

# Гиперспектральный индекс для обнаружения подкожных кровеносных сосудов

М. М. Хамза<sup>1</sup>, Р. В. Скиданов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 34

<sup>2</sup> Институт систем обработки изображений РАН—филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Самара, Россия

Визуализация подкожных кровеносных сосудов невооруженным глазом очень сложна, но важна для диагностики заболеваний и различных медицинских процедур. Некорректное взятие крови может принести дискомфорт и болевые ощущения пациенту, чьи вены трудно увидеть медицинскому работнику. Чтобы смягчить эту проблему, создан метод визуализации кровеносных сосудов на основе использования двухволнового индексного изображения в спектральном диапазоне от 400 до 1000 нм для выделения кровеносных сосудов. В результате были получены гиперспектральные изображения и рассчитан индекс изображения по формуле, аналогичной формуле расчета индекса NDVI для усиления контрастности кровеносных сосудов под кожей. Таким образом, предложенный метод оказался полезным инструментом для визуализации подкожных кровеносных сосудов.

*Ключевые слова:* Кровеносные сосуды под кожей, Гиперспектрометр, Спектральный анализ, Гиперкуб, Расчета индекса.

*Цитирование:* Хамза, М. М. Гиперспектральный индекс для обнаружения подкожных кровеносных сосудов / М. М. Хамза, Р. В. Скиданов // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 380–385.

## Введение

Целью данного исследования является разработка недорогого мобильного медицинского решения для выделения подкожных кровеносных сосудов с использованием спектроскопии ближнего инфракрасного (NIR) спектра.

Венепункция – ежедневная процедура в медицинских учреждениях. Исследование показало, что около 90% госпитализированных пациентов может потребоваться периферическая канюляция, являющаяся необходимым условием для проведения различных лечебных, реанимационных и диагностических мероприятий. Особенно для периферических вен [1], включая внутривенные инъекции, забор и переливание венозной крови и др. Первичным условием для венепункции является возможность точно определить местонахождение вены, тем не менее, частота неудач относительно высока и осложняется особенно у пациентов с темным оттенком кожи, глубокими венами, пациентов с ожирением [2], или медицинским состоянием, называемым трудным периферическим внутривенным доступом (DIVA) [3].

Таким образом, у медицинского персонала нет другого выбора, кроме как действовать, основываясь на своих знаниях анатомии и личном опыте. Иногда это приводит к некоторым ошибкам, которые могут причинить прямой или косвенный вред пациенту [4].

Существует множество устройств, помогающих медицинскому персоналу лучше визуализировать невидимые вены пациентов. В этих устройствах используется один из следующих методов: просвечивающая, фотоакустическая, ультразвуковая и NIR - визуализация [5]. Все эти методы имеют разные преимущества и недостатки, но NIR – гиперспектрометр, использующий ближнюю инфракрасную область электромагнитного спектра от 740 до 760 нм, позволяет визуализировать кровеносные сосуды, расположенные на глубине 3–5 мм под кожей, и в настоящее время он представляет собой один из наиболее многообещающих подходов, направленных на повышение эффективности венопункции [6–8]. Последнее исследование показало, что спектральную дифракционную линзу можно применять для выделения кровеносных сосудов на коже [9].

