

**Szabó Rita<sup>1</sup>, Szigetiné Málics Livia<sup>2</sup>, Barcs István<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Istenhegyi Géndiagnosztikai Centrum, Budapest - Istenhegy Gene Diagnostic Center, Budapest

<sup>2</sup>Budai Irgalmasrendi Kórház, Budapest - Buda Hospital of the Hospitaller Order of Saint John of God, Budapest

<sup>3</sup>Jászberényi Szent Erzsébet Kórház, Jászberény - Saint Elisabeth Hospital, Jászberény

DOI: <https://doi.org/10.29179/EgTud.2020.3.28-50>

# Környezethigiéné: innovatív dekontaminációs technológiák

## Environmental hygiene: innovative decontamination technologies

### Összefoglalás

Az egészségügyi ellátást végző és a bentlakásos szociális intézményekben a felületek és a levegő megfelelő és rendszeres fertőtlenítése a hatékony infekciókontroll programok elengedhetetlen eleme. A hagyományos manuális fertőtlenítés azonban gyakran nem elégséges. Az „érintés nélküli” (automatizált) fertőtlenítő technológiák (pl. hidrogén-peroxidot alkalmazó hidegködkepző berendezések) hatékony alternatívái a jelenleg széles körben alkalmazott fertőtlenítőszereseknek. Az intézményi vezetőknek és a higiénikus szakembereknek érdemes megfontolniuk az innovatív dezinficiens és az érintésmentes fertőtlenítési technológiák alkalmazását a betegbiztonság javítása érdekében.

Kulcsszavak: fertőtlenítés, kórházak, hidrogén-peroxid, infekciókontroll, nanotechnológia

**Abstract**

Efficient and regular disinfection of air and surfaces are essential elements of effective infection prevention programs in hospitals and long-term care facilities. However, traditional manual disinfection practices are often suboptimal. “No-touch” (automated) decontamination technologies (e.g., vaporized hydrogen peroxide) are effective alternatives to disinfectants currently in widespread use. Institutional leaders and infection control experts should consider the use of innovative disinfectants and no-touch decontamination technologies to improve patient safety.

*Keywords: disinfection, hospitals, hydrogen peroxide, infection control, nanotechnology*

**EGÉSZSÉGTUDOMÁNY**

2020;64(3): 28-50

**HEALTH SCIENCE**

*Közlésre érkezett: 2020. augusztus 14.*

*Submitted: 14 August 2020*

*Elfogadva: 2020. augusztus 30.*

*Accepted: 30 August 2020*

**Levelezési cím/Correspondence:**

Szabó Rita

Istenhegyi Géndiagnosztikai Centrum

E-mail: sz.rita33@gmail.com

## Bevezetés

Az egészségügyi ellátással összefüggő fertőzés a morbiditás és a halálozás egyik fő oka világszerte. Az Európai Betegségmegelőzési és Járványügyi Központ (European Centre for Disease Prevention and Control, ECDC) becslése szerint e fertőzések hat fő típusa (pneumonia, húgyúti fertőzés, műtéti sebfertőzés, *Clostridium difficile* infekció, neonatális szepszis és primer véráramfertőzés) az egészségkárosodással korrigált életévekben (Disability-Adjusted Life Years, DALY) kifejezve az Európai Unió (EU) és az Európai Gazdasági Térség országaiban magasabb, mint az ECDC által felügyelt egyéb infekciók betegségterheösszesen<sup>1</sup>. A becslés eredményei szerint minden korcsoportot érintenek a fertőzések, bár a betegségteher szignifikánsan magasabb a csecsemők és a 65 év felettek körében<sup>1</sup>. Az ECDC első, az egészségügyi ellátó intézményekben elvégzett (2011-2012) pont prevalencia vizsgálatának (PPV) protokollja nem tette lehetővé a bentlakásos szociális intézményekkel történő összehasonlítást, holott az ellátottak között az időskorral járó anatómiai és fiziológiai

változások (pl. az immunrendszer „öregedése”, funkcionális károsodások, krónikus betegségek), illetve az intézményi problémák (pl. szoros kontaktus, preventív intézkedések hiánya) miatt egyre gyakoribbak az egészségügyi ellátással összefüggő fertőzések és az antimikrobiális szerhasználat (pl. fluoroquinolon), mely utóbbi legfontosabb „mellékhatása” a multirezisztens kórokozók megjelenése<sup>2,3</sup>. A 2016-2017 között, egységes protokoll szerint elvégzett PPV eredményei szerint az egészségügyi ellátást végző intézményekben a betegek 5,9%-ánál (EU átlag: 6,5%), a bentlakásos szociális intézmények esetében pedig az ellátottak 3,7%-ánál (EU átlag: 3,9%) fordult elő fertőzés, legnagyobb arányban légúti infekció<sup>4</sup>. A leggyakrabban izolált mikroorganizmus az *Escherichia coli*, a *Staphylococcus aureus*, a *Klebsiella spp.*, az *Enterococcus spp.*, a *Pseudomonas aeruginosa* és a *Clostridium difficile* volt<sup>4</sup>.

Ezen, a nozokomiális fertőzések és járványok kialakulásában jelentős szerepet játszó specifikus és aspecifikus kórokozók (pl. influenzavírus, MERS-

CoV, SARS-CoV, norovírus, *Clostridium difficile*, *Acinetobacter spp.*) átvitele leggyakrabban a kezek által, direkt kontaktus útján, indirekt módon (a kontaminált felület, majd egy fogékony személy megérintésével) vagy cseppfertőzéssel történik<sup>5,6,7</sup>. Az amerikai Betegségmegelőzési és Járványügyi Központ (Centre for Disease Prevention and Control, CDC) szakemberei az 1980-as években még úgy vélték, hogy az indirekt kontaktus szerepe elhanyagolható<sup>8</sup>. Az azóta elvégzett járványügyi és mikrobiológiai vizsgálat eredményeként azonban nyilvánvalóvá vált, hogy ezen kórokozók egyrészt órákig (az egészségügyben dolgozók kezein a megfelelő módon és ideig elvégzett kézhigiénés tevékenység hiányában), másrészt napokig, hetekig, vagy akár hónapokig is túlélnek a különböző porózus (pl. gumi, textília, fa, papír) és nem porózus (pl. ágy, villanykapcsoló, telefon, orvostechnikai eszközök) felületeken, valamint a helyiségek levegőjében lévő aeroszolcseppekben<sup>5,9,10,11,12</sup>. A Stiefel és munkatársai által elvégzett vizsgálat bizonyította, hogy a kontaminált környezettel való érintkezés ugyanolyan mértékben

