

ОТЗЫВ

Официального оппонента,
кандидата физико-математических наук, доцента
Федосова Ивана Владленовича
на диссертацию Хамзы Мохаммеда Мохей Хамза
«Метод персонализированной визуализации вен на основе индексных
изображений»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических
наук по специальности 2.2.12. – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

Актуальность темы диссертации определяется растущей потребностью в эффективных, безопасных и недорогих методах визуализации подкожных вен, особенно в контексте медицинских процедур, таких как венепункция, введение катетеров и мониторинг состояния пациентов. Гиперспектральная визуализация в ближнем инфракрасном диапазоне, в частности, открывает новые горизонты для медицинских приложений, который позволяет получить высококачественные изображения сосудов на основе спектрального анализа, минимизируя дискомфорт для пациентов и риски, связанные с инвазивными методами. Это может значительно улучшить точность определения местонахождения подкожных вен, что особенно важно в сложных клинических ситуациях или у пациентов с труднодоступными венами, такими как дети или пожилые люди, а также у людей с темным цветом кожи. Ввиду отмеченного выше выбранная тема диссертации М.М.Х. Хамзы представляется актуальной и своевременной, так как направлена на поиск новых неинвазивных методов визуализации подкожных вен на основе индексных изображений.

Содержание работы. В диссертационной работе разработаны и подробно изложены методы для повышения среднего контраста изображений подкожных вен человека. Разработана группа оптических методов визуализации подкожных вен на основе использования индексных изображений. Диссертация и автореферат производят хорошее впечатление, грамотно оформлены, содержат результаты оригинальных научных исследований.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, приведён обзор существующих работ, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные результаты работы, их научная новизна, приведены положения, выносимые на защиту, описана структура диссертации.

В первой главе представлен краткий обзор составляющих кожи и кровеносных сосудов, анатомии, физиологии кожи, и оптических свойств подкожной жировой ткани. Также было предоставлено описание основных взаимодействий видимого света с кожей, в том числе поглощение, отражение,

преломление, рассеяние. Также были объяснены и подробно описаны основные принципы гиперспектральной визуализации в ближнем инфракрасном диапазоне с подробным разбором оптического оборудования и инструментов, необходимых для гиперспектральной визуализации подкожных вен. Самый важный аспект первой главы заключается в анализе исследований в период с 2004 по 2022 год, которые были связаны с созданием прототипа прибора для визуализации подкожных вен на основе анализа гиперспектральных изображений.

Во второй главе представлен метод расчета функции среднего контраста по всей площади изображения. На основе этого метода осуществляется автоматический поиск по массивам рассчитанных двух и трехволновых индексных изображений, который позволяет определить те из них, которые обладают максимальным контрастом. Сформированные индексные изображения на основе использования формулы NDI имеют наиболее высокий контраст при использовании диапазонов длин волн от 528 нм до 548 нм и от 573 нм до 595 нм. Формируется картина подкожных вен с контрастом выше 0,1 для очень светлой, светлой кожи. Очень важно, что в отличие от всех известных методов визуализации подкожных вен, визуализация может быть осуществлена без использования освещения ближнего инфракрасного диапазона. Увеличение количества спектральных диапазонов, используемых при расчете в индексных формулах до трех, позволяет получить один набор диапазонов длин волн, дающий относительно высокий контраст, сопоставимый по абсолютному значению для любых типов кожи. В частности, были найдены три диапазона длин волн: $\lambda_1 = 705-715$ нм, $\lambda_2 = 735-745$ нм, $\lambda_3 = 875-895$ нм, при которых средний контраст картины подкожных вен был выше 0,12 для всех типов кожи, причем возможен подбор длины волны в пределах указанных диапазонов персонально для каждого человека.

