



Основан 1881 Founded

## **НАЦИОНАЛЕН ЦЕНТЪР ПО ЗАРАЗНИ И ПАРАЗИТНИ БОЛЕСТИ**

---

**Милена Асенова Николова**

**ПРОУЧВАНЕ ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА  
ДЕЗИНФЕКЦИЯТА С UV ЛАМПИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА  
ОПТИМИЗИРАНЕ НА ТАЗИ ДЕЙНОСТ В ЛЕЧЕБНИТЕ  
ЗАВЕДЕНИЯ НА СТРАНАТА**

### **АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертационен труд  
за придобиване на образователна и научна степен "Доктор"**

Област на висшето образование: 7. Здравеопазване и спорт  
Професионално направление: 7.1. Медицина  
Докторска програма: "Епидемиология"

**Научни ръководители:  
Доц. д-р Нина Гачева, дм  
Доц. д-р Димитър Шаламанов, дм**

**София, 2019 г.**

Дисертационният труд е представен на разширен колегиум на отдел „Епидемиология“ на 29.11.2018 г. и е насочен за защита пред научно жури.

Дисертационният труд съдържа 169 страници, 57 фигури, 20 таблици и 4 приложения. Библиографията включва 197 литературни източника.

Лабораторните изпитвания са проведени в Лаборатория „Дезинфекция, стерилизация и биоиндикатори“ към Секция „ДДД“ на Отдел „Епидемиология“ при НЦЗПБ. Теренните проучвания са проведени в 6 многопрофилни болници за активно лечение от различни региони на страната.

Материалите по защитата са публикувани в интернет страницата на НЦЗПБ и се намират на разположение в библиотеката на НЦЗПБ, София.

---

---

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на:

..... ОТ .....Ч.

в аулата на НЦЗПБ, гр. София, бул. „Янко Сакъзов“ № 26  
на открито заседание на научното жури, назначено от Директора на НЦЗПБ,  
съгласно ППЗРАСРБ на НЦЗПБ и ЗРАСРБ.



Основан 1881 Founded

## **НАЦИОНАЛЕН ЦЕНТЪР ПО ЗАРАЗНИ И ПАРАЗИТНИ БОЛЕСТИ**

---

**Милена Асенова Николова**

**ПРОУЧВАНЕ ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА  
ДЕЗИНФЕКЦИЯТА С UV ЛАМПИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА  
ОПТИМИЗИРАНЕ НА ТАЗИ ДЕЙНОСТ В ЛЕЧЕБНИТЕ  
ЗАВЕДЕНИЯ НА СТРАНАТА**

### **АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертационен труд  
за придобиване на образователна и научна степен "Доктор"**

Област на висшето образование: 7. Здравеопазване и спорт  
Професионално направление: 7.1. Медицина  
Докторска програма: "Епидемиология"

Научни ръководители:

Доц. д-р Нина Гачева, дм

Доц. д-р Димитър Шаламанов, дм

Официални рецензенти:

Проф. д-р Йорданка Стоилова, дм

Доц. д-р Андрей Галев, дм

**София, 2019 г.**

## СЪДЪРЖАНИЕ

<b>ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ</b> .....	1
<b>ВЪВЕДЕНИЕ</b> .....	2
<b>ЦЕЛ И ЗАДАЧИ</b> .....	4
<b>МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ</b> .....	6
МАТЕРИАЛИ .....	6
МЕТОДИ .....	7
<b>РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ</b> .....	12
1. Проучване в лабораторни условия на обеззаразяващия ефект на съвременните UVC лампи, прилагани в медицинската практика у нас, спрямо референтни щамове микроорганизми .....	12
1.1. <i>Определяне на дезинфекциращата активност на UVC лъчението, генерирано от бактерицидни лампи, спрямо референтни бактериални и гъбични щамове.....</i>	12
1.2. <i>Определяне на дезинфекциращото действие на UVC лъчението, генерирано от бактерицидни лампи, по отношение на различни тест-повърхности, използвани в практиката .....</i>	19
1.3. <i>Проучване на влиянието на белтъчното натоварване на средата и на процеса „фотореактивация” при бактерии и дрожди върху крайния дезинфекциращ ефект на бактерицидните лампи, използвани в практиката .....</i>	24
1.4. <i>Определяне на дезинфекциращото действие на директен UVC излъчвател по отношение на въздух в лабораторни условия.....</i>	30
1.5. <i>Определяне на ефективността на UVC система от затворен тип, предназначена за дезинфекция на въздух и оценяване възможностите за внедряване на метода в рутинната болнична практика .....</i>	33
2. Проучване на ефективността на UVC лампи, използвани за дезинфекция на въздух в рискови болнични структури в лечебни заведения от страната.....	35

3. Проучаване на реалното приложение на UVC излъчвателите за дезинфекция в лечебните заведения на страната.....	42
3.1. Анкетно проучване относно познаването и приложението на метода дезинфекция с UVC лъчение в лечебните заведения на страната .....	42
3.2. Теренни проучвания за установяване действителното състояние (техническо и организационно) на UVC оборудването, използвано в дезинфекционната практика на лечебните заведения .....	45
4. Проучване на възможностите за оптимизиране на дезинфекцията с UVC лампи в нашата страна .....	46
4.1. Анализ на нормативните актове, регламентиращи прилагането на UVC дезинфекцията в лечебните заведения от страната.....	46
4.2. Разработване на алгоритъм за приложение на UVC лампи за дезинфекция в медицинската практика, като основа на бъдещо методично указание за изискванията при работа с такъв тип оборудване, с цел постигане на стандартен подход в тази дейност в страната .....	48
<b>ИЗВОДИ .....</b>	<b>54</b>
<b>ПРИНОСИ.....</b>	<b>56</b>
<b>СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИТЕ И УЧАСТИЯТА В НАУЧНИ ФОРУМИ .....</b>	<b>57</b>

## ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

### Съкращения на български език

ВБИ	Вътреболнични инфекции
МЗ	Министерство на здравеопазването
РЗИ	Регионална здравна инспекция
СКА	Соево-казеинов агар

### Съкращения на английски език

ATCC	American Type Culture Collection
CDC	Centers for Disease Control (Центрове за контрол на болестите в Съединените Американски Щати)
MRSA	Methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i>
R	Редукция (на жизнеспособните микроорганизми)
UV	Ultraviolet (Ултравioletовo (лъчение))
UVC	Ultraviolet C (Ултравioletовo C лъчение, част от UV спектъра)
VRE	Vancomycin-resistant <i>Enterococcus</i> spp.
WHO	World Health Organization (Световна здравна организация)

### Единици

cfu/plate	colony-forming unit (колония, образуващи единици/ петри)
nm	нанометър
ml	милилитър
$\mu\text{L}$	микролитър
$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Единица за измерване интензитета на UVC лъчението
$\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$	Единица за измерване дозата на UVC лъчението

## ВЪВЕДЕНИЕ

Според класическата епидемиология, разпространението на инфекциите в човешкото общество се осъществява чрез поддържане на епидемичен процес, състоящ се от три взаимосвързани звена - източник на инфекция, механизъм на предаване на инфекцията и възприемчиви индивиди. Непрекъснатостта е най-важната и задължителна характеристика на епидемичния процес и нарушаването ѝ се явява рационалната основа, върху която се гради теорията и практиката на борбата със заразните болести.

Мястото на същинската дезинфекция в профилактиката и контрола на инфекциите, се определя от нейната същност като комплекс от методи и средства, които прекъсват механизма на предаване на инфекцията, чрез унищожаване на патогенните микроорганизми във външната среда. Един от най-щадящите околната среда и широко прилаган в практиката физичен метод за дезинфекция е UVC лъчението.

Дезинфекциращото действие на UVC светлината е открито още в края на 19 век и постепенно намира приложение във всички сфери на обществения живот - за обеззаразяване на въздух, повърхности и води. Обеззаразяващото действие на светлината се дължи на ултравиолетовите С вълни (UVC), които са с дължина на вълната от 100 до 280 nm. UVC светлината инактивира микроорганизмите чрез увреждане на тяхната нуклеинова киселина, най-вече с образуване на пиримидинови димери и по този начин спира тяхното размножаване. За повечето микроорганизми най-ефективно се оказва UVC лъчението с дължина на вълната около 260 nm. Тъй като живакът произвежда UVC лъчение в много близкия ефективен спектър (при 254 nm), последният се е превърнал в стандарт при производството на бактерицидни лампи. И до момента живачните лампи с ниско налягане са най-често използваните в дезинфекционната практика.

Въпреки, че у нас се е наложило понятието „бактерицидни лампи“, UVC лъчението, което тези устройства генерират, има широк спектър на активност по отношение на бактерии, фунги, вируси, спори и паразити. Широкият спектър на

действие, ниските експлоатационни разходи, лесният начин на работа - като метод „без докосване“ и липсата на натоварване на околната среда, прави приложението на бактерицидните лампи широко застъпено в рутинната медицинска практика вече повече от 70 години. През последното десетилетие интересът към приложението на UVC дезинфекцията в лечебните заведения се засилва и освен като утвърден метод, допълващ рутинните дезинфекционни мероприятия, UVC лъчението започва да се прилага и за постигане на крайна дезинфекция, след изписване на пациенти.

На фона на дългото приложение на метода за дезинфекция с UVC лъчение, все още много неща остават неизяснени, най-вече при практическото използване на бактерицидните лампи. Понастоящем няма универсален стандарт, който да гарантира, че приложението на такъв тип оборудване е напълно безопасно и ефективно. Техническите параметри на оценяваните устройства и използваните опитни постановки варират в широки граници, което води до трудно извеждане на закономерности и препоръки за ефективно приложение на бактерицидните лампи в практиката. На този етап, разработването на международен стандарт за приложението на UVC системи в медицинската област изглежда “обезсърчително, но необходимо предизвикателство”.

В националните нормативни актове, UVC оборудването е заложено като задължителен елемент в рискови болнични структури, но не са посочени критерии и специфики за неговото приложение. В момента, здравните работници от страната не разполагат с официален документ, който да разглежда практическата страна на UVC дезинфекцията.

С формулираната цел и задачи, и с проведените лабораторни и теренни проучвания сме се опитали да отговорим на предизвикателствата, които стоят днес пред научноизследователските екипи, разработващи въпросите за ефективността на този вид специфично болнично оборудване, както и за необходимостта от оптимизиране на неговото приложение в лечебните заведения на страната.



## ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Целта на настоящия дисертационен труд е да се проучат факторите, обуславящи обеззаразяващото действие на бактерицидните UV лампи, да се анализира тяхното приложение в дезинфекционната практика на лечебните заведения в България и да се предложат възможности за оптимизиране на тази дейност, от гледна точка превенция и контрол на ВБИ.

За постигане на тази цел са поставени четири основни задачи, като към три от тях са формулирани подзадачи:

### **1. Да се проучи в лабораторни условия обеззаразяващия ефект на съвременните UVC лампи, прилагани в медицинската практика у нас, спрямо референтни щамове микроорганизми.**

1.1. Да се определи дезинфекциращата активност на UVC лъчението, генерирано от бактерицидни лампи, спрямо референтни бактериални и гъбични щамове.

1.2. Да се определи дезинфекциращото действие на UVC лъчението, генерирано от бактерицидни лампи, по отношение на различни тест-повърхности, използвани в практиката.

1.3. Да се проучи влиянието на белтъчното натоварване на средата и на процеса „фотореактивация“ при бактерии и дрожди върху крайния дезинфекциращ ефект на бактерицидните лампи, използвани в практиката.

1.4. Да се определи дезинфекциращото действие на директен UVC излъчвател по отношение на въздух.

1.5. Да се определи ефективността на UVC система от затворен тип, предназначена за дезинфекция на въздух и да се оценят възможностите за внедряване на метода в рутинната болнична практика.

**2. Да се проучи ефективността на UVC лампи, използвани за дезинфекция на въздух в рискови болнични структури в лечебни заведения от страната.**

**3. Да се установи реалното приложение на UVC излъчвателите за дезинфекция в лечебните заведения на страната.**

3.1. Да се извърши анкетно проучване относно познаването и приложението на метода дезинфекция с UVC лъчение в лечебните заведения от страната.

3.2. Да се извършат теренни проучвания за действителното състояние (техническо и организационно) на UVC оборудването, използвано в дезинфекционната практика на лечебните заведения.

**4. Да се проучат възможностите за оптимизиране на дезинфекцията с UVC лампи в нашата страна.**

4.1. Да се анализират нормативните актове, регламентиращи прилагането на метода у нас.

4.2. Да се разработи алгоритъм за приложение на UVC лампи за дезинфекция в медицинската практика, като основа на бъдещо методично указание за изискванията при работа с такъв тип оборудване, с цел постигане на стандартен подход в тази дейност в страната.

# МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

## МАТЕРИАЛИ

### 1. Микроорганизми

Лабораторните изпитвания са проведени с еталонни щамове микроорганизми от фонда на АТСС, които са закупени от Национална банка за промишлени микроорганизми и клетъчни култури, София, като лиофилизирани ампули.

*Pseudomonas aeruginosa* АТСС 15442;

*Enterococcus hirae* АТСС 10541;

*Escherichia coli* АТСС 10536;

*Staphylococcus aureus* АТСС 6538;

*Staphylococcus aureus* АТСС 43300 (MRSA), резистентен на метицилин и оксацилин;

*Candida albicans* АТСС 10231.

### 2. Апаратура

2.1. Директен UVC излъчвател (лампа) - 1 m; 30 W; Phillips.

2.2. Система за дезинфекция на въздух от затворен тип с принудена вентилация, Garant Airbox™;

2.3. Дигитален UVC измерител (UVC-метър);

2.4. Въздушен пробовземач за микробиологични проби Active Count, Lighthouse Worldwide Solutions.

## МЕТОДИ

### 1. Посявка върху твърда хранителна среда

#### *Същност на метода:*

Петрита, с предварително разлята хранителна среда (СКА), са инокулирани с 0,05 ml тест-суспензия. Инокулираните петрита са поставени на различни разстояния от облъчвателя, за да бъдат подложени на различни стойности на интензитет на UVC лъчение. За контрола служат инокулирани петрита, които не са подложени на UVC лъчение. Пробите са култивирани в термостат за 48 часа. Резултатите са представени като редукция в броя на жизнеспособните клетки преди и след UVC лъчението, изразена в десетичен логаритъм ( $\log R$ ).

#### *Гъстота на началните суспензии:*

$1,5 \times 10^7$ -  $5 \times 10^7$  cfu/ml за бактериалните щамове;

$1,5 \times 10^6$ -  $5 \times 10^6$  cfu/ml за щам *C. albicans*.

#### *Необходима редукция за постигане на дезинфекциращо действие:*

бактерицидната активност  $R \geq 4 \log$  за всички изпитвани тест-щамове;

фунгицидна (дрождецидна) активност  $R \geq 3 \log$ .

#### **1.1. Определяне дезинфекциращата активност на UVC лъчението спрямо референтни тест-щамове:**

Опитът е проведен в пет повторения. Към началната тест-суспензия е добавено белтъчно натоварване, имитиращо чисти условия на средата (0,06 g говежди албумин до 100 ml стерилна вода). За контрола служат петрита, които са инокулирани, но не са подложени на UVC лъчение.

#### **1.2. Проучване влиянието на белтъчното натоварване на средата:**

Опитът е проведен в три повторения. Към началната тест-суспензия е добавено белтъчно натоварване, имитиращо мръсни условия на средата: (0,6 g говежди албумин до 100 ml стерилна вода), а в контролната група към началната тест-суспензия е добавено белтъчно натоварване, имитиращо чисти условия на средата.