szennyezi az egészségügyben dolgozók kezét, mint a betegekkel való közvetlen kapcsolat<sup>13</sup>. Azt is megfigyelték, hogy a dolgozók kézhigiénés compliance-e a beteg környezetének megérintését követően jóval alacsonyabb, mint a beteggel történt közvetlen kontaktus után<sup>14</sup>. Továbbá az is bebizonyosodott, hogy az olyan betegszobába történő elhelyezés, amelyben az előző beteg bizonyos patogénekkel (pl. methicillin-rezisztens *Staphylococcus aureus*, vancomycin-rezisztens *Enterococcus*, *Acinetobacter spp.*, *Clostridium difficile*) kolonizált vagy fertőzött volt és nem végeztek hatékony zárófertőtlenítést, az újonnan felvételre kerülő betegeknek jelentős kockázati tényezőként szerepelt az infekció kialakulásában<sup>15,16</sup>.

## A környezethigiéné szerepe a nozokomiális fertőzések megelőzésében

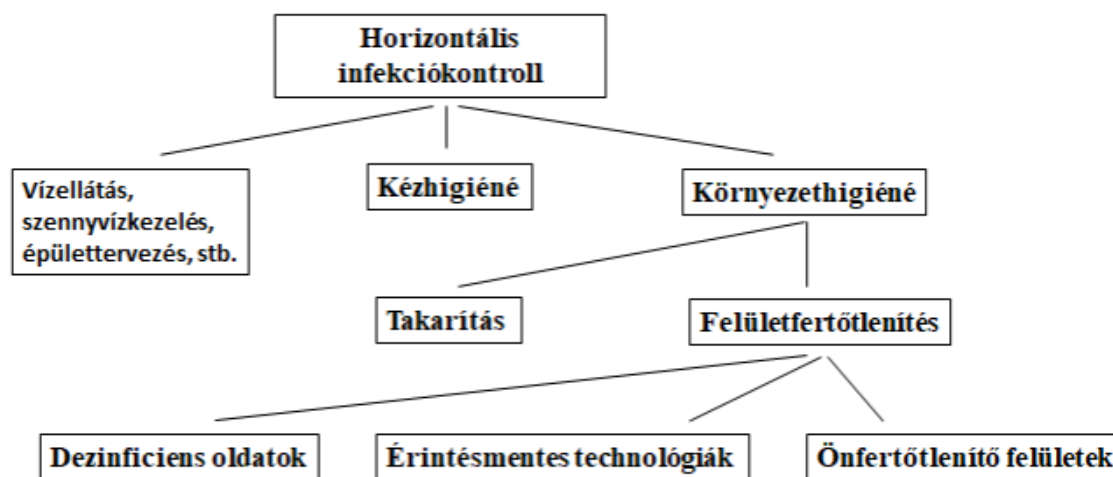
Következésképpen a környezethigiéné kritikus fontosságú, az infekciókontroll egyik legfontosabb eleme, amit Wenzel és Edmond a „horizontális beavatko-

zások” közé sorol. Ezen beavatkozások célja – beteg-specifikus körülményektől függetlenül – a kórokozók széles köre által okozott fertőzések kockázatának csökkentése bizonyítékokon alapuló hatékony tevékenységek alkalmazásával<sup>17</sup>. A környezethigiéné magába foglalja a betegzónák felületeinek és levegőjének fertőtlenítését folyékony kémiai fertőtlenítőszerekkel, érintésmentes technológia alkalmazásával vagy önferőtlenítő felületekkel (1. ábra).

### Dezinficiens oldatok

Az egészségügyi ellátást végző és a bentlakásos szociális intézményekben

a fertőtlenítést a Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) által engedélyezett fertőtlenítőszerekkel, általában kvaterner ammónium vegyületekkel, klórtartalmú vegyületekkel, fenolokkal vagy továbbfejlesztett hidrogén-peroxiddal végzik, melyek előnyeinek és hátrányainak összefoglalása az 1. táblázatban látható<sup>18</sup>. Összehasonlító vizsgálatokban a továbbfejlesztett (pl. nanoezüstöt tartalmazó) hidrogén-peroxid alapú környezetfertőtlenítő szerek jóval eredményesebbnek ( $> 6\text{-log}_{10}$  csökkenés 30 másodperc alatt) bizonyultak a nozokomiális mikróbák eltávolításában<sup>19</sup>.



