

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 615.47, 616.71

КАМЛАЧ
Павел Викторович

**АКУСТОЭЛЕКТРОННАЯ ДИАГНОСТИКА АКТИВИРОВАННОГО
ЧАСТИЧНОГО ТРОМБОПЛАСТИНОВОГО И ПРОТРОМБИНОВОГО
ВРЕМЕНИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ГЕМОСТАЗА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

Минск 2013

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Бондарик Василий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета непрерывного и дистанционного обучения учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Борботько Тимофей Валентинович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Драпеца Александр Иванович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры биофизики Белорусского государственного университета

Оппонирующая организация **Белорусский национальный технический университет**

Защита состоится « 28 » ноября 2013 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Аппаратура для выполнения лабораторных медицинских анализов занимает особое место в общем комплексе технических средств оснащения современной медицины. За последние годы в медицинской науке и практике наблюдается возрастание роли лабораторных исследований не только в диагностике заболеваний, но и в контроле за лечением, в установлении прогноза и в открытии неизвестных ранее форм заболеваний.

Научно-технический прогресс в области медицины и техники обеспечил создание высокопроизводительной и совершенной по своим аналитическим возможностям лабораторной медицинской аппаратуры, что дало возможность роста числа лабораторных исследований. Однако реальная потребность медицины в этой аппаратуре все еще удовлетворяется не полностью. Сложность анализируемых объектов, потребность в получении возможно более полной информации, необходимость выполнения большого числа анализов обусловили непрерывный поиск и апробацию в медицинской лабораторной аппаратуре наиболее чувствительных и совершенных методов анализа, а также изыскание путей наиболее эффективной их реализации.

Гемостаз – одна из основных функциональных систем, способствующих сохранению постоянства внутренней среды организма. В случае воздействия на организм человека различных экстремальных факторов (физическое повреждение, влияние болезнетворных микроорганизмов) защитные системы обеспечивают восстановление целостности сосудистого русла, поддержание кровотока и объема циркулирующей крови, сохранение ее физических и биологических свойств. Контроль состояния гемостаза – одна из основных задач лабораторной диагностики.

Таким образом, диссертационная работа посвящена разработке прибора для акустоэлектронной диагностики активированного частичного тромбопластинового и протромбинового времени для определения состояния гемостаза, что позволит решить задачи повышения точности, увеличения производительности и снижения стоимости выполнения коагулологических анализов, что является востребованным и необходимым для клинико-диагностических исследований.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Исследования проводились в рамках научно-исследовательских госбюджетных тем: Грант Министерства образования по теме ГБЦ 09-3109 № ГР 20090640 «Исследование физико-химических закономерностей взаимодействия ультразвукового поля с компонентами биологических сред», Грант Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по теме ГБЦ 12-7033 № ГР 20123085 «Ультразвуковые методы и средства контроля системы гемостаза», ГБ №06-2039 «Исследование экологических и социально-правовых проблем сохранения здоровья работающих в сфере информационных технологий» (№ ГР 20071073 (2006–2010)), ГБ №11-2039 «Исследование и разработка превентивных мер по снижению эколого-промышленных рисков» (№ ГР 20123085 (2011–2015)).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка акустоэлектронных методов и средств диагностики активированного частичного тромбопластинового и протромбинового времени на основе зондирования акустическими колебаниями пробы крови.

Объектами исследования в диссертационной работе являются методы и средства диагностики активированного частичного тромбопластинового и протромбинового времени.

Предметом исследования являются амплитудно-частотные характеристики акустоэлектронных сигналов.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи исследования:

- разработать методику ультразвукового контроля активированного частичного тромбопластинового времени (АЧТВ) и протромбинового времени (ПТВ);
- определить оптимальные и пороговые значения ультразвуковых колебаний;
- разработать устройство для измерения параметров гемостаза (АЧТВ и ПТВ) с помощью ультразвуковых колебаний;
- выявить закономерности взаимодействия ультразвуковых колебаний с компонентами крови.

Положения, выносимые на защиту

1. Обоснование использования акустических колебаний для определения активированного частичного тромбопластинового и протромбинового времени, основанное на регистрации коэффициента затухания ультразвука в крови, позволившее рассчитать оптимальные параметры ультразвука (частота 440 кГц и амплитуда 1 мкМ), не оказывающих влияния на процесс свертывания крови.

2. Методики оценки параметров системы гемостаза, основанные на регистрации коэффициента затухания акустических колебаний во времени, впервые позволившие анализировать кровь, не разделенную на плазму и эритромассу, без непосредственного контакта инородных предметов (датчиков) с исследуемой средой.

3. Результаты исследований активированного частичного тромбопластинового времени и протромбинового времени с помощью акустических колебаний, показавшие, что амплитуда ультразвука при определении активированного частичного тромбопластинового времени в процессе образования сгустка уменьшается в среднем на $30,2 \pm 1,7$ %, а при определении протромбинового времени в среднем на $29 \pm 1,6$ %, что позволило разработать акустоэлектронный коагулометр для контроля времени свертывания крови без проведения предварительной подготовки исследуемых проб.