### **1.3. Проучване отражението на процеса „фотореактивация“:**

Опитът е проведен в три повторения. Към началната тест-суспензия е добавено белтъчно натоварване, имитиращо чисти условия на средата: (0,06 g говежди албумин до 100 ml стерилна вода);

След UVC облъчването пробите са разделени в три групи. Първата група е поставена директно в термостат (контрола), втората - в условия на повишена дневна осветеност чрез допълнително включване на луминисцентни лампи за 5 и 10 минути. Третата група е оставена в условия на естествена осветеност на помещението за 24 часа и след това е поставена в термостат. В условията на третата група е поставена и допълнителна 24 часова контрола, която е инокулирана с тест-суспензия, но не е подложена на UVC лъчение.

## **2. Модифициран стандартен метод БДС EN 13697:2015**

Методът е модифициран, с цел отчитане действието на UVC лъчението върху изпитваните тест-повърхности. Състои се в заразяване на тест-повърхности с предварително изготвена тест-суспензия.

### ***Начална гъстота на тест-суспензиите:***

$1,5 \times 10^8$  -  $5 \times 10^8$  cfu/ml за бактериите;

$1,5 \times 10^7$  -  $5 \times 10^7$  cfu/ml за *C. albicans*.

Тестът е проведен в условията на белтъчно натоварване за чисти условия. За контрола служат повърхности, които са инокулирани, но не са подложени на UVC лъчение.

За целите на дисертационния труд, ефективността е определена върху пет вида повърхности с различна поръзност: метал (съгласно БДС EN 13697); стъкло; балатум; фаянс; боядисано дърво, като опитите са проведени в три повторения.

### ***Същност на метода:***

Участък с размер 1x1 cm от всяка повърхност е инокулиран с 50  $\mu$ L тест-суспензия, съдържаща белтъчно натоварване. Повърхностите са оставени да изсъхнат в термостат на 37°C и след това са поставени на разстояние от UVC

източника, така че до тях да достига  $15 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет. След изтичане на определените времена за облъчване, микробният инокулум от повърхностите (включително от контролните) е свален чрез механично триене върху стъклени перли с разредител. От получената суспензия са направени посявки в две повторения, като от суспензията на контролната повърхност предварително са изготвени падащи разреждания. Всички проби са култивирани в термостат за 48 часа.

### **Изчисления:**

Гъстотата на началната тест-суспензия е изчислена по следната формула:

$$N = \log \frac{0,025 \times c}{(n_1 + 0,1n_2) \times d}$$

,където

C е сумата от стойностите Vc

n1 е броят на стойностите Vc при разреждане;

n2 е броят на стойностите Vc при по-високото разреждане

d е факторът на разреждане, отговарящ на по-ниското разреждане ( $10^{-6}$  за бактериите и  $10^{-5}$  за *C. albicans*).

Броят на жизнеспособните клетки върху повърхностите (**Nc и Nd**) преди и след облъчването е изчислен в log по следната формула:

$$Nc \text{ (или Nd)} = \log (c \times 10/n \times d)$$

,където

c е сумата от стойностите Vc;

n е броят на стойностите Vc

d е факторът на разреждане.

За достоверност на резултатите от изпитването са спазени критериите, описани в частта за валидиране на стандартния метод.

Изискванията по отношение валидирането и приложението на неутрализатора, който спира действието на дезинфекциращия агент, не са взети

предвид, тъй като действието на UVC лъчението спира в момента на изключване на системата.

Редукцията (R) е изчислена за всеки тест-микроорганизъм, всяка стойност на UVC интензитет и време на облъчване.

Редукцията е представена в логаритъм ( $\log R$ ) и е изчислена по следната формула:

$$R = N_c - N_d$$

,където

$N_c$  е броят жизнеспособни клетки върху контролната повърхност;

$N_d$  е броят жизнеспособни клетки върху облъчваната повърхност.

### ***Необходима редукция за постигната ефективност, съгласно метода:***

бактерицидната активност  $R \geq 4 \log$  за всички изпитани тест-щамове;

фунгицидна (дрождецидна) активност  $R \geq 3 \log$ .

### **3. Седиментационен метод на Кох**

Методът е приложен за определяне на дезинфекциращото действие на директен UVC излъчвател и на затворена UVC система по отношение на въздух. Изпитването е осъществено в лабораторно помещение с обем  $35 \text{ m}^3$ , в условия на ограничен достъп на хора и ограничен въздухообмен чрез затваряне на вратите. Дезинфекциращото действие е оценено в продължение на 10 последователни дни. Преди и след UVC дезинфекцията на определени места в лабораторното помещение са залагани по 3 проби (отворени петрита с кръвен агар) за 120 минути, за установяване на микробната замърсеност на въздуха. Всички проби са култивирани 48 часа в термостат. Ефективността на UVC дезинфекцията по отношение на въздуха в помещението е определена в проценти (%) след сравняване на получените стойности cfu/plate преди и след работа на UVC устройствата.

#### **4. Мониториране на въздушната среда посредством автоматичен пробовземач**

Методът е приложен в 9 операционни зали в 3 големи многопрофилни болници от страната. Проби са събирани от две зони на операционните зали - зона на операционната маса и 2 m от нея. Пробонабирането е осъществено в два етапа - непосредствено след приключване на операциите и след 20 минутно UVC облъчване. След пробовземането пробите са култивирани в термостат за 72 часа. Отчетеният брой cfu/plate е преизчислен към брой cfu/m<sup>3</sup> въздух.

#### **5. Анкетен метод**

За целите на проучването е разработена анкетна карта с 12 въпроса, засягащи използването на бактерицидните лампи за дезинфекция в лечебните заведения в страната. Със съдействието на МЗ и РЗИ, анкетата е изпратена до лечебните заведения на страната.

#### **6. Анкетно-визуален метод**

Методът е приложен по време на теренните проучвания за събиране на данни в 6 многопрофилни болници от страната.

#### **7. Статистически методи**

За проверка на хипотезата за статистически значима разлика в отчетените резултати са приложени следните непараметрични тестове:

- тест на Фридман;
- тест на Крускал Уолис;
- тест на Ман-Уитни.

За целите на дисертационния труд са приложени и следните допълнителни методи: Графичен анализ; Литературно-документален метод; метод на Експертна оценка.



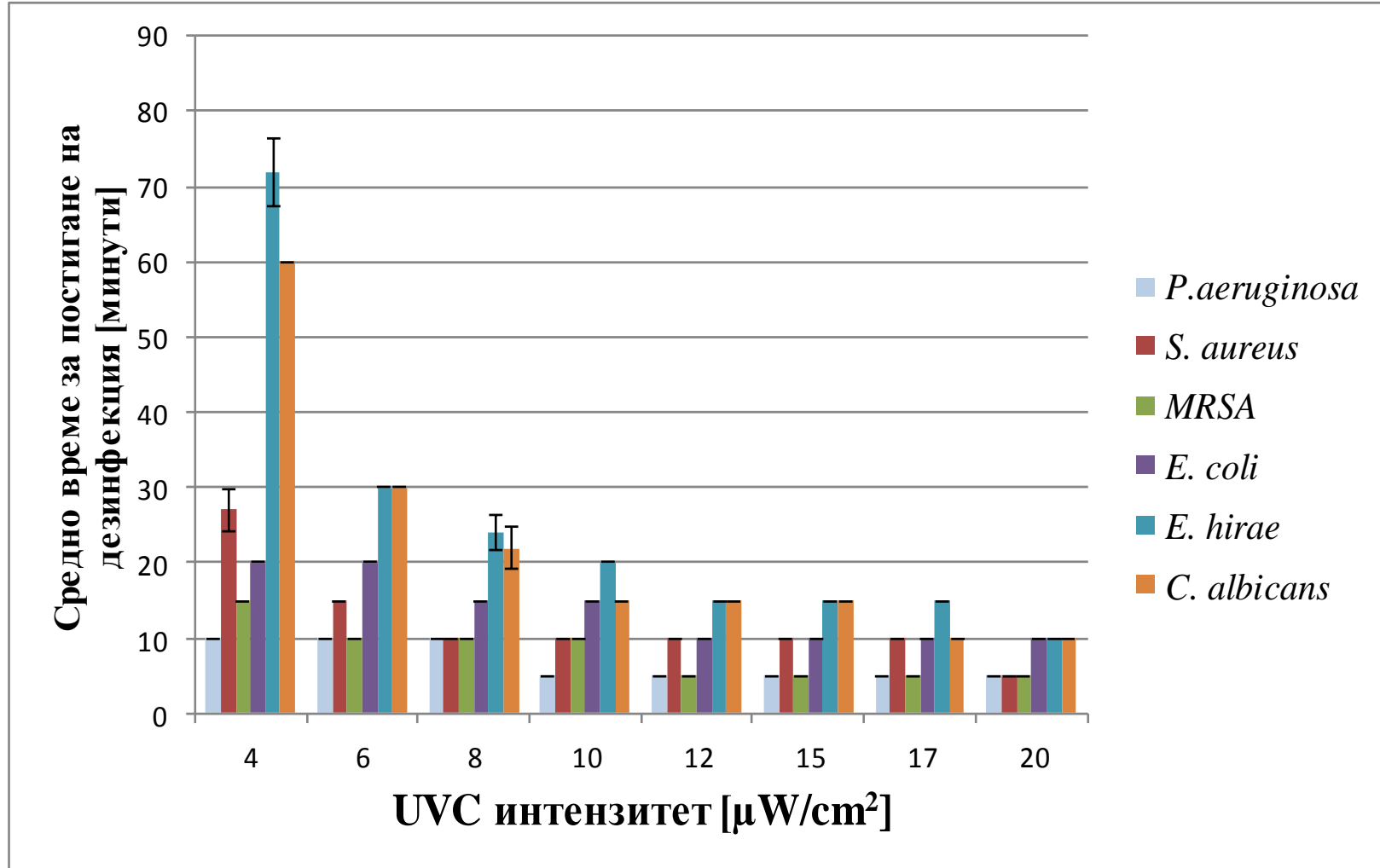
## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

### 1. Проучване в лабораторни условия на обеззаразяващия ефект на съвременните UVC лампи, прилагани в медицинската практика у нас, спрямо референтни щамове микроорганизми

#### 1.1. Определяне на дезинфекциращата активност на UVC лъчението, генерирано от бактерицидни лампи, спрямо референтни бактериални и гъбични щамове

Най-ниската стойност на UVC интензитет ( $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) в лабораторното помещение е регистрирана на 3 метра разстояние от бактерицидната лампа. При тази стойност на UVC интензитет, бактерициден ефект е отчетен на 70-та минута, тъй като едва при тази експозиция всички бактериални щамове покриват изискването за редукция  $\geq 4 \log$ . Дрождециден ефект е отчетен на 60-та минута, като в този момент редукцията на *C. albicans* е  $> 3 \log$ . Получените резултати показват, че най-устойчивият по отношение на UVC лъчение бактериален щам е *Enterococcus hirae*. В случая, това се явява шамът, спрямо който се определя бактерицидното действие на UVC светлината. На *Фигура № 1* са представени резултатите от тестовете за установяване на времето, необходимо за постигане на дезинфекциращо действие, спрямо изпитваните тест-микроорганизми. Фигурата демонстрира необходимата двойно по-ниска експозиция за достигане на бактерицидно и дрождецидно действие след достигане на стойност от  $6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет. При стойности от 6 до  $20 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , бактерицидно и фунгицидно действие се наблюдава между 30-та и 10-та минута от облъчването. Резултатите за постигане на бактерицидно действие при UVC интензитет в порядъка  $12-17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  са сходни, като дезинфекциращо действие се наблюдава на 15-та минута. При по-висок интензитет, необходимото време за излъчване за постигане на обща дезинфекция спада до 10 минути.

Всички контролни проби са отчетени като „неброими“, поради установения масов растеж на тест-микроорганизмите в тях.



Фигура № 1. Необходимо време за достигане на дезинфекциращо действие по отношение на изпитваните тест-щамове, с определените средни стойности и стандартното отклонение.

## Обсъждане

### *Избор на опитна постановка и критерии за отчитане на ефективността*

Минималното изискване, по отношение спектъра на действие на даден дезинфекциращ агент, предвиден за приложение в медицинската област е, той да проявява бактерицидна и дрождецидна активност. Оценяването на тази активност се извършва спрямо задължителни референтни микроорганизми. За оценяване на бактерицидното действие на продукти, предназначени за употреба в медицинската практика, задължителните тест-микроорганизми са: *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442, *Enterococcus hirae* ATCC 10541, *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, а за дрождецидното действие - *Candida albicans* ATCC 10231. Стандартните методи дават възможност в изпитванията да бъдат включени и допълнителни щамове. Тъй като UVC лъчението се прилага за дезинфекция в медицинската практика, определянето на неговата активност следва да бъде осъществено спрямо референтните микроорганизми, използвани като критерии за дезинфекция в медицинската практика. Ето защо при изпълнение на първата задача са избрани като тест-микроорганизми задължителните щамове за оценяване на бактерицидното и дрождецидно действие, като е включен и един допълнителен тест-щам - MRSA ATCC 43300. Основанието за това включване е, че MRSA е един от най-типичните болнични биопатогени (Dulon et al., 2011).

Основните стандартни методи за оценяване на микробицидната активност (включително бактерицидна и дрождецидна) на даден химичен агент представляват по същество суспензионни тестове. Поради непроникващото действие на UVC светлината обаче, суспензионните тестове не биха били релевантни за оценяване на нейната ефективност. Подходът, който е възприет при изпълнение на първата задача, се основава на направената литературна справка. В много от литературните източници, методът за определяне на ефективността на UVC лъчението включва посевка на тест-микроорганизмите върху петри с хранителна среда.

Основният критерии за оценка на дезинфекциращата ефективност на даден метод е той да доведе до определена редукция в броя на жизнеспособните клетки на изпитваните микроорганизми. Всички стандартни методи, които не се основават на суспензионни тестове, изискват постигане на минимум 4 log редукция за бактерицидно действие и минимум 3 log редукция за фунгицидно (дрождецидно) действие (БДС EN 14885:2015). На тези критерии се основава и интерпретацията на получените резултати при оценяване дезинфекциращото действие на UVC лъчението, продуцирано от бактерицидни лампи.

### *Обсъждане на резултатите*

Липсата на стандартизиран подход за определяне ефективността на UVC светлината при изпитванията, извършвани от различни автори, често е причина за наличието на противоречиви резултати (Kowalski et al., 2004) и затруднява съпоставянето на установените от нас данни.

Получените резултати показват различна чувствителност на референтните тест-микроорганизми към UVC светлината. При всички тествани стойности на UVC интензитет, като най-устойчив бактериален щам е установен *E. hirae*. Единствено бактериалният щам *P. aeruginosa* постигна ефективна редукция още на 10-та минута при най-ниската стойност на UVC интензитет - 4  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Тези резултати съответстват на данните за различната чувствителност на микроорганизмите към UVC светлината и по-конкретно, на схващането, че Грам положителните бактерии са по-устойчиви на UVC лъчение, докато *Pseudomonas spp.* е един от най-чувствителните бактериални видове (Rowan et al., 1999; Jay, 1996). От гледна точка на контрола на ВБИ е важно да се отбележи, че резистентният на антибиотици щам MRSA не е по-устойчив на UVC лъчение от задължителния за изпитване щам *S. aureus*, т.е. антибиотичната резистентност в случая не повлиява ефективността на UVC дезинфекцията.

