

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научно-технологической деятельности и аттестации научных кадров ФГБОУ ВО

«Орловский государственный

университет имени И.С. Тургенева»,

доктор технических наук, профессор

С.Ю. Радченко



22 апреля 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Маркова Сергея Валерьевича «Исследование физических принципов акустооптического метода определения группы крови человека по системе АВ0», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.5.2. – Биофизика.

Диссертация Маркова Сергея Валерьевича посвящена исследованию и математическому моделированию процессов, протекающих в образцах крови при использовании седиментационного акустооптического метода типирования крови, а также разработке и определению оптимального цифрового метода обработки экспериментальных данных, обеспечивающего максимальную разрешающую способность данного подхода.

Актуальность темы диссертационной работы заключается в том, что определение групповой принадлежности крови человека по системе АВ0 представляет собой один из наиболее часто выполняемых иммунологических тестов в клинической и лабораторной практике. Высокая частота его применения обуславливает необходимость разработки специализированной аппаратуры — автоматических анализаторов, способных осуществлять

инструментальное типирование группы крови.

Одной из ключевых характеристик таких приборов выступает их разрешающая способность, под которой понимается чувствительность метода к различению положительной и отрицательной реакции агглютинации. В научной литературе данный параметр трактуется по-разному. Так, в ряде исследований разрешающая способность определяется через различие в тангенсах углов наклона спектральных кривых, соответствующих положительным и отрицательным реакциям агглютинации в заданном диапазоне длин волн. Значительное внимание уделено совершенствованию указанного спектрофотометрического подхода. В некоторых публикациях вводится понятие порогового значения разрешения, однако достигнутые в рамках этих работ результаты остаются ограниченными, что подчёркивает сохраняющуюся актуальность задачи повышения разрешающей способности методов типирования и реализующих их технических средств.

Особо следует отметить требования трансфузионной практики, в которой возможная ошибка при определении группы крови донора и реципиента недопустима. В альтернативных подходах величина разрешения оценивается через отношение оптических сигналов, регистрируемых при положительной и отрицательной реакции агглютинации.

Одним из перспективных направлений повышения разрешающей способности и, соответственно, достоверности типирования является применение ультразвукового воздействия на образцы крови. Экспериментально установлено, что в таких условиях наблюдается существенное различие в скорости седиментации между образцами с положительной и отрицательной реакцией. В результате, к определенному моменту времени проба с положительной агглютинацией становится практически прозрачной, тогда как образец с отсутствием агглютинации сохраняет оптическую мутность. Оценка оптических характеристик среды позволяет судить о наличии или отсутствии агглютинации, а следовательно

— о групповой принадлежности исследуемой пробы.

Следует подчеркнуть, что разработанная в рамках настоящего исследования версия акустооптического метода типирования крови демонстрирует высокие показатели разрешающей способности, что напрямую влияет на достоверность получаемых результатов. Для сравнения, в первых публикациях по данной тематике разрешающая способность не превышала нескольких единиц или десятков. По мере развития метода данный показатель достиг значений порядка сотен и даже тысяч, что открывает возможность достоверного типирования пробы крови не только в стандартных условиях, но и при слабовыраженных реакциях агглютинации.

Научная новизна и практическая значимость проведённых исследований и полученных результатов

В рамках настоящей работы были исследованы физические процессы, протекающие в образцах крови при их использовании в акустооптическом методе определения их групповой принадлежности. Разработаны и экспериментально проверены как механическая, так и теоретические модели, описывающие процессы седиментации и группировки эритроцитов и их агрегатов под воздействием ультразвука. Указанные процессы рассматриваются в контексте их описания с точки зрения коллективного подхода.

Кроме того, были созданы и апробированы программные методы обработки экспериментальных данных, существенно повышающие разрешающую способность акустооптического метода, что, в свою очередь, позволит с высокой точностью определять группу крови исследуемой пробы даже в сложных диагностических случаях. Максимальное значение разрешающей способности, достигнутое в рамках данной работы, составило $2,5 \times 10^6$.

Достоверность полученных результатов подтверждается их воспроизводимостью и соответствием данным, представленным в независимых исследованиях других авторов, работающих в смежной научной

области. Надежность экспериментальных данных обеспечена применением современной цифровой измерительной аппаратуры. Все выявленные закономерности, математические соотношения и описания физических моделей основаны на тщательном анализе экспериментальных данных с использованием современных методов обработки информации, принятых в физике и биофизике.

Объём и структура диссертации

Диссертация включает введение, пять глав основного содержания, заключение, список использованных источников и приложение. Основной материал изложен на 148 страницах, содержит 46 иллюстраций и 7 таблиц. Библиографический список насчитывает 95 наименований.