Личный вклад соискателя

Вошедшие в диссертацию основные результаты опубликованных работ, сформулированные в защищаемых положениях и выводах, получены соискателем самостоятельно. Автором лично предложена методика исследования параметров гемостаза акустическими колебаниями, методика исследования многокомпонентных сред акустическими колебаниями, разработана математическая модель воздействия ультразвука на параметры гемостаза. В совместно опубликованных работах автором осуществлялась постановка задачи, разработка методик проведения экспериментов, непосредственное проведение исследований, анализ результатов и формулировка выводов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение научных результатов проводились совместно с научным руководителем диссертации канд. тех. наук, доц. В.М. Бондариком. Соавторами опубликованных работ являются д-р техн. наук, проф. Ланин В.Л. канд. мед. наук, доц. Ю.Г. Дегтярев.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты работы были доложены и обсуждены на конференциях и семинарах в Беларуси, России, Украине, Словакии: Международной научно-технической конференции «Медэлектроника – 2004» (Минск, Беларусь, 2004 г.); XIII Республиканской научной конференции «Физика конденсированного состояния» (Гродно, Беларусь, 2005 г.); XIII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции «Микроэлектроника и информатика – 2006» (Москва, Россия, 2006 г.); XIV Республиканской научной конференции «Физика конденсированного состояния» (Гродно, Беларусь, 2006 г.); Международной научно-технической конференции «Медэлектроника – 2006» (Минск, Беларусь, 2006 г.); 3-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2007» (Севастополь, Украина, 2007 г.); 4-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2008» (Севастополь, Украина, 2008 г.); V Международной научно-технической конференции «Медэлектроника – 2008» (Минск, Беларусь, 2008 г.); 5-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2009» (Севастополь, Украина, 2009 г.); 6-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2010» (Севастополь, Украина, 2010 г.); VIII Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (Браслав, Беларусь, 2010 г.); VI Международной научно-технической конференции «Медэлектроника – 2010» (Минск, Беларусь, 2010 г.); 8th International Conference «Digital Technologies 2011» (Zilina, Slovakia, 2011 г.); 7-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2011» (Севастополь, Украина, 2011 г.); VII Международной научно-технической конференции «Медэлектроника – 2012» (Минск, Беларусь, 2012 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 45 печатных работах: 5 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований, 30 статей в сборниках материалов конференций, 9 тезисов докладов, одна заявка на патент. Общее количество страниц опубликованных материалов – 125 (7,5 печ. л.). Без соавторства опубликовано 4 работы (10 стр.).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений. В *первой главе* проведен анализ имеющихся в литературе данных об инструментальных методах исследования параметров гемостаза и методах акустического контроля твердых и жидких сред. Проанализированы акустические методы контроля твердых и жидких сред, что позволило обоснованно выбрать амплитудный теневой метод прохождения акустических колебаний для исследования параметров гемостаза. Во *второй главе* описаны использованные в работе методы и оборудование, предназначенные для контроля параметров ультразвука. Приведены схемы разработанных экспериментальных установок для измерения параметров ультразвука при прохождении его через структуры с различной акустической добротностью и для проведения исследований параметров гемостаза ультразвуковыми колебаниями. Проанализированы стандартные методики исследования параметров гемостаза. В *третьей главе* представлены математические модели прохождения УЗ колебаний через среды с различной акустической добротностью, воздействия ультразвука на параметры гемостаза и определения докавитационных порогов УЗ. В *четвертой главе* приведены результаты выполненных автором исследований проверки разработанной программы «*USPropagation*», параметров гемостаза с помощью акустических колебаний с перемешиванием и без перемешивания исследуемых проб, влияния ультразвука на параметры гемостаза. В *приложениях* приведены акты о практическом использовании результатов диссертации.

Общий объем диссертационной работы составляет 115 страниц. Из них 88 страниц основного текста, 43 иллюстрации, 7 таблиц, библиографический список из 101 наименования на 8 страницах, список публикаций автора, содержащий основные научные результаты диссертации, из 44 наименований на 3 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, рассмотрены основные направления исследований параметров гемостаза, поставлена задача исследований и приведены методы ее решения.

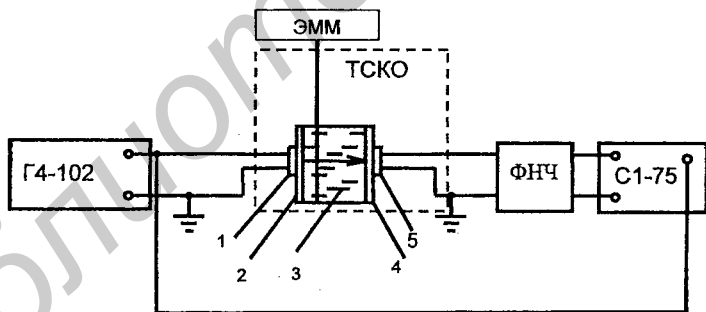
В **первой главе** обобщена теоретическая информация об инструментальных методах исследования параметров гемостаза и методах акустического контроля твердых и жидких сред. Показано, что существующие контактные методы исследования параметров гемостаза обладают принципиальной возможностью работы на цельной крови, но при этом обладают низкой чувствительно-

стью и необходимостью применять мешалки в пробах, а бесконтактные методы исследования параметров гемостаза обладают высокой чувствительностью и высокой точностью измерения, но применяются только для оптически прозрачных материалов. Для устранения недостатков бесконтактных с сохранением преимуществ контактных методов предложено использовать акустические колебания для исследования параметров гемостаза.