1. ábra: A horizontális beavatkozások elemei

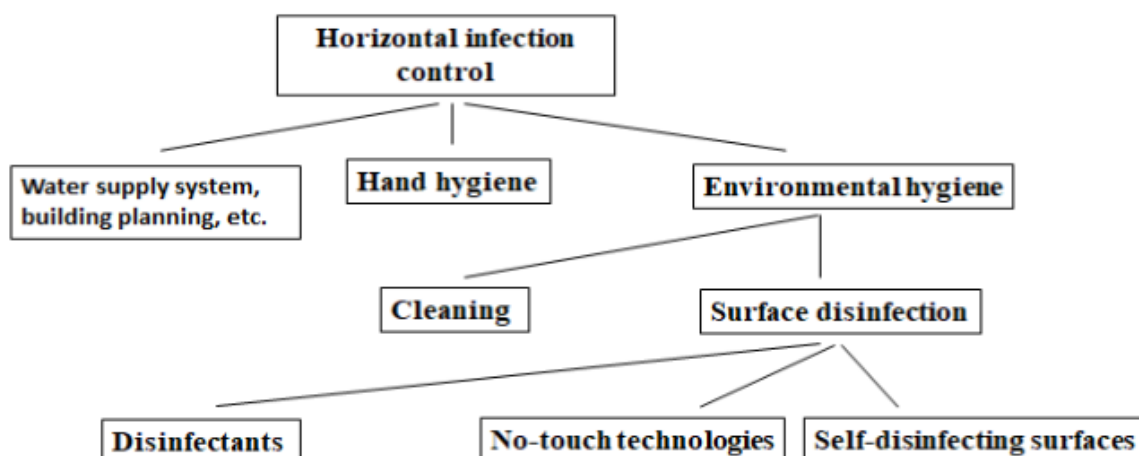


Figure 1. Elements of horizontal interventions

**1. táblázat: A dezinficiensek előnyei és hátrányai**

Dezinficiensek	Előnyök	Hátrányok
<b>Alkohol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Baktericid, tuberculocid, fungicid, virucid</li> <li>-Behatási ideje rövid</li> <li>-Nincs toxikus maradványa</li> <li>-Nem korrózív</li> <li>-Nem tartalmaz színezéket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Nincs sporocid hatása</li> <li>-Károsítja a szerves anyagokat</li> <li>-Gyúlékony (biztonságos tárolást igényel)</li> <li>-Gyorsan párolog</li> <li>-Nagy felületeken nem ajánlott a használata</li> </ul>
<b>Klórtartalmú vegyületek</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Baktericid, tuberculocid, fungicid, virucid, sporocid</li> <li>-Nincs toxikus maradványa</li> <li>-Behatási ideje rövid</li> <li>-A vízkeménység nem befolyásolja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Irritálja a nyálkahártyát</li> <li>-Szúrós szagú</li> <li>-Károsítja a szerves anyagokat</li> <li>-Nagy koncentrációban (&gt; 500 ppm) korrózív</li> <li>-Elszínezi a szöveteket</li> </ul>

**Továbbfejlesztett hidrogén-peroxid**

- Baktericid, mycobactericid, fungicid, virucid, sporocid
- Behatási ideje rövid
- Nem károsítja a szerves anyagokat
- Szagtalan
- Biztonságos a használók számára
- Nincs toxikus maradványa
- Nem tartalmaz színezéket
- Nem tűzveszélyes
- Nem korrózív

-Drágább, mint a legtöbb dezinficiens

**Jodoforok**

- Baktericid, mycobactericid, virucid
- Szagtalan
- Biztonságos a használók számára
- Nincs toxikus maradványa
- Nem tűzveszélyes
- Nem korrózív

- A fungicid hatáshoz hosszabb behatási idő szükséges
- Nincs sporocid hatása
- A szilikon katétereket károsítja
- Elszínezi a felületeket
- Nagy felületeken nem ajánlott a használata

**Fenolok**

- Baktericid, tuberculocid, fungicid, virucid
- Olcsó (hígított formában)
- Nem tartalmaz színezéket
- Nem tűzveszélyes

- Nincs sporocid hatása
- A porózus anyagok abszorbeálják
- A bőr irritációját és depigmentációja okozhatja

**Kvaterner ammóniumvegyületek**

- Baktericid, fungicid, virucid
- Nincs toxikus maradványa
- Nem korrózív

- Nincs sporocid hatása
- A légutak irritációját okozhatja

**Table 1. Advantages and disadvantages of disinfectants**

Disinfectants	Advantages	Disadvantages
<b>Alcohol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bactericide, tuberculocide, fungicide, virucide</li> <li>-Fast acting</li> <li>-No toxic residue</li> <li>-Noncorrosive</li> <li>-Colourless</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Non sporicide</li> <li>-Damage organic matter</li> <li>-Flammable (require special storage)</li> <li>-Evaporates rapidly</li> <li>-Use for large surfaces is not recommended</li> </ul>
<b>Chlorine compounds</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bactericide, tuberculocide, fungicide, virucide, sporicide</li> <li>-No toxic residue</li> <li>-Fast acting</li> <li>-Unaffected by water hardness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Irritates mucous membrane</li> <li>-Strong odour</li> <li>-Damage organic matter</li> <li>-Corrosiveness in high concentrations (&gt;500 ppm)</li> <li>-Depigmenting tissues</li> </ul>
<b>Improved hydrogen peroxide</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bactericide, mycobactericide, fungicide, virucide, sporicide</li> <li>-Fast acting</li> <li>-Does not damage organic matter</li> <li>-Odourless</li> <li>-Safe for users</li> <li>-No toxic residue</li> <li>-Colourless</li> <li>-Inflammable</li> <li>-Noncorrosive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-More expensive than most other disinfectants</li> </ul>



<b>Iodophors</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bactericide, mycobactericide, virucide</li> <li>-Odourless</li> <li>-Safe for users</li> <li>-No toxic residue</li> <li>-Inflammable</li> <li>-Noncorrosive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Require prolonged acting time to kill fungi</li> <li>-Non sporicide</li> <li>-Damage silicone catheters</li> <li>-Depigmenting surfaces</li> <li>-Use for large surfaces is not recommended</li> </ul>
<b>Phenolics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bactericide, tuberculocide, fungicide, virucide</li> <li>-Inexpensive</li> <li>-Colourless</li> <li>-Inflammable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Non sporicide</li> <li>-Absorbed by porous materials</li> <li>-Irritate tissue</li> </ul>
<b>Quaternary ammonium compounds</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bactericide, fungicide, virucide</li> <li>-No toxic residue</li> <li>-Noncorrosive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Non sporicide</li> <li>-Airway irritation</li> </ul>

A folyékony kémiai dezinficiensok hatékonyságát azonban számos tényező (pl. kevés és/vagy képzetlen takarítószemélyzet, nem meghatározott felelősségi szintek, a fertőtlenítendő felület típusa, a fertőtlenítőszer nem megfelelő alkalmazása) kedvezőtlenül befolyásolja, így a patogének eltávolítása nem minden esetben valósul meg<sup>20,21,22</sup>. Carling és munkatársai 16 kórház intenzív osztály 2320 berendezési tárgyát és orvostechnikai eszközét ellenőrizve kimutatták, hogy a környezet fertőtlenítése csak 57%-ban volt hatékony<sup>23</sup>. Az

elmúlt években ezért olyan innovatív hatóanyagokat és technológiákat (pl. nanoezüst, hidrogén-peroxid ködképzés, ultraviola-C fény, önfertőtlenítő felületek) fejlesztettek ki, amelyek nem helyettesítik, de kiegészítik és hatékonyabbá teszik a hagyományos környezetfertőtlenítést<sup>18,24,25</sup>.

### **Érintésmentes technológiák**

Az innovatív, érintésmentes, ún. „no-touch” automatizált fertőtlenítő berendezések ultraviola-C (UV-C) fényt vagy hidrogén-peroxidot alkalmaznak<sup>26,27</sup>.