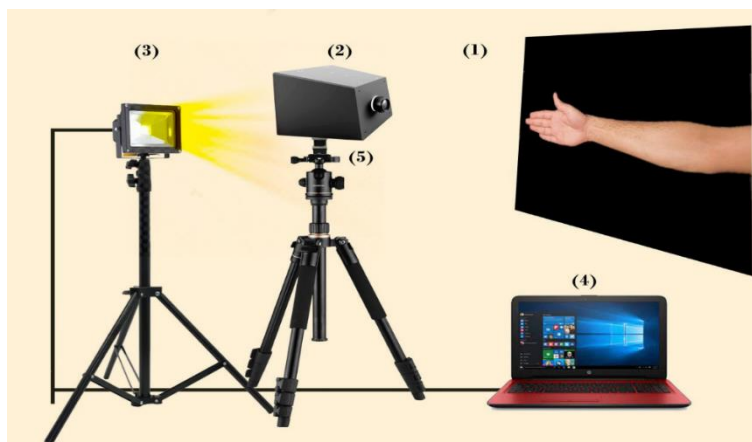
Поэтому разработка системы визуализации кровеносных сосудов под кожей имеет важное значение для решения вышеуказанных проблем. В данной работе был предложен метод усиления контраста между кровеносными сосудами и окружающей тканью за счет расчета индекса (NDVI), без использования цифровой обработки изображения. Для получения высококонтрастных изображений сосудов под кожей чаще всего используют NIR - область спектра от 700 нм до 900 нм.

## **1. Материалы и методы**

Система получения гиперспектральных изображений показана на рис. 1. В данной системе использовалась спектральная камера, получающая изображения в видимом, а также в ближнем ИК-диапазоне, то есть от 400 до 1000 нм, со спектральным разрешением 4,2 нм, что является шириной каждого канала захваченного спектра. Общее количество каналов составляет 250, что дает среднее расстояние 0,6 нм между каждой центральной длиной волны. Эта камера обеспечивает высокое пространственное и спектральное разрешение с регулируемым полем зрения для сканирования. Для освещения использовалась галогенная лампа мощностью 1500Вт, установленная на расстоянии около 120 см от предплечья как можно ближе к оптической оси экспериментальной установки. Камера установлена на расстоянии около 100 см от предплечья. Мы получили изображения области предплечья, так как нас интересуют подкожные кровеносные сосуды этой области.

Полное изображение сцены на каждой отдельной длине волны получается и сохраняется в виде куба. Этот гиперспектральный подход позволяет нам глубже изучить спектральную реакцию тканей кожи и кровеносных сосудов в зависимости от длины волны освещения. Программное обеспечение Basler использовалось для настройки параметров камеры и сбора данных. Время сканирования гиперспектрального изображения для одного объекта составляет около 40 с. Это зависит от выбранного диапазона сканирования камеры, используемой с датчиком. Нашей целевой областью была предплечье 35-летнего молодого

человека, поэтому выбран диапазон сканирования около  $35^\circ$  (который охватывает область от локтя до кончиков пальцев).

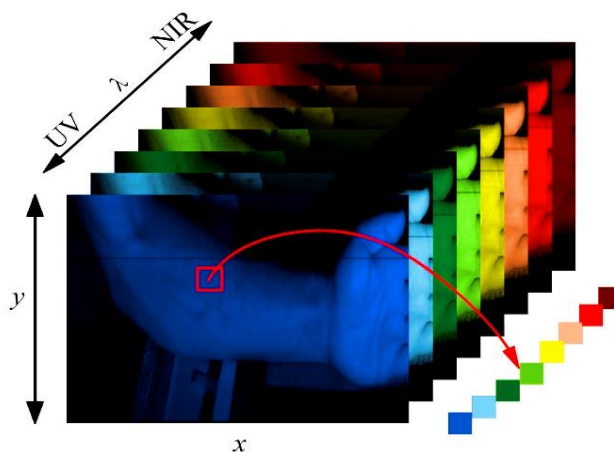


**Рис. 1.** Система гиперспектральной визуализации для сбора данных: 1) предплечье человека; 2) гиперспектрометр; 3) источник света; 4) компьютер с предварительной обработкой изображения; 5) импульсный двигатель, соединенный с камерой

Съемка производилась сканированием, путем установки гиперспектральной камеры на специальный съемочный штатив, оснащенный приводом углового вращения с возможностью регулировки скорости вращения. При записи изображений гиперспектрометром были получены спектральные 1000 изображений различных длин волн в диапазоне длин волн RGB от 400 до 1000 нм в формате JPG с разрешением  $1020 \times 1022$  пикселей.

