

Научная статья

УДК 579.61:616.71-018.46-002:615.849.19

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-670-676>



Антибактериальное действие полупроводникового лазера в отношении бактерий *S. aureus* и *P. aeruginosa*, ведущих возбудителей остеомиелита

И.В. Шипицына✉, Е.С. Спиркина

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Для корреспонденции: Ирина Владимировна Шипицына, ivschimik@mail.ru

Аннотация

Введение. Изучение антибактериального эффекта фотодинамической терапии (ФДТ) в отношении ведущих возбудителей хронического остеомиелита — одно из перспективных направлений на сегодняшний день.

Цель работы — оценить антибактериальный эффект в отношении штаммов *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* при использовании лазера АЛОД-01 в присутствии фотодитазина.

Материалы и методы. Объект исследования — суточные музейные культуры грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов, принадлежащих к двум таксонам: *Staphylococcus aureus* (№ 25923), *Pseudomonas aeruginosa* (№ 27853). Антибактериальный эффект после воздействия лазером в присутствии фотодитазина на микробные клетки исследуемых культур оценивали по отсутствию роста микроорганизмов в зоне действия пучка.

Результаты. При воздействии лазером совместно с фотодитазином (концентрация 0,5–1,0 мг/мл) на *S. aureus* в течение двух минут при 200–300 Дж в зоне действия пучка наблюдали бактерицидный эффект. Отсутствие роста бактерий на всей поверхности чашки Петри было достигнуто при световом воздействии в 400 Дж в течение 5 мин. и концентрацией фотодитазина — 1,0 мг/мл. Воздействие лазера в течение 2 мин. в присутствии фотодитазина в концентрации 0,5 мг/мл и 1 мг/мл не оказывало антибактериального эффекта в отношении штаммов *P. aeruginosa*. На чашке наблюдали сплошной рост микроорганизмов. Увеличение световой дозы и времени воздействия способствовало снижению роста микробных клеток. Бактерицидный эффект получен только по центру чашки при обработке бактериальной суспензии фотодитазином в концентрации 5 мг/мл.

Обсуждение. Эффективность ФДТ зависит от вида микроорганизма, анатомического местоположения очага инфекции, а также свойств фотосенсибилизатора и используемого лазера. В зависимости от строения клеточной стенки наблюдается различная восприимчивость бактерий к фотодинамическим эффектам.

Заключение. Штаммы *S. aureus* могут быть успешно фотоинактивированы с применением фотодитазина. Для штаммов *P. aeruginosa* не удалось найти режим, при котором рост микробных клеток отсутствовал на всей чашке. Фотодинамическая реакция возникает только при действии адекватных доз световой энергии на фотосенсибилизаторы в присутствии кислорода в среде, при этом фотодинамическое повреждение носит локальный характер, и бактерицидный эффект лимитируется зоной светового воздействия.

Ключевые слова: фотодинамическая терапия, фотодитазин, хронический остеомиелит, бактерицидный эффект

Для цитирования: Шипицына И.В., Спиркина Е.С. Антибактериальное действие полупроводникового лазера в отношении бактерий *S. aureus* и *P. aeruginosa*, ведущих возбудителей остеомиелита. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):670-676. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-670-676. EDN: OILPLH.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-670-676>



Antibacterial effect of semiconductor laser radiation against the strains of *S. aureus* and *P. aeruginosa*, leading pathogens in osteomyelitis

I.V. Shipitsyna✉, E.S. Spirkina

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Irina V. Shipitsyna, ivschimik@mail.ru

Abstract

Introduction The study of the antibacterial effect of photodynamic therapy against the leading pathogens of chronic osteomyelitis is one of the promising directions today.

Purpose of the work was to evaluate the antibacterial effect against the strains of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* with the ALOD-01 laser system in the presence of photodithazine.

