

ПЕРСПЕКТИВЫ БИОФОТОНИКИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ДАВНОСТИ
ОБРАЗОВАНИЯ ТРАВМАТИЧЕСКИХ КРОВОИЗЛИЯНИЙА.В. Плигин¹, А.В. Максимов², А.С. Катаев^{3,4}¹ Факультет усовершенствования врачей ГБУЗ Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского», Москва, Россия² Кафедра фундаментальных медицинских дисциплин ФГБОУ ВО «Государственный университет просвещения» (ГУП), г. Мытищи, Россия³ ФГБУ «НМХЦ им. Н. И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия⁴ Кафедра организации здравоохранения, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы с курсом судебно-медицинской экспертизы ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Данная статья посвящена перспективности оценки давности образования травматических кровоизлияний при помощи технологий биофотоники, а в частности гиперспектральной визуализации. На сегодняшний день, наиболее частым методом установления давности образования кровоподтеков в судебной медицине является макроскопия, низкая объективность которой не позволяет достоверно определить сроки возникновения повреждения. С целью повышения точности, в практику судебно-медицинских экспертов стали внедряться различные инструментальные методы исследования, в том числе физические и биохимические. Однако в выигрышном положении оказываются те, которые используют в качестве основной характеристики цвет кровоподтека. К ним относятся методы фотометрии. Тем не менее, при всех своих преимуществах, данные методы не способны определять пространственное нахождение хромофоров в кровоподтеке. Гиперспектральная визуализация имеет огромный потенциал, так как в нем устранена эта проблема, что усиливает перспективность изучения этого вопроса.

Цель. Повышение точности определения давности образования травматических кровоизлияний с помощью метода гиперспектральной визуализации.

Материалы. Регистрация гиперспектральных изображений травматических кровоизлияний производилась с помощью гиперспектральной камеры, разработанной в лаборатории биофотоники Сколковского Института науки и технологий под руководством Дмитрия Горина.

Результаты. В результате цифровой обработки снимков на каждой длине волны получается карта оксигенации тканей, с помощью которой можно увидеть распределение в кровоподтеке хромофоров окси- и дезоксигемоглобина.

Выводы. Метод такого активно развивающегося направления биофотоники, как гиперспектральная визуализация способен превзойти результаты исследований других спектральных методов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фотометрия, гиперспектральная визуализация, судебная медицина, давность кровоподтеков, биофотоника, цвет, физика

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ: Плигин Анатолий Викторович, email: IJ298@yandex.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Плигин А.В., Максимов А.В., Катаев А.С. Перспективы биофотоники в определении давности образования травматических кровоизлияний // Вестник Медицинского института непрерывного образования. — 2023. — Т. 3, № 3. — С. 96–99. — DOI 10.36107/2782-1714_2023-3-3-96-99.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ: Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

BIOPHOTONICS PERSPECTIVES IN DETERMINING THE AGE OF TRAUMATIC HAEMORRHAGE FORMATIONS

A.V. Pligin¹, A.V. Maksimov², S.A. Kataev^{3,4}

¹ Faculty of Advanced Medical Training of the Moscow Regional Research and Clinical Institute named after M.F. Vladimirskiy, Moscow, Russia

² Department of Fundamental Medical Disciplines of the State University of Education, Mytishy, Russia

³ National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁴ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

ABSTRACT

Background. This article is devoted to the prospects of assessing the dating of traumatic haemorrhage formation using biophotonics technologies, in particular hyperspectral imaging. Currently, the most common method of determining the age of bruising in forensic medicine is macroscopy, the low objectivity of which does not allow to reliably determine the timing of the occurrence of the injury. In order to improve the accuracy, various instrumental research methods, including physical and biochemical ones, have been introduced into the practice of forensic medical experts. However, those who use the color of the bruise as the main characteristic are advantageous. These include photometry methods. Nevertheless, for all their benefits, these methods are not able to determine the spatial location of chromophores in the bruise. Hyperspectral imaging has a great potential as it eliminates this problem, which increases the prospects for studying this issue.

Purpose. Improving the accuracy of determining the age of traumatic hemorrhage formation using hyperspectral imaging.

Materials and Methods. Registration of hyperspectral images of traumatic hemorrhages was carried out using a hyperspectral camera designed in the Biophotonics Laboratory of the Skolkovo Institute of Science and Technology under the lead of Dmitry Gorin.

Results. As a result of digital image processing at each wavelength, a map of tissue oxygenation is obtained, which can be used to see the distribution of oxy- and deoxyhemoglobin chromophores in the bruise.

Conclusions. The method of such an actively developing area of biophotonics as hyperspectral imaging is capable of surpassing the research results of other spectral methods.

KEYWORDS: photometry, hyperspectral imaging, forensic medicine, age of bruises biophotonics, color, physics.

CORRESPONDENCE: Pligin Anatoly Viktorovich, email: IJ298@yandex.ru

FOR CITATIONS: Pligin A.V., Maksimov A.V., Kataev S.A. Biophotonics perspectives in determining the age of traumatic haemorrhage formations. // Bulletin of the Medical Institute of Continuing Education. — 2023. — V. 3. — No. 3. — P. 96–99. — DOI 10.36107/2782-1714_2023-3-3-96-99.

