ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Зотова Арсена Кареновича

«Оптические методы мониторинга криодеструкции биологических тканей с использованием сапфировых криоаппликаторов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа А.К. Зотова посвящена разработке оптических методов мониторинга формирования ледяного слоя в биологических тканях в процессе криодеструкции с использованием сапфировых криоаппликаторов. Автор решает комплексную задачу, включающую выращивание профилированных кристаллов сапфира сложной геометрии, экспериментальное сравнение эффективности сапфировых и металлических криоаппликаторов, моделирование диффузного рассеяния в двухслойной среде и создание методов мониторинга на основе диффузного отражения и терагерцовой импульсной спектроскопии.

Криохирургия относится к числу востребованных минимально инвазивных технологий современной медицины. Точность криовоздействия зависит от того, насколько надёжно можно определить положение фронта замораживания в ходе процедуры. Традиционные металлические криоаппликаторы обладают рядом ограничений, связанных с неоднородностью теплового поля, адгезией биологических тканей и сложностью интеграции оптических методов контроля. Возможности УЗИ, МРТ и КТ для контроля криодеструкции зависят от геометрии доступа, оснащения операционной и совместимости оборудования с криоинструментом. В связи с этим разработка оптических методов мониторинга процесса криодеструкции и создание криоаппликаторов на основе профилированных кристаллов сапфира, сочетающих высокую теплопроводность при криогенных температурах, химическую инертность и оптическую прозрачность, представляют собой актуальное направление современной биофотоники и медицинской физики.

Научная новизна работы состоит в разработке и экспериментальной апробации новых методов оценки толщины замороженного слоя в процессе криовоздействия. В одном из методов толщина восстанавливается по пространственно-разрешённым измерениям диффузного отражения через сапфировый криоаппликатор с использованием диффузионной модели двухслойной среды. В другом методе используется ТГц импульсная спектроскопия, чувствительная к диэлектрическому контрасту между замороженной и незамороженной тканями. Впервые получены количественные данные о динамике охлаждения тканевых фантомов при использовании сапфировых и металлических криоаппликаторов.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанные сапфировые криоаппликаторы и новые методы оптического мониторинга криодеструкции могут быть использованы в практической криохирургии для повышения её безопасности, позволяя оценивать толщину формируемого ледяного слоя. В экспериментах на фантомах метод диффузного отражения позволил оценивать толщину замороженного слоя до 8 мм без дополнительных датчиков и средств визуализации в рабочей схеме. Экспериментально продемонстрированы практические преимущества использования сапфировых криоаппликаторов по сравнению с металлическими: достижение более низких температур, более высоких скоростей охлаждения биологической ткани и формирование ледяного слоя большего объёма. Полученные выражения для программного изменения весового сигнала в процессе формирования переходной трубчато-монолитной зоны полого сапфирового криоаппликатора позволяют выращивать полые кристаллы различного диаметра и геометрии, предотвращая образование газовых включений.

К автореферату имеются следующие замечания:

1. В экспериментах на фантомах частотный и стационарный методы измерения диффузного отражения дали близкие результаты по точности восстановления толщины замороженного слоя (рис. 8 и 10 автореферата). В каких условиях применение метода с модуляцией интенсивности излучения даёт практически значимый выигрыш?

2. На с. 5 автореферата заявлена новая математическая модель диффузно рассеянного излучения при формировании ледяного слоя. Решение уравнения диффузии для слоистой рассеивающей среды ранее было опубликовано Liemert и Kienle. По приведённому описанию научная новизна наиболее ясно прослеживается в методике восстановления толщины замороженного слоя по пространственно-разрешённым измерениям диффузного отражения. Было бы полезно конкретизировать, в чём состоит новизна самой математической модели.

3. Характеристика оптоакустического мониторинга на с. 8 требует уточнения. Ларин и соавт. показали возможность оценки толщины замороженной зоны в образце печени ex vivo, а Петрова и соавт. продемонстрировали термометрию прилегающей незамороженной ткани in vivo во время криовоздействия. Было бы полезно указать, к какой из этих задач относится утверждение о росте погрешности in vivo и какими данными оно подтверждается.

Кроме того, в автореферате найдены две опечатки:

1. На с. 17 указана частота модуляции 110 ГГц. По-видимому, имеется в виду 110 МГц.

2. На с. 16 в выражении для mueff перед формулой (17) в скобках стоит разность mua и mus'. По-видимому, между данными величинами должен стоять знак «+».

Высказанные замечания касаются изложения отдельных положений автореферата и не снижают научной ценности полученных результатов.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, перечисленным в «Положении о присуждении ученых степеней» ВАК РФ (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, ред. от 16.10.2024), а её автор, Зотов Арсен Каренович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Турчин Илья Викторович,

кандидат физико-математических наук,

заведующий отделом радиофизических методов в медицине Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

_____/ Турчин И.В.

Согласен на обработку персональных данных

_____/ Турчин И.В.

«16» ноября 2026 г.

Подпись Турчина Ильи Викторовича заверяю:

Ученый секретарь ИПФ РАН,
канд. физ.-мат. наук _____ /Корюкин Игорь Валерьевич