Един от съществените фактори, който влияе върху ефективността на UVC лъчението е разстоянието на облъчваните обекти до UVC излъчвателя (Shagott, 2004). В тази връзка, редица публикации акцентират на установеното ефективно

разстояние от облъчвателя (Katara et al., 2008; Buttner et al., 2012). Важно е да се отбележи, че при работа с различни по дизайн и мощност UVC източници, на едно и също разстояние от тях ще се отчита различна стойност на UVC интензитет. По тази причина, установяване на ефективността на излъчвателите само в зависимост от отдалечеността им от обектите, ограничава точността на изпитването (Buttner et al., 2012).

В нашето проучване също е определена максималната допустима отдалеченост от бактерицидния излъчвател за постигане на дезинфекция, но в допълнение на това установихме и необходимият UVC интензитет за постигане на търсената ефективност. В случая, възприехме подхода, че данните за разстоянието от облъчвателя ще бъдат само насочващи за конкретния тип устройство.

Нашата опитна постановка като изпълнение се доближава най-много до описаната от Katara и колектив (2008). Данните от техните изпитвания по отношение на ефективните разстояния от облъчвателите, необходимото време за постигане на дезинфекциращо действие, спрямо тест-микроорганизмите *S.albicans* и *E.coli*, както и степента на тяхното редуциране, се потвърждават в проведените от нас лабораторни експерименти. Сходните резултати, вероятно се дължат на сходните параметри на използваните бактерицидни лампи. Съпоставяйки представената в публикацията различна степен на редукция на щам *E. coli* при експозиция от 10, 15 и 20 минути на разстояние 2,44 m от UVC лампата с получените от нас данни, може да се приеме, че на това разстояние интензитетът на UVC лъчението вероятно е в рамките на 8-10  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Основание за това предположение ни дава фактът, че само при тези стойности в нашето проучване редукцията на *E. coli* за 10 минути е в рамките на 3 log, а за 15 и 20 минути - над 4 log. Тъй като отчетените от нас стойности от 8  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  са на разстояние около 2,5 метра от UVC лампата (съвсем близо до измерените от тях 2,44 метра), но в същото време използваният от тях излъчвател е 40W, а нашият е с по-ниска консумация на електроенергия и съответно с по-ниска мощност на UVC лъчение, по-вероятната стойност на UVC интензитет, при която Katara и колектив постигат

своите резултати е  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Установяването на предполагаемата ефективна стойност на UVC интензитета в проучването на Katara е важно поради установената от тях ефективност на UVC светлината и по отношение на други тестови микроорганизми. Авторите доказват на същото разстояние от лампата - 2,44 метра, ефективно редуциране на микобактерии и бактериални спори в рамките на 30 минути. Тези резултати са важни от гледна точка на препоръките за употреба на лампите в помещения, в които се очаква контаминиране на средата със специфични по видов състав микроорганизми.

Проучване на Menetrez и колеktiv (2010) също дава информация за необходимото разстояние и време за инактивиране на различни по вид бактерии и фунги, инокуирани на петри, и поставени на разстояние 1,44 метра от UVC излъчвателите. При интензитет на UVC лъчение достигащ до пробите в порядъка на  $146 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , повечето бактерии са достигнали 99% инактивиране в рамките на 60 секунди, а 98% инактивиране на *Candida albicans* е отчетено за 120 секунди. Тези данни са показателни за зависимостта на UVC дезинфекцията от интензитетът на лъчението, т.е колкото по-висок е интензитетът, толкова по-бързо се инактивират микроорганизмите. В нашия случай времето за постигане на бактерицидно и дрождецидно действие намалява двойно при повишаване плътността на UVC мощност от  $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  на  $6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

За успешното прилагане на UVC дезинфекцията в медицинската практика, времетраенето на облъчването е от особено значение, за да допълва рутинната дезинфекция с химични средства (Petersson et al., 2014; Weber et al., 2016). Времето за облъчване влияе пряко върху консумираната електроенергия и върху зададения от производителите „живот“ на бактерицидните облъчватели. Колкото по-дълго е времето на облъчване, толкова по-бързо се изчерпва животът на лампите (Gostine et al., 2016). Получените резултати категорично показват, че адекватна дезинфекция чрез UVC лъчение може да се извърши при облъчване с директен излъчвател до 30 минути. В един от малкото документи с практическа насоченост за употребата на бактерицидни лампи в медицинската практика,

публикуван в края на 2017 година (Vincent, 2017), специално внимание се отделя на контролирането на началните параметри на излъчвателите и тяхната промяна във времето чрез измерители на UVC лъчение. При намаляване на първоначалните параметри и достигане на  $< 70\%$  на първоначалните стойности, излъчвателите подлежат на смяна. Този факт ни дава основание да препоръчаме в целия обем на помещението, при проектиране на UVC инсталация с директни излъчватели или реконструкция/оптимизиране на съществуваща такава, минималният UVC интензитет, измерен на височина 1 m от пода, да бъде в рамките на  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , тъй като тази стойност би позволила при снижение до допустимите нива време на лъчение да не бъде повече от 30 минути. При всички случаи, за да не се стига до гранични стойности, по-високият интензитет в помещението в рамките на  $12\text{-}17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  е препоръчителен и може да се приеме за оптимален. Някои автори препоръчват поддържането на UVC интензитет на оперативното място в границите на  $18\text{-}30 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (Sylvain et al., 2009; Hart, 1936), но тези препоръки касаят работата на UVC излъчвателите по време на извършване на операции. В нашата страна използването на директни облъчватели в присъствие на хора в помещенията не се допуска. Оптималното време, необходимо за постигане на дезинфекциращо действие трябва да се определи за всяка конкретна структура и зависи от общият интензитет, който се отчита в помещението от наличните директни UVC излъчватели. Получените резултати показват, че при стойности от  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет оптималното време на работа на системата е 20 минути, а при по-високи стойности обща дезинфекция се постига в рамките на 10-15 минути. Също така, за постигане на дезинфекциращо действие в помещение с обем  $35 \text{ m}^3$  един брой директен излъчвател (30 W) с дължина на пурата от 1 метър се оказва достатъчен. Максималното разстояние, на което се отчита този ефект в рамките на 30 минутна експозиция, се определя на около 2,5 метра от облъчвателя, резултат сходен с данните на Katara и колектив (2008).

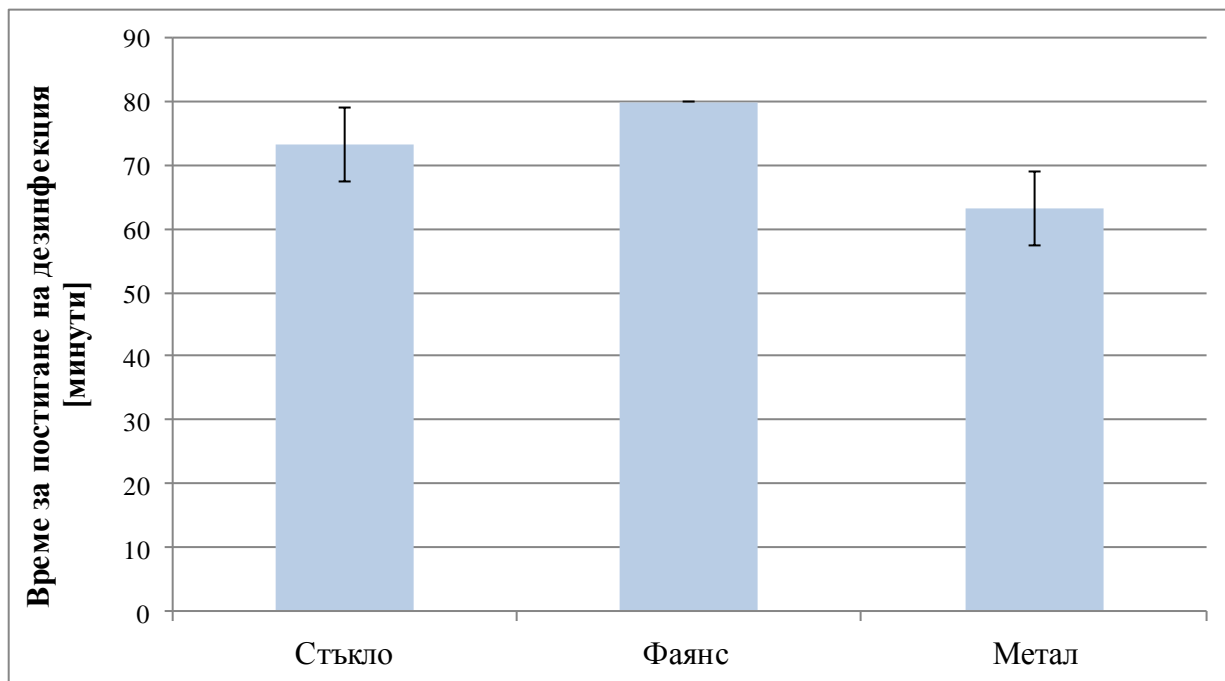
## 1.2. Определяне на дезинфекциращото действие на UVC лъчението, генерирано от бактерицидни лампи, по отношение на различни тест-повърхности, използвани в практиката

Проучването е проведено с тест-микроорганизмите, определени като най-устойчиви и индикаторни за бактерицидно и дрождецидно действие в предходната експериментална част - *E. hirae* и *S. albicans*. Избраната стойност на UVC интензитета, при която са извършени изпитванията върху различни повърхности, е определена като оптимална за UVC дезинфекцията в предходната част от проучването. Всички регистрирани стойности отговарят на критериите на метода за достоверност на резултата ( $N$ ,  $N_c$ ,  $N_{ts}$ ). Редукция на жизнеспособните клетки на *E. hirae* и *S. albicans*, инокулирани върху балатум, не се наблюдава, като при всички проби е отчетен масов растеж и стойностите са записани като „неброими“.

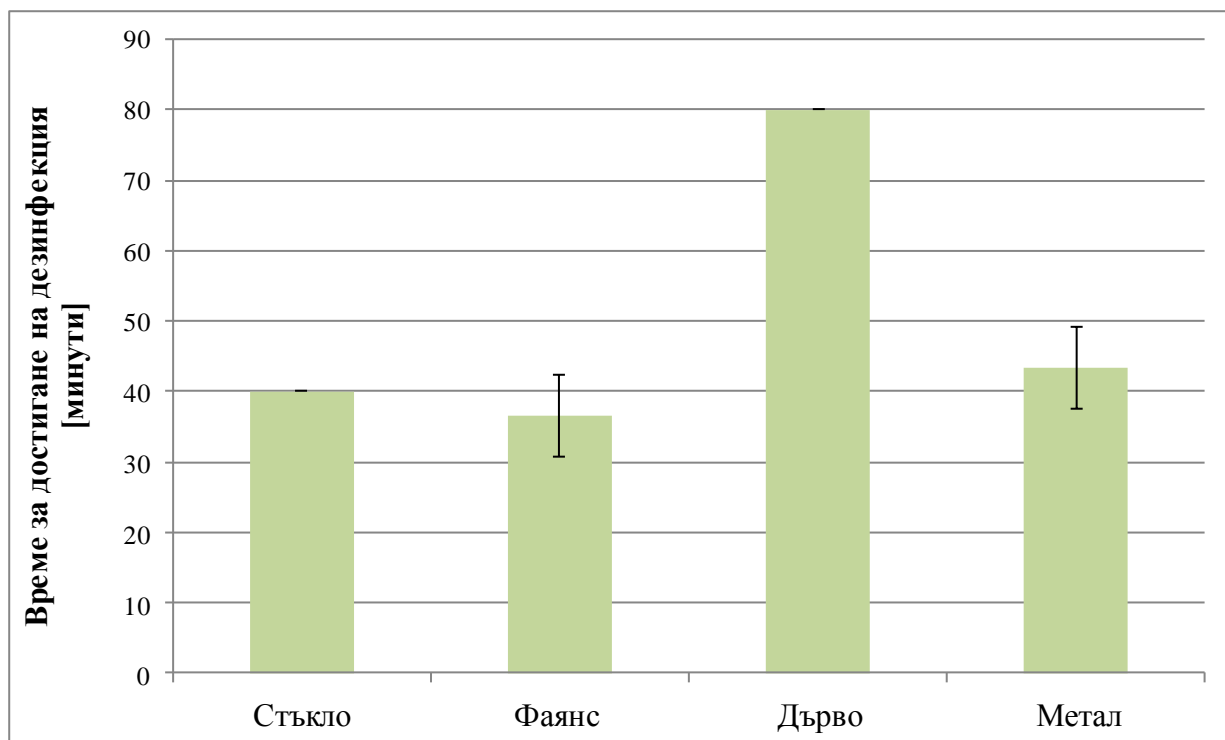
Дезинфекциращо действие на бактерицидния излъчвател по отношение на тест-щам *E. hirae* е отчетено само върху непорьозни повърхности (Фигура 2). Върху метал, изискването за отчитане на редукция  $\geq 4 \log$  се постигна на 60-та минута, върху стъкло - на 70-та минута и върху фаянс на 80-та минута. Върху боядисано дърво, броими cfu/plate са регистрирани едва при 60 минутно облъчване, като до края на експозицията, избрана в опитната постановка, стойностите на редукцията не покриха изискванията на метода ( $R \geq 4 \log$ ).

Дезинфекциращо действие на бактерицидната лампа по отношение на тест-щам *S. albicans* е отчетено върху непорьозните повърхности и върху боядисано дърво (Фигура 3). При всички непорьозни повърхности (метал, стъкло и фаянс) изискването за постигане на редукция за дрождецидно действие ( $R \geq 3 \log$ ) е постигнато на 40-та минута. Върху боядисано дърво, броими cfu/plate са регистрирани още на 10-та минута, като на 80-та минута от работата на бактерицидната лампа, върху дървените повърхности е отчетена редукция, отговаряща на изискванията на метода за постигане на дрождецидно действие.



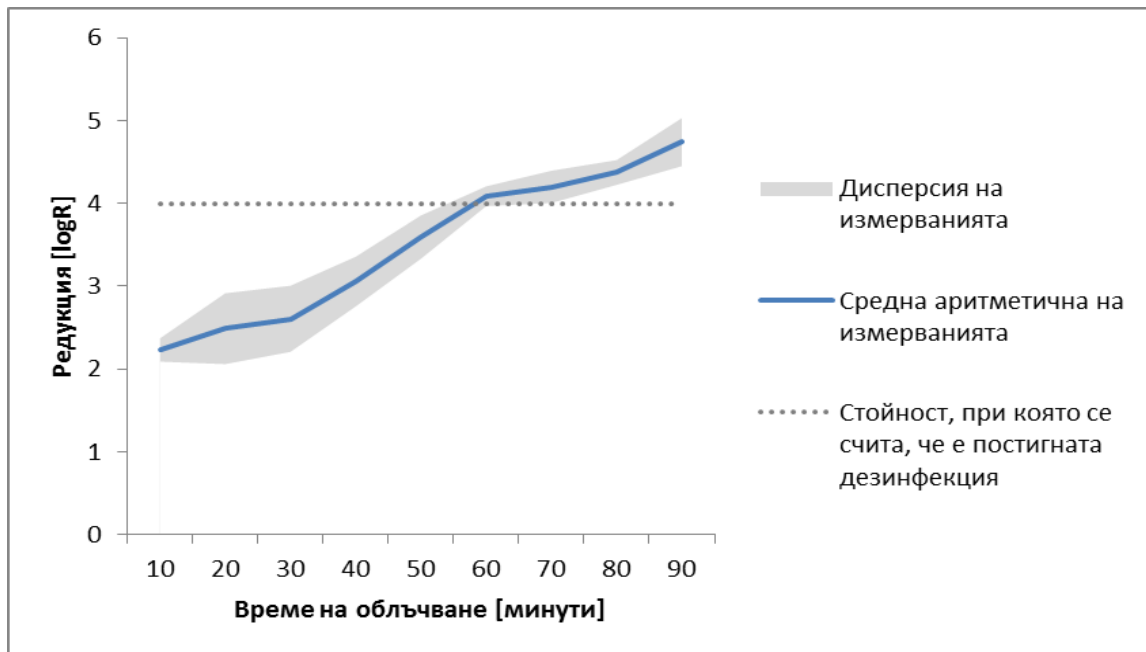


Фигура № 2. Необходимо време за постигане на бактерицидно действие ( $R \geq 4 \log$ ) с определените средни стойности и стандартното отклонение, при  $15 \mu W/cm^2$  UVC лъчение, приложено върху различни тест-повърхности.

