

ОТЗЫВ

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

Современные системы для медицинской интроскопии, как правило, представляют собой компромиссные с научно-технической точки зрения решения. Повышая рабочую частоту датчика медицинской ультразвуковой системы можно увеличить пространственное разрешение получаемых изображений. Однако, глубина проникновения ультразвука и пространственное разрешение обратно пропорциональны. Соответственно, увеличение частоты приведет к более высокой детализации анатомических структур, но на меньшую глубину. Пространственное разрешение компьютерных томографов и систем для теневого рентгена можно увеличить снизив длину волны. Однако, длина волны связана с энергией через постоянную Планка и скорость света. Соответственно, причиной более высокого разрешения будет более высокая энергия используемых квантов электромагнитного излучения и, следовательно, более высокая их ионизирующая способность. Увеличением напряженности основного магнитного поля системы для магнитно-резонансной томографии удастся повысить величину отношения сигнал/шум и, соответственно, качество томограмм. Обратной стороной будут усложнение аппаратной части, повышение требований к источникам питания, увеличение общих габаритов и более строгие ограничения на содержание соединений с высокой магнитной восприимчивостью (например, запрет не только на наличие у пациента импланта и кардиостимулятора, но даже татуировок и макияжа). Подобные компромиссы хорошо известны медицинскому сообществу и напоминают характерный для лекарственных средств баланс между фармакологическим действием и побочными эффектами.

Оптическая когерентная эластография характеризуется комбинацией микронного пространственного разрешения и глубины визуализации мягких биологических тканей порядка первых единиц миллиметров. С такими параметрами, оптическая когерентная эластография фактически представляет собой инструментальный аналог биопсии. Однако, для нее свойственна высокая чувствительность к артефактам объемного движения, рельефу сканируемой поверхности и пространственному распределению механического напряжения под нагруженной областью. Общепринятый компромисс – это жесткая взаимная фиксация сканирующего волоконно-оптического зонда и исследуемого биообъекта. Такой подход минимизирует слабые стороны метода оптической когерентной эластографии, но резко снижает его клиническую ценность. В диссертационной работе Потлова А.Ю. предложен набор компьютерных и физических моделей, а также методологических, аппаратных и программных решений, позволяющий организовать оптическую когерентную эластографию с использованием экзогенных и эндогенных деформирующих воздействий, но без использования фиксаторов. Разумеется, это достигнуто определенной ценой, в частности, повышением сложности вычислений, усложнением и удорожанием, в разумных пределах, аппаратной части.

Ключевые аспекты докторской диссертации соискателя заключаются в следующем. В результате серии корректно поставленных экспериментов установлено, что подавляющее большинство вариантов оказания деформирующего воздействия («поджатие» сканирующим зондом, акустическое или лазерное воздействия, использование силы Лоренца, магнитных частиц во внешнем переменном магнитном поле, и т. п.) характеризуются плохо предсказуемой формой профиля деформирующего воздействия. Даже если рассматривать физиологический тремор рук изолированно от остальных факторов, деформирующее воздействие, как правило, не

перпендикулярно сканируемой области, не изотропно по сканируемой поверхности и не одноосно. В связи с чем, предложено отказаться от идеализированного представления о пробкообразной форме профиля деформирующего воздействия и дополнить волоконно-оптические зонды гибкой тонкопленочной матрицей датчиков давления. Причем, в эндоскопических зондах она окольцовывает торцевую часть катетера (не нарушая при этом обзор), а во внутрисосудистых – боковую поверхность катетера. Обработка сигналов организована посредством кубической интерполяции преобразованных разреженных данных с использованием триангуляции Делоне. При этом посредством включения в состав каждого катетера микроэлектромеханических акселерометра и гироскопа предусмотрен учет актуального местоположения катетера зонда. Авторский подход к коррекции артефактов объемного движения также является результатом теоретических изысканий и физических экспериментов. В частности, ограниченно пригодные для нужд низкокогерентной интерферометрии методы стабилизации оптических изображений из бытовой фототехники были последовательно исключены из рассмотрения. Спекл-паттерны не обязательно соответствуют реальным анатомическим структурам, более того не характер интерференции может быть как конструктивным, так и деструктивным. В связи с чем, предложенный подход включает в себя «пересборку» исходных данных, причем необходимые для этого метрики вычисляются посредством оценки и разложения по координатным осям векторов смещения значимых точек «квенча» на топологических скелетах морфологически обработанных оптических изображений. Непосредственно эластография, организована в виде оценки и пространственного картирования величин модуля Юнга, коэффициента Пуассона и модуля сдвига с использованием адаптированных для нужд низкокогерентной интерферометрии классических формул теории сопротивления живых тканей и биоматериалов. Переход от косвенных вычислений к прямым повысил достоверность получаемых картограмм и был организован посредством комбинирования амплитудного и фазового подходов к оценке деформаций с высокоэффективным разворачиванием фазы на основе обобщенного преобразования Хафа. При этом величина деформирующей силы для множества точек сканируемой области оценивается по актуальной форме профиля деформирующего воздействия, площадь деформируемой области интереса приравнивается площади торцевой части катетера сканирующего зонда, размеры деформируемой области по глубине восстанавливаются объединением проекций разложенных по координатным осям векторов смещения.

С практической точки зрения диссертационная работа полезна поскольку по меньшей мере на 29% повышает достоверность картирования биомеханических свойств исследуемых живых тканей. Вышеуказанная количественная характеристика справедлива для серии экспериментов (с анатомически и физиологически корректными фантомами биологических тканей) по оптической когерентной эластографии стенок кровеносных сосудов. Жесткая взаимная фиксация сканирующего волоконно-оптического зонда и сканируемого объекта в такой ситуации невозможна. В более простых случаях, повышение достоверности медицинской интроскопии на основе оптической когерентной эластографии является еще более выраженным.

С теоретической точки зрения примечательны новые подходы к мультиканальному физическому моделированию, численному моделированию фотонного транспорта в ограниченно деформированных мягких биологических тканях и динамическому анализу изображений.

Достоверность полученных результатов корректно обоснована. Противоречий с известными биофизическими данными не выявлено. В работе использованы современные достижения в области медицинского приборостроения, микроэлектронных технологий, цифрового детектирования физических величин, обработки биомедицинских сигналов и данных, систем технического зрения, многомерной визуализации и даже омологации средств измерений. Учтены наблюдения медицинского персонала об артефактах медицинских оптических изображений, общепринятые в медицине протоколы снижения инвазивности и дискомфорта, современные

Адрес эл. почты: yaroslav_turovsk@mail.com