FUNDING SOURCE: The authors declare no funding for the study.

DECLARATION OF COMPETING INTEREST: The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

ВВЕДЕНИЕ

В судебной медицине использование физических методов позволяет решить множество проблем, связанных с производством экспертиз, главная задача которых — повысить объективность изучения изменений в биологических объектах. Множество таких изменений, как степень трупного окоченения, интенсивность окраски и цвет трупных пятен оценивались судебно-медицинскими экспертами методом качественной оценки, но с развитием технологий появилась возможность оценивать эти изменения не только качественно, но и количественно.

Одними из зарекомендовавших себя методов количественной оценки являются методы спектрального анализа. Они активно применяются в судебно-медицинской криминалистике, определяя наличия пятен крови, спермы, выявление замкнутых следов крови, а также следов крови на пестрых, темных и загрязненных предметах. Изучение возможностей этих методов привело исследователей к созданию методов фотометрии [1].

Фотометрия (от греческого *photos* — свет и *metreo* — меряю) — это оптический метод количественного анализа, основанный на поглощении электромаг-

нитного излучения анализируемым веществом. С его помощью возможно определить концентрацию вещества в тех случаях, когда вещество имеет собственную окраску, либо приобретает окраску путем воздействия на него соответствующего химического реагента.

Основными фотометрическими методами являются колориметрия, фотоэлектроколориметрия (ФЭК) и спектрофотометрия. Данные методы отличаются источником излучения, а также устройством для выделения нужного интервала длин волн. Для спектрофотометрии применяется лампа накаливания с вольфрамовой нитью и монохроматор, для фотоэлектроколориметрии используется светофильтр [2].

Говоря о применении этих методов в судебной медицине, стоит отметить такую неразрешенную проблему, как определение давности образования травматических кровоизлияний. На протяжении длительного периода времени такая характеристика, как цвет кровоподтеков оценивалась судебно-медицинскими экспертами путем макроскопии. В связи с этим в литературных источниках накопилось множество противоречий, потому что цвет является субъективной характеристикой и зависит от не только от наблюдателя, но и от наблюдаемого объекта [3].

В процессе изучения цветовых характеристик травматических кровоизлияний способы его оценки менялись от использования цветовых шкал, применения стереофотографии, цифровой фотографии до применения методов фотометрии. Так, в зарубежной литературе были опубликованы экспериментальные исследовательские работы по использованию спектрофотометрии и криминалистических фонарей с различными фильтрами, спектроскопии диффузного отражения в видимом диапазоне в комбинации ее с импульсной фототермической радиометрией [4, 5].

Но, показывая успешные результаты в выявлении концентрации веществ, составляющих кровоподтек, к сожалению, они не учитывают разницу между областями внутри кровоподтека, что может маскировать наличие продуктов распада гемоглобина и, соответственно, приводит к некорректным итоговым данным. На другой чаше весов находится дороговизна оборудования и сложность его освоения, а также отсутствие возможности серийного производства устройств. Все это приводит к поиску усовершенствованных методов для более точного установления давности кровоподтеков.

Новым направлением развития инструментальных методов исследования объектов является область биофотоники, изучающая взаимодействие света с живыми тканями и объектами. В нее входит метод гиперспектральной визуализации (HSI), главным преимуществом которого является получение спектроскопической информации об объекте с пространственным разрешением и способность поддерживать целостность объектов для многократного и последовательного анализа.

В судебной медицине данный метод применяется при анализе следов крови, подделки документов, следов огнестрельного оружия и идентификации отпечатков пальцев. В то же время практически не исследована проблема установления давности травматических кровоизлияний с помощью гиперспектральной визуализации [6–9], и для ее решения нами будет произведено исследование возможностей этого метода [10].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Повышение точности определения давности образования травматических кровоизлияний с помощью метода гиперспектральной визуализации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Регистрация гиперспектральных изображений травматических кровоизлияний производилась с помощью гиперспектральной камеры, разработанной в лаборатории биофотоники Сколковского Института науки и технологий под руководством Дмитрия Горина. Гиперспектральная камера состоит из источников света с узкой спектральной полосой и разными длинами волн (светодиоды), камеры, и микропроцессора на базе Raspberry Pi Zero. Также используется программное обеспечение, определяющее по полученным спектра поглощения кожи относительные концентрации хромофоров — окси-, дезоксигемоглобина, билирубина и меланина.

Методы

В рамках пилотного исследования нами была поставлена задача поиска оптимальных длин волн излучения для увеличения точности вычисления концентраций хромофоров Hb (деоксигемоглобина) и HbO₂ (оксигемоглобина) в исследуемой области. Предлагается использовать данные спектров в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне 460–800 нм.

Для подтверждения этих данных был проведен эксперимент с передавливанием кровотока указательного пальца. Сначала был сделан снимок указательного пальца до окклюзии, после этого была произведена его окклюзия на 5 мин. В течение этого времени были произведены снимки с периодичностью в 1 мин, затем непосредственно после снятия окклюзии — еще несколько снимков в течение 3 мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате цифровой обработки снимков на каждой длине волны получается карта оксигенации тканей, с помощью которой можно увидеть распределение в кровоподтеке хромофоров окси- и дезоксигемоглобина. После снятия окклюзии концентрация оксигемоглобина возросла, что говорит о том, что прибор определяет разницу концентраций распределения хромофоров в травматическом кровоизлиянии.