Materials and methods The object of the study was 24-hour archival cultures of gram-positive and gram-negative microorganisms belonging to two taxa: *Staphylococcus aureus* (25923), *Pseudomonas aeruginosa* (27853). The antibacterial effect after the exposure to laser radiation in the presence of photodithazine on the microbial cells of the studied cultures was assessed by the absence of microorganism growth in the area of the light beam.

Results Laser exposure in combination with photodithazine (concentration 0.5–1.0 mg/ml) on *S. aureus* for two minutes at 200–300 J achieved a bactericidal effect in the beam area. A bactericidal effect on the entire surface of the Petri dish was achieved with light exposure of 400 J for 5 minutes and a photodithazine concentration of 1.0 mg/ml. Laser exposure for 2 minutes in the presence of photodithazine at a concentration of 0.5 mg/ml and 1 mg/ml did not have an antibacterial effect on *P. aeruginosa* strains. Continuous growth of microorganisms was observed on the dish. Increasing the light dose and exposure time contributed to a decrease in the growth of microbial cells. A bactericidal effect was obtained only in the center of the dish in treating the bacterial suspension with photodithazine at a concentration of 5 mg/ml.

Discussion The effectiveness of PDT depends on the type of microorganisms, the anatomical location of the infection site, as well as the properties of the photosensitizer and the laser used. Depending on the structure of the cell wall, different susceptibility of bacteria to photodynamic effects is observed.

Conclusion *S. aureus* strains can be successfully photoinactivated using photodithazine. For *P. aeruginosa* strains, it was not possible to find a regime in which microbial cell growth was absent throughout the dish. The photodynamic reaction occurs only when adequate doses of light energy act on the photosensitizer in the presence of oxygen in the medium, while the photodynamic damage is local and the bactericidal effect is limited by the zone of light exposure.

Keywords: photodynamic therapy, photodithazine, chronic osteomyelitis, antimicrobial effect

For citation: Shipitsyna IV, Spirkina ES. Antibacterial effect of semiconductor laser radiation against the strains of *S. aureus* and *P. aeruginosa*, leading pathogens in osteomyelitis. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):670-676. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-670-676

ВВЕДЕНИЕ

Общепризнанным методом лечения хронического остеомиелита является хирургический. Тем не менее, по данным ряда авторов, неудовлетворительные результаты при лечении пациентов с костно-суставной патологией, осложненной гнойной инфекцией, наблюдаются у 25–30 % больных, рецидивы заболевания встречаются в 25–68 % случаев [1–4].

Большую роль в развитии хронического остеомиелита играет бактериальная инфекция. При поступлении в стационар из ран больных хроническим остеомиелитом наиболее часто выделяют грамположительные микроорганизмы, в основном, *Staphylococcus aureus*. Присоединение госпитальной микрофлоры (*Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae* и др.) в процессе лечения усугубляет течение патологического процесса [4]. С помощью стандартной антибактериальной терапии не всегда удается добиться полной элиминации возбудителя из очага. В связи с чем продолжается поиск новых методов и средств, позволяющих добиться положительных результатов в лечении данной категории пациентов.

В настоящее время в клинической практике широко используют метод фотодинамической терапии (ФДТ), основанный на применении фотосенсибилизаторов (ФС) и низкочастотного лазерного излучения [5–8]. В микробных клетках происходит образование синглетного кислорода и свободных радикалов, оказывающих на них токсическое воздействие [6]. Метод относится к малоинвазивным и нетоксичным в отношении здоровых клеток, что позволяет применять его в различных областях медицины: онкологии, гинекологии, отоларингологии и др. [9–22].

Так как наиболее частыми представителями микрофлоры ран больных хроническим остеомиелитом на сегодняшний день являются *S. aureus* и *P. aeruginosa*, изучение возможностей применения ФДТ в качестве альтернативного метода стандартной антибиотикотерапии при лечении данной категории пациентов можно считать актуальным.

Цель работы — оценить антибактериальный эффект в отношении штаммов *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* при использовании лазера АЛОД-01 в присутствии фотодитазина.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили суточные музейные культуры грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов, принадлежащих к двум таксонам: *Staphylococcus aureus* (№ 25923), *Pseudomonas aeruginosa* (№ 27853).