Анализ акустических методов контроля твердых и жидких сред позволил обоснованно выбрать амплитудный теневой метод прохождения акустических колебаний для исследования параметров гемостаза, основанный на регистрации уменьшения амплитуды сквозного сигнала под влиянием дефекта (сгустка крови), затрудняющего прохождение сигнала и создающего звуковую тень.

Во второй главе описаны использованные в работе методы и оборудование, предназначенные для контроля параметров ультразвука. Разработаны экспериментальные установки для измерения параметров ультразвука при прохождении его через структуры с различной акустической добротностью и для проведения исследований параметров гемостаза ультразвуковыми колебаниями. Выбраны стандартные методики исследования параметров гемостаза.

Для исследования активированного частичного тромбопластинового времени выбрана методика кефалин-каолинового времени плазм по Саен, а для исследования протромбинового времени – метод Квика.



1, 5 – акустический преобразователь; 2, 4 – стенки кюветы;
3 – исследуемая среда; ЭММ – электромеханическая мешалка;
ТСКО – термостатируемое кюветное отделение; ФНЧ – фильтр низких частот
Рисунок 1 – Схема измерения затухания амплитуды ультразвука при исследовании параметров гемостаза с перемешиванием

Для исследований параметров гемостаза ультразвуковыми колебаниями разработана экспериментальная установка (рисунок 1), принцип действия которой основан на определении изменения амплитуды акустических колебаний,

прошедших через исследуемую пробу. Разработанная установка включала: генератор Г4-102, двухлучевой осциллограф С1-75, входной 1 и выходной 5 акусто-электронные преобразователи, которые размещались на стенках кюветы 2 и 4 с препаратом крови 3. Также в состав макета входили термостатируемое кюветное отделение (ТСКО) для термостабилизации, электромеханическая мешалка (ЭММ) для перемешивания плазмы с реагентами и фильтр низких частот (ФНЧ).

Работа электромеханической мешалки вносила акустическую низкочастотную помеху. Для устранения помехи применялся фильтр низких частот (ФНЧ). Значение амплитуды сигнала с ФНЧ фиксировалось на осциллографе С1-75.

При образовании сгустка изменяется акустическое сопротивление исследуемой среды и изменяется амплитуда акустического сигнала, прошедшего через исследуемую среду.

Макет измерения затухания амплитуды ультразвука при исследовании параметров гемостаза позволяет работать в диапазоне частот ультразвука от 300 кГц до 2 МГц с начальной интенсивностью ультразвука $5 \cdot 10^{-6}$ Вт/см² и подержанием температуры в кюветном отделении 37 °С.

В **третьей главе** представлены математические модели прохождения УЗ колебаний через среды с различной акустической добротностью, воздействия ультразвука на параметры гемостаза и определения докавитационных порогов УЗ.

Математическая модель прохождения УЗ колебаний через среды с различной акустической добротностью основана на системе уравнений (1) и (2), учитывающая затухание и переотражение УЗ волны, скорости распространения УЗ, удельные волновые сопротивления в средах, в которых распространяется УЗ.

$$I(x, t) = Ie^{-\alpha x} e^{i\omega(t-x/c)}, \quad (1)$$

$$\phi = \frac{4Z_3Z_1}{(Z_3 + Z_1)^2 \cos^2 k + (Z_2 + Z_3Z_1/Z_2)^2 \sin^2 k}, \quad (2)$$

где t – время от начала процесса распространения волны;

ω – циклическая частота акустических колебаний;

c – скорость звука;

$Z_1; Z_3$ – удельные волновые сопротивления двух слоев;

Z_2 – удельное волновое сопротивление среды между двумя слоями;

$k = 2\pi h / \lambda_2$;

h – толщина слоя вещества;

λ_2 – длина звуковой волны в среде между двумя слоями.

В среде MatLab 7.0 по уравнениям прохождения ультразвука через структуры с различной акустической добротностью была создана программа «USPropagation» для расчета изменения интенсивности акустических колебаний при прохождении через многослойную структуру. В программе исходными данными для моделирования являются количество анализируемых слоев, частота и интенсивность воздействующего излучения, параметры сред распространения.

Для большей наглядности в диалоговом окне программы расположено графическое изображение моделируемой структуры, которое активизируется при нажатии кнопки «Построить». При нажатии кнопки «Расчитать» производится расчет модели и визуализация полученных результатов. При описании слоя структуры можно выбрать его толщину и тип. Возможен выбор типа слоя из заданных в программе, а также добавление других слоев с известными или исследованными параметрами отклика на акустическую волну.

Разработанная программа позволяет уточнять построенные зависимости вспомогательными надписями и изображениями. При необходимости можно увеличить построенную зависимость и сохранить в виде картинки для дальнейшего анализа.