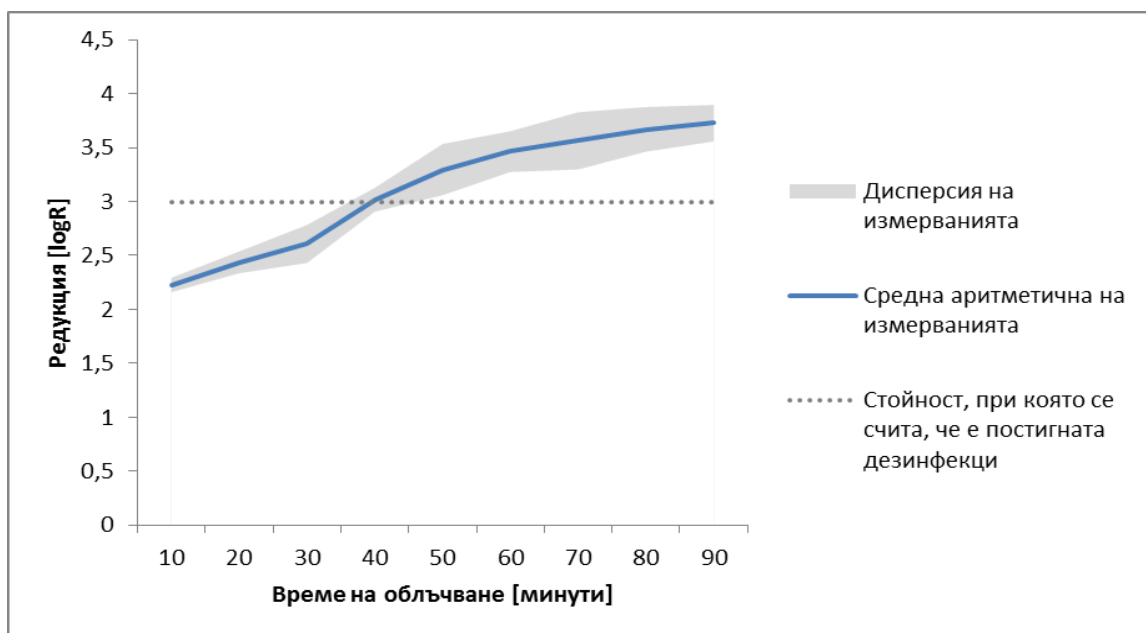


Фигура № 3. Необходимо време за постигане на дрождецидно действие ( $R \geq 3 \log$ ) с определените средни стойности и стандартното отклонение, при  $15 \mu W/cm^2$  UVC лъчение, приложено върху различни тест-повърхности.

На следващите фигури е представено изменението във времето на средните стойности на редукцията на двата щама при облъчване върху метални повърхности.



Фигура № 4. Средни стойности на редукцията и дисперсия на измерванията на *E. hirae* върху метални повърхности при облъчване за различно време с  $15 \mu W/cm^2$  UVC интензитет



Фигура № 5. Средни стойности на редукцията и дисперсия на измерванията на *C. albicans* върху метални повърхности при облъчване за различно време с  $15 \mu W/cm^2$  UVC интензитет.

## Обсъждане

Резултатите от оценяването на ефективността на бактерицидния излъчвател върху различни повърхности, показват необходимост от по-продължително време за лъчение и висок UVC интензитет за постигане на дезинфекциращо действие, в сравнение с първата опитна постановка. Наблюдаваната разлика във времето, необходимо за постигане на бактерицидно и дрождецидно действие при двете опитни постановки (върху петри с хранителна среда и върху реални повърхности), може да се обясни с някои различия в приложените методи. И при двете опитни постановки началната суспензия е натоварена с равен обем допълнителна субстанция за чисти условия - говежди албумин, но съгласно стандартния метод, контаминираната повърхност задължително трябва да бъде суха, преди прилагането на дезинфекциращия агент, в случая UVC лъчението. Изсушената суспензия върху повърхността, заедно с белтъчното натоварване, подобно на биофилм, води до повишена устойчивостта на микроорганизмите (Jawad et al., 1996). Гъстотата на началната суспензия, приложена върху твърде малка повърхност, вероятно също оказва влияние върху резултата. Тест- суспензията, съгласно изискванията на стандартния метод е с гъстота в рамките на  $10^8$  за *E. hirae* и  $10^7$  за *C. albicans*, като с 50  $\mu\text{L}$  от нея е контаминиран участък от  $1\text{ cm}^2$  на различните по вид повърхности. Суспензията, използвана за контаминиране на петрита с хранителна среда е с една степен по-ниска ( $10^7$  за *E. hirae* и  $10^6$  за *C. albicans*) и количеството от 50  $\mu\text{L}$  е разпределено върху цялата площ на петрата - 90 mm в диаметър. Ето защо, може да се приеме, че условията, при които е извършено изпитването върху повърхности, съгласно стандартния метод са по-тежки, в сравнение с опитите върху хранителна среда.

За ефективността на UVC лъчението в медицинската практика от гледна точка контрола на инфекции, важно значение има степента на контаминиране на повърхностите с микроорганизми, която в реални условия се оказва много по-ниска от използваното натоварване в опитните постановки. Биотоварът ( $\text{cfu/cm}^2$ ) върху повърхности от медицинската практика като числова стойност се изразява в

рамките на 2 log (Sexton et al., 2018; Claro et al., 2015), а натоварването в стандартния метод е в рамките на над 6 log. Ето защо се приема, че стандартните методи са твърде утежнени спрямо реалните условия в практиката (Bouse et al., 2011). Наред с това, UVC лъчението, продуцирано от бактерицидни лампи, се прилага в практиката като метод, подпомагащ рутинните дезинфекционни мероприятия. Тези факти ни дават основание да считаме, че препоръчаните в първата опитна постановка режими на работа на директните UVC облъчватели, ще бъдат ефективни за постигане на дезинфекциращо действие и върху реални повърхности от практиката. Изводът ни се подкрепя от получените резултати върху метални повърхности, при които се отчита още на 10-та минута средна стойност на редуцията на тест-микроорганизмите  $> 2 \log$  (Фигура № 4 и Фигура № 5).

Въпреки че, условията на изпитване, определени в стандартните методи за оценяване действието на дезинфектанти са твърде тежки и не съответстват на реалните условия в болничната практика, прилагането им с цел установяване ефективността на UVC устройства върху повърхности е наложително, поради липсата понастоящем на други стандартизирани методи в областта на дезинфекцията (Bouse et al., 2011; 21. Kowalski et al., 2004). Метални тест дискове и модифицирани методи за изпитване на дезинфектанти върху повърхности са приложени и от други автори за установяване ефективността на UVC лъчението. Ефективен режим на UVC дезинфекция по отношение на MRSA и карбапенем-резистентни *E.coli*, контаминирани върху метални повърхности, е установен при UVC интензитет от  $11 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  и време на облъчване в продължение на 6 минути (Shaikh et al., 2016). Авторите обаче не уточняват гъстотата на началната суспензия, с която са работили, а само количеството, с което са контаминирани пробите - 10  $\mu\text{L}$ .

Не са много публикациите, свързани с установяване на ефективността на UVC лъчението върху реални повърхности, използвани в медицинската практика.

Липсата на дезинфекциращ ефект при облъчване на порьозни повърхности наблюдават и Rastogi и колектив (2007). Пробите са били подложени на UVC лъчение с интензитет  $6,0-10,8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  за 15 минути. След облъчването всички метални повърхности са показали редуция на бактериалните клетки  $> 4 \log$ , а порьозните повърхности  $< 1 \log$  редуция. По-краткото време, необходимо за постигане на дезинфекциращ ефект върху метални повърхности, в сравнение с нашите резултати, вероятно се дължи на по-ниската гъстота на началната суспензия ( $10^4$  и  $10^6$  за *A. baumannii*), липсата на допълнително белтъчно натоварване на пробите и предполагаемата по-висока чувствителност на *A. baumannii* към UVC лъчението, предвид факта, че тест-щамът спада към групата на Грам негативните бактерии (Rowan et al., 1999; Jay, 1996).

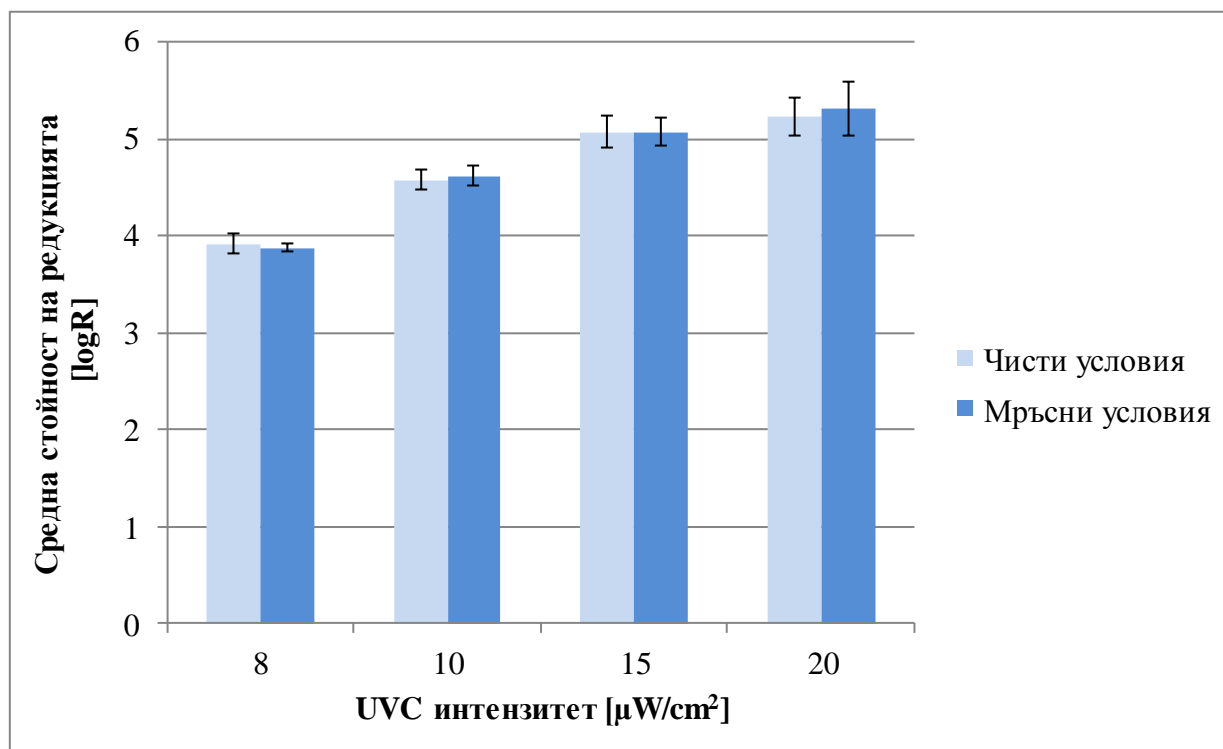
В последните години усилено се работи за оценяване ефективността на автоматизирани системи за дезинфекция на повърхности в болнична среда. Автоматично UVC устройство за дезинфекция на често докосвани от пациентите повърхности в болнични стаи е довело до значително снижение на жизнеспособните спори на *C. difficile* и на вегетативните клетки на MRSA и VRE за 45 минути при дози на UVC лъчение от  $22,000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  (Nerandzic et al., 2010). Други резултати показват, че за 15 минути тези устройства ефективно редуцират вегетативните бактерии, а за 50 минути - спорите на *C. difficile* (Wong et al., 2016; Rutala et al., 2010), но техническите параметри на изпитваните преносими UVC устройства не са съпоставими с използвания от нас UVC излъчвател.

*1.3. Проучване на влиянието на белтъчното натоварване на средата и на процеса „фотореактивация“ при бактерии и дрожди върху крайния дезинфекциращ ефект на батерицидните лампи, използвани в практиката*

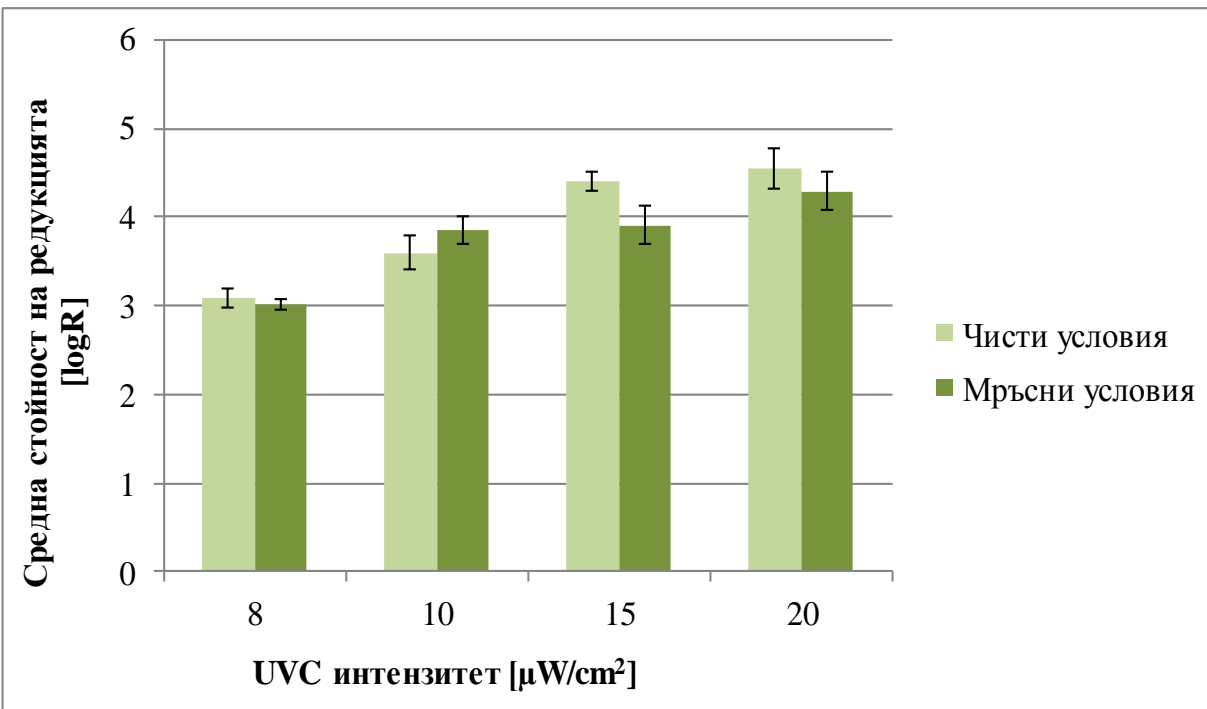
### **Белтъчно натоварване**

Проучването е проведено с тест-микроорганизмите, определени като най-устойчиви и индикаторни за бактерицидно и дрождецидно действие в първата

експериментална част - *E. hirae* и *C. albicans*. Влиянието на белтъчното натоварване на средата е установено при две времена на облъчване на пробите - 15 и 20 минути, които са приети в първата експериментална част като ефективни за постигане на дезинфекциращо действие на директните излъчватели в практиката. Получените резултати са представени графично на *Фигури № 6-7*.



