

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Потлова Антона Юрьевича *«Методы и средства оптической когерентной эластографии мягких биологических тканей с использованием экзогенных и эндогенных деформирующих воздействий»*, представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

Крепкое здоровье представляет собой важнейшую потребность человека и одну из ключевых ценностей современного мира. Заболевания, как нарушения нормальной жизнедеятельности, ограничивают нас в способности развиваться, реализовывать свои планы, преодолевать трудности. В связи с чем, медицина одна из немногих сфер жизни, в которой одновременно применяются практически все современные научные и научно-технические достижения человечества. Передовые решения в области оптики, акустики, электроники, механики, пневматики, гидравлики, информационных технологий, материаловедения, даже ядерной физики – все это аспекты современного медицинского приборостроения. Разработка методов и средств, упрощающих процесс постановки корректного диагноза, ускоряющих этот процесс, снижающих риск медицинских ошибок, уменьшающих инвазивность и дискомфорт для пациента и т. п. актуальна и будет оставаться таковой еще довольно долгое время.

Диссертационная работа Потлова А.Ю. посвящена расширению диагностического потенциала метода оптической когерентной эластографии, повышению удобства ее использования, созданию предпосылок для более широкого реального клинического применения. Разрабатываемые диссертантом методы, алгоритмы, аппаратные и программные средства направлены на нахождение баланса между преимуществами (микронное пространственное разрешение, относительная безвредность используемого излучения, коммерческая доступность и приемлемая стоимость комплектующих) и недостатками (высокая чувствительность к артефактам объемного движения, эффектам скольжения и прилипания, контуру границ, геометрии приложения деформирующей силы) систем для оптической когерентной эластографии. В частности, решается важная научная проблема, связанная с реализацией потребности как отечественного, так и международного медицинского сообщества в наличии отдельного, дополнительного к известным «режима работы без жесткой взаимной фиксации сканирующего волоконно-оптического зонда и сканируемого биообъекта» для оптической когерентной эластографии.

Для решения вышеуказанной проблемы диссертантом предлагаются многочисленные оригинальные методологические, аппаратные и программные усовершенствования. При этом особого внимания заслуживают три аспекта. Проведенные диссертантом достоверные компьютерные и

натурные эксперименты по оценке пространственного распределения механического напряжения под нагруженной областью показали, что в большинстве случаев форма профиля деформирующего воздействия плохо предсказуема. В связи с чем, предложено оценивать ее по факту с использованием тонкопленочной матрицы датчиков давления. Это прямая аналогия с технологиями, применяемыми в современной стоматологии для оценки и пространственного картирования давления на поверхности зубов при их смыкании (прикуса). Применительно, к оптической когерентной эластографии, тонкопленочная матрица датчиков давления была расположена диссертантом в виде кольца на торцевой части катетеров эндоскопических зондов и в виде цилиндра на боковой поверхности катетеров интраваскулярных зондов. Компьютерная обработка организована посредством кубической интерполяции преобразованных разрешенных данных с использованием триангуляции Делоне. Продемонстрированный в автореферате результат – реконструкция профиля деформирующего воздействия с точностью до 0.1 кПа (как в статике, так и в динамике) достоверен, оригинален и важен для практики.

Второй аспект связан с коррекцией артефактов объемного движения. С аппаратной точки зрения катетеры волоконно-оптических зондов дополнены находящимися под управлением цифрового сигнального процессора микроэлектромеханическими акселерометром и гироскопом. Причем их активация и синхронизация осуществляются специальным оптическим триггером. С методологической и алгоритмической точек зрения предложено сравнивать оптические изображения из состава потока данных с помощью топологических скелетов, используя при этом точки «квенча» в качестве контрольных точек. Известно, что топологические скелеты (особенно с подрезанными мелким ветвями) не чувствительны к дробовому шуму и спекл-паттернам. Коррекция артефактов производится посредством «пересборки» массивов исходных данных, с применением объемных сдвигов и малоугловых поворотов. При этом предусмотрено разграничение физиологического тремора (как правило, не имеет выраженного направления движения) и сканирующих (имеют выраженную траекторию) движений с использованием данных от цифрового сигнального процессора. Деформирующие движения также изолируются. Реконструкция актуального профиля воздействия деформирующей силы осуществляется с частотой опроса активных элементов в 20 кГц, что позволяет оценивать и учитывать магнитуду и направление деформирующего воздействия для множества точек на линии сканирования. Такой подход, несомненно, оригинален и обеспечивает сравнение интерференционных сигналов из одной и той же, в пределах допустимых погрешностей, области пространства. Это необходимо для организации оптической когерентной эластографии без жесткой фиксации сканирующего зонда и сканируемого биообъекта с достоверностью, соответствующей запросам современной медицины.