Эксперимент проходил в два этапа. На первом оценивали влияние облучения светом с помощью лазерной установки АЛОД-01 («АЛКОМ медика», Россия) (длина волны (λ) 660 нм, выходная мощность до 3Вт) на жизнеспособность микробных клеток в отсутствие препарата. Для этого на поверхность питательного агара (Агар Мюллера – Хинтона) в чашках Петри, засеянного газонном суточных культур исследуемых микроорганизмов с определенной концентрацией микробных клеток на 1 мл мясоептонного бульона (МПБ), воздействовали полупроводниковым лазером в течение установленного опыта времени. Параметры лазерного излучения и исходные концентрации суточных культур микроорганизмов представлены в таблице 1. Результат оценивали через 24 ч. по наличию или отсутствию роста в месте воздействия лазером.

Таблица 1

Параметры лазерного излучения

Время облучения (t), мин.	Высота воздействия световода (h), см	Мощность излучения (P), Вт	Прицельный пучок, %	Световая доза, Дж	Концентрация микробных клеток на 1 мл	Объем вносимой суспензии (V), мл
2	18	1,7	25	200	5×10^7	50
2	18	2,4	25	300	5×10^7	50
5	18	2,5	90	400	2×10^7	20
5	5	2,5	90	400	1×10^6	20

На втором этапе в суспензию суточных культур исследуемых микроорганизмов добавляли раствор ФС с известной концентрацией. По истечении 30 мин. делали газон на поверхности питательного агара (Агар Мюллера – Хинтона) и воздействовали полупроводниковым лазером в течение установленного опыта промежутка времени с заданными параметрами излучения (табл. 2). Фотодитазин является фотосенсибилизатором второго поколения, предназначенным для флюоресцентной диагностики (ФД) и ФДТ злокачественных опухолей.

Таблица 2

Характеристика этапов исследования

Концентрация фотодитазина, мг/мл	Время облучения (t), мин.	Соотношение по объему (V)	Световая доза, Дж	Высота (h), см.	Мощность излучения (P), Вт.	Прицельный пучок, %	Объем вносимой суспензии (V), мкл	Концентрация микробных клеток на 1 мл
0,5	2	1:1	300	18	1,7	25	50	5×10 ⁷
1,0	2	1:1	200	18	2,4	25	50	5×10 ⁷
1,0	2	1:1	200	18	1,7	25	50	5×10 ⁷
1,0	5	1:1	300	5	2,5	90	50	2×10 ⁷
1,0	5	1:1	400	18	2,5	90	50	1×10 ⁶
1,0	5	1:2	400	18	2,5	90	50	1×10 ⁶
1,0	5	1:3	400	18	2,5	90	50	1×10 ⁶
5,0	5	1:3	400	5	2,5	90	50	1×10 ⁶
1,0	5	1:3	400	5	2,5	90	50	1×10 ⁶

Анализ полученных данных проводили с помощью программы Gnumeric 1.12.17.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Воздействие светом с помощью лазерной установки на микробные клетки исследуемых культур в отсутствие фотодитазина не оказывало бактерицидного эффекта. На чашках Петри наблюдали сплошной рост микроорганизмов (табл. 3).

Таблица 3

Воздействие полупроводникового лазера АЛОД-01 на микробные клетки в отсутствие ФС

Воздействие лазера в отсутствие фотодитазина	Время (t), мин.	Световая доза, Дж	Высота (h), см	Мощность (P), Вт	Прицельный пучок, %	Объем вносимой суспензии (V), мкл	КОЕ/мл (MFar)	Результат	
								<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>
Л-, ФС-	-	-	-	-	-	50	0,5	Сплошной рост	
Л+, ФС-	2	200	18	1,7	25	50	0,5		
Л+, ФС-	2	300	18	2,4	25	50	0,5		
Л+, ФС-	5	400	18	2,5	90	20	0,2		
Л+, ФС-	5	400	5	2,5	90	20	0,01		

Примечание: Л – лазер, ФС – фотосенсибилизатор.