*Фигура № 6. Редукция на тест-щам *E. hirae* при ниско органично натоварване (чисти условия) и високо органично натоварване (мръсни условия) с определените средни стойности и стандартното отклонение, при различен интензитет на UVC лъчение за 20 минути. Разликата в отчетената редукция на тест-щамата, постигната под действието на различен UVC интензитет в условия на ниско и високо белтъчно натоварване не е статистически значима ( $p\text{-value} > 0,05$ ; Крускал Уолис).*



Фигура № 7. Редукция на тест-щам *C. albicans* при ниско органично натоварване (чисти условия) и високо органично натоварване (мръсни условия) с определените средни стойности и стандартното отклонение, при различен интензитет на UVC лъчение за 20 минути. Разликата в отчетената редукция на тест-щамата, постигната под действието на различен UVC интензитет в условия на ниско и високо белтъчно натоварване не е статистически значима ( $p\text{-value} > 0,05$ ; Крускал Уолис).

Получените резултати при 15 минутно облъчване на пробите са сходни с демонстрираните резултати на Фигура № 6 и Фигура № 7, като разликата в отчетената редукция на тест-микроорганизмите, постигната под действието на различен UVC интензитет в условията на ниско и високо белтъчно натоварване не е статистически значима.

От представените резултати е видно, че ефективността от коректно проведената в практически условия UVC дезинфекция не се повлиява от белтъчното натоварване на средата.

## Обсъждане

Белтъчното натоварване на средата играе важна роля в качеството на извършваните дезинфекционни мероприятия в лечебните заведения. Не случайно дезинфектантите, предназначени за употреба в медицинската практика, подлежат на оценка на активността им в среда с високо белтъчно натоварване (мръсни условия) (БДС EN 14885:2015). Затова избрахме да оценим влиянието на високото органично натоварване на средата върху ефективността от проведената UVC дезинфекция.

Нашите резултати показват, че ефективността от коректно проведената UVC дезинфекция с директен UVC излъчвател не се повлиява от високото органично натоварване на средата. В литературата обаче съществуват противоречиви данни за влиянието на допълнителното органично натоварване на средата върху ефективността на UVC дезинфекцията.

Nerandzic и съавтори (2012) установяват, че наличието на органична материя намалява ефективността на дезинфекцията, извършвана с UVC устройство, което не се базира на живачна технология, но което постига ефективност по отношение на бактерии и спори в рамките на секунди.

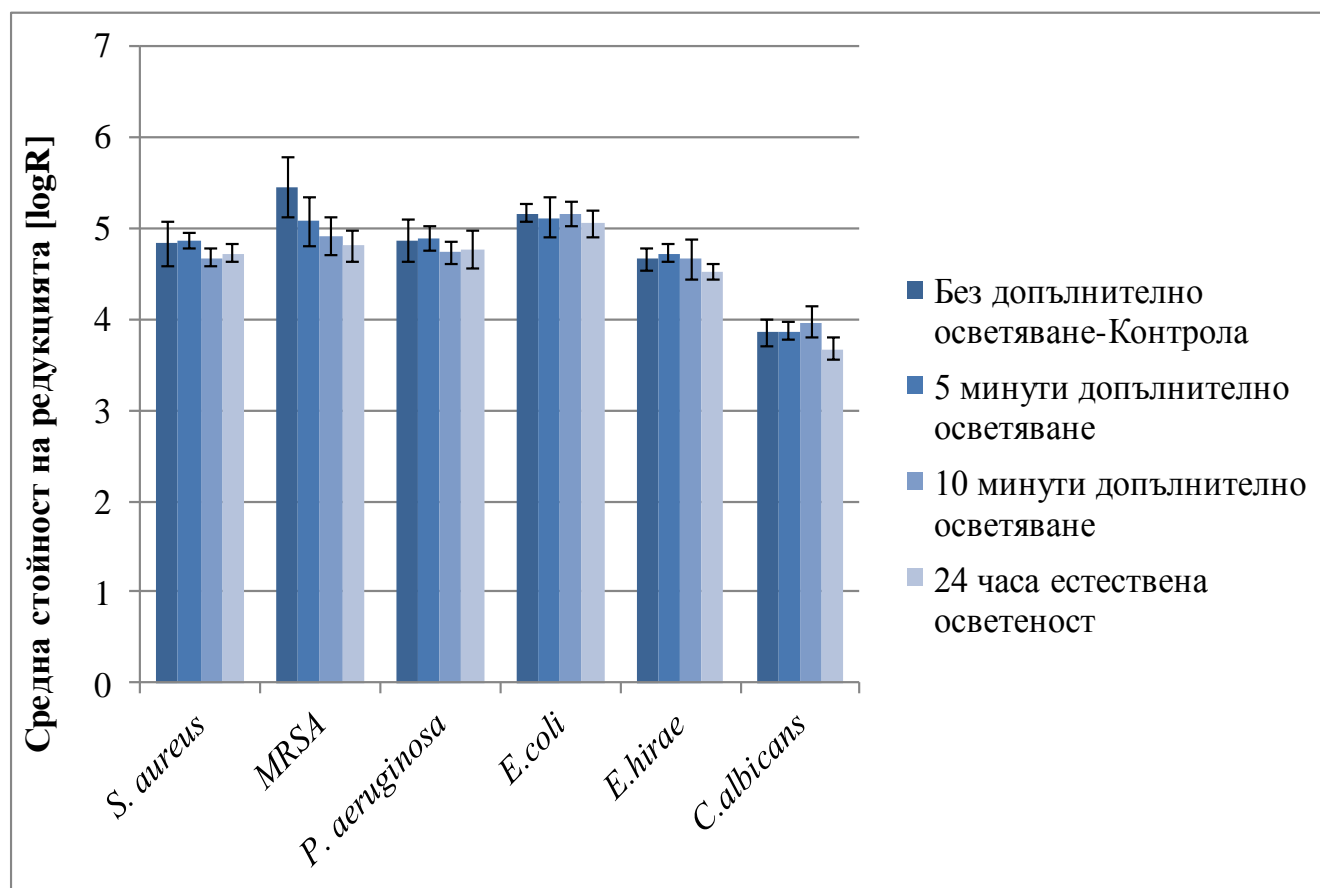
Същият автор, обаче установява, че при използване на живачна технология в ефективни дози на UVC лъчение за постигане на дезинфекция, добавянето към пробите за изпитване на говежди серумен албумин, който имитира високо органично натоварване на средата, не повлиява ефективността на облъчването (Nerandzic et al., 2010).

Като обобщение на тези данни, Wong T. и колектив (2016) установяват, че използването на UVC устройства за дезинфекция са ефективен допълнителен метод към рутинните хигиенни мерки в болничната практика, но ефективността на дезинфекцията при наличие на висок биотовар и високо органично замърсяване на средата зависи от техническите параметри и дизайна на самите устройства.



## Фотореактивация

Проучването е проведено с всички тест-микроорганизми при два режима на работа на бактерицидната лампа и при различен UVC интензитет -  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  за 20 минути и  $15 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  за 15 минути, които са определени в първия етап на проучването, като ефективни за постигане на дезинфекциращо действие на директните излъчватели в практиката. Резултатите от изпитването при режим на облъчване  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  за 20 минути са представени на *Фигура № 8*.



*Фигура № 8. Редуция на изпитваните тест-микроорганизми с определените средни стойности и стандартното отклонение за установяване влиянието на фотореактивацията върху дезинфекциращата ефективност на облъчване за 20 минути с интензитет на UVC лъчение  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Разликата в отчетената редуция на всеки тест-щам в отделните групи условия на изпитване, не е статистически значима ( $p\text{-value} > 0,05$ ; Крускал Уолис).*

Получените резултати при облъчване на пробите с  $15 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет за 15 минути са сходни с демонстрираните резултати на *Фигура № 8*. Разликата в отчетената редукция на всеки тест-щам в отделните групи условия на изпитване при облъчване на пробите с  $15 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет за 15 минути, също не е статистически значима ( $p\text{-value} > 0,05$ , Крускал Уолис).

Независимо от допълнителното осветяване на пробите след UVC лъчението, при облъчване с ефективни стойности на UVC интензитет е отчетена редукция за всички бактериални щамове над 4 log, а на тест-щам *C. albicans* - над 3 log. При всички необлъчвани 24 часови контроли е отчетен масов растеж след култивирането им в термостат.

От представените данни е видно, че ефективността от коректно проведената в практически условия UVC дезинфекция не се повлиява от процесите на фотореактивация.

## **Обсъждане**

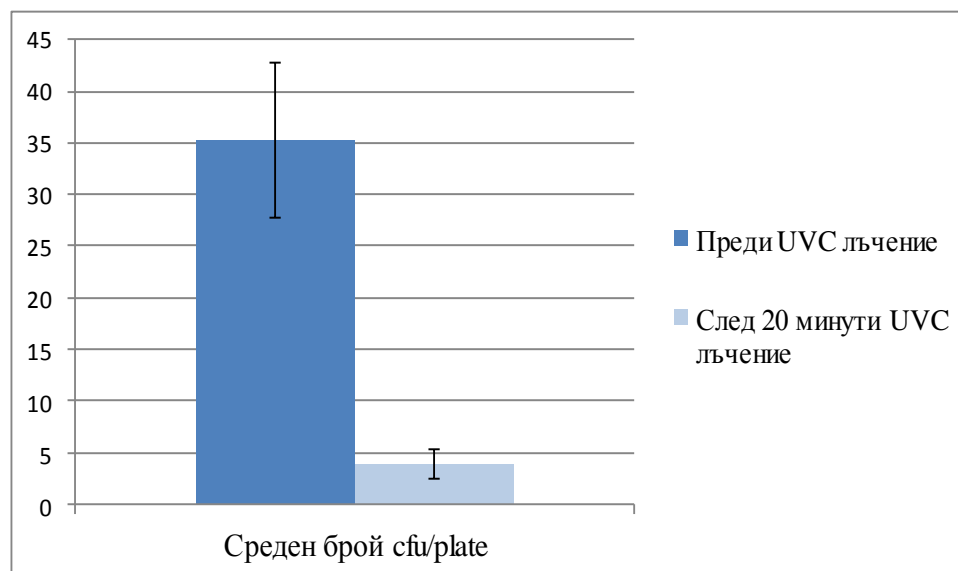
В литературата съществуват данни за възстановяване жизнеспособността на микроорганизмите след редуцирането им под действието на UVC лъчи, продуцирани от бактерицидни лампи. Поправящите механизми се активират при излагане на облъчените култури на допълнително осветяване (фотореактивация).

Още в средата на XX век се установява ефекта на видимата светлина върху възстановяването на спори на *Streptomyces griseus*, облъчени от 15 W UV лампа за 4 минути (Kelner, 1949). Спорите в суспензиите, оставени на светло, са възстановили жизнеспособността си напълно на 5-я ден. Установено е също така, че скоростта на фотореактивация се увеличава с увеличаване на интензитета на видимата светлина (Kashimada et al., 1996). Освен във водна среда, фотореактивация е наблюдавана и във въздуха по отношение на *Mycobacterium parafortuitum* (Рессия et al., 2001). Авторите стигат до заключение, че степента на фотореактивация на бактериалните клетки във въздуха се увеличава с нарастващата относителна влажност и намалява с увеличаване на UV дозата. Върху необходимостта от увеличаване на UV дозата за намаляване на

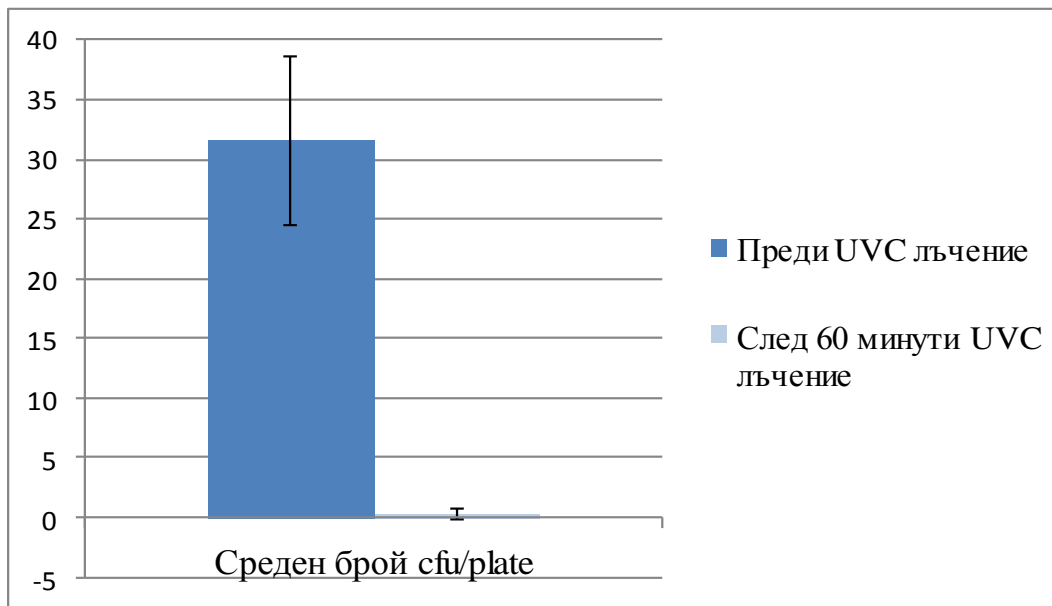
възможността за настъпване на фотореактивация, акцентират и други автори (Lindenauer et al., 1994). Получените от нас резултати показват, че ефективността на коректно извършената UVC дезинфекция не се повлиява от допълнителното осветяване и естествения режим на осветеност в помещенията. Този резултат вероятно се дължи на по-високия UVC интензитет и по-дългото време на работа на бактерицидната лампа, в сравнение с приложените от другите автори режими на облъчване.

#### *1.4. Определяне на дезинфекциращото действие на директен UVC излъчвател по отношение на въздух в лабораторни условия*

Резултатите, демонстриращи обеззаразяващия ефект на директния UVC излъчвател при облъчване в продължение на 20 и 60 минути, са представени на следващите таблици.



*Фигура № 9. Микробно замърсяване на въздуха (cfu/plate) с определените средни стойности и стандартното отклонение преди и след UVC лъчение в лабораторни условия с директен излъчвател за 20 минути. Разликата в стойностите cfu/plate преди и след UVC дезинфекция е статистически значима ( $p$ -value < 0,05; тест на Фридман).*



*Фигура №10. Микробно замърсяване на въздуха (cfu/plate) с определените средни стойности и стандартното отклонение преди и след UVC лъчение с директен излъчвател за 60 минути в лабораторни условия. Разликата в стойностите cfu/plate преди и след UVC дезинфекция е статистически значима ( $p\text{-value} < 0,05$ ; тест на Фридман).*

## Обсъждане

Редукцията на бактериалната контаминация на въздуха в лабораторното помещение след 20 и 60 минутен работен режим на директния UVC излъчвател е показател за постигнатата ефективност на UVC лъчението.

Изчислената средна стойност на ефективността на UVC дезинфекцията за 20 минути по отношение на въздуха в лабораторното помещение е 88,88%, а за 60 минути - 99,09%.

Високата ефективност при двата режима на работа на излъчвателя вероятно се дължи на ниското контаминиране на въздуха в лабораторното помещение. Резултатите показват, че за дезинфекция на въздух в помещение с обем 35 m<sup>3</sup> е достатъчен един брой директен UVC излъчвател със същите характеристики като използвания в опитните постановки.

Подобен излъчвател са използвали и Richard и колектив (1971), за да установят дезинфекциращия ефект по отношение на изкуствено разпръснати във въздуха тест-микроорганизми *Serratia marcescens*. Авторите отчитат двойно по-висока ефективност при включване в опитната постановка на устройство за движение на въздуха.

Проучванията върху ефективността на стандартно UVC оборудване за дезинфекция на въздух в лечебни заведения се основават преди всичко на контролиране разпространението на туберкулоза. Авторите, участвали в проучване на CDC препоръчват емисията на UVC светлината в горната част на стаята да бъде приблизително  $40\text{-}50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , което би довело до 90% редуция на микроорганизмите, предавани по въздушно капков път (Miller, 2002). Преизчислявайки (Shagott, 2004) посоченият интензитет от горната част на стаята до 2,5 метра разстояние от излъчвателя (разстояние, определено за максимално по отношение на ефективността в първата част на проучването) се получава стойност от  $6\text{-}8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет в рамките на 2,5 метра от излъчвателя и  $4,5\text{-}5,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC в целия обем на лабораторното помещение. Получените стойности са в потвърждение на установените от нас параметри за постигане на дезинфекцираща активност на UVC лъчението.

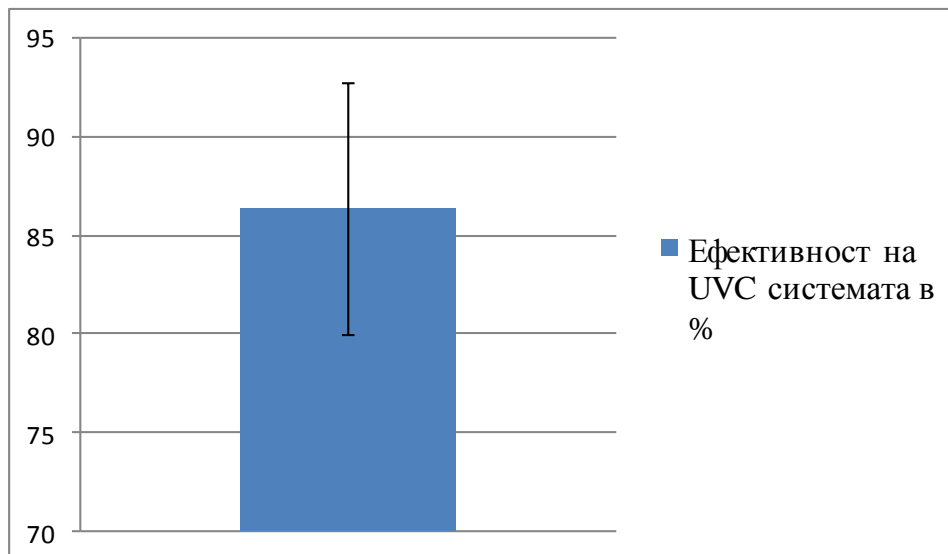
Някои публикации отчитат ефективност в операционни зали на UVC лъчение с интензитет над  $23 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  и време на облъчване средно около час. В повечето случаи са установени значително снижение на постоперативните инфекции и стойности близки до ултрачист въздух ( $\leq 10 \text{cfu}/\text{m}^3$ ) (Berg et al., 1991; Carisson et al., 1986). От друга страна, ниска ефективност при облъчване с бактерицидни лампи (14-19%) е установена при ниски стойности на UVC интензитет, отчетени на височина от пода 1-2 метра (съответно  $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  и  $1,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ). Използваните в този случай излъчватели, 4 бактерицидни лампи от 15W, са монтирани в помещение с обем  $90 \text{m}^3$ . Авторите отбелязват, че една от причините за негативния резултат е ниската UVC емисия, въпреки високата обща мощност на консумирана електроенергия от лампите (Macher et al., 1992). Тези данни

показват, че даже в горната част на стаята да се регистрират препоръчаните от авторите ефективни стойности на UVC интензитет, поради големината на помещението, лъчението може да не обхване целия обем и да не се регистрира дезинфекцираща активност от облъчването. Този извод показва важността на правилното определяне на необходимия брой излъчватели в зависимост от големината на помещението.

Добрата ефективност, която е отчетена в нашите лабораторни проучвания при  $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет в целия обем на помещението при облъчване в продължение на 20 минути може да не се постигне в реални условия, поради възможността за по-високо контаминиране на въздуха в практиката (Onwubiko et al., 2014; Njoku-Obi et al., 1993). От друга страна, получените стойности на микробно замърсяване на въздуха след облъчване за 60 минути, влизат в критериите за чистота, отговарящи на ултрачист въздух. Съпоставяйки отчетената от нас дезинфекцираща активност на директния UVC облъчвател по отношение на въздух с данните от първата опитна постановка, прави впечатление постигнатия сходен резултат при интензитет от  $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  за 60 минути. За постигане на същите високи стойности на обеззаразяване на въздух, но за по-кратко време на лъчение, подходящо за практиката (до 30 минути), може да се препоръча в целия обем на помещението, на 1 m височина от пода, UVC интензитетът на лъчението да бъде  $\geq 6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Този извод се подкрепя от ефективните параметри на интензитета, установени в първата опитна постановка (*Фигура № 1*), както и примерите от литературата (Miller, 2002).

*1.5. Определяне на ефективността на UVC система от затворен тип, предназначена за дезинфекция на въздух и оценяване възможностите за внедряване на метода в рутинната болнична практика*

Получените данни, за ефективността на системата от затворен тип в режим на работа в продължение на 1 час, са представени на *Фигура № 11*.



*Фигура № 11. Ефективност на UVC система от затворен тип при режим на работа 60 минути на пълна мощност, с определените средни стойности и стандартното отклонение.*

## **Обсъждане**

Средното снижение на нормалната микрофлора на въздуха в помещението при 60-минутен работен режим на UVC системата от затворен тип е 86,34%. Резултатът е напълно удовлетворяващ, предвид факта, че системата е предназначена за приложение в практиката в непрекъснат 24-часов режим. Високият процент на пречистване на въздуха който се наблюдава още на първия час е основание за внедряването на такъв тип болнична апаратура в практиката. Предимство на затворените UVC системи е изолираното в кутията UVC лъчение. Този дизайн предотвратява възникването на нежелани здравни ефекти сред работещите, поради което UVC системите от затворен тип могат да се използва в работен режим в присъствие на хора в помещенията.

Този тип системи обаче са предвидени само за дезинфекция на въздух, а ефективността им зависи от техния дизайн (Kowalski et al., 2000; Singh et al., Discussion Draft. Rev 6.1). При избор на такава апаратура броят на устройствата трябва коректно да бъде подбран, спрямо обема на помещението и капацитета на самата система.

## 2. Проучване на ефективността на UVC лампи, използвани за дезинфекция на въздух в рискови болнични структури в лечебни заведения от страната

За целите на дисертационния труд са проведени теренни проучвания в три лечебни заведения, като резултатите са представени последователно за всяко лечебно заведение на следващите таблици и фигури.

### Лечебно заведение № 1

Мониторинг на микробната контаминация на въздуха е осъществен в три операционни зали. Поради таванното монтиране на UVC лампите и едновременното им включване, UVC интензитетът е измерен за цялата система, а не за индивидуалните излъчватели в залите. Високи стойности на общ UVC интензитет са регистрирани във всички операционни зали. Резултатите от измерванията са показани на *Таблица № 1*.

*Таблица № 1. Отчетен UVC интензитет в операционните зали на Лечебно заведение № 1.*

Операционна зала		Общ брой облъчватели	Отчетен UVC интензитет	
№ по ред	Големина		На нивото на операционната маса	В най-отдалечените от операционната маса точки
1	48 m <sup>2</sup>	8 x 40 см	30-36 μW/cm <sup>2</sup>	15-17 μW/cm <sup>2</sup>
2	60 m <sup>2</sup>	8 x 40 см	35-40 μW/cm <sup>2</sup>	12-15 μW/cm <sup>2</sup>
3	72 m <sup>2</sup>	16 x 40 см	52-84 μW/cm <sup>2</sup>	27-48 μW/cm <sup>2</sup>

Данните за установената микробна контаминация на въздуха преди и след облъчване с наличните UVC лампи в операционните зали на Лечебно заведение № 1 са представени в *Таблица № 2*.



Таблица № 2. Отчетена микробна контаминация на въздуха преди и след облъчване с UVC лампи в операционните зали на Лечебно заведение № 1.

Операционна зала		Място на пробовземане	Брой cfu/m <sup>3</sup> въздух		Ефективност на облъчването	Брой cfu/m <sup>3</sup> въздух в началото на следващия ден
№	Големина		След операция	След UVC облъчване за 20 минути		
1	48 m <sup>2</sup>	операционна маса	28	0	100%	6
		2 m от операционна маса	23	0	100%	-
2	60 m <sup>2</sup>	операционна маса	23	0	100%	4
		2 m от операционна маса	23	0	100%	-
3	72 m <sup>2</sup>	операционна маса	23	0	100%	5
		2 m от операционна маса	37	0	100%	-

Във всички операционни зали отчетеният общ UVC интензитет е достатъчно ефективен за постигане на дезинфекциращо действие в рамките на 20 минутно лъчение, като този извод се потвърждава от липсата на растеж в пробите, взети след облъчването.

## Лечебно заведение № 2

Мониторинг на микробната контаминация на въздуха е осъществен в четири операционни зали. Излъчвателите са стенно монтирани, което направи възможно отчитането на UVC интензитета на всяка пура по отделно на разстояние 1,5 m от тях. Резултатите от отчетения UVC интензитет за всеки източник, както и на общия за системата UVC интензитет, достигащ до операционната маса и до най-отдалечените от облъчвателите точки, са показани на *Таблица № 3*.

Таблица № 3. Отчетен UVC интензитет в операционните зали на Лечебно заведение № 2.

Операционна зала		Общ брой облъчватели	Отчетен UVC интензитет		
№	Големина		На нивото на операционната маса	На разстояние 1,5 m от облъчвателите	В най-отдалечените от облъчвателите точки
1	36 m <sup>2</sup>	3 x 1 m	0-2 μW/cm <sup>2</sup>	15 μW/cm <sup>2</sup>	0-1 μW/cm <sup>2</sup>
				15 μW/cm <sup>2</sup>	
				21 μW/cm <sup>2</sup>	
2	25 m <sup>2</sup>	3 x 60 cm	0-1 μW/cm <sup>2</sup>	5 μW/cm <sup>2</sup>	0-1 μW/cm <sup>2</sup>
				10 μW/cm <sup>2</sup>	
				20 μW/cm <sup>2</sup>	
3	56 m <sup>2</sup>	4 x 60 cm	0 μW/cm <sup>2</sup>	15 μW/cm <sup>2</sup>	0 μW/cm <sup>2</sup>
				15 μW/cm <sup>2</sup>	
				11 μW/cm <sup>2</sup>	
				0 μW/cm <sup>2</sup>	
4	56 m <sup>2</sup>	4 x 60 cm	1-2 μW/cm <sup>2</sup>	15 μW/cm <sup>2</sup>	0-3 μW/cm <sup>2</sup>
				15 μW/cm <sup>2</sup>	
				15 μW/cm <sup>2</sup>	
				15 μW/cm <sup>2</sup>	

Таблица № 4. Отчетена микробна контаминация на въздуха преди и след облъчване с UVC лампи в операционните зали на Лечебно заведение № 2.

Операционна зала		Място на пробовземане	Брой cfu/m <sup>3</sup> въздух		Ефективност на лъчението по отношение на въздух
№	Големина		След операция	След UVC облъчване за 20 минути	
1	36 m <sup>2</sup>	операционна маса	120	16	86,67%
		2 m от операционна маса	76	8	89,47%
2	25 m <sup>2</sup>	операционна маса	60	4	93,33%
		2 m от операционна маса	52	16	69,23%
3	56 m <sup>2</sup>	операционна маса	56	36	35,71%
		2 m от операционна маса	108	52	51,85%
4	56 m <sup>2</sup>	операционна маса	28	16	42,86%
		2 m от операционна маса	56	28	50%

При 20 минутна работа на наличните бактерицидни лампи се постига ефективност на обеззаразяването от 35,71% до 93,33%. Сравнително добра ефективност на облъчване (> 69%) се наблюдава само в операционните зали с малки размери, а при по-големите операционни зали излъчвателите постигат снижение на микробната флора под 52%. Облъчването в продължение на 20 минути не е достатъчно за пълно обеззаразяване на въздуха в тези помещения. Резултатите се дължат основно на недостатъчния брой стенно монтирани облъчватели в операционните зали, малка дължина на пурите и UVC лъчение, което не обхваща целия обем на помещенията. Също така, е констатиран един облъчвател с намалена UVC мощност спрямо останалите, както и един облъчвател без емисия на UVC лъчение.

### **Лечебно заведение № 3**

Мониторинг на микробната контаминация на въздуха е осъществен в две операционни зали на Лечебно заведение № 3.

Излъчвателите са стенно монтирани, което направи възможно отчитането на UVC интензитета на всяка пура по отделно на разстояние 1,5 m от тях. Всички пури в операционните зали са с дължина 1 m. Едната пура е с частично отворен предпазител, поради което облъчването от нея в посока към пода е възпрепятствано. Регистрираните стойности UVC интензитет са показани на *Таблица № 5*.

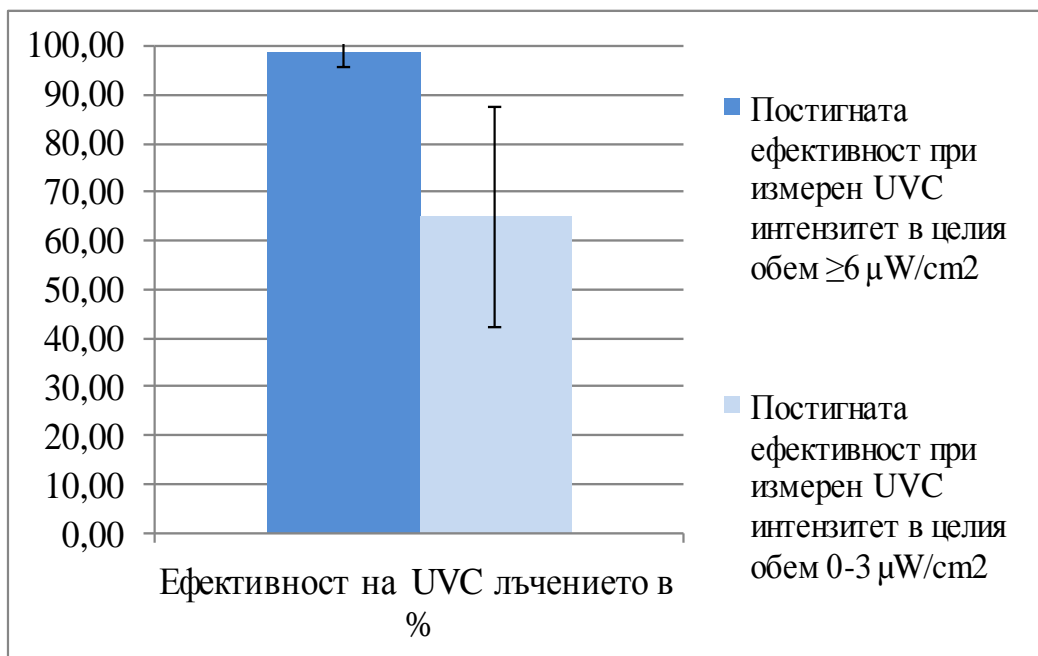
Таблица № 5. Отчетен UVC интензитет в операционните зали на Лечебно заведение № 3.

