

УДК 535.417:611.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРОВОТОКА И КОНТРОЛЬ ЕГО СКОРОСТИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ

Гончаров К.А. (федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»),
Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент физико-технического мегафакультета Волынский М.А.

(федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Введение. Модельные эксперименты полезны в различных областях, включая медицину, инженерию, физику и химию. В медицине модельные эксперименты используются для изучения поведения биологических систем и тестирования новых лекарств или методов лечения. Например, модельные эксперименты могут использоваться для изучения течения крови в кровеносных сосудах или поведения клеток в ответ на различные раздражители. Также, модельные эксперименты являются ценным инструментом для исследователей, позволяющим получить представление о поведении сложных систем и разработать новые подходы к решению задач.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) — это неинвазивный метод визуализации, использующий принцип низкокогерентной интерферометрии для получения изображений биологических тканей с высоким разрешением. В системе ОКТ для освещения исследуемой ткани используется широкополосный источник света, а обратно рассеянный свет улавливается детектором. Интерференция между отраженным светом и эталонным лучом затем используется для извлечения информации о ткани с разрешением по глубине.

Фантомы потока используются для имитации кровотока в сосудах. Они могут изготавливаться из жидкостей, эмульсий и растворов, приближенных по свойствам и параметрам к крови, содержащие канал или несколько каналов для имитации кровеносных сосудов. Поток жидкости через каналы можно контролировать с помощью шприцевого насоса. Добавляя в жидкость рассеивающие частицы, фантом потока можно визуализировать с помощью ОКТ для изучения характеристик кровотока, таких как скорость потока, характер потока и турбулентность [1].

Основная часть. Известно, что размер клеток крови может варьироваться в зависимости от типа клеток. Эритроциты имеют средний диаметр от 6 до 8 мкм, лейкоциты - от 2 до 4 мкм, тромбоциты - от 1 до 2 мкм. При выборе частиц для имитации клеток крови важно выбирать частицы, размеры которых близки к реальным клеткам крови. Это позволяет гарантировать, что свойства потока и другие физические характеристики жидкости, имитирующей кровь, будут аналогичны характеристикам настоящей крови [2].

Существует несколько способов контроля размера частиц мела для приготовления раствора фантома: седиментационный анализ, лазерная дифракция (метод измерения распределения частиц по размерам путем анализа дифракционных картин лазерного луча, проходящего через образец), динамическое рассеяние света (измерение распределения частиц по размерам путем анализа флуктуаций рассеянного света, вызванных броуновским движением), световая или электронная микроскопия, а также просеивание частиц для отделения образцов необходимого размера.

В эксперименте предполагается приготовить раствор мела и воды в емкости, помешивая смесь до полного растворения мела, измерить размер частиц мела в растворе с помощью микроскопа или анализатора размера частиц, отрегулировать концентрацию раствора мела для достижения желаемой вязкости и консистенции, соответствующих вязкости крови. После приготовления раствор необходимо перемешать и убедиться в его однородности. Затем предполагается использовать двухканальный шприцевой насос

Fusion 200 - универсальный и надежный инструмент, позволяющий точно контролировать скорость и объем потока для широкого спектра жидкостей и материалов. Данная экспериментальная установка обеспечивает мониторинг расхода и объема в режиме реального времени, что позволяет осуществлять точный контроль и регулировку имитации кровотока во время эксперимента вплоть до полной имитации цикла работы сердечно-сосудистой системы человека.

Дисперсия полученного раствора должна быть аналогична крови с групповым показателем преломления от 1,34 до 1,37 в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, используемом при ОКТ. Размер частиц мела должен составлять от 6 до 8 мкм в диаметре, коэффициент рассеяния должен составлять от 5 до 10 (1/мм), коэффициент абсорбции - от 0,1 до 0,5 (1/мм), а коэффициент преломления должен составлять примерно 1,4. Концентрация частиц - в диапазоне 1-5% по весу, а вязкость должна составлять примерно 3-4 мПа·с. Жидкость, имитирующая кровь, должна быть однородной по всему объему образца и быть стабильной с течением времени [2].

Дизайн эксперимента подтвержден результатами моделирования методом Монте-Карло и теорией Ми [3-4]. Пространственное распределение фотонов, коэффициенты поглощения и рассеяния, фактор анизотропии, а так же оптические свойства полученного раствора сопоставимы с параметрами крови.

Выводы. В модельном эксперименте система ОКТ будет измерять интенсивность обратного рассеяния света от раствора, имитирующего кровь, что позволит определить скорость и внутреннюю структуру раствора. Полученные данные помогут определить рассеивающие свойства, размер и распределение частиц, которые будут сравниваться с ожидаемыми значениями. Результаты эксперимента будут проанализированы для определения точности использования ОКТ для визуализации сосудов и других структур живых организмов.

Дизайн эксперимента подтвержден результатами моделирования методом Монте-Карло и теорией Ми, а также выделяется низкой стоимостью и простотой воплощения.

Список использованных источников:

1. А.В. Быков, М.В. Волков, М.А. Волынский, И.П. Гуров, М. Киннунен, Н.Б. Маргарянц, А.П. Попов, Изготовление тканеимитирующих фантомов и капилляров и их исследование методом оптической когерентной томографии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2013. - №2 (84). - С. 98-103.
2. В. Тучин Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике. - Москва: Физматлит, 2013. - 812 с.
3. Моделирование Монте-Карло // Cloud Monte Carlo for light transport URL: <http://www.biophotonics.fi> (дата обращения: 15.02.2023).
4. Моделирование рассеяния Ми // Mie калькулятор | Новый физтех. Университет ИТМО URL: <https://physics.itmo.ru/ru/mie/#/> (дата обращения: 15.02.2023).