society. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Введение

Недавно в Китае появился новый коронавирус (SARS-CoV-2) с 45171 подтвержденным случаем пневмонии (по состоянию на 12 февраля 2020 г.). Вместе с коронавирусом тяжелого острого респираторного синдрома (SARS) и коронавирусом ближневосточного респираторного синдрома (MERS) это третий высокопатогенный коронавирус человека, появившийся за последние два десятилетия. Передача от человека к человеку описана как в больнице, так и в семье. Поэтому крайне важно предотвратить дальнейшее распространение в общественных и медицинских учреждениях.

Постулируется передача коронавирусов с загрязненных сухих поверхностей, в том числе инокуляция слизистых оболочек носа, глаз или рта, подчеркивая важность детального понимания стойкости коронавируса на неодушевленных поверхностях.

Различные типы биоцидных агентов, таких как перекись водорода, спирты, гипохлорит натрия или хлорид бензалкония, используются во всем мире для дезинфекции, главным образом в медицинских учреждениях.

Поэтому целью обзора было обобщить все имеющиеся данные о персистенции всех коронавирусов, включая появляющиеся SARS-CoV и MERS-CoV, а также ветеринарные коронавирусы, такие как вирус трансмиссивного гастроэнтерита (TGEV), вирус гепатита мыши (MHV) и коронавирус собаки (CCV), на различных типах неодушевленных поверхностей и об эффективности обычно используемых биоцидных агентов, используемых в поверхностных дезинфицирующих средствах против коронавирусов.

МЕТОДЫ

Исследование Medline было проведено 28 января 2020 года. Были использованы следующие термины, всегда в сочетании с "коронавирусом", "TGEV", "MHV" или "CCV": поверхность выживания (88 / 10 / 25 / 0 ударов), поверхность персистенции (47 / 1 / 32 / 0 ударов), устойчивость на руках (8 / 0 / 3 / 0 ударов), выживаемость на руках (22 / 0 / 3 / 1 ударов), выживаемость на коже (8 / 0 / 0 / 1 ударов), персистенция кожи (1 / 0 / 0 / 1 ударов), вируцидный (23 / 3 / 3 / 1 ударов), химическая инактивация (33 / 0 / 6 / 1), испытание на суспензию (18 / 0 / 0 / 0 ударов) и тест переносчика (17 / 4 / 0 / 0 ударов).

Были включены публикации и извлечены результаты, поскольку они давали оригинальные данные о коронавирусах по персистенции (поверхности, материалы) и инактивации биоцидными агентами, используемыми для дезинфекции (суспензионные тесты, Тестирование переносчиков, фумигационные исследования).

Данные с коммерческими продуктами на основе различных типов биоцидных агентов были исключены. Отзывы не были включены, но проверены на любую информацию в рамках этого обзора.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Стойкость коронавируса на неодушевленных поверхностях

Большинство данных было описано с эндемичным штаммом Коронавируса человека (HCoV-) 229E. на различных типах материалов он может оставаться инфекционным в течение от 2 часов до 9 дней. Более высокая температура, например 30 °C или 40 °C, сокращала продолжительность персистенции высокопатогенных MERS-CoV, TGEV и MHV.

Однако при 4 °C персистирование TGEV и MHV может быть увеличено до 28 дней. Некоторые сравнительные данные, полученные с помощью SARS-CoV, указывают на то, что персистенция была более длительной при более высокой инокуляции (таблица I). Кроме того, при комнатной температуре было показано, что HCoV-229E сохраняется лучше при 50% по сравнению с 30% относительной влажностью.

Инактивация коронавирусов биоцидными агентами в суспензионных тестах

Этанол (78-95%), 2-пропанол (70-100%), комбинация 45% 2-пропанола с 30% 1-пропанолом, глутатиальдегидом (0.5-2.5%), формальдегидом (0.7-1%) и повидон-йодом (0.23-7.5%) легко инактивируют коронавиральную инфекцию примерно на 4 log¹⁰ и более (таблица II).