В третьей главе представлен метод для выделения узких спектральных каналов с использованием дифракционного оптического элемента нового типа - СДЛ, которая формирует в +1 и -1 порядках изображения для длин волн 735 нм и 835 нм соответственно. Полученные с использованием СДЛ индексные изображения подкожных вен человека имеют средний контраст, сопоставимый со средним контрастом индексных изображений, полученных при использовании гиперспектрометра, а также меньшее время сканирования.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением полученных в диссертации результатов с другими методами, так же подтверждается воспроизводимостью как экспериментальных, так и расчетных данных. Результаты исследования соответствуют данным, представленным в работах других авторов, что усиливает их надежность, значимость и актуальность проведенного исследования подтверждают

публикации в российских и международных рецензируемых научных журналах

Научная новизна диссертации заключается в нескольких ключевых аспектах: разработка методов визуализации использующие двухволновое и трёхволновое индексное изображение, последнее повышает эффективность визуализации; использование спектральной линзы для формирования индексного изображения на основе формулы нормализованного разностного индекса помогает улучшить качество изображений и сократить время получения результатов; полученные результаты при визуализации вен под темной кожей человека являются важным вкладом в медицину, так как это может значительно облегчить процедуры, связанные с доступом к венам, например, при взятии крови или установке катетеров.

Положения и результаты, выносимые на защиту, логически вытекают из проведенного исследования и подтверждают их обоснованность и достоверность, а именно: эффективность новых методов визуализации, воспроизводимость экспериментальных данных, согласованность с независимыми исследованиями, подчеркивают значимость работы и её вклад в развитие области медицинской визуализации.

По теме диссертационной работы автором опубликовано 7 работ, в том числе 3 работы в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science (WoS), 4 статьи в сборниках материалов научно-технических конференций, для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Теоретическая значимость заключается в использовании данных из нескольких узких спектральных диапазонов позволяет более точно выявлять венозную сеть, а расчёт индексных изображений на основе новых индексных формул открывает перспективы для дальнейших исследований в области медицинской визуализации.

Практическая значимость исследования заключается в возможности улучшить процесс венепункции, что, в свою очередь, приведет к снижению числа ошибок и повышению безопасности для пациентов. Успешное внедрение результатов в компании ООО «Медэкс» и ИСОИ РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук подтверждает актуальность и востребованность исследования в практической медицине и научной сфере. Полученные акты внедрения подчеркивают значимость работы как для науки, так и для практического здравоохранения.

Автореферат удовлетворяет предъявляемым требованиям, четко и лаконично излагает основные идеи исследования, цели, методы, полученные результаты и их значимость.

Замечания и вопросы по диссертационной работе и автореферату

1. В третьей главе диссертации рассматривается метод визуализации подкожных вен с использованием спектральной линзы. Разработанная спектральная линза обеспечивает визуализацию в спектральных полосах 735 нм и 835 нм шириной 20 нм каждая. При этом получение одного кадра методом линейного сканирования занимает несколько десятков секунд, что, очевидно, неприемлемо для практического использования метода при венепункции.

В настоящее время коммерчески доступны светоизлучающие диоды и матрицы светоизлучающих диодов мощностью до 50 Вт, излучающие в диапазонах 735 нм и 840 нм, с типичной шириной спектра 20 нм [<https://doi.org/10.3390/s24165229>].

Камера Basler acA 1920-40um, использованная в установке (рис.3.4) имеет возможность электронной синхронизации кадров с внешним источником освещения [<https://doi.org/10.1002/jbio.201700343>], что делает возможным поочередную, через 1 кадр, регистрацию изображений при освещении объекта излучением 735 нм и 840 нм. Светоизлучающие диоды обладают низкой инерционностью и длительность их включения/выключения не превышает 10 нс. При максимальном разрешении 1920×1080 пикселей камера обеспечивает частоту 40 кадров в секунду. Применение поочередного светодиодного освещения позволяет реализовать визуализацию вен в режиме реального времени с частотой 20 кадров в секунду, что вполне достаточно для выполнения медицинских манипуляций.

С учетом невысокой стоимости светоизлучающих диодов и современных цифровых камер, в чем заключается преимущество метода, основанного на использовании спектральной линзы, перед описанным выше методом поочередного светодиодного освещения [<https://doi.org/10.3390/s24165229>], а также перед методом с разделением изображения в двух или трех полосах между несколькими камерами при помощи дихроичных зеркал и полосовых интерференционных фильтров [<https://doi.org/10.3390/coatings14020235>]?