Третий ключевой аспект посвящен совместной обработке сведений об актуальной форме профиля деформирующего воздействия и

«пересобранных» интерференционных сигналов. Расчет величин основных биомеханических характеристик производится по классическим формулам, адаптированным для нужд оптической когерентной эластографии. Площадь воздействия деформирующей силы приравняется площади торцевой части использованного волоконно-оптического зонда. Магнитуа и направление деформирующего воздействия для множества точек на линии сканирования известны из предыдущей стадии. Амплитудные и фазовые подходы к оценке абсолютных смещений скомбинированы. Развертывание фазы для отдельных А-сканов организовано с учетом информации о соседних А-сканах. Для этого В-скан межкадровой разности фазы подвергается обобщенному преобразованию Хафа. Такой подход позволяет локализовать протяженные разрывы фазы и использовать эти сведения в качестве априорной информации при развертывании фазы в пределах каждого одиночного А-скана. Та же информация определяет приоритет амплитудного или фазового подхода. Размеры деформируемой области по глубине вычисляются объединением проекций векторов смещения на соответствующие координатные оси. Диссертанту удалось добиться довольно высокого качества получаемых структурных и функциональных изображений. Конечно, оно ниже, чем в идеализированном эксперименте с микропрепаратом правильной геометрии, его жесткой фиксацией, иммерсионной жидкостью, использованием специальных технических средств для оказания управляемого, к тому же завышенного по магнитуде деформирующего воздействия и т. п. Но такой эксперимент – это фактически лабораторное гистологическое исследование, а предложенные диссертантом научные идеи и научно-технические решения изначально ориентированы на непосредственное применение в отделениях гастроэнтерологии, урологии, дерматологии, оториноларингологии, гинекологии, ангиологии.

Таким образом, к сформулированной в диссертационной работе проблеме диссертантом предложено оригинальное, адекватное и изложенное в воспроизводимой форме решение.

Апробация и опубликование полученных результатов осуществлены на уровне, соответствующем ученой степени доктора технических наук. Пункт «апробация работы» включает в себя сведения о представлении материалов диссертационной работы на 42 авторитетных научных конференциях. Пункт «основные публикации по теме диссертации» занимает 8.5 страниц и среди прочего включает в себя: 51 тематическую научную статью (журналы из перечня ВАК, а также публикации в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus), 2 монографии, а также 21 патент Российской Федерации на изобретения и полезные модели. «Реализация результатов работы» осуществлена в 7 организациях медицинского, медико-технического, научного и образовательного профиля.

По автореферату диссертационной работы имеются два замечания:

1) В представленных в конце 12-й страницы формулах, описывающих траекторию движения фотона, значения направляющих косинусов следовало бы дополнить информацией об их начальных значениях.

2) Следовало бы разъяснить, как вычислялись полярный и азимутальные углы.

Оба замечания носят рекомендательный характер. Их учет сделал бы материал автореферата более понятным широкому кругу лиц. Вместе с тем, замечания не касаются сути полученных автором научных и научно-технических результатов и не оспаривают его личный вклад, а также новизну и достоверность положений, выносимых на защиту.

Считаю, что диссертационная работа Потлова А.Ю. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук в соответствии с пунктами 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (согласно постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 № 842), а ее автор, Потлов Антон Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения».

Доктор технических наук по специальности 05.12.13. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией №49 «Инфраструктурных систем» федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук» (ИПУ РАН)

 / Барабанова Елизавета Александровна /

01.04.2025г.

Я, Барабанова Е.А., даю согласие на обработку моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета 24.2.375.03.

 / Барабанова Елизавета Александровна /

Подпись



ЗАВЕРЯЮ

ВЕД. ИНЖЕНЕР

ГОРДЕЕВА Ю.Ю.





Адрес местонахождения учреждения науки: Российская Федерация, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65

Телефон: +7 495 198-17-20

Адрес электронной почты: barabanova@ipu.ru

Сайт в сети «Интернет»: <http://www.ipu.ru>