Таб. 1 – персистенность коронавирусов на различных типах неодушевленных поверхностей

Тип поверхности	Вирус	Штамм/изолированный	Титр вируса Инокулят	Температура	Персистенность	Ссылка
Сталь	MERS-CoV	Изолированный HCoV-EMC/2012	10 ⁵	20°C	48 ч	[21]
	TGEV	Неизвестный	10 ⁶	30°C 4°C 20°C	8-24 ч ≤ 28 дн	[22]
	MHV	Неизвестный	10 ⁶	40°C 4°C 20°C	4-96 ч ≤ 28 дн	[22]
	HCoV	Штамм 229E	10 ³	40°C 21°C	4-96 ч 5 дн	[23]
Алюминий	HCoV	Штаммы 229E and OC43	5 x 10 ³	21°C	2-8 ч	[24]
Металл	SARS-CoV	Штамм P9	10 ⁵	Комн. темп	5 дн	[25]

Дерево	SARS-CoV	Штамм P9	10 ⁵	Комн.тем	4 дн	[25]
Бумага	SARS-CoV	Штамм P9	10 ⁵	Комн.тем	4-5 дн	[25]
	SARS-CoV	Штамм GUV6109	10 ⁶	Комн.тем	24 ч	[26]
			10 ⁵		3 ч	
			10 ⁴		< 5 мин	
Стекло	SARS-CoV	Штамм P9	10 ⁵	Комн.тем	4 дн	[25]
	HCoV	Штамм 229E	10 ³	21°C	5 дн	[23]
Пластик	SARS-CoV MERS-CoV	Штамм HKU39849 Изолированный HCoV-EMC/2012	10 ⁵ 10 ⁵	22°C-25°C 20°C	≤ 5дн 48 ч	[27] [21]
	SARS-CoV	Штамм P9	10 ⁵	30°C Комн.тем	8-24 ч 4 дн	[25]
	SARS-CoV	Штамм FFM1	10 ⁷	Комн.тем	6-9 дн	[28]
	HCoV	Штамм 229E	10 ⁷	Комн.тем	2-6 дн	[28]
ПВХ	HCoV	Штамм 229E	10 ³	21°C	5 дн	[23]
Силикон	HCoV	Штамм 229E	10 ³	21°C	5 дн	[23]
Хирургическая перчатка (латекс) Одноразовый халат	HCoV	Штаммы 229E и OC43	5 x 10 ³	21°C	≤ 8 ч 2 дн	[24]
	SARS-CoV	Штамм GUV6109	10 ⁶	Комн.тем		[26]
			10 ⁵ 10 ⁴		24 ч 1 ч	
Керамика	HCoV	Штамм 229E	10 ³	21°C	5 дн	[23]
Тефлон	HCoV	Штамм 229E	10 ³	21°C	5 дн	[23]

MERS – Ближневосточный респираторный синдром; HCoV - человеческий коронавирус; TGEV – трансмиссивный вирус гастроэнтерита; MHV – мышинный вирус гепатита; SARS – острое респираторное заболевание

Таблица 2 – Инактивация коронавирусов различными типами биоцидных агентов в тестах на подозрение

Биоцидный агент	Концентрация	Вирус	Штамм/изолированный	Время выдержки	Снижение вирусной инфекционности (log ₁₀)	Ссылка
Этанол	95%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 5.5	[29]
	85%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 5.5	[29]
	80%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 4.3	[29]
	80%	MERS-CoV	Штамм EMC	30 сек	> 4.0	[14]
	78%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 5.0	[28]
2-пропанол	70%	MHV	Штаммы MHV-2 и MHV-N Штамм I-71	10 мин	> 3.9	[30]
	70%	CCV		10 мин	> 3.3	[30]
	100%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 3.3	[28]
	75%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 4.0	[14]
	75%	MERS-CoV	Штамм EMC	30 сек	≤ 4.0	[14]
	70%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 4.0	[28]
	50%	MHV	Штаммы MHV-2 and MHV-N	10 мин	> 3.7	[30]
	50%	CCV	Штамм I-71	10 мин	> 3.7	[30]
2-пропанол и 1-пропанол	45% and 30%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 4.3	[29]
		SARS-CoV	Изолированный FFM-1	30 сек	≤ 4.3	[28]
Хлорид бензалкония	0.2%	HCoV	ATCC VR-759	10 мин	0.0	[31]
	0.05%	MHV	Штаммы MHV-2	10 мин	> 3.7	[30]
	0.05%	CCV	Штамм I-71	10 мин	> 3.7	[30]
	0.00175%	CCV	Штамм S378	3 дн	3.0	[32]
Дидецилдиметиламмоний хлорид	0.0025%	CCV	Штамм S378	3 дн	> 4.0	[32]
Хлоргексидин диглюконат	0.02%	MHV	Штаммы MHV-2 и MHV-N	10 мин	0.7±0.8	[30]
	0.02%	CCV	Штамм I-71	10 мин	0.3	[30]
Гипохлорит натрия	0.21%	MHV	Штамм MHV-1 Штаммы MHV-2	30 сек	≤ 4.0	[33]
	0.01%	MHV	и MHV-N Штамм I-71	10 мин	2.3±2.8	[30]
	0.01%	CCV	Штаммы MHV-2 и MHV-N	10 мин	1.1	[30]
	0.001%	CCV	Штамм I-71	10 мин	0.9	[30]

Пероксид водорода	0.5%	HCoV	Штамм 229E	1 мин	> 4.0	[34]
Формальдегид	1%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	2 мин	> 3.0	[28]
	0.7%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	2 мин	> 3.0	[28]
	0.7%	MHV		10 мин	> 3.5	[30]
	0.7%	CCV	Штамм I-71	10 мин	> 3.7	[30]
	0.009%	CCV		24 часа	> 4.0	[35]
Глутардиальдегид	2.5%	SARS-CoV	Напоi Штамм	5 мин	> 4.0	[36]
	0.5%	SARS-CoV	Изолированный FFM-1	2 мин	> 4.0	[28]
Повидон-йод	7.5%	MERS-CoV	Изолированный HCoV-EMC/2012	15 сек	4.6	[37]
	4%	MERS-CoV	Изолированный HCoV-EMC/2012	15 сек	5.0	[37]
	1%	SARS-CoV	Напоi Штамм	1 мин	> 4.0	[36]
	1%	MERS-CoV	Изолированный HCoV-EMC/2012	15 сек	4.3	[37]
	0.47%	SARS-CoV	Напоi Штамм	1 мин	3.8	[36]
	0.25%	SARS-CoV	Напоi Штамм	1 мин	> 4.0	[36]
	0.23%	SARS-CoV	Напоi Штамм	1 мин	> 4.0	[36]
	0.23% 0.23%	SARS-CoV MERS-CoV	Изолированный FFM-1 Изолированный HCoV-EMC/2012	15 сек 15 сек	≤ 4.4 ≤ 4.4	[38] [38]

SARS – острое респираторное заболевание; MERS – Ближневосточный респираторный синдром; MHV – мышинный вирус гепатита; CCV – собачий коронавирус; HCoV – человеческий коронавирус.

Таблица 3

Инактивация коронавирусов различными типами биоцидных агентов в тестах носителей

Биоцидный агент	Концентрация	Вирус	Штамм/изолированный	Объем/материал	Органическая нагрузка	Время выдержки	Снижение вирусной инфекционности (log ₁₀)	Ссылка
Этанол	71%	TGEV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	3.5	[39]
	71%	MHV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	2.0	[39]
	70%	TGEV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	3.2	[39]
	70%	MHV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	3.9	[39]
	70%	HCoV	Штамм 229E	20 ml / нержавеющая сталь	5% сыворотки	1 мин	> 3.0	[40]
	62%	TGEV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	4.0	[39]
	62%	MHV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	2.7	[39]
Хлорид бензалкония	0.04%	HCoV	Штамм 229E	20 ml / нержавеющая сталь	5% сыворотки	1 мин	< 3.0	[40]
Гипохлорит натрия	0.5%	HCoV	Штамм 229E	20 ml / нержавеющая сталь	5% сыворотки	1 мин	> 3.0	[40]
	0.1%	HCoV	Штамм 229E	20 ml / нержавеющая сталь	5% сыворотки	1 мин	> 3.0	[40]
	0.06%	TGEV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	0.4	[39]
	0.06%	MHV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	0.6	[39]
	0.01%	HCoV	Штамм 229E	20 ml / нержавеющая сталь	5% сыворотки	1 мин	< 3.0	[40]
Глутардиальдегид	2%	HCoV	Штамм 229E	20 ml / нержавеющая сталь	5% сыворотки	1 мин	> 3.0	[40]

Орто-фталевый альдегид	0.55%	TGEV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	2.3	[39]
	0.55%	MHV	неизвестный	50 ml / нержавеющая сталь	нет	1 мин	1.7	[39]
Пероксид водорода	Пар или неизвестно	TGEV	Purdue Штамм	20 ml / нержавеющая сталь	нет	2-3 ч	4.9-5.3*	[41]
	концентрация		тип 1					

Для эффективности гипохлорита натрия требовалась минимальная концентрация не менее 0.21%. Пероксид водорода был эффективен при концентрации 0,5% и времени инкубации 1 мин. Данные, полученные с хлоридом бензалкония в разумные сроки контакта, были противоречивыми. В течение 10 мин концентрация 0,2% не выявила эффективности против коронавируса, тогда как концентрация 0,05% была достаточно эффективной. 0,02% хлоргексидина диоглюконат оказался в основном неэффективным (табл. II).

Инактивация коронавирусов биоцидными агентами в тестах на переносчиков

Этанол в концентрациях от 62% до 71% снизил коронавиральную инфекционность в течение 1 минуты воздействия на 2.0-4.0 log10. Концентрации 0.1-0.5% гипохлорита натрия и 2% глутардиальдегида также оказались достаточно эффективными со снижением вирусного титра > 3.0 log10. Менее эффективными, напротив, оказались 0,04% бензалкония хлорида, 0,06% гипохлорита натрия и 0,55% ортофталальдегида (табл. III)

ОБСУЖДЕНИЕ

Коронавирусы человека могут оставаться инфекционными на неживых поверхностях при комнатной температуре до 9 дней. При температуре 30°C или более длительность пребывания коронавируса короче. Было показано, что ветеринарные коронавирусы сохраняются еще дольше в течение 28 дней. Таким образом, загрязнение частых контактных поверхностей в медицинских учреждениях является потенциальным источником передачи вируса. Данные о передаче коронавируса с зараженных поверхностей на руки не обнаружены. Тем не менее, с вирусом гриппа А можно было бы показать, что контакт в течение 5 с может передать 31,6% вирусной нагрузки на руки [9]. Эффективность передачи была ниже (1,5%) при контакте вируса парагриппа 3 и 5 с между поверхностью и руками [10]. В обсервационно-научном исследовании было описано, что учащиеся касались лица собственными руками в среднем 23 раза в час, при этом они контактировали в основном с кожей (56%), за ними следовали рот (36%), нос (31%) и глаза (31%) [11]. Хотя вирусная нагрузка коронавирусов на неодушевленные поверхности во время вспышки не известна, представляется правдоподобным уменьшить вирусную нагрузку на поверхности за счет дезинфекции, особенно часто прикасающихся к ним поверхностей в непосредственной близости от пациента, где можно ожидать наибольшую вирусную нагрузку. ВОЗ рекомендует "обеспечить последовательное и правильное выполнение процедур по очистке и дезинфекции окружающей среды". Тщательная очистка поверхностей окружающей среды водой и моющим средством, а также применение широко используемых в больницах дезинфицирующих средств (таких, как гипохлорит натрия) являются эффективными и достаточными процедурами". [12] Типичное применение отбеливателя происходит при разбавлении 1:100 5% гипохлорита натрия, в результате чего конечная концентрация составляет 0,05% [13]. Наши сводные данные по коронавирусам позволяют предположить, что концентрация 0,1% эффективна через 1 мин (табл. III). Поэтому представляется целесообразным рекомендовать разбавление 1:50 стандартного отбеливателя в настройках коронавируса. Для дезинфекции небольших поверхностей этанол (62-71%; испытания носителей) выявили аналогичную эффективность в отношении коронавируса. Концентрация 70% этанола также рекомендуется ВОЗ для дезинфекции небольших поверхностей [13].

ВОЗ рекомендует использовать для обеззараживания рук предпочтительно растирание рук на спиртовой основе, например, после снятия перчаток. Два рекомендованных ВОЗ состава (на основе 80 % этанола или 75 % 2-пропанола) были оценены в тестах на суспензию против SARS-CoV и MERS-CoV, и оба были описаны как очень эффективные [14]. Данные *in vitro* об эффективности мытья рук против коронавиральных загрязнений на руках не обнаружены. На Тайване, однако, было описано, что установка станций мытья рук в отделении неотложной помощи является единственной мерой инфекционного контроля, которая в значительной степени связана с защитой медицинских работников от приобретения атипичной пневмонии (SARS-CoV), что указывает на то, что гигиена рук может иметь защитный эффект [15]. В случае вспышки эпидемии соблюдение гигиены рук может быть значительно выше, но, скорее всего, останется препятствием, особенно в следующих случаях среди врачей [16-18]. Передача в медицинских учреждениях может быть успешно предотвращена при последовательном выполнении соответствующих мер [19,20].

ВЫВОДЫ

Коронавирусы человека могут оставаться инфекционными на неодушевленных поверхностях до 9 дней. Обеззараживание поверхности гипохлоритом натрия 0,1% или этанолом 62-71% значительно снижает инфекционность коронавирусов на поверхностях в течение 1 мин. времени воздействия. Мы ожидаем аналогичного эффекта в отношении SARS-CoV-2.

Ссылки

- [1] WHO. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). WHO; 2020. Situation Report 23.
- [2] de Wit E, van Doremalen N, Falzarano D, Munster VJ. SARS and MERS: recent insights into emerging coronaviruses. *Nat Rev Microbiol* 2016;14:523e34.
- [3] Chan JF, Yuan S, Kok KH, To KK, Chu H, Yang J, et al. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. *Lancet* 2020. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30154-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30154-9).
- [4] Otter JA, Donskey C, Yezli S, Douthwaite S, Goldenberg SD, Weber DJ. Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: the possible role of dry surface contamination. *J Hosp Infect* 2016;92:235e50.
- [5] Dowell SF, Simmerman JM, Erdman DD, Wu JS, Chaovavanich A, Javadi M, et al. Severe acute respiratory syndrome coronavirus on hospital surfaces. *Clin Infect Dis* 2004;39:652e7.
- [6] Geller C, Varbanov M, Duval RE. Human coronaviruses: insights into environmental resistance and its influence on the development of new antiseptic strategies. *Viruses* 2012;4:3044e68.
- [7] Kampf G. Antiseptic stewardship: biocide resistance and clinical implications. Cham: Springer International Publishing; 2018.
- [8] Ijaz MK, Brunner AH, Sattar SA, Nair RC, Johnson-Lussenburg CM. Survival characteristics of airborne human coronavirus 229E. *J Gen Virol* 1985;66(Pt 12):2743e8.
- [9] Bean B, Moore BM, Sterner B, Peterson LR, Gerding DN, Balfour HH. Survival of influenza viruses on environmental surfaces. *J Infect Dis* 1982;146:47e51.
- [10] Ansari SA, Springthorpe VS, Sattar SA, Rivard S, Rahman M. Potential role of hands in the spread of respiratory viral infections: studies with human parainfluenza virus 3 and rhinovirus 14. *J Clin Microbiol* 1991;29:2115e9.
- [11] Kwok YL, Gralton J, McLaws ML. Face touching: a frequent habit that has implications for hand hygiene. *Am J Infect Contr* 2015;43:112e4.
- [12] WHO. Infection prevention and control during health care when novel coronavirus (nCoV) infection is suspected. WHO; 2020. Interim guidance. 25 January 2020.
- [13] WHO. Annex G. Use of disinfectants: alcohol and bleach. Infection prevention and control of epidemic-and pandemic-prone acute respiratory infections in health care. Geneva: WHO; 2014. p. 65e6.
- [14] Siddharta A, Pfaender S, Vielle NJ, Dijkman R, Friesland M, Becker B, et al. Virucidal Activity of World Health Organization-Recommended Formulations Against Enveloped Viruses, Including Zika, Ebola, and Emerging Coronaviruses. *J Infect Dis* 2017;215:902e6.
- [15] Yen MY, Lu YC, Huang PH, Chen CM, Chen YC, Lin YE. Quantitative evaluation of infection control models in the prevention of nosocomial transmission of SARS virus to healthcare workers: implication to nosocomial viral infection control for healthcare workers. *Scand J Infect Dis* 2010;42:510e5.
- [16] Alshammari M, Reynolds KA, Verhougstraete M, O'Rourke MK. Comparison of perceived and observed hand hygiene compliance in healthcare workers in MERS-CoV endemic regions. *Healthcare (Basel, Switzerland)* 2018;6:122.
- [17] Al-Tawfiq JA, Abdrabalnabi R, Taher A, Mathew S, Rahman KA. Infection control influence of Middle East respiratory syndrome coronavirus: A hospital-based analysis. *Am J Infect Contr* 2019;47:431e4.
- [18] Wong TW, Tam WW. Handwashing practice and the use of personal protective equipment among medical students after the SARS epidemic in Hong Kong. *Am J Infect Contr* 2005;33:580e6.
- [19] Wiboonchutikul S, Manosuthi W, Likansakul S, Sangsajja C, Kongsanan P, Nitiyanontakij R, et al. Lack of transmission among healthcare workers in contact with a case of Middle East respiratory syndrome coronavirus infection in Thailand. *Antimicrob Resist Infect Control* 2016;5:21.
- [20] Ki HK, Han SK, Son JS, Park SO. Risk of transmission via medical employees and importance of routine infection-prevention policy in a nosocomial outbreak of Middle East respiratory syndrome (MERS): a descriptive analysis from a tertiary care hospital in South Korea. *BMC Pulm Med* 2019;19:190.
- [21] van Doremalen N, Bushmaker T, Munster VJ. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Euro Surveill* 2013;18.
- [22] Casanova LM, Jeon S, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces. *Appl Environ Microbiol* 2010;76:2712e7.
- [23] Warnes SL, Little ZR, Keevil CW. Human Coronavirus 229E Remains Infectious on Common Touch Surface Materials. *mBio* 2015;6:e01697e15.
- [24] and OC43 in suspension and after drying on surfaces: a possible source of hospital-acquired infections. *J Hosp Infect* 2000;46:55e60.
- [25] Duan SM, Zhao XS, Wen RF, Huang JJ, Pi GH, Zhang SX, et al. Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation. *Biomed Environ Sci* 2003;16:246e55.
- [26] Lai MY, Cheng PK, Lim WW. Survival of severe acute respiratory syndrome coronavirus. *Clin Infect Dis* 2005;41:e67e71.
- [27] Chan KH, Peiris JS, Lam SY, Poon LL, Yuen KY, Seto WH. The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. *Adv Virol* 2011;734690.
- [28] Rabenau HF, Cinatl J, Morgenstern B, Bauer G, Preiser W, Doerr HW. Stability and inactivation of SARS coronavirus. *Med Microbiol Immunol* 2005;194:1e6.
- [29] Rabenau HF, Kampf G, Cinatl J, Doerr HW. Efficacy of various disinfectants against SARS coronavirus. *J Hosp Infect* 2005;61:107e11.
- [30] Saknimit M, Inatsuki I, Sugiyama Y, Yagami K. Virucidal efficacy of physico-chemical treatments against coronaviruses and parvoviruses of laboratory animals. *Jikken Dobutsu Exp Anim* 1988;37:341e5.
- [31] Wood A, Payne D. The action of three antiseptics/disinfectants against enveloped and non-enveloped viruses. *J Hosp Infect* 1998;38:283e95.

- [32] Pratelli A. Action of disinfectants on canine coronavirus replication in vitro. *Zoonoses Publ Health* 2007;54:383e6.
- [33] Dellanno C, Vega Q, Boesenberg D. The antiviral action of common household disinfectants and antiseptics against murine hepatitis virus, a potential surrogate for SARS coronavirus. *Am J Infect Control* 2009;37:649e52.
- [34] Omidbakhsh N, Sattar SA. Broad-spectrum microbicidal activity, toxicologic assessment, and materials compatibility of a new generation of accelerated hydrogen peroxide-based environmental surface disinfectant. *Am J Infect Control* 2006;34:251e7.
- [35] Pratelli A. Canine coronavirus inactivation with physical and chemical agents. *Vet J (London, England : 1997)* 2008;177:71e9.
- [36] Kariwa H, Fujii N, Takashima I. Inactivation of SARS coronavirus by means of povidone-iodine, physical conditions and chemical reagents. *Dermatol (Basel, Switzerland)* 2006;212(Suppl 1):119e23.
- [37] Eggers M, Eickmann M, Zorn J. Rapid and Effective Virucidal Activity of Povidone-Iodine Products Against Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV) and Modified Vaccinia Virus Ankara (MVA). *Infect Dis Ther* 2015;4:491e501.
- [38] Eggers M, Koburger-Janssen T, Eickmann M, Zorn J. In Vitro Bactericidal and Virucidal Efficacy of Povidone-Iodine Gargle/ Mouthwash Against Respiratory and Oral Tract Pathogens. *Infect Dis Ther* 2018;7:249e59.
- [39] Hulkower RL, Casanova LM, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Inactivation of surrogate coronaviruses on hard surfaces by health care germicides. *Am J Infect Control* 2011;39:401e7.
- [40] Sattar SA, Springthorpe VS, Karim Y, Loro P. Chemical disinfection of non-porous inanimate surfaces experimentally contaminated with four human pathogenic viruses. *Epidemiol Infect* 1989;102:493e505.
- [41] Goyal SM, Chander Y, Yezli S, Otter JA. Evaluating the virucidal efficacy of hydrogen peroxide vapour. *J Hosp Infect* 2014;86:255e9.