На следующем этапе исследования планируется произвести проспективный анализ 300 судебно-меди-

цинских экспертиз для уточнения данных о чувствительности и специфичности метода. Экспертизы будут разделены на 2 группы. Первая группа — 150 экспертиз живых лиц с кровоподтеками и гематомами различной локализации, в возрасте от 18 до 85 лет, с подтвержденными данными времени получения травмы. Вторая группа — 150 экспертиз трупов с кровоподтеками и гематомами различной локализации, в возрасте от 18 до 85 лет, с подтвержденными данными времени получения травмы. Итоговым результатом станет разработка методики расчета давности образования кровоподтеков с использованием компьютерной программы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для повышения объективности и точности определения травматических кровоизлияний необходимо использование инструментальных методов исследования. Метод такого активно развивающегося направления биофотоники, как гиперспектральная визуализация способен превзойти результаты исследований других спектральных методов. Это неразрушающий неинвазивный метод, с отсутствием вредных излучений. Компактность и удобство использования прибора оператором, а также доступность компонентов с быстротой обработки результатов превосходят существующие аналоги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колтовой Н.А. Спектральные методы в криминалистике // Фотоника. — 2016. — Т. 59. — № 5. — С. 76–88. doi: 10.22184/1993-7296.2016.59.5.76.88
2. Рязанова А.С. Фотометрические методы анализа / Методические указания к лабораторным работам // Казанский национальный исследовательский технологический университет. — Казань. — 2020. — 23 с.
3. Плигин А.В., Кислов М.А., Максимов А.В., Клевно В.А. Определение давности образования травматических кровоизлияний в судебно-медицинской практике: обзор литературы // Судебная медицина. — 2022. — Т. 8. — № 1. — С. 51–57. URL: <https://doi.org/10.17816/fm699>
4. Мимасака С. Проблема жестокого обращения с детьми в Японии и способы доказательного установления факта побоев у ребенка // Судебная медицина. — 2020. — Т. 6. — № 2. — С. 31–34. doi:10.19048/2411-8729-2020-6-2-31-34
5. Marin A., Verdel N., Milani M., Majaron B. Noninvasive Monitoring of Dynamical Processes in Bruised Human Skin Using Diffuse Reflectance Spectroscopy and Pulsed Photothermal Radiometry. // Sensors. 2021. Vol. 21, №302. doi:10.3390/s21010302
6. Książek K., Romaszewski M., Glomb P., Grabowski B., Cholewa M. Blood stain classification with hyperspectral imaging and deep neural networks. Sensors. 2020. T.20(22): 6666 <https://doi.org/10.3390/s20226666>
7. Zulfiqar M., Ahmad M., Sohaib A., Mazzara M., Distefano S. Hyperspectral imaging for bloodstain identification. Sensors. 2021. 21(9) — 3045. MDPI AG. URL: <https://doi.org/10.3390/s21093045>
8. Akiba N., Nakamura A., Sota T., Hibino K., Kakuda H., Aalders M. Separation of overlapping fingerprints by principal component analysis and multivariate curve resolution — alternating least squares analysis of hyperspectral imaging data. Journal of Forensic Sciences. 2022. 10.1111/1556-4029.14969. URL: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14969>
9. Glomb P., Romaszewski M., Cholewa M., Domino K. Application of hyperspectral imaging and machine learning methods for the detection of gunshot residue patterns. Forensic Science International. 2018 T. 290 C. 227–237. URL: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.06.040>
10. Плигин А.В., Максимов А.В., Патлатая Н.Н., Перков С.А., Горин Д.А. Перспективы использования гиперспектральной визуализации в определении давности образования травматических кровоизлияний // Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы. — 2022. — вып. 21. — С. 86–92.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Плигин Анатолий Викторович — аспирант кафедры судебной медицины, факультет усовершенствования врачей ГБУЗ Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского». eLibrary SPIN: 4958-2230 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-2968>

Максимов Александр Викторович — д.м.н., доцент, профессор кафедры фундаментальных медицинских дисциплин ФГБОУ ВО «Государственный университет просвещения» (ГУП). Москва, Россия. eLibrary SPIN: 3134-8457, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1936-4448>

Катаев Александр Станиславович — к.м.н., начальник управления межрегионального взаимодействия и координации медицинского обеспечения Федерального центра медицины катастроф ФГБУ «НМХЦ им. им. Н.И. Пирогова» Минздрава РФ, доцент кафедры организации здравоохранения, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы с курсом судебно-медицинской экспертизы ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ». Москва, Россия. eLibrary SPIN: 2418-7177

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Максимов А.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста

Плигин А.В. — сбор и обработка материала

Катаев А.С. — редактирование

ПОСТУПИЛА: 03.07.2023

ПРИНЯТА: 14.08.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 25.09.2023