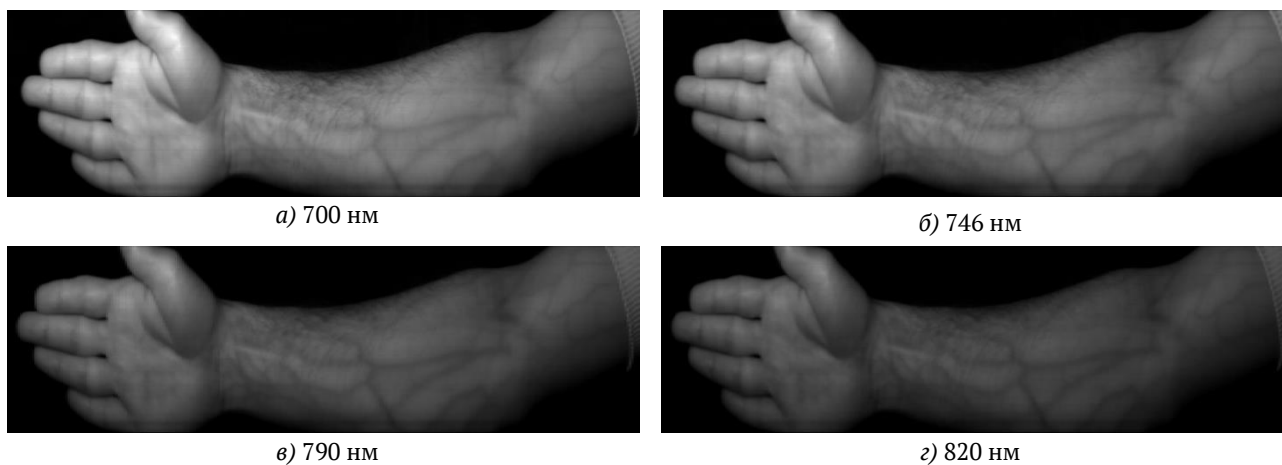
Затем из собранных данных получается «гиперкуб» или «модель изображения куба», показанная на рис. 2. Это трехмерный массив данных, включающий два пространственных измерения (компоненты изображения) и одно спектральное измерение.

Для сбора гиперкуба создан программный комплекс для обработки спектральных изображений, приняты математические алгоритмы для расчета спектральных индексов с помощью программного обеспечения (hyper & HSIT).



**Рис. 2.** Гиперспектральный куб, полученный с помощью установки для получения гиперспектральных изображений

На рис. 3 показана группа спектральных 2D каналов с разной длиной волны подкожных сосудов и окружающими тканями от 700 нм до 820 нм, но не высокой контрастности, полученных с помощью программы HSI. Для повышения контрастности необходимо рассчитать индекс, о котором будет сказано ниже.