Предложена модель воздействия УЗ на параметры гемостаза (3) – (5), основанная на системе дифференциальных уравнений, описывающей процесс свертывания крови, учитывающая влияние ультразвука на концентрации тромбина, фактора XI и протеина С – параметры гемостаза, оказывающие наибольшее влияние на процессы свертывания крови.

$$\frac{\partial x_2}{\partial t} = D_0 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2}{R \cdot T}} \cdot x_2 + K_1 \cdot x_2 \cdot x_{11} \cdot (1 - x_2) \frac{(1 + K_2 \cdot x_2)}{(1 + K_3 \cdot x_{12})} - x_2, \quad (3)$$

$$\frac{\partial x_{11}}{\partial t} = D_0 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2}{R \cdot T}} \cdot x_{11} + x_2 - K_4 \cdot x_{11}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial x_{12}}{\partial t} = D_0 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \rho \cdot f^2 \cdot A^2}{R \cdot T}} \cdot x_{12} + K_5 \cdot x_2^2 - K_6 x_{12}, \quad (5)$$

где D_0 – начальный коэффициент диффузии;

R – газовая постоянная;

T – температура среды;

ρ – плотность среды;

f – частота УЗ колебаний;

A – амплитуда УЗ колебаний;

$K_1 \dots K_6$ – константы, зависящие от граничных условий моделирования;
 x_2, x_{11}, x_{12} – концентрации тромбина, фактора XI и протеина C, соответственно.

Моделирование проводилось в среде MatLab 7.0. Система уравнений (3) – (5) решалась методом Рунге–Кутты.

По модели изучено влияние ультразвука на параметры свертывания крови. Построены зависимости изменения параметров свертывания крови от времени при изменении параметров ультразвука.

Установленные зависимости параметров гемостаза при воздействии ультразвука позволяют отслеживать концентрацию тромбина, фактора XI и протеина C во времени. Анализ результатов моделирования показал, что воздействие УЗ с частотой до 880 кГц при амплитуде до 0,5 мкм не оказывает существенного влияния на параметры гемостаза и данные параметры ультразвука предлагается использовать для исследования параметров гемостаза с помощью ультразвуковых колебаний.

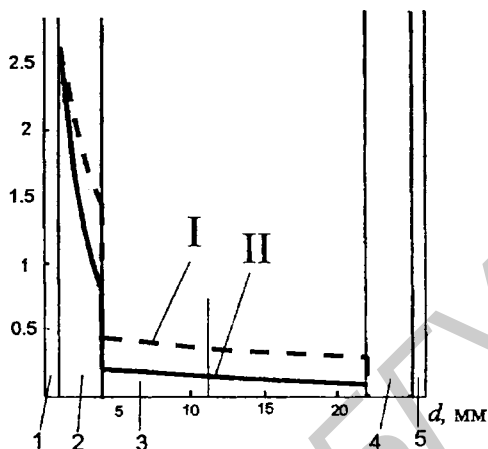
В четвертой главе диссертации приведены результаты выполненных автором исследований проверки предложенной модели прохождения УЗ колебаний через среды с различной акустической добротностью и разработанной программы «*USPropagation*», параметров гемостаза с помощью акустических колебаний с перемешиванием и без перемешивания проб, влияния ультразвука на параметры гемостаза.

Проведены исследования по измерению изменения интенсивности УЗ в различных жидких средах. В программе «*USPropagation*» была смоделирована ювета, которая состояла из пяти слоев: электрод 1 – стекло 2 – жидкая среда 3 – стекло 4 – электрод 5 (рисунок 3).

В качестве жидкой среды использовались различные вещества: вода, масло, спирт этиловый и др.

Данные, полученные при моделировании (рисунок 2), и измерения на лабораторном макете сведены в таблицу 1, где K – коэффициент затухания.

$I \cdot 10^{-5}$, Вт/см²



I – на частоте 1 МГц; II – на частоте 2 МГц

Рисунок 2 – Изменение интенсивности акустических колебаний при прохождении через кювету с водой

Таблица 1 – Результаты верификации математической модели прохождения УЗ колебаний через среды с различной акустической добротностью

Вещество	Интенсивность, $I \cdot 10^{-5}$ Вт/см ²							
	$f=1$ МГц				$f=2$ МГц			
	Измер.	Модел.	Откл., %	К	Измер.	Модел.	Откл., %	К
Вода	422±30	430	2±0,1	69	61±5	66	8±0,1	475
Спирт	239±20	248	4±0,1	121	46±4	50	9±0,1	630
Масло	469±30	453	3±0,1	62	60±5	58	3±0,1	483
Глицерин	493±30	522	6±0,1	58	65±5	68	4±0,1	446

Расчетные значения интенсивностей ультразвука, прошедшего сквозь исследуемую структуру, незначительно отличаются от полученных экспериментальных данных. Полученные различия можно объяснить погрешностью измерений и тем, что в используемой математической модели не учитываются неоднородности внутри исследуемых слоев.

Проведение исследований параметров гемостаза с помощью акустических колебаний проводилось с кюветой № 20021 (ЗАО «СОЛАР»).

Экспериментально установлено, что оптимальная частота УЗ колебаний зависит от диаметра кюветы и определяется соотношением

$$f = \frac{k_3 \cdot v}{d}, \quad (6)$$

где $k_3 = 2$;

v – скорость акустических колебаний в плазме;

d – длина прохождения акустического сигнала.

