

## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЛАЗЕРНОЙ И СВЕТОДИОДНОЙ ФОТОТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ

М.П. Самцов<sup>1</sup>, Д.С. Тарасов<sup>1</sup>, А.О. Савин<sup>2</sup>, Р.Д. Зильберман<sup>2</sup>,  
В.М. Насек<sup>2</sup>, Е.С. Воропай<sup>1</sup>, П.Т. Петров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко  
Белорусского государственного университета, Минск

<sup>2</sup> Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск

E-mail: [samtsov@bsu.by](mailto:samtsov@bsu.by)

Эффективность фототерапии злокачественных опухолей определяются фотосенсибилизатором, а также методическими и аппаратными средствами для её проведения. Наиболее часто в качестве источника света предлагается использование лазеров с длиной волны излучения в области поглощения фотосенсибилизатора. Однако, появление мощных светодиодов, которые создают на поверхности опухоли сравнимую с лазерными источниками плотность мощности света, представляет альтернативу лазерному возбуждению.

В работе проведено сравнения результатов двух сеансов фототерапии злокачественных опухолей у подопытных животных при использовании лазерного и светодиодного источника света, определены пространственные характеристики пучков излучения. В качестве источника света использовались полупроводниковый лазер с длиной волны 750 нм и максимальной мощностью излучения 1,6 Вт, а также светодиод с длиной волны в максимуме излучения 780 нм и световой мощностью до 1 Вт. В качестве фотосенсибилизатора использован новый, синтезированный в лаборатории спектроскопии Института прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белорусского государственного университета индотрикарбоцианиновый краситель с максимумом поглощения на 740 нм. Для проведения измерений распределения плотности мощности излучения по сечению пучка применялась специальная камера компании ООО «ЭЛМИНС СР» (Беларусь).

В результате установлено, что при одинаковых условиях проведения сеансов фототерапии, некрозы опухолей при использовании лазерного источника имели фрагментарный характер, наблюдалась их выраженная неоднородность, часть опухоли, на которую попадал свет, оставалась неповрежденной. В случае светодиодного источника по всей площади и глубине засветки некрозы опухолей были сплошными. Исследования поперечной структуры лазерного пучка выявили резкие изменения интенсивности. При этом профиль светодиодного излучения имел достаточно гладкую колоколообразную форму.

Следовательно для полного повреждения опухолевых тканей следует иметь одинаковую освещенность всей поверхности узлов с захватом некоторой части окружающих здоровых тканей. В связи с этим проведены исследования параметров пучка полупроводникового лазера с  $\lambda = 750$  нм. Распределение интенсивности излучения по сечению светового пучка определяли путем анализа изображений помещенного в сечение пучка матового экрана с помощью ПЗС матрицы. В связи с тем, что спектр и распределение излучения полупроводникового лазера зависят от силы питающего тока, измерения проводились в условиях, когда плотность мощности излучения при диаметре светового пучка в три сантиметра составляла примерно  $50 - 100$  мВт/см<sup>2</sup>. В результате установлено, что распределение излучения по сечению пучка лазера без дополнительных оптических устройств является в значительной степени неоднородным. В различных точках сечения светового пятна полупроводникового лазера освещенность различается в 3–4 раза. Отклонение отгибающейся от средней по 10 точкам достигает 55 %, среднее квадратичное отклонение составляет 18 %. Такая высокая неоднородность лазерного пучка приводит к неравномерному фотовоздействию во время сеанса фотодинамической терапии, и как следствие не полному, фрагментарному повреждению опухоли. Для повышения однородности на выходе из лазера рассмотрена возможность установления рассеивателя излучения. Наиболее эффективным оказалось использование в качестве рассеивателя линзового раstra. При этом светораспределение в силу высокой контрастности освещающих пучков имеет вид подобный светораспределению в спектре Фраунгофера дифракционной решетки, сглаженного за счет конечных размеров источника света. Отгибающаяся светораспределения в идеальном случае должна иметь вид трапеции. Использование линзового раstra позволило уменьшить перепады интенсивности соседних тачек в сечении пучка более чем в пять раз, т.е. существенно снизило разброс интенсивности по сечению. Так отношение интенсивности наиболее освещенных областей к интенсивности наименее освещенных не превысило 1,6. Отклонение отгибающейся от средней не превышает 27 %, а среднее квадратичное отклонение уменьшилось до 8 %. Таким образом достигнуто качество лазерного светового пучка, необходимое для проведения сеансов фотодинамической терапии [1].

1. *Lugovski A., Samtsov M., Kaplevsky K., Voropay E.* // J. of Photochem. and Photobiol. A. 2016. V. 316, No 3. P. 31.