**Рис. 3.** Группа спектральных каналов с разной длиной волны

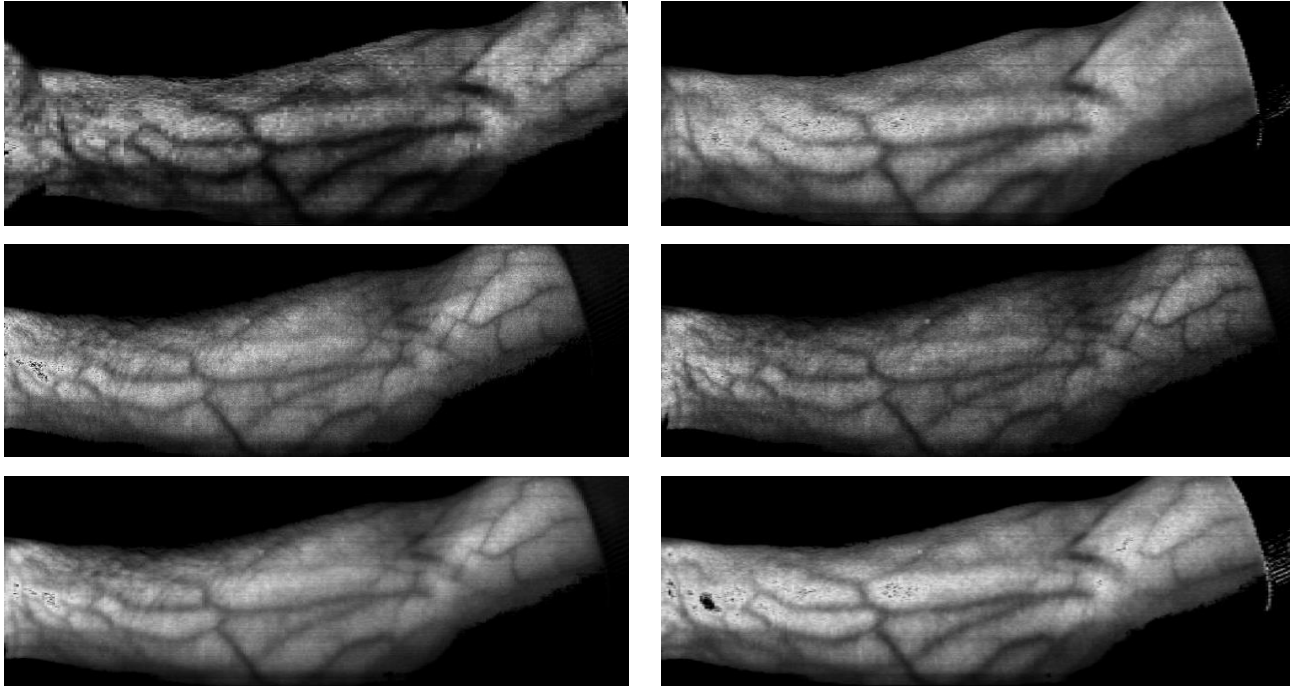
## 2. Метод расчета индекса

Значение сосудистого индекса можно рассчитать с помощью программы Нурег. Для этого вычислялось индексное изображение по формуле, похожей на формулу вычисления индекса NDVI:

$$R_{ij} = \frac{I_{\lambda_i} - I_{\lambda_j}}{I_{\lambda_i} + I_{\lambda_j}}, \quad (1)$$

где  $R_{ij}$  — индексное изображение,  $I_{\lambda_i}$  — изображение на длине волны  $\lambda_i$ ,  $I_{\lambda_j}$  — изображение на длине волны  $\lambda_j$

В данном исследовании из всех комбинаций спектральных каналов рассчитывается полномасштабное гиперспектральное изображение, а затем по полученному набору индексных изображений определяются длины волн, при использовании которых целевой объект наиболее четко отображается на индексном изображении. Этот метод довольно трудоемок, так как, например, при 250 спектральных каналах, получаемых гиперспектрометром, получается  $250 \times 250 = 62250$  индексных изображений, и интенсивность света камеры чувствительна в диапазоне длин волн от 400 до 1000 нм, как показано на рис. 4. Контраст между подкожными кровеносными сосудами и окружающей тканью значительно увеличился.



**Рис. 4.** Двухволновое индексное изображение для более контрастной видимости между кровеносными сосудами и окружающей тканью

### **Заключение**

Гиперспектральная визуализация может одновременно получать двумерные изображения и информацию о спектральной области. Полученные двухволновые индексные изображения сосудов кожи человека имеют высокую контрастность, а при применении гиперспектрального индекса контраст между окружающей тканью и кровеносными сосудами значительно увеличивается. Результаты, полученные в этом исследовании с помощью гиперспектрометра, подтвердили свое важное исследовательское значение в биомедицине. Предложенный метод оказался эффективным, а также недорогим и простым в получении гиперспектральных изображений высокого разрешения.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 20-69-47110.

