

УДК 532.135

DOI: 10.17223/00213411/63/12/59

*В.П. ДЕМКИН¹, С.В. МЕЛЬНИЧУК¹, М.Н. ХОРЯК¹, В.В. УДУТ², В.В. РУДЕНКО³, И.И. ТЮТРИН³***ВЛИЯНИЕ АДГЕЗИИ НА ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ РЕЗОНАНСНО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ***

Исследовано влияние адгезии крови на амплитудно-частотные характеристики пьезоэлектрического датчика в методе низкочастотной пьезотромбоэластографии. На поверхности иглы-резонатора, погруженной в кровь, в результате адгезии может накапливаться слой форменных элементов крови, который изменяет ее конфигурацию и массу и, как следствие, ее амплитудно-частотные характеристики. Экспериментально показано, что в процессе свертывания крови происходит уменьшение собственной частоты колебаний иглы-резонатора прямо пропорциональное увеличению массы адгезированной крови. Для подтверждения этой закономерности нами проведен численный эксперимент на 3D-математической модели пьезоэлектрического датчика, используемого в пьезотромбоэластографе АРП-01М «Меднорд», с применением программного пакета COMSOL Multiphysics® 4.2 и метода конечных элементов. Рассчитаны изменение собственной частоты колебаний иглы-резонатора от массы адгезированной крови, а также их зависимость от времени в процессе коагуляции крови. Показано, что нарастание массы адгезированной крови в процессе ее коагуляции наблюдается, начиная с 3-й минуты, и достигает максимума 0.42 мг к 15-й минуте, что приводит к заметному сдвигу резонансной частоты пьезоэлектрического датчика в область меньших частот.

Ключевые слова: адгезия крови, коагуляция цельной крови, численное моделирование, динамика вязкоупругих характеристик крови, метод низкочастотной пьезотромбоэластографии.

Введение

Эластография – одно из важных приложений физических знаний в диагностике свойств и патологий биологических тканей и жидкостей, основанная на определении их вязкоупругих характеристик путем механического воздействия и анализа деформаций, получаемых с помощью ультразвуковых диагностических сканеров [1]. Одним из важных направлений таких исследований является ультразвуковая эластография процесса коагуляции цельной крови [2, 3]. Коагуляция крови – крайне сложный биохимический процесс, нарушения этого процесса крайне опасны и могут привести к кровотечению, тромбозу или другим патологиям, что делает изучение свертываемости крови одной из приоритетных прикладных задач физики биологических систем.

Особую значимость приобретает привлечение знаний о физических характеристиках крови, поскольку в процессе свертывания изменяется ее агрегатное состояние с существенными изменениями вязкоупругих свойств. Получение новых знаний и детализация информации о системе гемостаза требует дополнения существующей лабораторной парадигмы исследований системы методами математического моделирования процессов гемокоагуляции и знанием физических механизмов изменения реологических свойств крови в процессе свертывания.

Одним из методов лабораторной диагностики системы гемостаза является метод низкочастотной пьезотромбоэластографии (НПТЭГ), позволяющий проводить интегративную оценку состояния гемостатического потенциала на основе измерения динамики вязкоупругих характеристик цельной крови [4]. Для их измерения используется пьезотромбоэластограф АРП-01М «Меднорд» [4], работа которого основана на регистрации изменения сопротивления исследуемой жидкости резонансным колебаниям иглы-резонатора пьезоэлектрического датчика, погруженной в кювету, заполненную кровью. Данный метод низкочастотной пьезотромбоэластографии относится к классу резонансно-акустических методов. Физические основы метода изложены нами в работах [5, 6]. Показано, что в процессе коагуляции цельной крови изменяются коэффициенты динамической вязкости и упругости, что приводит к изменению амплитудно-частотных характеристик механических колебаний иглы-резонатора. Следовательно, по изменению амплитуды и собственной частоты колебаний напряжения на регистрирующем пьезоэлементе можно получить информацию о величине вязкоупругих характеристик крови.

Как показано в [5, 6] собственная частота и амплитуда механических колебаний иглы-резонатора зависит как от конфигурации и упругих свойств материала самой иглы, так и от вязко-

* Результаты исследования получены при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>