Исследования АЧТВ и ПТВ плазмы с помощью акустических колебаний проводились на лабораторной установке (см. рисунок 1). Частота для проведения исследования – 600 кГц, напряжение на входном датчике 1 В. Температура в блоке подготовки проб РТ 2110G и в термостатируемом кюветном отделении составляла 37 °С.

Для измерения АЧТВ использовался набор для определения АЧТВ К-350 (PZ Cormay S.A. (Польша)) и Calcium Chloride 0,025 М (HemosIL).

Для проведения анализа подогрели хлорид кальция 0,025 М до 37 °С и осторожно перемешали. Поместили 0,1 мл исследуемой плазмы в кювету и подогрели до 37 °С, добавили 0,1 мл реагента АЧТВ в исследуемую плазму, перемешали и включили таймер. Инкубировали смесь плазма-реагент 5 мин (время активации) при 37 °С. Добавили 0,1 мл подогретого хлорида кальция 0,025 М и включили генератор УЗ колебаний. Фиксировали амплитуду на осциллографе, при существенном изменении амплитуды определяли время свертывания крови.

Было проведено 23 исследования с плазмой крови различных групп и резус-факторов. Зависимость напряжения на выходном датчике от времени (рисунок 3) показывает образование сгустка во времени. Среднее время образования сгустка составило 32 с.

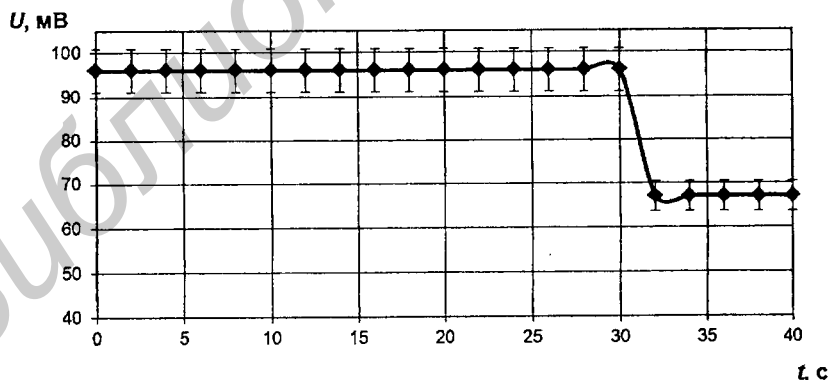


Рисунок 3 – Зависимость напряжения на выходном УЗ датчике от времени при измерении АЧТВ плазмы

Напряжение на выходном датчике в начальный момент времени составило 96 ± 10 мВ. В данном случае изменение напряжения на выходном датчике происходит только при образовании сгустка, данная методика не позволяет исследовать процесс сворачивания плазмы крови во времени. Это связано с достаточно небольшой частотой ультразвука, используемой для диагностики. Сигнал с частотой 600 кГц не затухает при образовании отдельных нитей фибриногена. При образовании сгустка напряжение уменьшилось до 67 ± 10 мВ, или на 30,2 %.

Для измерения ПТВ использовался набор для определения протромбинового времени К-251 (PZ Cormay S.A. (Польша)).

Перед непосредственным анализом производилось растворение тромбопластина РТ-S дистиллированной водой в объеме, указанном на флаконе (10 мл). Перемешали и оставили флакон на 15 мин при комнатной температуре и смешивали перед каждым использованием.

После подготовки реагента подогрели тромбопластин РТ-S до 37°C . Добавили 0,1 мл тестовой плазмы в кювету и подогрели до 37°C , добавили 0,2 мл подогретого тромбопластина РТ-S к тестовой плазме и включили генератор. Фиксировали амплитуду на осциллографе и при изменении амплитуды определяли время свертывания.

Было проведено 23 исследования с плазмой крови различных групп и резус-факторов. Зависимость напряжения на выходном датчике от времени (рисунок 4) показывает образование сгустка во времени. Среднее время образования сгустка составило 13 с.

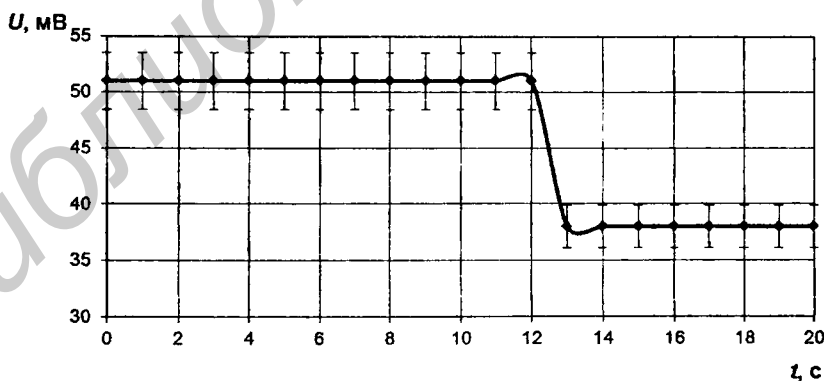


Рисунок 4 – Зависимость напряжения на выходном УЗ датчике от времени при измерении ПТВ плазмы

Напряжение на выходном датчике в начальный момент времени составило 51 мВ. Разница между выходными напряжениями при измерении АЧТВ и ПТВ объясняется различием проб в кювете. При определении АЧТВ в начальный момент измерения в кювете находится плазма вместе с реагентом для измерения АЧТВ, а при измерении ПТВ в кювете находится только плазма.

