УДК 616—073.524 (075.8)

БИОФОТОНИКА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НЕВРОЛОГИИ

DOI 10.24412/CL-37124-2023-175-179

Дунаев А. В. [1]

[1] Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, Орел, Россия
e-mail: dunaev@bmecenter.ru

Аннотация: Современные методы биофотоники обладают большим потенциалом при решении различных задач в неврологии, как диагностических, так и терапевтических. Показана эффективность мультимодального подхода при анализе параметров микроциркуляторно-тканевых систем при нейродегенеративных заболеваниях. Также продемонстрирована перспективность исследования механизмов воздействия прямой генерации синглетного кислорода на клетки мозга при фотобиомодуляции с применением длины волны 1267 нм.

Ключевые слова: биофотоника, микроциркуляторно-тканевые системы, нейродегенеративные заболевания, транскраниальный мониторинг, мониторинг сна, фотобиомодуляция, синглетный кислород.

Последние достижения в области технологий биофотоники, особенно применяемых на практике на основе мультимодального подхода, а также существенная роль микроциркуляторно-тканевых систем (МТС) организма в патогенезе различных заболеваний человека, привели к неуклонному росту интереса к проблемам неинвазивного исследования особенностей и нарушений периферического кровотока и связанного с ним метаболизма в тканях [1]. Функциональное состояние МТС оказывает влияние на развитие различных заболеваний головного мозга, поскольку функционально микроциркуляция крови тесно связана с деятельностью клеток нервной системы, и микроциркуляторные нарушения могут сопровождать или предшествовать потере нейронов при ряде нейродегенеративных заболеваний (НДЗ).

Регуляция мозгового кровотока и энергетического обмена, передача нервных импульсов и доставка кислорода к отделам головного мозга осуществляется в результате взаимодействия клеток нейроваскулярной единицы: нейронов, глиальных клеток (астро-

цитов) и микрососудов, в том числе выстилающих их внутреннюю поверхность эндотелиоцитов. Данное взаимодействие в специализированных зонах контактно опосредовано сложными электрическими и химическими стимулами, в которые вовлекаются множество нейромедиаторов (дофамин, норадреналин, NO, ионы Ca2+ и K+ и др.). Для выявления путей регуляции мозгового кровотока и оценки фармакологических препаратов в качестве нейропротекторов для защиты клеток мозга от повреждающих воздействий и предотвращения их гибели оценено влияние индуцированного адреналином кальциевого сигнала в астроцитах на изменение параметров МТС сосудов головного мозга. Регистрация параметров МТС сосудов головного мозга осуществлялась с применением экспериментальной установки мультимодальной оптической диагностики, реализующей методы флуоресцентной спектроскопии (с длиной волны возбуждения 455 нм) и видеокапилляроскопии, и фармакологической пробы в виде добавления адреналина. Исследования на срезах коры головного мозга взрослых крыс линии Wistar, содержащих неповреждённые разрезом сосуды, показали, что применение 1 мкмоль/л адреналина вызывало уменьшение диаметра кровеносных сосудов и наблюдалось преимущественно увеличение амплитуды сигнала флуоресценции ФАД. В то же время инкубация срезов с 20 мкмоль/л ингибитора моноаминоксидазы селегилина в течение 8—10 мин значительно снижала эффект адреналина на вазоконстрикцию, при этом изменений амплитуды сигнала флуоресценции не происходило. Учитывая влияние кальциевого сигнала на вазоконстрикцию, подавление кальциевого сигнала в астроцитах селегилином может быть наиболее возможным механизмом ингибирования вазоконстрикции сосудов головного мозга за счет предотвращения нерецепторного пути воздействия адреналина в результате его окислительного дезаминирования под влиянием моноаминоксидазы. Применение данного подхода для оценки вклада сосудистой компоненты является важным в неврологии при исследовании изменений параметров МТС сосудов головного мозга при НДЗ и оценке нейропротекторных свойств фармакологических препаратов для защиты клеток мозга от повреждающих воздействий и предотвращения их гибели при проведении клинических испытаний [2].