### **Список источников**

- [1] **Lamperti, M.** Difficult peripheral veins: Turn on the lights / M. Lamperti, M. Pittiruti // Br. J. Anaesth. — 2013. — Vol. 110. — P. 888–891. — DOI:10.1093/bja/aet078.
- [2] **Abd Rahman, A. B.** Near Infrared Illumination Optimization for Vein Detection: Hardware and Software Approaches / A. B. Abd Rahman, F. Juhim, F. P. Chee, A. Bade, F. Kadir // Applied Sciences. — 2022. — Vol. 12. — № 21. — P. 11173. — DOI:10.3390/app122111173.
- [3] **Yen, K.** New Biomedical Devices That Use Near-Infrared Technology to Assist with Phlebotomy and Vascular Access / K. Yen, M. H. Gorelick // Pediatric Emergency Care. — 2013. — Vol. 29. — № 3. — P. 383 — 385. — DOI: 10.1097/PEC.0b013e31828680f9.

- [4] **Shahzad, A.** A review on subcutaneous veins localization using imaging techniques / A. Shahzad, M. Naufal Mohamad Saad, N. Walter, A. Saeed Malik, F. Meriaudeau // *Current Medical Imaging*. — 2014. — Vol. 10. — № 2. — P. 125-133.
- [5] **Mzoughi, M.** Blood vessel detection using hyperspectral imaging / M. Mzoughi, D. Thiem, Hornberger, C // *Current Directions in Biomedical Engineering*. — 2022. — Vol. 8. — № 2. — P. 715-718. — [DOI:10.1515/cdbme-2022-1182](https://doi.org/10.1515/cdbme-2022-1182).
- [6] **Katrašnik, J.** Contrast enhancement of subcutaneous blood vessel images by means of visible and near-infrared hyper-spectral imaging / J. Katrašnik, M. Bürmen, F. Pernuš, B. Likar // *SPIE Conference Proceeding*. — 2009. — Vol. 7259. — P. 737-745. — [DOI:10.1117/12.812438](https://doi.org/10.1117/12.812438).
- [7] **Goel, M.** HyperCam: hyperspectral imaging for ubiquitous computing applications / M. Goel, E. Whitmire, A. Mariakakis, T. S. Saponas, N. Joshi, D. Morris, B. Guenter, M. Gavriliu, G. Borrielo, S. N. Patel // *UBICOMP Conference Proceeding*. — 2015. — P. 145-156.
- [8] **Wang, F.** High-contrast subcutaneous vein detection and localization using multispectral imaging / F. Wang, A. Behrooz, M. Morris, A. Adibi // *Journal of biomedical optics*. — 2013. — Vol. 18. — № 5. — P. 050504-1–050504-3.
- [9] **Hamza, M. M.** Spectral lenses to highlight blood vessels in the skin / M. M. Hamza, V. A. Blank, V. V. Podlipnov, L. L. Doskolovich, R. V. Skidanov, B. Fan // *Computer Optics*. — 2022. — Vol. 46. — № 6. — P. 899-904.

## Hyperspectral index for detecting subcutaneous blood vessels

*M. M. Hamza<sup>1</sup>, R. V. Skidanov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Samara National Research University, 443086, Samara, Russia, Moskovskoye Shosse 34

<sup>2</sup>Image Processing Systems Institute of the RAS—Branch of the FSRC «Crystallography and Photonics» of the RAS, Samara, Russia

Visualization of subcutaneous blood vessels with the naked eye is very difficult, but important for the diagnosis of diseases and various medical procedures. Incorrect blood sampling can bring discomfort and pain to a patient whose veins are difficult for a healthcare professional to see. To mitigate this problem, created a method for visualizing blood vessels based on the use of a two-wavelength index image in the spectral range from 400 to 1000 nm to highlight blood vessels. As a result, hyperspectral images were obtained and the image index was calculated using a formula similar to the formula for calculating the NDVI index for enhancing the contrast of blood vessels under the skin. Thus, the proposed method has proven to be a useful tool for imaging subcutaneous blood vessels.

*Keywords:* Blood vessels under the skin, Hyperspectrometer, Spectral analysis, Hypercube, Index calculation.