При образовании сгустка напряжение уменьшилось до 36 ± 6 мВ, или на 29 %.

Для проверки достоверности результатов исследования измерений АЧТВ и ПТВ с помощью ультразвука они сравнивались с результатами исследований на сертифицированном оборудовании.

Для исследований был выбран гемокоагулометр турбидиметрический CGL 2110, т.к. в нем используются кюветы № 20021, которые были использованы для измерения параметров гемостаза с помощью ультразвука (см. рисунок 1).

Для сравнительного анализа параметров гемостаза использовалась одна и та же плазма крови, одни и те же реагенты (одни и те же ампулы с реагентами), в одном и том же помещении, при одних и тех же параметрах микроклимата. Разница во времени при проведении исследований не превышала 5 мин.

Было проведено по пять измерений каждым методом АЧТВ и ПТВ (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты исследований УЗ методом и на гемокоагулометре CGL 2110

Измеряемый параметр	УЗ метод	CGL 2110
АЧТВ, с	$32,0 \pm 0,6$	$34,2 \pm 0,5$
ПТВ, с	$13,0 \pm 0,5$	$13,4 \pm 0,4$

По результатам исследований можно сделать вывод, что время, полученное методом исследования параметров гемостаза с помощью акустических колебаний, очень близко времени, полученному на гемокоагулометре CGL 2110. Разность в показаниях не выходит за погрешность измерения гемокоагулометра CGL 2110.

Для лабораторной диагностики параметров гемостаза разработан ультразвуковой коагулометр (УЗК) (рисунок 5).

УЗК состоит из микроконтроллера, в состав которого входят следующие функциональные блоки: УЗ генератор, таймер реального времени, схема сравнения, запоминающее устройство (ЗУ), блок управления работой всего устройства (БУ). В состав УЗК входит блок индикации, входной и выходной каскад,

излучатель, приемник, схема термостабилизации. Принцип работы основан на прохождении сквозь жидкую среду УЗ колебаний и сравнении параметров излученного и принятого сигнала.



Рисунок 5 – Структурная схема ультразвукового коагулометра

Алгоритм работы можно условно разделить на 4 этапа: инициализация устройства; выбор режима; подготовка кюветного отделения; внесение реактива с последующим измерением временем и индикацией.

Согласно алгоритму вначале происходит подготовка прибора к работе в автоматическом режиме. Устройство автоматически определяет время внесения реактива и запускает таймер. Время, в течение которого образовался сгусток, отображается на индикаторе.

В приложениях представлены акты о практическом использовании результатов диссертационной работы, акты внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс, грамоты и дипломы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан способ для определения АЧТВ и ПТВ с помощью ультразвуковых колебаний, основанный на стандартных методиках. Суть способа за-

ключается в прохождении ультразвука через плазму крови и фиксации изменения его амплитуды (коэффициента затухания) при образовании сгустка крови.

Разработанные методики являются бесконтактными, но лишены основного недостатка существующих бесконтактных методик – работа только с оптически прозрачными материалами. Предлагаемые методики позволяют проводить исследования параметров гемостаза для цельной крови без погружения в пробу и влияния на исследуемые параметры [3–А, 4–А, 18–А, 19–А, 24–А, 25–А, 34–А, 35–А].

2. Разработана математическая модель влияния ультразвука на параметры гемостаза, основанная на системе дифференциальных уравнений, описывающей процесс свертывания крови. Математическая модель учитывает влияние ультразвука на концентрации тромбина, фактора XI и протеина С – параметры гемостаза, оказывающие наибольшее влияние на процессы свертывания крови. Установленные зависимости параметров гемостаза при воздействии ультразвука позволяют отслеживать концентрацию тромбина, фактора XI и протеина С во времени. Анализ результатов моделирования показал, что воздействие УЗ с частотой до 880 кГц при амплитуде до 0,5 мкм не оказывает существенного влияния на параметры гемостаза и данные параметры ультразвука предлагается использовать для исследования параметров гемостаза с помощью ультразвуковых колебаний [1–А, 2–А, 9–А, 10–А, 12–А, 14–А, 15–А, 29–А].

3. Установлена взаимосвязь между параметрами гемостаза и параметрами ультразвука. По результатам исследований установлено, что:

- при измерении АЧТВ амплитуда УЗ колебаний одновременно уменьшается в среднем на $30 \pm 5\%$, при измерении ПТВ – на $25 \pm 5\%$;
- использование УЗ колебаний для определения параметров гемостаза позволяет точно зафиксировать измеряемые значения за счет малой частоты УЗ – 600 кГц [3–А, 4–А, 13–А].