При воздействии лазером совместно с фотодитазином (концентрация 0,5–1,0 мг/мл) на *S. aureus* в течение 2 мин. при 200–300 Дж достигнут бактерицидный эффект в зоне действия пучка (табл. 4). Действие лазера носило локальный характер. По краям чашки наблюдали незначительный рост микробных клеток. Бактерицидный эффект на всей поверхности чашки Петри достигнут при световом воздействии в 400 Дж в течение 5 мин. и концентрацией ФС 1,0 мг/мл.

Таблица 4

Воздействие полупроводникового лазера АЛОД-01 на музейные культуры *S. aureus* в присутствии фотодитазина

Воздействие лазера в присутствии фотодитазина	Время (t), мин.	Световая доза, Дж	Высота (h), см	Мощность (P), Вт.	Прицельный пучок, %	Объем суспензии (V), мкл	КОЕ/мл (MFar)	Результат
Л+, ФС+ 0,5 мг/мл (1:1)	2	200	18	1,7	25	50	0,5	По центру роста нет, единичные колонии по краям
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	2	300	18	2,4	25	50	0,5	Отсутствует рост в зоне действия пучка, по краям частичный рост в виде нескольких изолированных колоний
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	2	200	18	1,7	25	50	0,5	
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	5	300	5	2,5	90	50	0,02	Бактерицидный эффект
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	5	400	18	2,5	90	50	0,01	

Примечание: Л – лазер; ФС – фотосенсибилизатор.

При действии лазера совместно с фотодитазином на микробные культуры *P. aeruginosa* в зависимости от режима излучения получены неоднозначные результаты. Так, воздействие лазера в течение двух мин. в присутствии фотодитазина в концентрации 0,5 мг/мл и 1 мг/мл не оказывало антибактериального эффекта. На чашке наблюдали сплошной рост микроорганизмов. Увеличение световой дозы и времени воздействия способствовало снижению роста микробных клеток (табл. 5). Бактерицидный эффект получен по центру чашки при обработке бактериальной суспензии фотодитазином в концентрации 5 мг/мл. По краям наблюдали единичные колонии.

Таблица 5

Воздействие полупроводникового лазера АЛОД-01 на музейные культуры *P. aeruginosa* в присутствии ФС

Воздействие лазера в присутствии фотодитазина	Время (t), мин.	Количество энергии, Дж	Высота (h), см	Мощность (P), Вт	Прицельный пучок, %	Объем вносимой суспензии (V), мкл	КОЕ /мл (MFar)	Результат
Л+, ФС+ 0,5 мг/мл (1:1)	2	200	18	1,7	25	50	0,5	Сплошной рост
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	2	300	18	2,4	25	50	0,5	По центру частичное угнетение роста
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	2	200	18	1,7	25	50	0,5	
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	5	300	5	2,5	90	50	0,02	В районе действия пучка значительное угнетение роста
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	5	400	18	2,5	90	50	0,01	В области наибольшей концентрации препарата отсутствует рост (диаметр 10 мм)
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:2)	5	400	18	2,5	90	50	0,01	Стерильная зона диаметром 12 мм
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:3)	5	400	18	2,5	90	50	0,01	
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:3)	5	400	5	2,5	90	50	0,01	Частичный рост, единичные колонии по центру, сплошной рост по краям
Л+, ФС+ 5,0 мг/мл (1:1)	5	400	5	2,5	90	50	0,01	Стерильная зона по центру, единичные колонии по краям

Примечание: Л – лазер; ФС – фотосенсибилизатор.