Содержание работы

В первой главе изложено краткое описание ключевых биофизических процессов, имеющих непосредственное отношение к акустооптическому методу типирования крови — агрегации и агглютинации эритроцитов. Также приведён обзор современных научных публикаций, отражающих текущее состояние исследований в данной области.

Вторая глава посвящена рассмотрению основных характеристик акустооптического метода типирования крови, принципов его работы, преимуществ по сравнению с традиционными подходами, а также анализу результатов, получаемых с его помощью.

В третьей главе раскрывается концепция коллективного подхода, лежащего в основе построения моделей исследуемых процессов. Представлены результаты исследования седиментации: отдельно рассматриваются оседание одиночных эритроцитов, их агрегатов и агглютинатов. Для описания данных процессов предложены математические и механические модели. Полученные экспериментальные данные удовлетворительно сопоставляются с результатами моделирования, что подтверждает состоятельность предложенных моделей и коллективного подхода в целом.

Четвёртая глава посвящена анализу влияния ультразвукового воздействия на образцы крови. Рассматривается процесс пространственной группировки эритроцитов в поле стоячей ультразвуковой волны, как в присутствии, так и в отсутствии гемагглютинирующих агентов (цоликлонов). Представлена математическая модель данного явления, проведено сравнение теоретических расчетов с экспериментальными результатами.

В пятой главе описаны разработанные в рамках диссертационной работы цифровые и статистические методы обработки экспериментальных данных, полученных при использовании АОМ. Особое внимание уделено влиянию выбора алгоритма обработки на итоговую разрешающую способность метода.

В заключении сформулированы основные выводы, отражающие итоги проведенного исследования, а также обозначены перспективные направления дальнейшей работы в рамках рассматриваемой научной тематики.

По содержанию и оформлению работы сформированы следующие замечания и вопросы

1. Какая цель у исследования седиментации по всему представленному в работе диапазону содержания цельной крови в образцах?
2. Какой объём крови необходим для определения групповой принадлежности одной пробы крови и какое время требуется для этого?
3. Какое принципиальное отличие чистого образца от образца с отрицательной реакцией агглютинации?
4. В чём заключается новизна понятия "коллективный процесс" относительно седиментации крови?
5. Определяет ли акустооптический метод подгруппы крови?
6. Какой процент ошибочного определения группы крови имеет акустооптический метод, представленный в работе и в чём преимущество по сравнению с используемыми в настоящее время методами типирования крови?
7. В чём заключается применение цифровых способов регистрации,

обработки и интерпретации результата акустооптического метода?

Следует отметить, что данные замечания носят частный рекомендательный характер и не снижают общего положительного впечатления от работы. Однако, следует подчеркнуть, результаты представленного диссертационного исследования на данный момент имеют большую значимость для фундаментальных биофизических исследований и требуют дальнейшей проработки для внедрения непосредственно в клиническую практику.

В целом, необходимо отметить, что диссертация Маркова С.В. является законченным научным исследованием, направленным на решение актуальной проблемы биофизики. Результаты проведённого диссертационного исследования представлены в 9 научных статьях, 4 из которых – в изданиях, индексируемых в ВАК, Web of Science и Scopus. Результаты работы в достаточной мере апробированы путём представления докладов на российских и международных конференциях.

Проверка степени оригинальности диссертационной работы и доли содержания в ней заимствований в системе «Антиплагиат» показала, что с учётом приоритета по времени первичного опубликования результатов работы Маркова С.В. (в соавторстве) степень оригинальности диссертации в процентном соотношении составляет 95,34%.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что по актуальности решаемых задач, объёму проведённых исследований, уровню анализа их результатов, и научной значимости этих результатов диссертация Маркова С. В. является законченным научным исследованием. Защищаемые научные положения и результаты работы в достаточной степени обоснованы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертация «Исследование физических принципов акустооптического метода

определения группы крови человека по системе АВ0» является законченной научно-квалификационной работой, полностью соответствует паспорту специальности 1.5.2. Биофизика и требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в текущей редакции), и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, Марков Сергей Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.5.2. – Биофизика.

Диссертация обсуждена и отзыв на диссертацию утверждён на заседании научно-технологического центра биомедицинской фотоники ОГУ им. И.С. Тургенева (протокол заседания №2 от 18 апреля 2025 г.).

Ведущий научный сотрудник
научно-технологического центра
биомедицинской фотоники, профессор
кафедры приборостроения, метрологии
и сертификации
доктор технических наук, доцент

Дунаев Андрей Валерьевич

«22» апреля 2025 г.

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

302026, Российская Федерация, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

<https://oreluniver.ru/>

тел: +7(4862) 751-318

e-mail: info@oreluniver.ru