4. Разработаны алгоритм функционирования и структурная схема ультразвукового коагулометра. Особенности предложенного устройства является схемотехническая простота бесконтактного метода детекции сгустка. В разработанном коагулометре впервые применен ультразвук в качестве зондирующего сигнала [4–А, 5–А, 18–А, 19–А, 24–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Предложенный способ, позволяющий проводить исследования параметров гемостаза (активированное частичное тромбопластиновое время и протромбиновое время) с помощью зондирования ультразвуковыми колебаниями,

используется при разработке новых приборов лабораторной диагностики системы гемостаза на ЗАО «СОЛАР» [3–А, 19–А, 24–А, 29–А].

2. Разработанный ультразвуковой коагулометр, позволяющий регистрировать момент детекции сгустка бесконтактным методом с точностью до 0,1 с, с чувствительностью 50 мВ и отображать результат на индикаторе, может применяться для исследования параметров гемостаза, таких как ПТВ и АЧТВ [4–А].

3. Разработанная математическая модель прохождения ультразвука через структуры с различной акустической добротностью, учитывающая частотные и волновые свойства УЗ колебаний, позволяет по желанию пользователя настраивать параметры сред и оценивать интенсивность колебаний в любой точке любого из заданных слоев. Разработанная модель может служить точным и удобным инструментом для анализа воздействия УЗ колебаний на различные среды. Может применяться как в диагностике, так и при назначении УЗ терапии пациенту [1–А, 2–А, 15–А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1–А. Камлач, П. В. Моделирование прохождения ультразвука через структуры с различной акустической добротностью / П.В. Камлач, А.В. Будник, В.М. Бондарик // Доклады БГУИР. – 2008. – № 3 (33). – С. 27–33.

2–А. Камлач, П.В. Оценка влияния ультразвука на параметры гемостаза / П.В. Камлач, В.М. Бондарик, А.В. Будник // Инженерный вестник. - 2010. - № 2 (30). – С. 97–100.

3–А. Камлач, П.В. Использование ультразвука для исследования параметров гемостаза / П.В. Камлач, В.М. Бондарик, Ю.Г. Дегтярев // Изобретатель – 2012. –№ 10 (154). – С. 36–39.

4–А. Kamlach, P.V. Ultrasonic laboratory diagnostics homeostasis parameters / P.V. Kamlach, O.V. Lanina // The Experiment. – 2013. – Vol. 12, № 4. – P. 801–806.

5–А. Бондарик, В.М. Блок ультразвукового контроля коллоидных растворов / В.М. Бондарик, П.В. Камлач, К.В. Дыма // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2005. – № 1 (19)/5. – С. 152–153.

Статьи в сборниках и материалах конференций

6–А. Аппаратно-программный комплекс ультразвукового контроля коллоидных растворов / С.А. Жданович, К.В. Дыма, П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Медэлектроника–2004: средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : материалы III междунар. науч.-техн. конф., Минск, 9–10 дек.

2004 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; под общ. ред. В.С. Улашика, М.П. Батуры. – Минск, 2004. – С. 453–457.

7–А. Бондарик, В.М. Система ультразвукового контроля коллоидных растворов / В.М. Бондарик, П.В. Камлач // Современная радиоэлектроника: научные исследования, подготовка кадров : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 апр. 2006 г. : в 3 ч. / Минский гос. высш. радиотехн. колледж ; под общ. ред. Н.А. Цырельчука. – Минск, 2006. – Ч. 1. – С. 38–42.

8–А. Бондарик, В.М. Акустоэлектронный контроль жидких сред / В.М. Бондарик, П.В. Камлач // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств : сб. материалов IV междунар. науч.-техн. конф., Полоцк, 25–26 мая 2006 г. : в 2 т. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: А.П. Достанко [и др.]. – Новополоцк, 2006. – Т. 1. – С. 267–271.

9–А. Бондарик, В.М. Математическая модель прохождения ультразвука через коллоидный раствор / В.М. Бондарик, П.В. Камлач, В.А. Жданович // Современные средства связи : материалы XI междунар. науч.-техн. конф., Нарочь, 25–29 сент. 2006 г. / Высш. гос. колледж связи ; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2006. – С. 41.

10–А. Камлач, П.В. Математическая модель прохождения ультразвука через многокомпонентный раствор / П.В. Камлач, В.А. Жданович, В.М. Бондарик // Медэлектроника–2006: средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. IV междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–13 дек. 2006 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2006. – С. 96–99.

11–А. Камлач, П.В. Акустоэлектронный контроль многокомпонентных жидких сред / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Медэлектроника–2006: средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. IV междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–13 дек. 2006 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2006. – С. 49–52.

12–А. Моделирование затухания акустических волн при прохождении через многослойные биологические структуры в среде MatLab / Н.В. Пыжик, В.А. Жданович, П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Медэлектроника–2006: средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. IV междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–13 дек. 2006 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2006. – С. 124–131.

13–А. Измерение коагуляционных параметров с помощью ультразвука / В.М. Бондарик, Ю.Г. Дегтярев, К.В. Дыма, П.В. Камлач, С.С. Сверликов // Медэлектроника–2006: средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. IV междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–13 дек. 2006 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2006. – С. 174–177.