Az **UV-C fény**el történő fertőtlenítést a levegőben és a különféle felületeken található mikrobák inaktiválására használják<sup>28</sup>. 200–270 nm hullámhosszon az UV-C fény megbontja a DNS-t, ezáltal elpusztítja az organizmust. Tanulmányok igazolták, hogy az UV-C fény eredményesen alkalmazható methicillin-rezisztens *Staphylococcus aureus*, vancomycin-rezisztens *Enterococcus* és *Acinetobacter baumannii* (> 3-4- $\log_{10}$  csökkenés 15-20 perc alatt), valamint *Clostridium difficile* (> 2,4- $\log_{10}$  csökkenés 10-60 perc alatt) szennyeződés esetén<sup>29,30</sup>. Hatékonyságát azonban számos paraméter (pl. intenzitás, expozíciós idő, a fényforrás elhelyezése, légmozgás) befolyásolja.

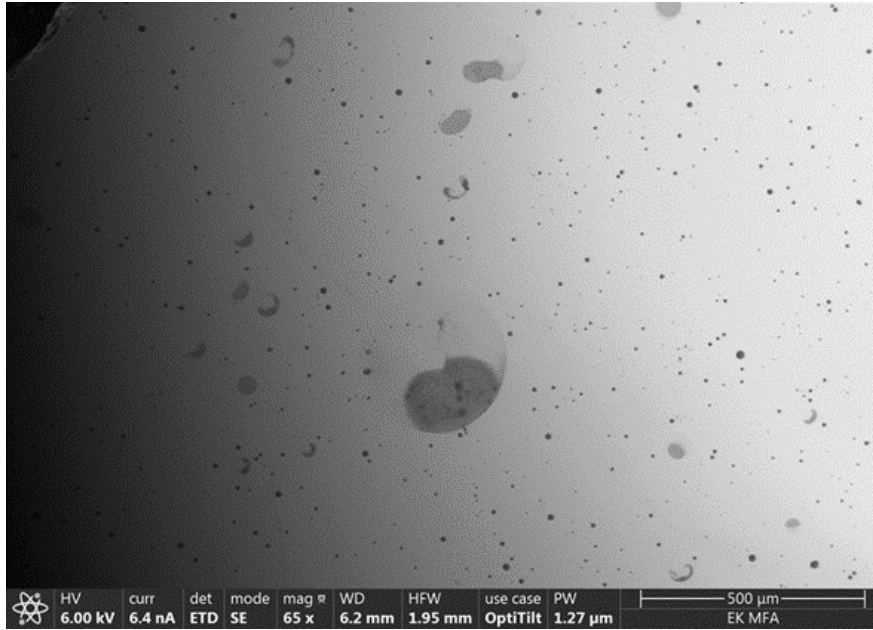
A **hidrogén-peroxidot alkalmazó hidegködkepző berendezések** rendkívül hatékonyan inaktiválják a különböző multirezisztens baktériumokat, vírusokat, valamint a *Clostridium difficile*, *Clostridium botulinum* és *Bacillus stearothermophilus* spórákat<sup>26,31</sup>. Boyce és munkatársai bizonyították, hogy a hidrogén-peroxidos szárazködölés szignifikánsan csökkentette a *Clostridium*

*difficile* okozta fertőzés gyakoriságát az endémiás osztályokon<sup>32</sup>. Egy hagyományos fertőtlenítési technológiákat összehasonlító vizsgálat pedig igazolta, hogy ezzel a módszerrel jelentősen (64%-kal) redukálható azon betegek infektív kockázata, akik olyan betegszobában kerültek elhelyezésre, ahol előzőleg multirezisztens kórokozóval fertőzött páciens tartózkodot<sup>t33</sup>.

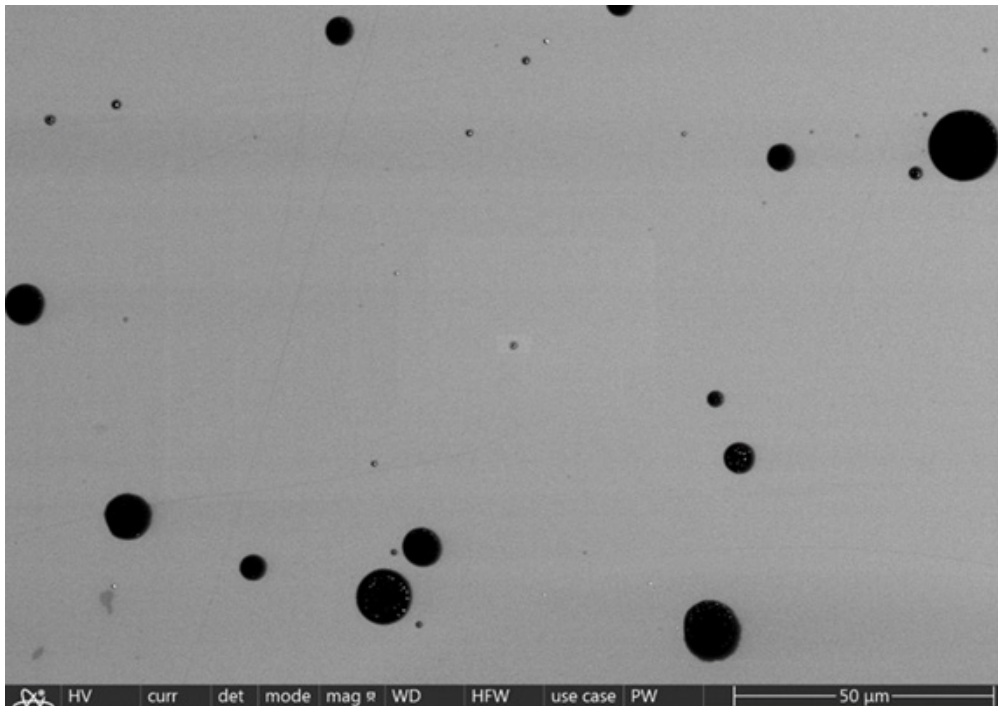
Az új generációs hidrogén-peroxid-tartalmú fertőtlenítőszernek nanoezüstöt tartalmaznak. Ennek eredménye, hogy egyrészt a felületre történő felvitelt követően a hidrogén-peroxidból aktív (nascens) oxigén szabadul fel, amely agresszív oldószerként azonnal és hatékonyan pusztítja a patogéneket is, másrészt a felület száradása során az oldatból visszamaradó ezüstrészecskék tartós, akár több napig tartó antimikrobiális hatást fejtenek ki<sup>34,35</sup>. A Radnóczy és munkatársai által, a MTA Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki, Fizikai és Anyagtudományi Intézet Vékonyréteg-fizika Laboratóriumában elvégzett vizsgálat egyértelműen igazolta, hogy a hidegködkepző technológia alkal-

mas a nanoezüst részecskék légtérbe juttatására. A kísérleti helyiségben a ködölőtől 1,5 méter távolságban elhelyezett hordozókat (amorf szén hártya réz és arany rostélyon, egykristály szilícium) transzmissziós és pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálva 1-2 µm távolságon belül mindenhol nagy számban találtak lerakódott szemcséket, melyek ezüstartalmát az EDX spektrumok igazolták. A 20 másodpercig tartó ködölés után a felületen számos ezüst tartalmú beszáradási folt volt látható (2. ábra). A 3. ábrán látható, hogy a legtöbb szemcse néhány 10 mikron távolságon belül van egymástól. Nagyobb nagyításnál látszanak a beszáradási foltokon belül lévő világos, nanoezüst szemcsék (4. ábra).

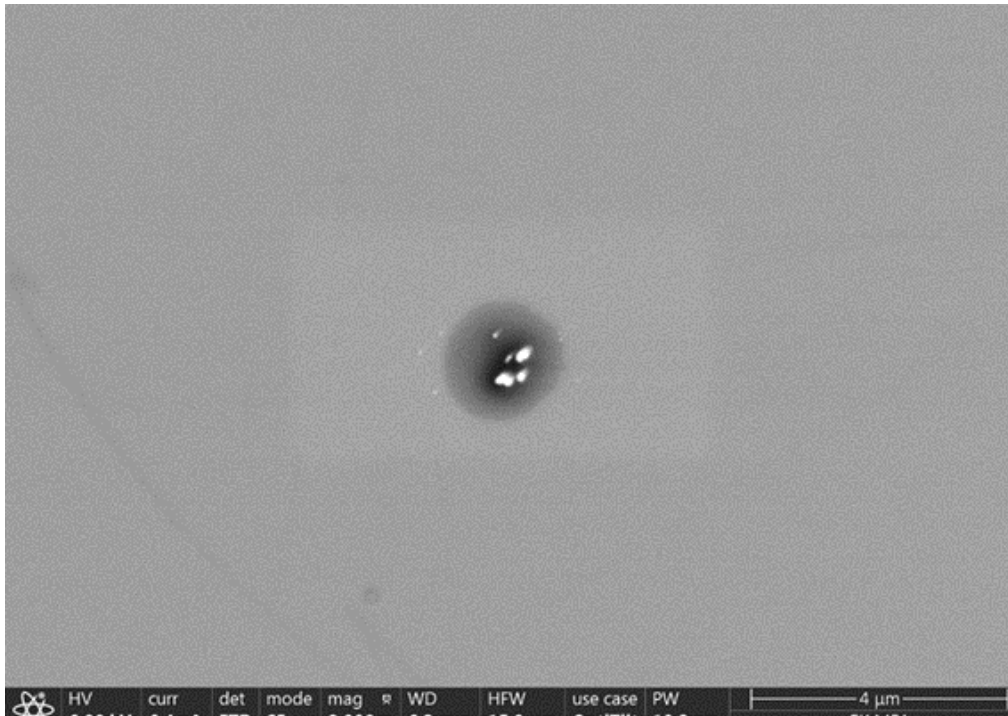
Az UV-C fényt és a hidrogén-peroxidot használó rendszereknek vannak előnyeik és hátrányaik, melyek a 2. táblázatban kerülnek részletezésre<sup>26</sup>. Közös előnyük, hogy képesek a helyiség minden részébe diffundálni, jelentősen csökkentik a vegetatív baktériumok csíra- és spóraszámát, a fertőtlenítés után pedig nem marad toxikus melléktermék a környezetben. Mindkét berendezés hátránya, hogy csak zárófertőtlenítésként alkalmazhatók, a dezinficiálás folyamata során nem tartózkodhat senki a helyiségben és magas a beruházási költségük. Összességében, az UV-C rendszer behatási ideje rövidebb, míg a hidrogén-peroxidos hidegködképző berendezések hatékonyabbak a spórák inaktiválásában.



2. ábra: Ezüst tartalmú beszáradási foltok 20 másodpercig tartó ködölés után  
*Figure 2. Drying stains containing silver after fogging for 20 seconds*



3. ábra: A legtöbb szemcse néhány 10 mikron távolságon belül van egymástól  
*Figure 3. Most particles are within a few 10 micron distance of each other*



4. ábra: A beszáradási foltokon belül lévő világos, nanoezüst szemcsék  
*Figure 4. Light, nano-silver particles inside the drying spots*

2. táblázat: Az UV-C fényvel és a hidrogén-peroxiddal történő fertőtlenítés előnyei és hátrányai

Érintésmentes technológiák	Előnyök	Hátrányok
<b>UV-C fényvel történő fertőtlenítés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hatékony a legtöbb nozokomiális patogén ellen</li> <li>-A fertőtlenítés időtartama rövid (kb. 15 perc), de a <i>Clostridium difficile</i> esetében hosszabb expozíció (kb. 50 perc) szükséges</li> <li>-A helyiséget és a fűtő-, szellőző-, légkondicionáló rendszert nem kell lezárni</li> <li>-A fertőtlenítés után nem marad toxikus melléktermék a környezetben</li> <li>-Nincsenek fogyóeszközök, a költségek csak a tárgyi eszközöket tartalmazzák</li> <li>-A helyiség minden részébe diffundál</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-A fertőtlenítés folyamata során nem tartózkodhat senki a helyiségben</li> <li>-Csak zárófertőtlenítésre használható</li> <li>-Beruházási költsége magas</li> <li>-Hatékonyságát befolyásolják a felhasználási paraméterek (pl. hullámhossz, leadott UV-C dózis, expozíciós idő)</li> <li>-A berendezéseket és az eszközöket el kell távolítani a falaktól</li> </ul>
<b>Hidrogén-peroxidot alkalmazó hidegködkepzés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hatékony a legtöbb nozokomiális patogén ellen</li> <li>-Hatékony a <i>Clostridium difficile</i> ellen</li> <li>-A berendezéseket és az eszközöket nem kell eltávolítani a falaktól</li> <li>-A fertőtlenítés után nem marad toxikus melléktermék a környezetben (a berendezés a hidrogén-peroxidot oxigénné és vízzé alakítja)</li> <li>-A helyiség minden részébe diffundál</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-A fertőtlenítés folyamata során nem tartózkodhat senki a helyiségben</li> <li>-Csak zárófertőtlenítésre használható</li> <li>-A fertőtlenítés időtartama 2-5 óra</li> <li>-A helyiséget és a fűtő-, szellőző-, légkondicionáló rendszert nem kell lezárni</li> <li>-Beruházási költsége magas</li> <li>-Hatékonyságát befolyásolják a felhasználási paraméterek (pl. koncentráció)</li> </ul>

**Table 2. Advantages and disadvantages of room decontamination by ultraviolet irradiation units and hydrogen peroxide systems**

<b>No touch technologies</b>	<b>Advantages</b>	<b>Disadvantages</b>
<b>Ultraviolet irradiation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Effective against a wide range of health care-associated pathogens</li> <li>-Effective against <i>Clostridium difficile</i>, although requires longer exposure ( 50 minutes)</li> <li>-Heating, ventilation and air conditioning system does not need to be switched off and the room does not need to be sealed</li> <li>-No toxic residue</li> <li>-No consumable products, so costs include only capital equipment and staff time</li> <li>-Good distribution in the room</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Patients and staff must be removed from the room prior to decontamination</li> <li>-Decontamination can only be accomplished at terminal disinfection</li> <li>-Capital equipment costs are substantial</li> <li>-Sensitive to use parameters (e.g., wavelength, UVC dose delivered, acting time)</li> <li>-Requires that equipment and furniture be moved away from the walls</li> </ul>
<b>Hydrogen peroxid fogging</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Effective against a wide range of health care-associated pathogens</li> <li>-Effective biocidal activity against <i>Clostridium difficile</i></li> <li>-Does not require that furniture and equipment be moved away from the walls</li> <li>-No toxic residue</li> <li>-Good distribution in the room</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Patients and staff must be removed from the room prior to decontamination</li> <li>-Decontamination can only be accomplished at terminal disinfection</li> <li>-Decontamination time 2.5 to 5 hours</li> <li>-Heating, ventilation and air conditioning system does not need to be switched off</li> <li>-Capital equipment costs are substantial</li> <li>-Sensitive to use parameters (e.g., concentration)</li> </ul>



Megemlítenő a Magyarországon is egyre népszerűbb, biocid engedéllyel nem rendelkező **ózon** ( $O_3$ ), amely az egyik legerősebb oxidálószerként jelentős fertőtlenítő hatással is rendelkezik. A szétváló ózomból keletkező aktív oxigén oxidációs folyamatának következtében gyorsan (kb. 20 perc) és hatékonyan képes a környezetben lévő mikroorganizmusok (pl. *Escherichia coli*, methicillin-rezisztens *Staphylococcus aureus*, *Clostridium difficile*) elpusztítására<sup>18,27,36,37</sup>. Jelenleg azonban nem áll rendelkezésre olyan klinikai vizsgálati eredmény, amely alátámasztaná az ózonnal történő levegő- és felületfertőtlenítés biztonságos alkalmazását az egészségügyi ellátást végző és a bentlakásos szociális intézményekben<sup>38,39</sup>.

### Önfertőtlenítő felületek

Az infékcióntróll szempontjából fontos követelmény, hogy környezet fertőtlenítésére szolgáló hatóanyagok és technikák ne csak azonnali, hanem folyamatos és tartós antimikrobiális hatást biztosítsanak. Ezen követelménynek megfelelni próbálva számos techno-

lógiai – különösen nanotechnológiai – fejlesztés történt germicideket (pl. triklozán, kvaterner ammónium vegyület) és antibakteriális tulajdonságú nehézfémeket (pl. réz, ezüst) felhasználva. Összehasonlító vizsgálatok eredményei szerint csak az orvosi eszközök (pl. ezüstbevonatú Foley katéter, ezüstimpregnált centrális vénás és endotracheális tubus, ezüstalapú habkötszer, implantátumok) gyártásában már több éve használatos **ezüstöt** tartalmazó önfertőtlenítő felületeknél volt megfigyelhető a néhány óra alatt kialakuló és több (akár 13) napig is szignifikánsan fennálló antimikrobás hatékonyság a *Staphylococcus aureus* (3,3-4,3- $\log_{10}$  csökkenés), a *Pseudomonas spp.* (2,2-4,8- $\log_{10}$  redukció), valamint az antibiotikum- és ezüst-rezisztens baktériumok (> 3- $\log_{10}$  csökkenés) esetében<sup>40,41,42</sup>.

Érdemes megemlíteni a biocid termékek forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 528/2012/EU rendelet hatálya alá nem tartozó **titánium-dioxidot** ( $TiO_2$ ) tartalmazó, nanotechnológiával előállított fotokatalitikus önfertőtlenítő védőbevonatot. Víz és oxigén jelenlété-



ben a  $\text{TiO}_2$  és az enyhe ultraviola-A (UV-A) fény erősen reakcióképes hidroxilgyök ( $\text{OH}\cdot$ ), szuper-oxidion ( $\text{O}_2\cdot^-$ ) és hidrogénperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) képződik, melyek a sejtfal és a membrán közvetlen károsítása révén hatékonyan képesek inaktiválni a baktériumokat (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* és *Enterococcus faecium* esetén  $> 6\text{-log}_{10}$  redukció 60 perc alatt) és a gombákat (*Candida albicans* esetén  $2\text{-log}_{10}$  csökkenés 60 perc alatt) <sup>43,44</sup>. A technológia fejlődésével egyre több területen használják hazánkban is (pl. tömegközlekedési eszközök fertőtlenítése, belső terek légtisztítása és szagtalanítása, bentlakásos szociális intézmények felületeinek dezinficiálása), a  $\text{TiO}_2$  nanopartikulumok azonban belélegezve vagy a bőrön áthatolva felhalmozódnak a szervezetben (pl. tüdő, máj, szív, vesék, szívizom) oxidatív stresszt, gyulladást, genotoxicitást, anyagcsere-változást és potenciálisan karcinogenezist eredményezve <sup>45,46</sup>.

Annak ellenére, hogy ez a fertőtlenítési módszer a környezeti felületek folyamatos dezinficiálását biztosítja, nem befolyásolja a hagyományos fertőtlení-

tés minősége, széles spektrumú antimikrobiális hatással rendelkezik és nem vagy nagyon alacsony a toxikus hatása (a  $\text{TiO}_2$ -t kivéve), az egészségügyi és a bentlakásos szociális intézményekben a használata még kevésbé elterjedt. Ennek oka egyrészt az, hogy az összes helyiség, berendezési tárgy és orvostechnikai eszköz felületének impregnálása gyakorlatilag megvalósíthatatlan, másrészt az önfertőtlenítő felületek egészségügyi ellátással összefüggő fertőzések csökkentésére gyakorolt hatékonyságának bizonyítására még nem végeztek klinikai vizsgálatokat.

## Összefoglalás

Számos bizonyíték áll rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy a specifikus és aspecifikus kórokozók (pl. methicillin-rezisztens *Staphylococcus aureus*, vancomycin-rezisztens *Enterococcus*, *Acinetobacter* spp., MERS-CoV, SARS-CoV, norovírus) terjedésében a levegőnek és a különböző felületeknek fontos szerepük van. Emellett hangsúlyozandó tény, hogy a beteg környezetével

való érintkezés ugyanolyan mértékben kontaminálja a dolgozók kezét, mint a pácienssel való direkt kontaktus, melylyel a kéz- és környezethigiénés tevékenység elmaradásakor vagy nem a megfelelő módon és/vagy ideig történő végzésekor jelentős mértékben növelhető a fertőzések gyakorisága az egészségügyi és a szociális ellátást nyújtó intézményekben. A környezet megfelelő fertőtlenítését segítő intervenciók „csomagokkal” ugyan elérhető csökkenés, de annak szintje mindig elmarad az optimálisan elvárt eredményektől<sup>18</sup>. A fertőtlenítési gyakorlat hatékonyságának javítására, kiegészítésként használhatók az UV-C fényt vagy hidrogén-peroxidot alkalmazó érintésmentes, automatizált fertőtlenítő berendezések, melyek bizonyítottan, hatékonyan és tartósan inaktiválják az egészségügyi ellátással összefüggő fertőzéseket okozó patogéneket. Az eddig elvégzett tanulmányok egyértelműen elismerik az érintésmentes technológiák szerepét, melyek intézményi bevezetésével megvalósíthatók a megbiztonságra vonatkozó minőségi követelmények.

### **Köszönetnyilvánítás**

A szerzők köszönetüket nyilvánítják Radnóczy György Zoltánnak, a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont kutatójának a ködölési kísérletek végrehajtásában és a mikroszkópos képek elkészítésében nyújtott segítségéért.

### **Anyagi támogatás**

Az ezüst nanoszemcsék vizsgálatát a VEKOP-2.3.3-15-2016-00002 és VEKOP-2.3.3-15-2016-00010 projekt keretében beszerzett mikroszkópokon végezték. A VEKOP-2.3.3-15-2016-00002 és VEKOP-2.3.3-15-2016-00010 projekt az Európai Unió és Magyarország Kormánya közös finanszírozása keretében az Európai Strukturális és Beruházási Alapok támogatásával valósult meg.

### **Szerzői munkamegosztás**

SZ.R.: a kézirat elkészítése; Sz.R. és Sz.M.L.: a kézirat koncepciójának kidolgozása, a kézirat egyes részeit megszövegezése, a kézirat ja-

vítása, B.I. a kézirat egyes részeinek megszüvegezése. A cikk végleges változatát valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

### Érdekeltségek

A szerzőknek nincsenek érdekelt-ségeik.

### Nyilatkozatok

A dolgozatot korábban még nem publikálták.

A cikk végleges változatát valamennyi szerző jóváhagyta.

A dolgozat nem sérti a Helsinki Deklaráció (1975, revízió 2013) előírásait.

## Irodalomjegyzék

1. Cassini A., Colzani E., Pini A et al: Impact of infectious diseases on population health using incidence-based disability-adjusted life years (DALYs): results from the Burden of Communicable Diseases in Europe study, European Union and European Economic Area countries, 2009 to 2013 2018 23:16 <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.16.17-00454>
2. European Centre for Disease Prevention and Control: Point prevalence survey of health-care-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals, 2011-2012. Stockholm: ECDC; 2013. Available from: <http://www.ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/healthcare-associated-infections-antimicrobial-use-PPS.pdf>
3. European Centre for Disease Prevention and Control: Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European long-term care facilities. April–May 2013. Stockholm: ECDC; 2014. Available from: <http://ecdc.europa.eu/sites/portal/files/media/en/publications/Publications/healthcare-associated-infections-point-prevalence-survey-long-term-care-facilities-2013.pdf>
4. Suetens C., Latour K., Kärki T 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 2018 23:46 <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.46.1800516>
5. Weber D. J., Rutala W. A., Miller M. B et al: Role of hospital surfaces in the transmission of emerging health care-associated pat-

- hogens: norovirus, Clostridium difficile, and Acinetobacter species 2010 38:5 <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.04.196>
6. Boone S. A., Gerba C. P: Significance of fomites in the spread of respiratory and enteric viral disease 2007 73:6 <https://doi.org/10.1128/AEM.02051-06>
  7. Otter J. A., Donskey C., Yezli S et al: Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: the possible role of dry surface contamination 2016 92:3 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.08.027>
  8. Centers for Disease Control and Prevention: Environmental Hygiene in Healthcare. 2015. Available from: <http://www.cdc.gov/hai/research/eic-meeting.html>
  9. Otter J. A., Yezli S., French G. L: The role played by contaminated surfaces in the transmission of nosocomial pathogens 2011 32:7 <https://doi.org/10.1086/660363>
  10. Zuo Z., de Abin M., Chander Y et al: Comparison of spike and aerosol challenge tests for the recovery of viable influenza virus from non-woven fabrics 2013 7:5 <https://doi.org/10.1111/irv.12095>
  11. Casanova L., Rutala W. A., Weber D. J et al: Coronavirus survival on healthcare personal protective equipment 2010 31:5 <https://doi.org/10.1086/652452>
  12. Guerrero D. M., Nerandzic M. M., Jury L. A et al: Acquisition of spores on gloved hands after contact with the skin of patients with Clostridium difficile infection and with environmental surfaces in their rooms 2012 40:6 <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.08.002>
  13. Stiefel U., Cadnum J. L., Eckstein B. C et al: Contamination of hands with methicillin-resistant Staphylococcus aureus after contact with environmental surfaces and after contact with the skin of colonized patients 2011 32:2 <https://doi.org/10.1086/657944>
  14. Randle J., Arthur A., Vaughn N: Twenty-four hour observational study of hospital hand hygiene compliance 2010 76:3 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2010.06.027>
  15. Huang S. S., Datta R., Platt R: Risk of acquiring antibiotic-resistant bacteria from prior room occupants 2006 166:18 <https://doi.org/10.1001/archinte.166.18.1945>
  16. Shaughnessy M. K., Micielli R. L., DePestel D. D et al: Evaluation of hospital room assignment and acquisition of Clostridium difficile infection 2011 32:3 <https://doi.org/10.1086/658669>
  17. Wenzel R. P., Edmond M. B: Infection Control: The case for horizontal rather than vertical interventional programs 2010 14:3 Suppl <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2010.05.002>

18. Rutala W. A., Weber D. J: Disinfectants used for environmental disinfection and new room decontamination technology 2013 41:5 Suppl <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.11.006>
19. Rutala W. A., Gergen M. F., Weber D. J: Efficacy of improved hydrogen peroxide against important healthcare-associated pathogens 2012 33:11 <https://doi.org/10.1086/668014>
20. Manian F. A., Griesnauer S., Senkel D: Impact of terminal cleaning and disinfection on isolation of *Acinetobacter baumannii* complex from inanimate surfaces of hospital rooms by quantitative and qualitative methods 2013 41:4 <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.04.321>
21. Mitchell B. G., Dancer S. J., Anderson M et al: Risk of organism acquisition from prior room occupants: a systematic review and meta-analysis 2015 91:3 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.08.005>
22. Havill N. L., Havill H. L., Mangione E et al: Cleanliness of portable medical equipment disinfected by nursing staff 2011 39:7 <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.10.030>
23. Carling P. C., Parry M. F., Von Beheren S. M: Healthcare Environmental Hygiene Study Group Identifying opportunities to enhance environmental cleaning in 23 acute care hospitals 2008 29:1 <https://doi.org/10.1086/524329>
24. Goyal S. M., Chander Y., Yezli S et al: Evaluating the virucidal efficacy of hydrogen peroxide vapour 2014 86:4 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.02.003>
25. Otter J. A., Yezli S., Perl T. M et al: Is there a role for “no-touch” automated room disinfection systems in infection prevention and control? 2013 83:1 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2012.10.002>
26. Rutala W. A., Weber D. J: Are room decontamination units needed to prevent transmission of environmental pathogens? 2011 32:8 <https://doi.org/10.1086/661226>
27. Davies A., Pottage T., Bennett A et al: Gaseous and air decontamination technologies for *Clostridium difficile* in the healthcare environment 2011 77:3 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2010.08.012>
28. Rutala W. A., Weber D. J: Sterilization, high-level disinfection, and environmental cleaning 2011 25:1 <https://doi.org/10.1016/j.idc.2010.11.009>
29. Rutala W. A., Gergen M. F., Weber D. J: Room decontamination by ultraviolet radiation 2010 31:10 <https://doi.org/10.1086/656244>
30. Boyce J. M., Havill N. L., Moore B. A: Terminal decontamination of patient rooms using an automated mobile UV light unit 2011 32:8 <https://doi.org/10.1086/661222>

31. Nerandzic M. M., Cadnum J. L., Pultz M. J et al: Evaluation of an automated ultraviolet radiation device for decontamination of *Clostridium difficile* and other healthcare-associated pathogens in hospital rooms 2010 10:197 <https://doi.org/10.1186/1471-2334-10-197>
32. Falagas M. E., Thomaidis P. C., Kotsantis I. K et al: Airborne hydrogen peroxide for disinfection of the hospital environment and infection control: a systematic review 2011 78:3 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2010.12.006>
33. Boyce J. M., Havill N. L., Otter J. A et al: Impact of hydrogen peroxide vapor room decontamination on *Clostridium difficile* environmental contamination and transmission in a healthcare setting 2008 29:8 <https://doi.org/10.1086/589906>
34. Dancer S. J: Controlling hospital-acquired infection: focus on the role of the environment and new technologies for decontamination 2014 27:4 <https://doi.org/10.1128/CMR.00020-14>
35. 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 2013 56:1 <https://doi.org/10.1093/cid/cis839>
36. Weber D. J., Anderson D., Rutala W. A: The role of the surface environment in healthcare-associated infections 2013 26:4 <https://doi.org/10.1097/QCO.0b013e3283630f04>
37. Weber D. J., Anderson D. J., Sexton D. J et al: Role of the environment in the transmission of *Clostridium difficile* in health care facilities 2013 41:Suppl 5 <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.12.009>
38. Centre for Disease Prevention and Control: Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities (2008). Available from: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/disinfection-guidelines-H.pdf>
39. Health Protection Scotland: Literature Review and Practice Recommendations: Existing and emerging technologies used for decontamination of the healthcare environment – Ozone. Available from: <https://www.hps.scot.nhs.uk/web-resources-container/literature-review-and-practice-recommendations-existing-and-emerging-technologies-used-for-decontamination-of-the-healthcare-environment-ozone/>
40. Weber D. J., Rutala W. A: Self-disinfecting surfaces: Review of current methodologies and future prospects 2013 41:Suppl 5 <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.12.005>
41. Brady M. J., Lisay C. M., Yurkovetskiy A. V et al: Persistent silver disinfectant for the en-

- vironmental control of pathogenic bacteria  
2003 31:4 <https://doi.org/10.1067/mic.2003.23>
42. Rutala W. A., Weber D. J: New disinfection and sterilization methods 2001 7:2 <https://doi.org/10.3201/eid0702.010241>
43. Kühn K. P., Chaberny I. F., Massholder K et al: Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UVA light 2003 53:1 [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00362-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00362-X)
44. Dékány I., Janovák L., Tallósy S et al: Utilizing solar energy to break down environmentally hazardous substances and protect our health - Innovative solutions for chemical-free disinfection. [A napenergia hasznosítása a környezetre veszélyes anyagok lebontása és egészségünk védelme szempontjából – Innovatív megoldások a vegyszermentes fertőtlenítés terén.] Available from: <http://www.matud.iif.hu/2013/10/06.htm> [Hungarian]
45. Baranowska-Wójcik E., Szwajgier D., Oleszczuk P et al: Effects of Titanium Dioxide Nanoparticles Exposure on Human Health—a Review 2020 193:1 <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01706-6>
46. Grande F., Tucci P: Titanium Dioxide Nanoparticles: a Risk for Human Health? 2016 16:9 <https://doi.org/10.2174/138955751666616032114341>