2. В описании системы на основе спектральной линзы, показанной на рис. 3.4 (стр.87) не указана марка объектива. Также не указана марка объектива, упомянутого как «штатный» в подписи к рис.3.10(д) (стр.93) Исходя из фотографических изображений, представленных на рис.3.4, в установке использована одна из модификаций объектива Гелиос-44, разработанного для работы с фотографической пленкой. Также, как и объектив Юпитер-21М, использованный в гиперспектральной камере на рис.2.3, этот объектив обладает сравнительно невысокой разрешающей способностью 50–30 пар линий на мм, что делает нецелесообразным его использование с цифровыми датчиками изображения с размером пикселя 5 мкм и менее.

Разрешающая способность объектива имеет решающее значение для передачи яркостного контраста объекта. В тексте диссертации отсутствует информация о пространственной способности примененных соискателем оптических систем, нет данных о размере поля зрения и отсутствующим размерным шкалам на приведенных изображениях. На рис.3.10 видно, что разрешение мультиспектрального изображения очень низкое, приблизительно 5 мм/пиксель в плоскости объекта. Очевидно, что столь низкое разрешение недостаточно для контрастной визуализации подкожных вен средним диаметром около 5 мм и менее. Оценивалось ли соискателем возможное влияние пространственной разрешающей способности оптических систем для регистрации мультиспектральных и гиперспектральных изображений на контраст индексных изображений подкожных вен?

3. На рис. 2.19 (а, б, д, е) в тексте диссертации замечен эффект т.н. «постеризации» – сжатия глубины (разрядности) передачи яркости цифрового изображения, в виде хорошо различимых контуров постоянной яркости. Является ли этот эффект следствием низкой чувствительности гиперспектрометра в данных диапазонах или связан с особенностями подготовке изображений к публикации?

Аналогичный эффект постеризации присутствует на рис. 3.8 и рис. 3.9 – необработанных изображениях, полученных системой на основе спектральной линзы.

4. На рис. 2.5 (стр. 41) представлены снимки образцов разных типов кожи, снятых RGB камерой. Изображения представлены таким образом, что яркость кожи всех типов выглядит примерно одинаковой, вместе с тем хорошо заметно, что для темных типов кожи фон выглядит более светлым, чем для более светлых. Эти изображения представлены для наглядности и не используются в анализе. Тем не менее можно порекомендовать для документальной съемки образцов кожи использовать фиксированную экспозицию камеры или применять серую карту для замеров экспозиции, с целью более достоверной иллюстрации различий в отражательной способности кожи разных типов.

5. В тексте работы присутствует ряд недочетов оформления, в частности на стр.7 четвертая строка снизу вместо «подкожных вен» следует читать «подкожных кровеносных сосудов», так как далее по тексту речь идет об артериях; на стр. 34 опечатка в индексе « m_{in} » в формуле 2.1; подписи по осям на графиках рис. 2.11 (стр. 47) и рис. 3.3 (в) (стр. 86) слишком мелкие и трудночитаемые.

Отмеченные недостатки действительно не являются принципиальными и не умаляют общей значимости работы, ее научной новизны и практической ценности.

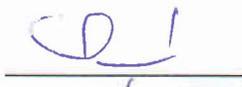
Заключение

Диссертационная работа Хамзы Мохаммеда Мохей Хамза является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Работа имеет научную новизну, результаты работы достоверны и имеют практическое применение. Основные результаты диссертации опубликованы в международных журналах и были представлены на научных конференциях. Диссертационная работа имеет четкую структуру, написана грамотно и отвечает всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук и полностью соответствует паспорту специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

На основании этого считаю, что автор диссертационной работы, Хамза Мохаммед Мохей Хамза, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Доцент кафедры оптики и биофотоники
ФГБОУ ВО «Саратовский национальный
исследовательский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского» (СГУ),
кандидат физико-математических наук,
доцент

05.12.2024



Федосов Иван Владленович

Адрес:

e-mail: fedosov_optics@mail.ru

телефон: +7(8452)210-716

