

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЯМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ РАСТВОРЕННОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА В БЛИЖНЕЙ ИК ОБЛАСТИ (800-1300 НМ) В СВЯЗИ С ВОПРОСАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

Козлов А.С.<sup>1</sup>, Журавлев С.Г.<sup>2</sup>, Егорова О.Н.<sup>2</sup>, Медведков О.И.<sup>2</sup>, Красновский А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФИЦ «Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН», Москва, Россия

Терапия, основанная на применении ИК лазерных источников излучения низкой и средней интенсивности в области 800-1300 нм, активно используется для лечения различных заболеваний. Поскольку известно, что кислород имеет полосы поглощения в ближней ИК области спектра, выдвинута гипотеза, что именно молекулярный кислород, растворенный в живых клетках и тканях, является фоторецептором лазерного излучения. Чтобы выяснить, насколько вероятен этот механизм лазерной терапии, мы исследовали действие ИК лазерного излучения в области 800-1300 нм на кислород воздуха, растворенного в аэробных средах при комнатной температуре и атмосферном давлении. Данные получены с помощью набора диодных и волоконных ИК лазеров, при этом использовали кюветы с длиной оптического пути 1 см. Скорость генерации синглетного кислорода при возбуждении кислородных молекул лазерным излучением измеряли с помощью химической ловушки синглетного кислорода – 1,3-дифенилизобензофурана. В качестве растворителей использовали четыреххлористый углерод, гексафторбензол, хладон-113, а также ацетон, этанол и тяжелую воду. Установлено, что во всех растворителях в спектрах действия окисления ловушки, наиболее интенсивна полоса, совпадающая с основной абсорбционной полосы кислорода с максимумом 1273 нм (переход ( $^1\Delta_g(0) \leftarrow ^3\Sigma_g^-(0)$ )). Кроме нее, обнаруживается в 100 раз менее интенсивная полоса с максимумом 1070 нм и полушириной 8-18 нм, соответствующая первому вибронному переходу молекулярного кислорода ( $^1\Delta_g(1) \leftarrow ^3\Sigma_g^-(0)$ ). Добавление тушителей синглетного кислорода (ацетона в гексафторбензоле и азид натрия в тяжелой воде) приводило к одинаковому уменьшению скорости выцветания ловушки под действием лазеров 1070 и 1273 нм. Измерены коэффициенты поглощения кислорода в этих максимумах во всех средах. При действии ИК излучения в диапазоне 800-1060 нм скорость выцветания ловушки во всех средах была еще на порядок более низкой, причем она не зависела от длины волны возбуждения и почти не превышала скорость темного выцветания ловушки в отсутствии облучения. Отсюда следует, что величина коэффициентов поглощения кислорода, соответствующих этой области спектра, гораздо меньше, чем даже у полосы при 1070 нм. Таким образом, проведенные измерения с одной стороны, позволили впервые получить абсорбционные коэффициенты, соответствующие ИК полосам поглощения молекулярного кислорода, растворенного в естественных условиях в полярных и неполярных средах; с другой стороны, они говорят о том, что терапевтические эффекты ИК излучения, по крайней мере в области 800-1100 нм, скорее всего не связаны с возбуждением кислорода. Часть результатов этой работы опубликована в статье [1]. Работа была частично поддержана грантом РФФИ № 19-04-00331 А и госзаданием ФИЦ Биотехнологии РАН.

### Библиографические ссылки

1. Kozlov A.S., Egorova O.N., Medvedkov O.I., Krasnovsky A.A., Jr. Activation of oxygen molecules by 1070 nm laser radiation in aerated solvents // Optics Letters. 2021. vol. 46. №3. pp. 556-559.