Также продемонстрирована перспективность применения лазерной спекл-контрастной визуализации (ЛСКВ) для транскраниального мониторинга лабораторного животного для исследований

физиологических механизмов регуляции микрокровотока (например, при воздействии фармпрепаратами). В настоящее время данный метод активно развивается и находит всё большее применение в медицине за счёт преимущества в виде визуализации всей области исследования с высоким пространственным и временным разрешением. Кроме визуальной информации возможно регистрировать сигнал спекл-контраста во времени, что позволяет проводить спектральный анализ данных при помощи вейвлет-преобразования. Спекл-контраст в областях интереса усредняется и пересчитывается в ЛСКВ-перфузию для получения частотно-временных спектров сигнала — карт колебаний кровотока в частотных диапазонах, соответствующих регуляторной деятельности сердечных, дыхательных и миогенных механизмов [3]. Таким образом, применение данной технологии для визуализации церебральных кровеносных микрососудов позволяет установить, в каких регионах головного мозга лабораторного животного преобладают осцилляции различного диапазона, что открывает новые перспективы ЛСКВ в решении задач неврологии.

Кроме того, в портативном (носимом) варианте исполнения мультимодальных устройств биофотоники показаны возможности для исследования функционального состояния МТС (например, в области мозга) как при экстремальных условиях (невесомость), так и при длительном мониторинге сна (в сомнологии) [4].

Стоит отметить, что помимо применения в диагностике, в последнее десятилетие всё активней развивается направление фотобиомодуляции, основанное на прямой генерации синглетного кислорода с помощью лазерного излучения с длиной волны 1267 нм, в том числе для задач нейробиологии [5]. Исследованиями показаны возможные механизмы воздействия прямой генерации синглетного кислорода на биоэнергетику клеток за счет увеличения эффективности продукции АТФ путем окислительного фосфорилирования, что может как защищать клетки при нейродегенеративных процессах (как, например, это показано в токсической модели болезни Альцгеймера, а также в наследственных формах болезни Паркинсона), так и способствовать регуляции их физиологической функции (например, продукции инсулина в организме животного). Кроме того, прямая генерация синглетного кислорода может служить инструментом селективного запуска апоптоза в раковых клетках за счет стимулирования открытия митохондриальной поры, которое не происходит в здоровых клетках [6].

Таким образом, современные методы биофотоники показывают высокий потенциал их применения в неврологии при решении как диагностических, так и терапевтических задач.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации № 075—15—2022—1095.

Список литературы

1. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека: монография/А. В. Дунаев. — Старый Оскол: ТНТ, 2022. — 440 с.: ил.
2. *Novikova, I. et al.* Adrenaline induces calcium signal in astrocytes and vasoconstriction via activation of monoamine oxidase. *Free Radical Biology and Medicine*, 159, 15—22 (2020).
3. *Golubova, N. et al.* Time–frequency analysis of laser speckle contrast for transcranial assessment of cerebral blood flow. *Biomedical Signal Processing and Control*, 85, 104969 (2023).
4. *Dunaev, A. V.* Wearable Devices for Multimodal Optical Diagnostics of Microcirculatory-Tissue Systems: Application Experience in the Clinic and Space. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*, 9 (2), 1—10 (2023).
5. *Sokolovski, S. G. et al.* Singlet oxygen stimulates mitochondrial bioenergetics in brain cells. *Free Radical Biology and Medicine*, 163, 306—313 (2021).
6. *Novikova, I. et al.* Laser-induced singlet oxygen selectively triggers oscillatory mitochondrial permeability transition and apoptosis in melanoma cell lines. *Life Sciences*, 304, 120720 (2022).

BIOPHOTONICS IN SOLVING THE PROBLEMS OF NEUROLOGY

Dunaev A. V.[1]

[1]Orel State University, Orel, Russia

Annotation. Modern methods of biophotonics have great potential for solving various problems in neurology, both diagnostic and therapeutic. The effectiveness of the multimodal approach in the analysis of the microcirculatory-

tissue system parameters in neurodegenerative diseases has been shown. The prospects of studying the mechanisms of the effect of direct generation of singlet oxygen on brain cells during photobiomodulation using a wavelength of 1267 nm have also been demonstrated.

Keywords: biophotonics, microcirculatory-tissue system, neurodegenerative diseases, transcranial monitoring, sleep monitoring, photobiomodulation, singlet oxygen.