Операционна зала		Общ брой облъчватели	Отчетен UVC интензитет		
№	Големина		На нивото на операционната маса	На разстояние 1,5 m от облъчвателите	В най-отдалечените от облъчвателите точки
1	18 m <sup>2</sup>	4 x 1 m	7-21 μW/cm <sup>2</sup>	21 μW/cm <sup>2</sup>	7-17 μW/cm <sup>2</sup>
				21 μW/cm <sup>2</sup>	
				17 μW/cm <sup>2</sup>	
				21 μW/cm <sup>2</sup>	
2	40 m <sup>2</sup>	4 x 1 m	13-15 μW/cm <sup>2</sup>	25 μW/cm <sup>2</sup>	6-8 μW/cm <sup>2</sup>
				35 μW/cm <sup>2</sup>	
				38 μW/cm <sup>2</sup>	
				32 μW/cm <sup>2</sup>	

Таблица № 6. Отчетена микробна контаминация на въздуха преди и след облъчване с UVC лампи в операционните зали на Лечебно заведение № 3.

Операционна зала		Място на пробовземане	Брой cfu/m <sup>3</sup> въздух		Ефективност на лъчението по отношение на въздух
№	Големина		След операция	След UVC облъчване за 20 минути	
1	18 m <sup>2</sup>	операционна маса	94	0	100%
		2 m от операционна маса	118	12	89,83%
2	40 m <sup>2</sup>	операционна маса	46	0	100%
		2 m от операционна маса	68	0	100%

Добра дезинфекцираща ефективност на UVC излъчвателите е установена в операционните зали на Лечебно заведение № 3. Единствената проба, в която е отчетен бактериален растеж след облъчването е от операционната зала с наличие на предпазител върху един от облъчвателите, поради което капацитетът на бактерицидната пура не е проявен в пълен обем.



Фигура № 12. Ефективност на бактерицидните лампи по отношение на въздух при различни стойности на UVC интензитет, отчетен в помещенията. Разликата в ефективността е статистически значима ( $p$ -value < 0,05; тест на Ман-Уитни).

Мониторирането на въздуха в 3 лечебни заведения на страната по избрани от нас критерии за многопрофилна болница за активно лечение и локация в различни административни области, показва добра дезинфекцираща ефективност (98,98%) на бактерицидните излъчватели при облъчване в продължение на 20 минути, но само в операционните зали с коректно зададен брой на излъчвателите, коректно позициониране и UVC интензитет  $\geq 6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  в целия обем на помещенията.

### Обсъждане

Микробната контаминация на въздуха в операционните зали представлява реална предпоставка за завишен риск от възникване на постоперативни усложнения (Njoku-Obi et al., 1993; Гъбев, 1988). В нито една от изследваните проби в трите лечебни заведения не са изолирани патогенни микроорганизми.

Изолираната микрофлора от въздуха в операционните зали на лечебните заведения отговаря на най-често съобщавания в литературата видов състав,

изолиран от операционни зали и по-точно- бактерии от род *Micrococcus* и коагулаза-негативни стафилококи (Nahed et al., 2012; Onwubiko et al., 2014).

Отчетеният брой микроорганизми във въздуха на операционните зали в трите лечебни заведения, надвишава допустимия брой за необходимата чистота на въздуха за помещения от група 1. Съгласно Наредба № 3 от 8 май 2013 г. за утвърждаването на медицински стандарт по превенция и контрол на вътреболничните инфекции, допустимото микробно замърсяване във въздуха на нивото на операционната маса е до 5 cfu/m<sup>3</sup>, а около операционната маса - до 20 cfu/m<sup>3</sup>. Високите нива на микробно замърсяване в проучените операционни зали се дължат на липсата на изградена система за еднопосочен ламинарен въздушен поток (въздушна завеса) около операционните маси, каквото изискване е заложено в Наредба № 3 за помещения от група 1. Изграждането на такъв тип системи у нас е трудно, поради високите капиталови разходи, необходими за архитектурно пререструктуриране и снабдяване с високотехнологичното оборудване. От друга страна използването на достатъчно ефективни бактерицидни лампи в операционните зали може до известна степен да бъде алтернатива на ламинарния въздушен поток (Carisson et al., 1986; Berg et al., 1989). С поддържане на UVC интензитет не по-нисък от 23  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  по време на операции, са постигнати нива на микробно замърсяване на въздуха, близки до характерните за ултрачист въздух, но са регистрирани и случаи на неспецифични кожни и очни симптоми сред персонала, дължащи се на UVC лъчението, въпреки препоръчаните специални предпазни средства за очите и кожата (Sylvain et al., 2009). След внедряване на система за ламинарен въздушен поток в операционните зали, използването на бактерицидни излъчватели по време на операциите в тези помещения е било преустановено. Изграждането на такива съоръжения, обаче е стотици пъти по-скъпо от оборудване на помещенията с UVC инсталации. Този факт прави ултравиолетовото лъчение предпочитано, поради доказаната му ефективност и сравнително ниската цена за инсталиране и поддръжка (Ritter et al., 2007). В нашата страна извършването на UVC дезинфекция чрез директни

излъчватели в присъствие на персонал и пациенти не е регламентирано. Ето защо нашите препоръки се ограничават до прилагането на UVC лъчението като метод, допълващ рутинната дезинфекция в рискови болнични структури. Получените данни за ефективността на бактерицидните лампи в реални практически условия показват, че при поддържане в целия обем на помещението на UVC интензитет от минимум  $6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , измерен на един метър височина от пода, след 20 минутно облъчване се постига средна ефективност на обеззаразяване 98,98% (*Фигура №12*). В същото време, там където UVC лъчението не обхваща целия обем от помещението и измереният интензитет е в границите  $0-3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , отчетената ефективност значително намалява - 64,89%.

Интересен факт е промяната в микробното замърсяване на въздуха в операционните зали на Лечебно заведение № 1 от края на работния ден след UVC дезинфекция до започването на работния процес на следващия ден. Този резултат се обяснява с пренос на контаминиран въздух от околните помещения (Macher et al., 1992; Brener et al., 2011). Stauning и колектив (2018) доказват, че високите стойности на микробно замърсяване на въздуха в операционните зали корелират с честотата на отваряне на вратите, водещи към околните помещения. Авторите предлагат намаляването на тази честота като стратегия за редуциране на микробната въздушна контаминация. Това налага необходимост от разделяне на операционните зали от околните помещения чрез пад във въздушното налягане или като допълнително средство - монтиране на бариерни UVC излъчватели.

### **3. Проучване на реалното приложение на UVC излъчвателите за дезинфекция в лечебните заведения на страната**

#### *3.1. Анкетно проучване относно познаването и приложението на метода дезинфекция с UVC лъчение в лечебните заведения на страната*

За целите на настоящата разработка е изготвен въпросник, който е изпратен до лечебните заведения в страната. Отговори са получени от 182 лечебни

заведения от всички административни области. Данните от анкетата са обобщени въз основа на 153 отговора от лечебни заведения, които използват бактерицидни лампи в своята практика, като този брой е приет за 100%.

Данните от анкетата показват, че помещенията, в които има монтирани UVC облъчватели, обхващат всички рискови зони в лечебните заведения - операционни зали, родилни зали, превързочни зали, манипулационни, интензивен сектор, стационари, спешни кабинети, дисекционни зали, лаборатории, хемодиализни отделения, централна стерилизационна и др.

Основните изводи от анкетното проучване са следните:

- В лечебните заведения у нас преобладават стенно монтираните бактерицидни лампи (59%). Тази констатация е важна по отношение на ефективността, която се очаква да се постигне в помещенията. Има се предвид факта, че за постигане на един и същ дезинфекциращ ефект, ще са необходими повече на брой стенно монтирани излъчватели, отколкото таванно монтирани.

- Едва 13% от анкетираните съобщават, че облъчвателите са сменени през последните години, а 82% от лечебните заведения използват излъчватели, монтирани преди повече от 5 години. От важно значение за ефективността на UVC дезинфекцията е животът на бактерицидния излъчвател. Средната продължителност на живота им е в порядъка 4000-9000 часа. След изтичане на този срок, устройствата продължават да излъчват видима светлина, но нямат емисия на UVC лъчи (Vincent, 2017) и са абсолютно неефективни в дезинфекционната практика. Получените данни показват, че голяма част от наличните бактерицидни лампи в лечебните заведения вероятно са с намалена или дори с изчерпана UVC мощност, т.е. необходимият дезинфекциращ ефект не се постига.

- В 87% от лечебните заведения бактерицидните лампи се използват ежедневно.

- Обезпокояващ факт е, че в помещенията на 33% от лечебните заведения бактерицидните лампи се оставят да работят повече от 2 часа при еднократно



включване, което води до бързо изразходване на техния живот. Освен това, ефективната UVC емисия, при дълга експозиция, причинява пожълтяване и увреждане на различни материали, включително апаратура и консумативи (Inglis et al., 1963; Kowalski, 2009).

- Само 9% от лечебни заведения съобщават за наличие на механични таймери, чрез които медицинският персонал задава необходимото време за облъчване, а след изтичане на времето лампите се самоизключват. Тези приспособления са необходими за безопасността на персонала, тъй като предотвратяват необходимостта от преминаване през помещението, за включване/изключване на излъчвателите и елиминират вероятността от забравяне на излъчвателите включени за по-дълго време от препоръчаното.

- Емисията на UVC лъчението и ефективността на бактерицидните лампи се възприемат от анкетирания като отделни понятия, без връзка помежду си. Докато 32% от лечебните заведения контролират емисията на UVC лъчението, то 52% контролират ефективността на бактерицидните лампи. От тях 43% използват за контрол микробиологични методи (чрез отпечатък от повърхностите) и едва 9% използват UVC- метри. Важно е да се отбележи, че контрол на емисията на UVC лъчението може да се осъществи само чрез UVC-измерители (UVC-метри) (Vincent, 2017).

Резултатите от анкетното проучване показват, че бактерицидните лампи са широко застъпени в дезинфекционната практика на лечебните заведения от страната, но е необходимо обучение на персонала за правилно им използване и изготвяне на указания/препоръки за работа с този вид налична апаратура в лечебните заведения. Получените данни представят моментното състояние в приложението на UVC излъчвателите за дезинфекция в голяма част от болниците от страната и са достатъчен аргумент за търсене на решения за оптимизиране на тази дейност с организационни и методични мерки.

### *3.2. Теренни проучвания за установяване действителното състояние (техническо и организационно) на UVC оборудването, използвано в дезинфекционната практика на лечебните заведения*

Интензитетът на UVC лъчението, генерирано от бактерицидни лампи, е отчетен в общо 61 помещения в 6 лечебни заведения от страната.

Резултатите от теренното проучване за установяване на техническото състояние на използваните облъчватели показват, че бактерицидните лампи са широко използвани в лечебните заведения от страната, но до голяма степен тяхното значение като подпомагащо средство в дезинфекционната практика се подценява. Интересен факт е, че липсват единни критерии (дори в едно и също лечебно заведение) за това, кога и за какъв период от време да се използват излъчвателите, критерии за избор на подходящ вид излъчвател за конкретното помещение, за място на монтиране и контрол на ефективността.

Всички констатирани несъответствия като цяло водят до *неефективност на облъчването и до бързо изчерпване живота на лампите.*

Констатираните несъответствия могат да се обобщят в следните групи:

- Недостатъчен брой облъчватели за помещение;
- Малка дължина на бактерицидните пури (30 и 40 cm), съответно по-ниска обща UVC емисия;
- Наличие на бактерицидни пури с отчетени ниски стойности на UVC интензитет;
- Наличие на бактерицидни пури без генериране на UVC лъчение;
- Наличие на бактерицидни пури напълно или частично закрити от предпазител;
- Наличие на мебелировка в помещенията, която спира разпространението на UVC лъчението;
- Стенно монтиране на облъчвателите;

- Монтиране на облъчватели в единия край на помещението, докато другата част остава в сянка;
- Монтиране на директни облъчватели в помещения с постоянно присъствие на пациенти, поради което облъчвателите не се използват.
- Неизползване на бактерицидните лампи, поради решение на ръководството.
- По-кратко време на работа на въздушните закрити облъчватели (2 часа/ден), вместо непрекъснат режим на работа.
- Многократно по-продължително време (6 часа или цяла нощ) за облъчване от необходимото при изправни лампи;

В известна степен установените несъответствия при теренните проучвания в лечебните заведения припокриват отчетените от анкетното проучване проблеми, свързани с приложението на бактерицидните лампи в медицинската практика. Констатираните несъответствия произтичат от неправилно оборудване или настъпила силна амортизация след продължително използване, както и поради субективни фактори, свързани с експлоатацията на апаратурата. Отчетените несъответствия са в подкрепа на необходимостта от разработване на алгоритъм за работа, който да послужи за основа на бъдещо указание за употребата и контрол на бактерицидните лампи в медицинската практика.

#### **4. Проучване на възможностите за оптимизиране на дезинфекцията с UVC лампи в нашата страна**

##### *4.1. Анализ на нормативните актове, регламентиращи прилагането на UVC дезинфекцията в лечебните заведения от страната*

По отношение на националните нормативни актове, регламентиращи използването на UVC лампи за дезинфекция в лечебните заведения на страната, се стигна до извода, че към момента UVC оборудването е задължителен елемент в

рискови болнични структури, съгласно редица медицински стандарти, но в тях не са заложили критерии и специфики за неговото приложение, които включват проектиране, използване и контролиране на такъв тип специфична болнична апаратура.

В момента, здравните работници от страната не разполагат с указание, ръководство или друг официален документ, който да въвежда конкретна методология и изисквания за провеждането на UVC дезинфекция.

В действащия нормативен акт, даващ насоки за средствата и контрола на дезинфекциите и стерилизациите в здравните заведения (Наредба № 3 от 8 май 2013 г.), дезинфекцията чрез UVC лъчение е представена с информация за приложението на метода върху различни елементи от околната среда и необходимите мерки за контрол, които се свеждат до „редовно почистване на пурите от прах” и „УВ излъчвателите (бактерицидни лампи) трябва редовно да се контролират и при необходимост да се подменят в зависимост от указанията на производителя”.

Методиката за изчисляване на необходимия брой UVC облъчватели в едно помещение е регламентирана единствено в наредбата “Болнични заведения от общ тип и амбулаторно поликлинични заведения. Норми за проектиране”, 1986 г., но нашето категорично становище е, че тя не е адекватна на съвременните технически характеристики на UVC източниците и съответно е неприложима в практиката. Становището ни се основава на получените резултати в лабораторната част на дисертационния труд и на предписанията на производителите за препоръчания от тях брой директни облъчватели за помещение. Становището ни е съгласувано и с експертите от Отдел „Физични фактори“ към Дирекция “Аналитични и лабораторни дейности” на Националния център по общественото здраве и анализи. Междувременно, от 20 април 2016 г., от когато е влязла в сила Наредба № РД-02-20-3 на МРРБ, нормативният документ от 1986 г. е отменен. Този факт допълнително потвърждава необходимостта от актуализиране на нормативната база и разработване на стандартен подход за

приложение на метода за обеззаразяване с UVC лъчение в медицинската практика.

