

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

доктора физико-математических наук Ширшина Евгения Александровича
на диссертационную работу Денисенко Георгия Михайловича
«Неинвазивное определение концентрации гемоглобина в крови методами оптической
спектроскопии и визуализации»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.3.21. Медицинская физика.

Диссертационная работа Денисенко Георгия Михайловича посвящена разработке и исследованию оптических подходов к неинвазивному определению концентрации общего гемоглобина в крови. Актуальность диссертационной работы обусловлена высокой клинической значимостью своевременной оценки уровня гемоглобина и необходимостью разработки неинвазивных, точных и доступных медицинских устройств для его определения.

В ходе выполнения диссертационной работы Денисенко Г.М. получены результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью. Автором разработан метод неинвазивной оценки концентрации гемоглобина по цифровым изображениям ногтевого ложа и прилегающих тканей в видимом диапазоне; на когорте добровольцев показана возможность определения уровня общего гемоглобина в диапазоне 44–169 г/л со среднеквадратичной ошибкой порядка 20 г/л. Существенным результатом является проведенный анализ факторов, ограничивающих точность метода: установлена чувствительность определения общего гемоглобина к физиологическим воздействиям, изменяющим кровенаполнение тканей. Особо следует отметить разработанную автором процедуру персонализированной калибровки, позволяющую при использовании трёх референсных измерений снизить ошибку определения гемоглобина до 4–6 г/л. Наряду с этим в диссертации исследованы возможности спектроскопии диффузного отражения кожи в диапазоне 500–700 нм для бинарной классификации анемии; показано, что использование спектральных дескрипторов обеспечивает ROC-AUC=0.84, а объединение результатов спектроскопии диффузного отражения и оптической визуализации повышает качество классификации до ROC-AUC порядка 0.86. Кроме того, автором разработан и экспериментально валидирован подход к оценке концентрации общего гемоглобина на основе ближней инфракрасной визуализации сосудов в геометрии на пропускание, опирающийся на моделирование переноса излучения методом Монте-Карло. Показано, что учет геометрических параметров сосудов принципиально повышает точность восстановления общего гемоглобина на модельных данных, а при валидации *in vivo* достигнута согласованность с лабораторными измерениями со среднеквадратической ошибкой порядка 20.1 г/л.

Диссертационная работа Денисенко Г.М. выполнялась в период его обучения в аспирантуре Института регенеративной медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России. С первого года обучения в аспирантуре Денисенко Г.М. был

включён в научную работу лаборатории лазерной биофотоники кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Его первые исследования были посвящены изучению возможности определения коллагеновой компоненты в тканях и оптических фантомах методом оптической спектроскопии в ближней инфракрасной области в диапазоне 2100–2300 нм применительно к задаче диагностики остеоартрита. Полученные результаты были опубликованы в журнале *Biomedical Optics Express*, где Денисенко Г.М. являлся первым автором. Впоследствии Денисенко Г.М. сосредоточил свои исследования на задаче неинвазивного оптического определения концентрации гемоглобина в крови.

Представленная работа является законченным оригинальным исследованием, выполненным на высоком научно-методическом уровне с использованием современного оборудования и корректных методов анализа данных. Главным достоинством работы является то, что разработанные методы апробированы не только на модельных системах и биотканях *ex vivo*, но и в реальных клинических условиях. Помимо практического значения, полученные результаты имеют существенную научную ценность. Они вносят вклад в развитие представлений о связи оптических свойств биологических тканей с концентрацией общего гемоглобина в крови, а также создают основу для разработки новых медицинских устройств для его неинвазивного определения.

Денисенко Г.М. проявил высокий уровень самостоятельности, аккуратности и профессионализма на всех этапах работы. Им лично разработаны и реализованы схемы проведения измерений сначала на модельных объектах, а затем и в клинических условиях *in vivo*; также им выполнена статистическая обработка данных с использованием методов машинного обучения. Сильными сторонами Денисенко Георгия Михайловича являются умение разрабатывать и реализовывать оптические схемы, а также тщательно продумывать постановку и проведение экспериментов.

Следует также отметить высокую вовлечённость Денисенко Г.М. в научную деятельность лаборатории. Он принимал участие в смежных проектах, связанных с микроскопией поверхностного возбуждения в глубоком ультрафиолетовом диапазоне, применением метода пространственно-частотного модулирования света в задаче определения глюкозы, использованием мультиспектральной фотоплетизмографии в диагностических задачах, а также исследованием хрящевой ткани методами спектроскопии диффузного отражения и рамановской спектроскопии. Результаты исследований с участием Денисенко Георгия Михайловича неоднократно докладывались на российских и международных конференциях и публиковались в высокорейтинговых научных журналах, включая *Scientific Data* и *Scientific Reports*.

Считаю, что диссертационная работа Денисенко Георгия Михайловича «Неинвазивное определение концентрации гемоглобина в крови методами оптической

спектроскопии и визуализации» является завершённым научно-квалификационным исследованием, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.21. Медицинская физика.

Научный руководитель:

Ширшин Евгений Александрович
доктор физико-математических наук

Место работы и должность:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет, кафедра квантовой электроники, доцент

Е. А. Ширшин

(дата) 21.12.2025

Адрес места работы:

119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
тел.:

Специальность, по которой научным руководителем защищена докторская диссертация:

1.3.6. Оптика

Подпись Ширшина Евгения Александровича УДОСТОВЕРЯЮ:

Ученый секретарь ученого совета
физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.
доктора физико-математических наук

____ С.Ю.Стремоухов