Установлено, что полупроводниковый лазер АЛОД-01 вне зависимости от выбранного режима сам по себе не оказывал антибактериального эффекта. Использование лазера совместно с фотодитазином значительно уменьшало количество микробных клеток, а в отношении штаммов *Staphylococcus aureus* способствовало выраженному бактерицидному эффекту (концентрация фотодитазина – 1,0 мг/мл и дозы излучения 400 Дж, время воздействия – 2 мин). Для штаммов *Pseudomonas aeruginosa* не удалось найти режим, при котором рост микробных клеток отсутствовал на всей чашке. Однако использование фотодитазина в максимальной концентрации (5 мг/мл), времени воздействия лазера 5 мин. и дозы излучения 400 Дж способствовало точечной гибели микроорганизмов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Существующая проблема распространения антибиотико-резистентных штаммов способствует поиску новых методик и лекарственных препаратов для лечения гнойных инфекций. В настоящее время ФДТ относится к перспективным направлениям [9, 12, 14–16, 20–24]. Важное преимущество этого метода перед антибиотикотерапией заключается в отсутствии токсичности фотосенсибилизаторов в отношении здоровых тканей [5, 12, 20].

Установлено, что эффективность ФДТ зависит от вида микроорганизма, анатомического местоположения очага инфекции, а также свойств фотосенсибилизатора и используемого лазера [8, 13–17, 24–30]. Механизмы, лежащие в основе действия лазерного облучения на бактериальные штаммы, до конца не изучены [5, 25]. Различная восприимчивость к фотодинамическим эффектам грамотрицательных и грамположительных бактерий связана со строением их клеточных стенок. Пептидогликановый слой бактериальной клеточной стенки *S. aureus* обладает гораздо более высокой проницаемостью (например, для антибиотиков), чем наружная мембрана грамотрицательных бактерий.