14–А.Бондарик, В.М. Моделирование в среде MatLab затухания ультразвуковых колебаний в многослойных структурах / В.М. Бондарик, П.В. Камлач, Н.В. Пыжик // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., Минск, 10–11 апр. 2007 г. : в 4 ч. / Минский гос. высш. радиотехн. колледж ; под общ. ред. Н.А. Цырельчука. – Минск, 2007. – Ч. 2. – С. 25–29.

15–А.Камлач, П.В. Моделирование прохождения ультразвуковых колебаний через многослойные структуры / П.В. Камлач, Н.В. Пыжик, В.М. Бондарик // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ–2007» : материалы III междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 16–21 апр. 2007 г. / Севастоп. нац. техн. ун-т ; редкол.: Е.В. Пашков (предс.) [и др.]. – Севастополь, 2007. – С. 182.

16–А.Камлач, П.В. Моделирование процесса кавитации в крови при воздействии ультразвуковыми колебаниями / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апр. 2008 г. : в 3 ч. / Минск. гос. высш. радиотехн. колледж ; под общ. ред. Н.А. Цырельчука. – Минск, 2008. – Ч. 1. – С. 56–58.

17–А.Камлач, П.В. Математическое моделирование процесса кавитации в крови при воздействии ультразвука / П.В. Камлач, В.Н. Насанович, В.М. Бондарик // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ – 2008» : материалы IV междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 21–25 апр. 2008 г. / Севастоп. нац. техн. ун-т ; редкол.: Е.В. Пашков (пред.) [и др.]. – Севастополь, 2008. – С. 203.

18–А.Камлач, П.В. Программно-аппаратный комплекс для измерения времени свертывания крови по Ли-Уайту / П.В. Камлач, Т.В. Рубеко, В.М. Бондарик // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи : материалы II науч.-техн. конф. специалистов, аспирантов, студентов, посвящ. 15-летию Высш. гос. колледжа связи, Минск, 14–15 мая 2008 г. / Высш. гос. колледж связи ; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2008. – С. 38.

19–А.Камлач, П.В. Применение ультразвука для измерения времени свертывания крови по Ли-Уайту / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств : сб. материалов V междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29–30 мая 2008 г. : в 3 т. / Полоц. гос. ун-т ; под общ. ред. В.А. Орловича, В.К. Железняка. – Новополоцк, 2008, – Т. 1 : Радиоэлектроника. – С. 73–77.

20–А.Камлач, П.В. Акустоэлектронный контроль коллоидных растворов / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // НИРС–2006: сб. науч. работ студентов высш. учеб. заведений Республики Беларусь / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А.И. Жук (пред.) [и др.]. – Минск, 2007. – С. 85–86.

21–А. Камлач, П.В. Модель определения доквитационных порогов ультразвука/ П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Медэлектроника–2008: средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. V междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–12 дек. 2008 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2008. – С. 93–97.

22–А. Камлач, П.В. Ультразвуковой контроль коллоидных растворов в экологии / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Вузовская наука – региону : материалы VI Всероссийск. науч.-техн. конф., Вологда, 29 февр. 2008 г. : в 2 т. / Вологод. гос. техн. ун-т ; отв. ред. А.А. Плеханов. – Вологда, 2008. – Т. 2. – С. 368–370.

23–А. Бондарик, В.М. Программный комплекс акустоэлектронного исследования жидких сред / В.М. Бондарик, П.В. Камлач, В.Н. Насанович // Современные средства связи : материалы XIII междунар. науч.-техн. конф., Минск, 7–9 окт. 2008 г. / Высш. гос. колледж связи ; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2008. – С. 179–180.

24–А. Камлач, П.В. Применение ультразвука для оценки параметров свертывания крови / П.В. Камлач, Е.М. Лашкевич, В.М. Бондарик // РТ–2009: Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций : материалы V междунар. молодеж. науч.-техн. конф., посв. 150-летию А.С. Попова, Севастополь, 20–25 апр. 2009 г. / Севастоп. нац. техн. ун-т ; редкол.: Ю.Б. Гимпилович (предс.) [и др.]. – Севастополь, 2009. – С. 190.

25–А. Лашкевич, Е.М. Применение ультразвуковых преобразователей в коагулометрии / Е.М. Лашкевич, П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Современные средства связи : материалы XIV междунар. науч.-техн. конф., Минск, 29 сент.–1 окт. 2009 г. / Высш. гос. колледж связи ; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2009. – С. 90.

26–А. Камлач, П.В. Моделирование влияния ультразвука на концентрацию фактора XI при свертывании крови / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Новые направления развития приборостроения: материалы 3-й Междунар. студ. науч.-техн. конф., 21–23 апр. 2010 г., Минск, Респ. Беларусь / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2010. – С. 103.

27–А. Лашкевич, Е.М. Особенности исследования параметров свертываемости крови / Е.М. Лашкевич, П.В. Камлач, В.М. Бондарик // РТ – 2010: Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций : материалы 6-й междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 19–24 апр. 2010 г./ Севаст. нац. техн. ун-т. — Севастополь, 2010. – С. 268.

28–А. Камлач, П.В. Моделирование влияния ультразвука на концентрацию тромбина при свертывании крови / П.В. Камлач, Е.М. