

RESEARCH

Open Access



Efficacité antimicrobienne à long terme d'une feuille imprégnée d'argent sur des surfaces hospitalières très touchées dans les chambres de patients

Andreas F. Widmer^{1*}, Sonja Kuster^{1,2†}, Marc Dangel¹, Sammy Jäger¹ and Reno Frei¹

Résumé

Contexte : L'environnement hospitalier a fait l'objet d'une attention accrue en raison de l'augmentation des preuves qu'il constitue une source de transmission bactérienne et d'infection nosocomiale ultérieure. Un nettoyage et une désinfection réguliers ont été proposés pour réduire le risque d'infection, en particulier pour les bactéries gram-positives. L'auto-désinfection des surfaces permettrait de diminuer la survie des agents pathogènes, tout en limitant les ressources pour obtenir un environnement sûr dans les chambres des patients.

Méthodes : Un essai contrôlé pour évaluer l'efficacité antimicrobienne d'une feuille de chlorure de polyvinyle contenant un agent à base d'argent intégré (contenant 2% d'ions d'argent) sur les surfaces à fort contact dans les chambres des patients.

Résultats : La réduction logarithmique globale des valeurs moyennes était de 1,8 log₁₀ CFU, la médiane de 0,5 log₁₀ CFU en comparant la charge biologique du contrôle à celle de la feuille antimicrobienne ($p < 0,01$). Des agents pathogènes importants étaient significativement moins susceptibles d'être récupérés sur la feuille, en particulier les entérocoques. Ces effets étaient présents même après 6 mois d'utilisation.

Conclusions : Une feuille contenant un agent intégré à base d'argent, appliquée sur des surfaces à fort taux de contact, permet de réduire efficacement la récupération d'agents pathogènes importants sur ces surfaces pendant une période d'étude de 6 mois.

Mots clés : Infections associées aux soins de santé, environnement, désinfection des surfaces, feuille contenant de l'argent, auto-désinfection, entérocoques.

Introduction

Les infections associées aux soins (IASS) touchent chaque année des millions de patients qui défient les établissements de santé [1]. En Europe, 6,5 % des patients des hôpitaux de soins aigus développent au moins une IAH [2]. Grâce à des programmes efficaces de contrôle des infections, 20 à 30 % des IHA sont considérées comme pouvant être prévenues. Les objectifs de réduction des infections nosocomiales ont été atteints au cours de la dernière décennie, mais il reste un lourd fardeau pour les patients, qui nécessite des efforts supplémentaires en matière de prévention [3]. Nosocomial

Les agents pathogènes nosocomiaux à l'origine des infections nosocomiales proviennent de la flore endogène des patients dans 40 à 60 % des cas, de l'infection croisée par les mains contaminées du personnel soignant dans 20 à 40 % des cas et de la contamination de l'environnement dans environ 20 % des cas, selon le pathogène [4]. Les micro-organismes multirésistants ainsi que le *Clostridioides difficile* sont des causes fréquentes d'infections nosocomiales, en particulier le *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline (SARM), les entérocoques résistants à la vancomycine (ERV) et l'*Acinetobacter baumannii* qui sont fréquemment impliqués dans la transmission de ces pathogènes [5-7]. Ces micro-organismes peuvent persister sur les surfaces hospitalières de quelques heures à plusieurs mois, en fonction de l'emplacement, du nombre, de la formation d'un biofilm, de la résistance intrinsèque des organismes à divers produits de nettoyage ainsi que des conditions locales [8]. Pour les ERV, le contact avec un environnement contaminé entraîne un risque similaire de contamination des mains du personnel soignant, indépendamment du contact avec la peau intacte d'un patient colonisé ou de son environnement. [9]

*Correspondence: andreas.widmer@usb.ch

†Andreas Widmer and Sonja Kuster have contributed equally to this study

¹ Division of Infectious Diseases and Hospital Epidemiology, University Hospital Basel, 4031 Basel, Switzerland

Full list of author information is available at the end of the article

Andreas Widmer and Sonja Kuster have contributed equally to this study



Le nettoyage et la désinfection peuvent réduire les IAH [6, 7], comme cela a été documenté pour le *C. difficile* [10]. Le contact systématique avec les patients atteints de *C. difficile* non hypervirulent peut même être supprimé si les précautions standard et le nettoyage de l'environnement sont assurés [11, 12]. Le renforcement du nettoyage et de la désinfection peut même être rentable [13]. Les agents pathogènes peuvent être transmis par les mains du personnel soignant après les soins aux patients, mais aussi en touchant l'environnement proche des patients [9]. L'hygiène systématique des mains permettrait d'éliminer ce risque, mais dans la réalité, une grande conformité et une technique appropriée restent un défi permanent [14]. Une autre approche consiste à nettoyer et désinfecter quotidiennement et de manière répétitive les surfaces critiques, mais cela est très coûteux et peut entraver les soins aux patients. En outre, la recolonisation des surfaces se produit dans les heures qui suivent le nettoyage [15, 16]. Même le nettoyage final après la sortie du patient ne peut pas toujours éliminer les agents pathogènes laissés sur les surfaces par les occupants précédents de la chambre [17]. Par conséquent, l'activité antimicrobienne continue contre les micro-organismes par des matériaux ou des revêtements auto-désinfectants est un sujet de recherche actuel [18]. Le cuivre a été testé avec succès pour prévenir les infections nosocomiales dans les hôpitaux, mais il est très cher, lourd et les études de confirmation sont en attente [19]. Un essai clinique très récent a comparé des surfaces à fort contact recouvertes d'un polymère d'ammonium quaternaire à des surfaces non recouvertes afin de déterminer l'impact sur l'incidence des infections nosocomiales [20]. De même, cette étude a testé une feuille imprégnée d'argent montée sur des surfaces à fort contact dans les chambres des patients, afin d'évaluer l'activité antimicrobienne sur la charge biologique et la présence d'agents pathogènes importants.

Matériel et méthodes

Feuille antimicrobienne

La feuille antimicrobienne PUR-ZON060B, distribuée par CLEAN ZONE PROTECT. Cette feuille flexible, transparente et d'une épaisseur de 60 µm en chlorure de polyvinyle contient un agent intégré à base d'argent (contenant 2 % d'ions argent) développé et fabriqué par SANITIZED AG (Burgdorf, Suisse). Les spécifications détaillées de la feuille antimicrobienne PURZON060B sont fournies sur le site https://docs.google.com/document/d/1F-7RYnNrAHE8M9oWH_9UtY1BIgaSaFmXvekrAXx8EuY/edit?usp=sharing. Dernier accès le 3 juin 2021.

Cadre de l'étude

L'étude prospective et comparative a été menée dans un service chirurgical et un service médical de l'hôpital universitaire de Bâle de mars à mai 2020. Sur la base d'une étude précédente [21], une réduction de > 50 % du bioburden ou des agents pathogènes importants a été considérée comme cliniquement significative.

Dans chaque service, les surfaces très touchées de trois chambres de patients ont été recouvertes d'une feuille antimicrobienne. Les surfaces suivantes ont été sélectionnées : table de chevet, table de nuit, accoudoir d'une chaise de repos, table à manger, anneau de toilette et chasse d'eau. Les surfaces de contrôle correspondantes ont été définies sur le même meuble, soit adjacentes, soit de l'autre côté (par exemple, accoudoir gauche et droit). La position droite ou gauche de la feuille ou de la surface de contrôle était choisie alternativement. Étant donné que l'anneau et la chasse d'eau des toilettes devaient être entièrement recouverts d'un film pour des raisons techniques, les témoins ont été prélevés dans une chambre de patient adjacente. Au total, 12 tables de chevet, 12 tables de nuit, 8 accoudoirs, 7 tables à manger, 4 anneaux de toilettes et 4 chasses d'eau ont été recouverts d'un film antimicrobien, ce qui a donné 47 surfaces de test recouvertes et 47 surfaces de contrôle non recouvertes. La feuille antimicrobienne auto-adhésive a été appliquée par des techniciens qualifiés.

Échantillonnage

Les échantillons destinés aux analyses microbiologiques ont été prélevés tous les lundis et mercredis après 17 heures à l'aide d'écouvillons floqués humidifiés avec une solution de NaCl avant utilisation et placés, après écouvillonnage, dans un milieu de transport eSwab® (Copan, Brescia, Italie). Guidés par des gabarits métalliques propres de 25,2 cm², la feuille d'essai ainsi que les surfaces de contrôle ont été écouvillonnées. Les écouvillons ont été immédiatement apportés au laboratoire de microbiologie et stockés à 4-8 °C pendant la nuit avant d'être traités.

Méthodes de laboratoire

À partir du liquide eSwab®, 250 µl ont été inoculés sur chacun des milieux de culture suivants : gélose trypticase soja, ChromID® CPS® Elite et ChromID® *S. aureus* Elite (bioMérieux, Marcy-l'Étoile, France). Les milieux ont été incubés. Les milieux ont été incubés à 36° ± 1 °C pendant 42-48 h. Les unités formant des colonies (UFC) ont été comptées et les isolats pathogènes présumés ont été identifiés par désorption laser assistée par matrice.

identifiés par spectrométrie de masse à désorption/ionisation laser assistée par matrice - temps de vol (MALDI-TOF) (MALDI Biotyper®, microflex™ LT/SH smart, Bruker Daltonik, Brême, Allemagne). L'analyse microbiologique s'est concentrée sur les agents pathogènes importants suivants : *S. aureus*, *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, autres *Enterococcus* spp., streptocoques hémolytiques, Enterobacterales, *Pseudomonas* spp. et groupe *A. baumannii*.

Politique de nettoyage et de désinfection de l'environnement

Toutes les chambres des patients sont nettoyées une fois par jour avec un détergent et des tampons en microfibres à usage unique. Les toilettes sont systématiquement désinfectées avec Deconex® 50FF (Borer Chemie, Zuchwil, Suisse), un désinfectant certifié sans aldéhyde à base d'éthanedial, de pentanedial et de chlorure de didécylidiméthyl-ammonium.

Table 1 Mean log₁₀ reduction CFU overall and CFU of important pathogens on antimicrobial foil compared to control surfaces

	N samples	Mean (SD)	p value	Reduction
CFU/cm ² overall				
Control surfaces	202	378 (± 3240)	< 0.001	1.8 log ₁₀ CFU
Antimicrobial foil	201	5.58 (± 24.8)		
CFU/cm ² of important pathogens*				
Control surfaces	202	60.61 (± 843.14)	< 0.001	2.6 log ₁₀ CFU
Antimicrobial foil	201	0.14 (± 0.1.59)		

Very few gram-negative bacteria were isolated to make meaningful comparisons

* > 90% *S. aureus*, *E. faecalis* and *E. faecium*, see Materials and methods

Table 2 Median log₁₀ reduction CFU overall on antimicrobial foil compared to control surfaces

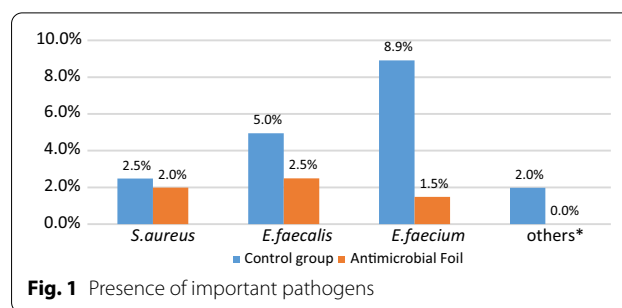
	N samples	Median (interquartile range)	p value	Reduction
CFU/cm ² overall				
Control surfaces	202	0.95 (0.16–5.52)	< 0.001	0.5 log ₁₀ CFU
Antimicrobial foil	201	0.32 (0.02–1.90)		

Analyse statistique

Les données ont été recueillies dans une feuille de calcul, importées et analysées avec Python 3.7.7 (pandas 1.0.3, scipy 1.4.1, numpy 1.18.4). Les résultats des cultures ont été rapportés en log₁₀ CFU /cm². La réduction log₁₀ moyenne a été calculée comme la différence entre le log₁₀ de l'UFC moyenne des échantillons prélevés sur la feuille antimicrobienne et la surface de contrôle. La réduction médiane log₁₀ a été calculée respectivement. Pour la comparaison entre les UFC sur la feuille antimicrobienne et la surface de contrôle non revêtue, les valeurs ont été comparées par le test du rang signé de Wilcoxon et pour les échantillons non traités par le test U de Mann Whitney. Les valeurs P < 0,05 (bilatérales) ont été considérées comme statistiquement significatives.

Résultats

Au total, 403 écouvillons ont été prélevés : 201 sur la feuille antimicrobienne, 202 sur les surfaces de contrôle non revêtues. Les cultures étaient négatives dans 79 échantillons : 53 (67 %) provenant de la feuille antimicrobienne et 26 (33 %) des échantillons de contrôle (p < 0,001). La réduction logarithmique globale des valeurs moyennes était de 1,8 log₁₀ CFU, la médiane de 0,5 log₁₀ CFU en comparant la charge biologique du contrôle à celle de la feuille antimicrobienne (p < 0,01, tableaux 1, 2).

**Table 3** CFU after 6 months of use in patient rooms

	N samples	Mean (SD)	p value	Reduction
CFU/cm ² overall				
Control surfaces	38	7.44 (± 3.97)	0.12	0.24 log ₁₀ CFU
Antimicrobial foil	38	4.24 (± 2.71)		
CFU/cm ² of important pathogens*				
Control	38	0.04 (± 0.17)	0.04	> 0.6 log ₁₀ CFU
Antimicrobial foil	38	0.00(± 0.00)		

Very few gram-negative bacteria were isolated to make meaningful comparisons

* > 90% *S. aureus*, *E. faecalis* and *E. faecium*, see Materials and methods

Des réductions plus importantes ont été observées dans les échantillons présentant une charge biologique élevée sur les échantillons de contrôle : La réduction la plus élevée a été observée dans les échantillons de toilettes avec une réduction de 2,0 log₁₀ CFU (p < 0,01).

Plus important encore, 49 agents pathogènes importants différents ont été trouvés sur 38 échantillons : 9 (34 %) provenant de la feuille antimicrobienne, 29 (76 %) provenant des échantillons de contrôle (p < 0,001). Plus de 90 % des agents pathogènes importants étaient des bactéries gram-positives, des bactéries qui survivent bien sur des surfaces sèches. De grandes différences entre la feuille antimicrobienne et les surfaces de contrôle ont été observées dans la détection des ente-rococci (Fig. 1). Les *Acinetobacter* spp. font également partie des bactéries qui peuvent survivre pendant des périodes prolongées : Cependant, aucun des échantillons n'était positif pour le groupe *Acinetobacter* bau-manii. Très peu de bactéries gram-négatives ont été iso-latées pour permettre des comparaisons significatives.

L'effet à long terme sur 6 mois a été confirmé par la répétition des échantillons de la feuille antimicrobienne (tableau 3).

Discussion

De multiples études ont confirmé l'impact d'une élimination appropriée des agents pathogènes de l'environnement sur l'incidence de la transmission [6, 16, 22], même dans le cadre d'essais cliniques contrôlés et randomisés, et cette mesure semble être rentable [13]. Une étude très récente indique que le contrôle de l'environnement dans les hôpitaux entraîne une diminution significative des taux d'infections nosocomiales [20]. L'importance du contrôle de la contamination environnementale s'est accrue au fil du temps dans les établissements de santé.

Il pourrait être plus important de lutter contre la transmission de micro-organismes multirésistants que de réduire les infections nosocomiales. Dans cette étude, la charge biologique a été réduite de manière significative par le film antimicrobien : mesurée par la réduction de l'UFC moyenne ainsi que de la médiane, cette dernière conduisant généralement à un effet plus faible [20]. La feuille antimicrobienne a également permis une diminution significative des agents pathogènes importants, en particulier *E. faecalis* et *E. faecium*. La contamination environnementale préalable des chambres d'hôpital peut augmenter le risque d'acquisition d'entérocoques [23] et a été responsable de l'une des plus grandes épidémies d'ERV à l'échelle nationale en Suisse [24]. Le clone ST 796 d'*E. faecium* a probablement été introduit d'Australie, s'est propagé dans de nombreux hôpitaux suisses et a duré plus de deux ans malgré l'intensification de l'isolement des contacts, de l'isolement préventif, du dépistage à l'admission et même du dépistage de tous les patients dans l'ensemble de l'hôpital. Un désinfectant efficace tue rapidement les entérocoques, y compris les ERV, mais une recolonisation environnementale se produit dans les heures qui suivent la désinfection [15]. Par conséquent, une surface auto-désinfectante serait souhaitable dans certaines zones telles que les unités de transplantation ou également lors de pandémies comme actuellement avec le SRAS-CoV-2 [25], car les communautés bactériennes semblent contribuer à la prévalence virale dans l'environnement hospitalier [26]. La feuille antimicrobienne PURZON060B a été testée contre le coronavirus humain HCoV-229E *in vitro*, et s'est révélée très active *in vitro*. Cependant, notre plan d'étude a été soumis à l'automne 2019, et les limitations en matière de ressources et de biosécurité ont empêché de tester le produit dans les chambres des patients.

La feuille pourrait être placée sur différentes surfaces sans se détacher au fil du temps. Cependant, le retrait de la feuille nécessite une expertise particulière, car elle adhère très bien à la surface. En plus de la feuille imprégnée, le composé antimicrobien à base d'argent a été incorporé avec succès dans une variété d'autres matériaux tels que les tissus et les synthétiques pour la finition de diverses surfaces et équipements, ce qui rend ce composé intéressant pour d'autres applications.

Plusieurs limites de l'étude doivent être prises en compte : Nous avons prélevé des échantillons 8 à 10 heures après le nettoyage et la désinfection de routine, après que les patients et le personnel soignant aient utilisé l'environnement comme jugé nécessaire pour le travail et les besoins quotidiens. La fréquence de contact des surfaces était hors de contrôle de l'étude, mais la politique de l'hôpital exige un nettoyage et/ou une désinfection quotidienne. Cependant, la technique d'échantillonnage a été conçue pour prélever des échantillons exactement dans la zone adjacente au moment où le film antimicrobien était posé. Un effet à long terme sur plusieurs années n'a pas été évalué pour étudier la longévité. La pandémie de SRAS-CoV-2 s'étant répandue dans toute la Suisse pendant l'étude, celle-ci a dû être temporairement interrompue

de la mi-mars à la fin avril. Nous avons poursuivi l'étude pour estimer l'effet d'une politique de désinfection massivement accrue. En raison du faible taux d'occupation des salles et de l'accès restreint des visiteurs, la charge biologique sur les surfaces étudiées avait considérablement diminué pour atteindre des niveaux presque indétectables (données non présentées). L'augmentation du nettoyage et de la désinfection au moins une fois par jour, en mettant l'accent sur les toilettes, pourrait être une alternative efficace à l'utilisation de ces produits.

une alternative efficace à l'utilisation d'une telle feuille antimicrobienne auto-désinfectante.

En conclusion, cette feuille de chlorure de polyvinyle contenant un agent à base d'argent intégré, appliquée à des surfaces à haute température, a permis d'obtenir des résultats positifs. contenant un agent intégré à base d'argent, appliquée sur des surfaces très touchées, permet de réduire efficacement la récupération d'agents pathogènes importants sur ces surfaces, même six mois après leur utilisation clinique dans les chambres des patients. Les feuilles autodésinfectantes ou les surfaces similaires équipées d'un agent antimicrobien pourraient contribuer à prévenir la transmission - en particulier - des agents pathogènes à Gram positif à partir de l'environnement.

Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s13756-021-00956-1>.

Acknowledgements

None.

Authors' contributions

Sonja Kuster performed the study, collected the data and did a first analysis of the data. Sammy Jaeger, MS completed the statistical analysis after data additional data cleaning. Reno Frei supervised the study, and was responsible for the microbiological methods, and Andreas Widmer was PI. of the study, received the grant, and wrote with Reno Frei the paper. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

By Innosuisse, the Federal Swiss Innovation Promotion Agency (Grant # 38216.1 IP-LS) (<https://www.innosuisse.ch/inno/en/home.html>): The sponsor had no influence on design of the study and collection, analysis, and interpretation of data and in writing the manuscript. A supervisor of Federal Swiss Innovation Promotion Agency reviewed the protocol before the study began.

Availability of data and materials

Data are available as Excel file and python statistical software. The datasets used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

Not applicable.

Consent for publication

Author details

¹Division of Infectious Diseases and Hospital Epidemiology, University Hospital Basel, 4031 Basel, Switzerland. ²Present Address: Spital Muri, 5630 Muri, Switzerland.

Received: 22 December 2020 Accepted: 24 May 2021

Published online: 16 August 2021

References

- Zimlichman E, Henderson D, Tamir O, Franz C, Song P, Yamin CK, et al. Health care-associated infections: a meta-analysis of costs and financial impact on the US health care system. *JAMA Intern Med.* 2013;173(22):2039–46. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.9763>.
- Suetens C, Latour K, Karki T, Ricchizzi E, Kinross P, Moro ML, et al. Prevalence of healthcare-associated infections, estimated incidence and composite antimicrobial resistance index in acute care hospitals and long-term care facilities: results from two European point prevalence surveys, 2016 to 2017. *Euro Surveill.* 2018;23(46):66.
- Magill SS, O'Leary E, Janelle SJ, Thompson DL, Dumyati G, Nadle J, et al. Changes in prevalence of health care-associated infections in U.S. hospitals. *N Engl J Med.* 2018;379(18):1732–44. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1801550>.
- Dancer SJ. Controlling hospital-acquired infection: focus on the role of the environment and new technologies for decontamination. *Clin Microbiol Rev.* 2014;27(4):665–90.
- Erb S, Frei R, Dangel M, Widmer AF. Multidrug-resistant organisms detected more than 48 hours after hospital admission are not necessarily hospital-acquired. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2017;38(1):18–23.
- Rutala WA, Kanamori H, Gergen MF, Knelson LP, Sickbert-Bennett EE, Chen LF, et al. Enhanced disinfection leads to reduction of microbial contamination and a decrease in patient colonization and infection. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2018;39(9):1118–21. <https://doi.org/10.1017/ice.2018.165>.
- Weber DJ, Rutala WA, Miller MB, Huslage K, Sickbert-Bennett E. Role of hospital surfaces in the transmission of emerging health care-associated pathogens: norovirus, *Clostridium difficile*, and *Acinetobacter* species. *Am J Infect Control.* 2010;38(5 Suppl 1):S25–33.
- Otter JA, Yezli S, Salkeld JA, French GL. Evidence that contaminated surfaces contribute to the transmission of hospital pathogens and an overview of strategies to address contaminated surfaces in hospital settings. *Am J Infect Control.* 2013;41(5 Suppl):S6–11.
- Hayden MK, Blom DW, Lyle EA, Moore CG, Weinstein RA. Risk of hand or glove contamination after contact with patients colonized with vancomycin-resistant enterococcus or the colonized patients' environment. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2008;29(2):149–54.
- Salgado CD, Sepkowitz KA, John JF, Cantey JR, Attaway HH, Freeman KD, et al. Copper surfaces reduce the rate of healthcare-acquired infections in the intensive care unit. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2013;34(5):479–86.
- Tschudin-Sutter S, Kuijper EJ, Durovic A, Vehreschild M, Barbut F, Eckert C, et al. Guidance document for prevention of *Clostridium difficile* infection in acute healthcare settings. *Clin Microbiol Infect.* 2018;24(10):1051–4.
- Widmer AF, Frei R, Erb S, Stranden A, Kuijper EJ, Knetsch CW, et al. Transmissibility of *Clostridium difficile* without contact isolation: results from a prospective observational study with 451 patients. *Clin Infect Dis.* 2017;64(4):393–400. <https://doi.org/10.1093/cid/ciw758>.
- White NM, Barnett AG, Hall L, Mitchell BG, Farrington A, Halton K, et al. Cost-effectiveness of an environmental cleaning bundle for reducing healthcare-associated Infections. *Clin Infect Dis.* 2020;70(12):2461–8. <https://doi.org/10.1093/cid/ciz717>.
- Tschudin-Sutter S, Sepulcri D, Dangel M, Ulrich A, Frei R, Widmer AF. Simplifying the world health organization protocol: 3 steps versus 6 steps for performance of hand hygiene in a cluster-randomized trial. *Clin Infect Dis.* 2019;69(4):614–20.
- Meinke R, Meyer B, Frei R, Passweg J, Widmer AF. Equal efficacy of gluco-protamin and an aldehyde product for environmental disinfection in a hematologic transplant unit: a prospective crossover trial. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2012;33(11):1077–80.
- Anderson DJ, Chen LF, Weber DJ, Moehring RW, Lewis SS, Triplett PF, et al. Enhanced terminal room disinfection and acquisition and infection caused by multidrug-resistant organisms and *Clostridium difficile* (the Benefits of Enhanced Terminal Room Disinfection study): a cluster-randomised, multicentre, crossover study. *Lancet.* 2017;389(10071):805–14. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31588-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31588-4).
- Mitchell BG, Dancer SJ, Anderson M, Dehn E. Risk of organism acquisition from prior room occupants: a systematic review and meta-analysis. *J Hosp Infect.* 2015;91(3):211–7.
- Schmidt MG, Salgado CD, Freeman KD, John JF, Cantey JR, Sharpe PA, et al. Antimicrobial surfaces to prevent healthcare-associated infections: a systematic review - a different view. *J Hosp Infect.* 2018;99(3):309–11. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2018.02.007>.
- Muller MP, MacDougall C, Lim M. Antimicrobial surfaces to prevent healthcare-associated infections: a systematic review. *J Hosp Infect.* 2016;92(1):7–13. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.09.008>.
- Ellingson KD, Pogreba-Brown K, Gerba CP, Elliott SP. Impact of a novel antimicrobial surface coating on health care-associated infections and environmental bioburden at 2 urban hospitals. *Clin Infect Dis.* 2020;71(8):1807–13. <https://doi.org/10.1093/cid/ciz077>.
- Widmer FC, Frei R, Romanyuk A, Tschudin Sutter S, Widmer AF. Overall bioburden by total colony count does not predict the presence of pathogens with high clinical relevance in hospital and community environments. *J Hosp Infect.* 2019;101(2):240–4.
- Mitchell BG, Hall L, White N, Barnett AG, Halton K, Paterson DL, et al. An environmental cleaning bundle and health-care-associated infections in hospitals (REACH): a multicentre, randomised trial. *Lancet Infect Dis.* 2019;19(4):410–8. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30714-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30714-X).
- Drees M, Snyderman DR, Schmid CH, Barefoot L, Hansjosten K, Vue PM, et al. Prior environmental contamination increases the risk of acquisition of vancomycin-resistant enterococci. *Clin Infect Dis.* 2008;46(5):678–85. <https://doi.org/10.1086/527394>.
- Wassilew N, Seth-Smith HM, Rolli E, Fietze Y, Casanova C, Führer U, et al. Outbreak of vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* clone ST796, Switzerland, December 2017 to April 2018. *Euro Surveill.* 2018;23(29):1800351. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.29>.
- Zhou Y, Zeng Y, Chen C. Presence of SARS-CoV-2 RNA in isolation ward environment 28 days after exposure. *Int J Infect Dis.* 2020;97:258–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.06.015>.
- Marotz C, Belda-Ferre P, Ali F, Das P, Huang S, Cantrel K, et al. Microbial context predicts SARS-CoV-2 prevalence in patients and the hospital built environment. *medRxiv.* 2020;22:26.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.