В този смисъл, представеният по-долу алгоритъм е опит да се отговори на отворените към момента въпроси от болничната дезинфекция, свързани с осигуряване на въздух и повърхности без епидемиологични или с минимизирани епидемиологични рискове. Разработеният алгоритъм може да послужи като основа за разработване на нова инструкция или методично указание на Министерство на здравеопазването, в които да се представят в пълен обем основните изисквания по отношение на този метод за обеззаразяване, да се регламентира адекватното изпълнение на метода в дезинфекционната практиката на лечебните заведения и в дезинфекционната практика на различни обекти, използващи такъв тип оборудване.

*4.2. Разработване на алгоритъм за приложение на UVC лампи за дезинфекция в медицинската практика, като основа на бъдещо методично указание за изискванията при работа с такъв тип оборудване, с цел постигане на стандартен подход в тази дейност в страната*

### ***Връзка на алгоритъма с медицински и немедицински нормативни документи***

Най-общо, описаният по-долу метод, под формата на алгоритъм, включва редица специфични дейности, изпълнявани от различни длъжностни лица (медицински и немедицински специалисти) в определена последователност и периодичност, и обособени като отделни стъпки. Отделните елементи и структурирането на процедурата има отношение към отделни раздели на Наредба 3 от 8 май 2013 г., нормативните актове на МРРБ, свързани с проблема (Наредба № РД-02-20-3 от 21.12.2015 г.) и възприетите принципи в теорията и практиката на епидемиологията на инфекциозните болести.

Задължително условие при използването на UVC лампи за дезинфекция се явява запознаване на служителите, които имат функционални задължения за това,

с препоръките и указанията на фирмата производител на конкретното изделие. Става въпрос за техническия персонал на лечебното заведение, имащ отношение към поддръжката на апаратурата, и ръководния и изпълнителен медицински персонал в отделението, имащ отношение към непосредственото използване на този тип оборудване в процеса на извършване на рутинна дезинфекция в помещенията.

Тъй като основният замисъл при съставяне на алгоритъма е унифициране на един кръг от утвърдени рутинни мерки за предотвратяване разпространението на инфекции в болнични условия, посредством въздух и повърхности, считаме, че разработката ще подпомогне изпълнението на задълженията на лицата с отговорности към превенцията на ВБИ.

### ***Съставни елементи на алгоритъма за контрол на дезинфекцията с UVC лъчи в лечебни заведения и други обекти***

#### **1. Предварителен етап: Събиране на информация за помещението и избор на подходящо UVC оборудване**

Извършва се, както за нови обекти - преди пускането им в експлоатация, така и за всички останали – при първа рутинна комплексна проверка на звеното/обекта. Предварителните дейности включват:

##### **1.1. Категоризация на помещенията**

Запознаване със спецификата и предназначението на помещението, в което предстои да бъде монтирано оборудване за дезинфекция с UVC лъчение и категоризирането му според необходимия клас чистота на въздуха, съгласно БДС EN ISO 14644-1.

##### **1.2. Характеристика на помещенията**

Взимат се предвид всички архитектурно-строителни особености на помещенията, както и медицински, организационни или експлоатационни условия на обекта.

### **1.3. Избор на UVC източник**

1.3.1. Определяне на вида на източниците на UVC лъчение, според категоризацията и предназначението на помещението, времето на заетост от персонал и пациенти и степента на очакваната дезинфекция.

1.3.2. Определяне на местоположението на UVC източниците. Уточняват се подходящите места за монтиране на избраните излъчватели, с оглед облъчване на всички части на помещението

1.3.3. Определяне на необходимия брой UVC излъчватели за всяко отделно помещение. Съобразява се с вида на излъчвателите, тяхната мощност, възможното време за работа, в съответствие с препоръките на производителите.

1.3.4. Задаване на времето за облъчване с цел постигане на ефективна UVC дезинфекция на въздух и повърхности, въз основа на очаквания вид биопатогените, които биха контаминирали помещенията.

### **1.4. Разработване на инструкция.**

Разработване на вътрешна инструкция и запознаване на всички заинтересовани страни с конкретните правила за работа и изисквания за приложението на UVC системата в процеса на работа.

### **1.5. Въвеждане на дневник**

Въвеждане на дневник (журнал) за регистриране на режима на работа на UVC системата в конкретното помещение.

### **1.6. Обучение на персонала.**

1.6.1. Обучение по отношение на възможните рискове за персонала при експлоатация на UVC системата.

1.6.2. Обучение по отношение експлоатацията на UVC системата.

## **2. Етап на експлоатация**

2.1. Спазване на изискванията за безопасно приложение на UVC системите.

2.2. Спазване на изискванията за експлоатация на UVC системата, съгласно изготвената вътрешна инструкция.

2.3. Документиране на работата на UVC системата.

### **3. Контрол**

#### **3.1. Текущ вътрешен контрол**

3.1.1. Съхраняване на предоставената от производителя техническа документация на съответното UVC оборудване в помещението.

3.1.2. Съхраняване на цялостната налична текуща информация (инструкция, протоколи, журнали и други документи) за работата на UVC оборудването.

3.1.3. Измерване на UVC интензитета (само при наличие на собствен измервателен уред за UVC лъчение).

#### ***При констатиране на несъответствия при експлоатация на системата:***

3.1.4. Запознаване на ръководния състав/ръководството на лечебното заведение с констатираните несъответствия при експлоатация на системата;

3.1.5. Анализ на възникналите несъответствия – причини, начини за отстраняването им; предложения за коригиращи действия;

3.1.6. Коригиращи действия - предприемане на действия за отстраняване на несъответствията (например: изтекъл живот на UVC източник).

3.1.7. Проверка на системата и работната среда след предприетите коригиращи действия, с цел постигане на адекватност на UVC системата.

#### **3.2. Периодичен (плани) външен контрол**

**3.2.1. Установяване на техническата годност на UVC оборудването по физични показатели от организации, притежаващи калибриран измервателен уред за UVC лъчение)**

Провеждане на обективен контрол (с UVC - метър) и контрол по документи за функционалната годност на UVC лампите. Извършва се в хода на плани проверки с определена периодичност - след изтичане на половината от технологичния живот на лампата, който е зададен от производителите или най-малко веднъж на 2 години. Външният контрол завършва с издаване на протокол, в



който се вписват отчетените параметри за всеки един източник и/или за UVC системата като цяло.

### **3.2.2. Установяване на коректното попълване и съхраняване на наличната документация - извършва се от РЗИ**

Оценява се пълнотата и коректността на наличната документация, попълването на журнала за работа с UVC системата, протоколите от измерванията с цел оценка на техническата годност на UVC източниците/системата.

*При констатирани несъответствия от извършения външен контрол се изпълняват последните стъпки от вътрешния контрол (3.1.4 - 3.1.7).*

### **3.3. Извънреден контрол (вътрешен и външен)**

Извършва се при наличие на епидемични показатели. При възникнал случай на ВБИ се следват няколко стъпки:

**3.3.1. Извършване на микробиологичен контрол на ефективността на дезинфекцията с UVC лъчи.** Проследява се наличието и количеството на болнични биопатогени в единица обем въздух и върху рискови болнични повърхности.

Важно условие за определяне ефективността на бактерицидните източници е прилагането на един и същ метод на пробонабиране преди и след облъчване на помещението с наличните лампи, за времето, определено във вътрешната инструкция за работа със системата.

**3.3.2. Проверка на моментното техническо състояние на апаратурата за UVC дезинфекция.** Включва измерване на интензитета на UVC лъчението и събиране на данни за функционалната годност и времето на подмяна на пурите.

**3.3.3. Запознаване с документацията.** Проверява се документацията, свързана с осъществения контрол на UVC системата за дезинфекция в засегнатото болнично звено и текущата документация, попълвана от персонала.

**3.3.4. Проверка на компетентността на персонала, относно правилната експлоатация на системата за UVC дезинфекция.** Включва анкетиране на

медицинските специалисти, относно познанията им за използване на UVC системата, и описание на възприетия в звеното работен цикъл.

**3.3.5. Анализ на състоянието на системата и необходимостта от коригиращи действия.** Изготвя се анализ върху възможната свързаност на настъпилата епидемична ситуация със състоянието и използването на системата за UVC дезинфекция.

**3.3.6. Коририращи действия.** Предприемат се мерки, с цел отстраняване на откритите несъответствия.

**3.3.7. Проверка на системата и работната среда след предприетите коригиращи мерки.** Включва основните стъпки на извънредния контрол.

При необходимост, всички стъпки от представения алгоритъм могат да бъдат обогатени с допълнителни изследвания, изпитвания, документи, указания и др., произтичащи от конкретната ситуация и подходящи за изпълнение в съответното звено/обект.

Въз основа на проведените проучвания върху ефективността на UVC лампите и направената литературна справка по проблема, включително издадените ръководства за употреба, са направени и препоръки за включване в бъдещ нормативен документ на термини, параметри и критерии, касаещи приложението на UVC излъчвателите в лечебните заведения на страната.

## ИЗВОДИ

**1. Съвременните UVC лампи ефективно обеззаразяват въздух и повърхности само при поддържане на точно определени стойности на UVC интензитет и коректно зададено време на облъчване.**

1.1. Дезинфекциращата активност на UVC лъчението зависи от вида на микроорганизмите (Грам (+) бактерии са по-устойчиви, в сравнение с Грам (-)); интензитета на лъчението; разстоянието от източника и времето на облъчване. Най-подходящи условия за медицинската практика, при които се постига бактерицидна и дрождецидна активност, са поддържане в целия обем на помещението  $6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет и експозиция 30 минути и  $\geq 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  UVC интензитет с експозиция 20 минути.

1.2. Дезинфекциращият ефект на UVC лъчението върху микробната флора по повърхности зависи от поръзността на материалите. Върху поръзни повърхности, UVC дезинфекция не се постига, дори при ефективни режими на работа на UVC облъчвателите. При условията, описани в т. 1.1., върху гладки повърхности се отчита редуция на микроорганизмите в порядъка на 2 log и тази стойност е достатъчна за постигане на дезинфекциращ ефект в реални практически условия.

1.3. Ефективността на коректно проведената UVC дезинфекция не се повлиява от белтъчното натоварване на средата и механизмите на фотореактивация, както и от антибиотичната резистентност (последното доказано при тест-щам *Staphylococcus aureus*).

1.4. Допустими стойности на микробна контаминация, отговарящи на стандартите за ултрачист въздух, могат да се постигнат при използване на директни UVC лампи с интензитет на лъчение в целия обем на помещението минимум  $6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  и експозиция до 30 минути.

1.5. Изпитаната UVC система от затворен тип постига, при 60-минутен работен режим, достатъчно висок процент обеззаразяване на въздуха (86,34%) в лабораторното помещение и се препоръчва за приложение в практиката.

**2. Ефективно обеззаразяване на въздух (98,98%), чрез използване с директни бактерицидни лампи в продължение на 20 минути, се установява само в операционни зали с коректно планиран брой, правилно позиционирани излъчватели и интензитет  $\geq 6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  в целия обем на помещението. Ефективността на обеззаразяването значително намалява, когато UVC лъчението не обхваща целия обем на помещението.**

**3. Моментното състояние, отразяващо приложението на UVC излъчвателите за дезинфекция в лечебните заведения на страната показва спешна необходимост от оптимизиране на тази дейност с предприемане на организационни и методични мерки.**

3.1. Бактерицидните лампи са широко използвани в лечебните заведения, но е налице подценяване на тяхното значение като подпомагащо средство за обеззаразяване и е необходимо обучение на персонала за правилната им експлоатация.

3.2. Липсват единни критерии за приложение на бактерицидните лампи в медицинската практика, в това число - избор на подходящ вид облъчвател, място на монтиране, брой на лампите, адекватен режим на работа и контрол върху ефективността на UVC лъчението. Констатираните несъответствия водят до неефективност на облъчването и бързо изчерпване живота на лампите.

**4. В методичен план е разработен алгоритъм за приложение на бактерицидни лампи в медицинската практика. Алгоритъмът може да послужи като основа за изготвяне на инструкция или указание на МЗ, в които да се регламентира адекватното изпълнение на метода в дезинфекционната практиката на лечебните заведения.**

## **ПРИНОСИ**

### **Научно-теоретични приноси с оригинален характер**

1. Определени са ефективни за обеззаразяване на въздух и повърхности стойности на UVC интензитет и време за облъчване.
2. Установено е, че фактори, като белтъчно натоварване на средата и процесите на фотореактивация не повлияват качеството на коректно проведената в практически условия UVC дезинфекция.
3. Анализирани са базисни положения в цялостната организация на UVC дезинфекцията в медицинската практика.

### **Научно-приложни приноси с оригинален характер**

1. Проведено е национално анкетно проучване за приложението на бактерицидни UVC лампи в лечебните заведения на страната.
2. По стандартна методика е извършен мониторинг на UVC лъчението, продуцирано от бактерицидни лампи, използвани в дезинфекционната практика на лечебни заведения от страната.
3. Разработен е алгоритъм за приложение на UVC лампи за дезинфекция в медицинската практика.
4. Изведени са препоръки с практическа насоченост, които да се включат в бъдещо методично указание за приложението на UVC излъчватели в лечебните заведения на страната.

### **Научно-теоретични приноси с потвърдителен характер**

1. Потвърдени са основните фактори, които оказват влияние върху ефективността на UVC дезинфекцията.
2. Потвърдено е широкото приложение на бактерицидните лампи в лечебните заведения на страната.
3. Потвърдена е ефективността на закрити бактерицидни излъчватели с принудена вентилация за обеззаразяване на въздух.

## **СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИТЕ И УЧАСТИЯТА В НАУЧНИ ФОРУМИ**

### **Публикации, свързани с дисертационния труд**

1. Николова М. Бактерицидните лампи като средство за дезинфекция в медицинската практика: Мултицентрово анкетно проучване в България, 2014 г. Бюлетин на Булнозо. Нозокомиални инфекции. Том 10, 2015-2016, 87-94.
2. Николова М. Изпитване ефективността на различни по мощност УВ лампи, използвани за дезинфекция в медицинската практика и въвеждане на нова за страната формула за определяне на необходимия брой бактерицидни лампи в едно помещение. Бюлетин на Булнозо. Нозокомиални инфекции. Том 10, 2015-2016, 95-101.
3. Nikolova M. (2017) UV surface disinfection using germicidal lamps: a study on the optimal UVC intensity and the optimal exposure time. Problems of infectious and parasitic diseases 45(2):50-54.

### **Участия в научни форуми, свързани с дисертационния труд**

1. Nikolova M, Gatcheva N. A study on the effectiveness of bactericidal lamps in healthcare disinfection practice: for surfaces and air decontamination. Прв меѓународен симпозиум во Македонија. Да дезинфицираме и стерилизираме според стандардил. Да споделиме знаење. 29-30 май 2015 г., Охрид - Р. Македонија. (*устен доклад*)
2. Николова М, Йорданова С. Влияние на фотореактивацията върху ефективността от проведената в практически условия УВ дезинфекция с бактерицидни лампи. 15 Национален конгрес по клинична микробиология и инфекции на Българската асоциация на микробиолозите, 17-19 май 2017 г., гр. София. (*устен доклад*)
3. Николова М, Хиткова Хр, Галев А, Терзиева К, Шаламанов Д. Контрол на дезинфекцията с UVC лъчи в рискови болнични структури – методични аспекти, нормативна база. Девета национална конференция по превантивна медицина, 08-10 ноември 2017 г., гр. Русе. (*устен доклад*)