В одной из работ авторы изучали влияние лазера на рост метициллин-резистентного штамма золотистого стафилококка с использованием димегина. Показано, что с увеличением дозы фотовоздействия наблюдается бактериостатический эффект [31]. Другими авторами была доказана эффективность использования ФДТ с применением в качестве ФС фотодитазина в лечении воспалительных заболеваний суставов у детей и подростков [9]. Ю.Л. Чепурная с соавт. использовали ФДТ в лечении гнойных заболеваний кисти. Авторами отмечено заметное заживление послеоперационных ран тех пациентов, у которых применяли ФДТ [15]. Также разработана методика комбинированной антимикробной фотодинамической терапии в хирургии гнойных ран и доказана ее эффективность [8, 14, 16, 32].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что музейные штаммы *S. aureus* могут быть успешно фотоинактивированы с применением фотодитазина. Фотодинамическая реакция возникает только при действии адекватных доз световой энергии на фотосенсибилизаторы в присутствии кислорода в среде, при этом фотодинамическое повреждение носит локальный характер, и бактерицидный эффект лимитируется зоной светового воздействия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Миронов С.П., Цискарашвили А.В., Горбатюк Д.С. Хронический посттравматический остеомиелит как проблема современной травматологии и ортопедии (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2019;25(4):610-621. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-610-621
2. Трушин П.В., Разин М.П. Хронический остеомиелит трубчатых костей: современный взгляд на проблему. *Вятский медицинский вестник*. 2023;77(1):114-119. doi: 10.24412/2220-7880-2023-1-114-119
3. Дьячкова Г.В., Ключин Н.М., Шастов А.Л. и др. Остеомиелитические полости, как форма хронического остеомиелита, с точки зрения рентгеноморфологии. *Гений ортопедии*. 2019;25(2):199-206. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-2-199-206
4. Шипицына И.В., Осипова Е.В. Мониторинг ведущей грамположительной микрофлоры и ее антибиотикочувствительности у лиц с хроническим остеомиелитом за трехлетний период. *Гений ортопедии*. 2022;28(2):189-193. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-189-193
5. Kwiatkowski S, Knap B, Przystupski D, et al. Photodynamic therapy - mechanisms, photosensitizers and combinations. *Biomed Pharmacother*. 2018;106:1098-1107. doi: 10.1016/j.biopha.2018.07.049
6. Гельфонд М.Л., Рогачев М.В. *Фотодинамическая терапия. Фундаментальные и практические аспекты: учебное пособие для обучающихся в системе высшего и дополнительного профессионального образования*. СПб.: НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова; 2018:148. Доступно по: https://www.niioncologii.ru/education/education/training/training_manuals_2023/Гельфонд_М_Л_Фотодинамическая_терапия_в_онкологии_2018.pdf. Ссылка активна на 08.17.2024.
7. Наумович С.А., Плавский В.Ю., Кувшинов А.В. Антимикробная фотодинамическая терапия: преимущества, недостатки и перспективы развития. *Современная стоматология*. 2020;(1):11-16.
8. Санарова Е. В., Ланцова А.В., Дмитриева М.В., и др. Фотодинамическая терапия – способ повышения селективности и эффективности лечения опухолей. *Российский биотерапевтический журнал*. 2014;13(3):109-118.
9. Елисеенко В.И., Шин Е.Ф., Сорокатый А.А. Морфологическая оценка фотодинамической терапии гнойных ран с фотосенсибилизатором комплексированными амфифильными полимерами. *Госпитальная медицина: наука и практика*. 2019;1(1):49-52.
10. Семенов Д.Ю., Васильев Ю.Л., Дыдыкин С.С., и др. Антимикробная и антимикотическая фотодинамическая терапия (обзор литературы). *Biomedical Photonics*. 2021;10(1):25-31. doi: 10.24931/2413-9432-2021-10-1-25-31
11. Баранов А.В., Цыганова Г.И., Пименова Л.Я., Картусова Л.Н. Состояние научных исследований в области фотодинамической терапии в Российской Федерации в 2016-2017 гг. *Лазерная медицина*. 2018;22(3):44-49. doi: 10.37895/2071-8004-2018-22-3-44-49
12. Панасейкин Ю.А., Филоненко Е.В., Севрюков Ф.Е. и др. Возможности фотодинамической терапии при лечении злокачественных опухолей полости рта. *Biomedical Photonics*. 2021;10(3):32-38. doi: 10.24931/2413-9432-2021-10-3-32-38
13. Turubanova VD, Balalaeva IV, Mishchenko TA, et al. Immunogenic cell death induced by a new photodynamic therapy based on photosens and photodithazine. *J Immunother Cancer*. 2019;7(1):350. doi: 10.1186/s40425-019-0826-3
14. Раджабов А.А., Дербенев В.А., Исмаилов Г.И., Спокойный А.Л. Антибактериальная фотодинамическая терапия гнойных ран мягких тканей. *Лазерная медицина*. 2017;21(2):46-49. doi: 10.37895/2071-8004-2017-21-2-46-49
15. Чепурная Ю.Л., Мелконян Г.Г., Гульмурадова Н.Т., и др. Применение фотодинамической терапии в комплексном лечении гнойных заболеваний кисти. *Biomedical Photonics*. 2020;9(1):13-20. doi: 10.24931/2413-9432-2020-9-1-13-20
16. Буравский А.В., Баранов Е.В., Третяк С.И. Целесообразность использования комбинированной локальной светодиодной фототерапии в лечении пациентов с наружными раневыми дефектами. *Медицинский журнал*. 2016;1(55):86-92.
17. Игнатова Н.И., Елагин В.В., Будруев И.А., и др. Применение фотодинамической инактивации в отношении возбудителей инфекций мочевыводящих путей. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. 2022;24(4):395-400. doi: 10.36488/cmasc.2022.4.395-400

18. Филоненко Е.В., Иванова-Радкевич В.И. Фотодинамическая терапия при акне. *Biomedical Photonics*. 2023;12(2):48-53. doi: 10.24931/2413-9432-2023-12-2-48-56
19. Артемьева, Т.П., Церковский, Д.А. Фотодинамическая терапия при лейкоплакии вульвы. *Biomedical Photonics*. 2018;7(4):4-10. doi: 10.24931/2413-9432-2018-7-4-4-10
20. Rosa LP, da Silva FC. Antimicrobial photodynamic therapy: A new therapeutic option to combat infections. *Antimicrobial Photodynamic Therapy: A New Therapeutic Option to Combat Infections. J Med Microb Diagn*. 2014;3(4):1-7. doi: 10.4172/2161-0703.1000158
21. Лапченко А.С. Фотодинамическая терапия. Области применения и перспективы развития в оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2015;80(6):4 9. doi: 10.17116/otorino20158064-9
22. Рында А.Ю., Олюшин В.Е., Ростовцев Д.М., и др. Применение интраоперационной фотодинамической терапии в структуре комплексного лечения злокачественных глиом. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2023;87(1):25-34. doi: 10.17116/neiro20238701125
23. Megna M, Fabbrocini G, Marasca C, Monfrecola G. Photodynamic Therapy and Skin Appendage Disorders: A Review. *Skin Appendage Disord*. 2017;2(3-4):166-176. doi: 10.1159/000453273
24. Beltes C, Economides N, Sakkas H, Papadopoulou C, Lambrianidis T. Evaluation of Antimicrobial Photodynamic Therapy Using Indocyanine Green and Near-Infrared Diode Laser Against *Enterococcus faecalis* in Infected Human Root Canals. *Photomed Laser Surg*. 2017;35(5):264-269. doi: 10.1089/pho.2016.4100
25. Семенов Д.Ю., Васильев Ю.Л., Дыдыкин С.С., и др. Антимикробная и антимикотическая фотодинамическая терапия (обзор литературы). *Biomedical Photonics*. 2021;10(1):25-31. doi: 10.24931/2413-9432-2021-10-1-25-31
26. Салеев Р.А., Блашкова С.Л., Крикун Е.В., Салеева Г.Т., Блашкова Ю.В., Валеева Е.В. Оптимизация антибактериальной терапии у пациентов с эндо-пародонтальными поражениями. *Biomedical Photonics*. 2021;10(1):17-24. doi: 10.24931/2413-9432-2021-10-1-17-24
27. Alves F, Carmello JC, Mima EGO, et al. Photodithazine-mediated antimicrobial photodynamic therapy against fluconazole-resistant *Candida albicans* in vivo. *Med Mycol*. 2019;57(5):609-617. doi: 10.1093/mmy/myu083
28. Yanovsky RL, Bartenstein DW, Rogers GS, et al. Photodynamic therapy for solid tumors: A review of the literature. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2019 Sep;35(5):295-303. doi: 10.1111/phpp.12489
29. Imamura T, Tatehara S, Takebe Yu, et al. Antibacterial and Antifungal Effect of 405 nm Monochromatic Laser on Endodontopathogenic Microorganisms. *International Journal of Photoenergy*. 2014:1-7. doi: 10.1155/2014/387215
30. de Oliveira BP, Aguiar CM, Câmara AC. Photodynamic therapy in combating the causative microorganisms from endodontic infections. *Eur J Dent*. 2014;8(3):424-430. doi: 10.4103/1305-7456.137662
31. Николаева Н.А., Егорова А.В., Бриль Г.Е. Фотодинамическое воздействие лазерного излучения красной области спектра на рост метициллин-резистентного штамма золотистого стафилококка с использованием димегина. *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2017;7(1):268.
32. Маслакова Н.Д., Могилевец Э.В., Савосик А.Л. и др. Результаты применения нового метода комбинированной антимикробной фотодинамической терапии в хирургии гнойных ран. *Военная медицина*. 2016;3(40):60-63.

Статья поступила 25.06.2024; одобрена после рецензирования 05.07.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 25.06.2024; approved after reviewing 05.07.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Ирина Владимировна Шипицына — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ivschimik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2012-3115>;

Елена Сергеевна Спиркина — младший научный сотрудник, spirkina.82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2506-2657>.

Information about authors:

Irina V. Shipitsyna — Candidate of Biological Sciences, leading researcher, ivschimik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2012-3115>;

Elena S. Spirкина — junior researcher, spirkina.82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2506-2657>.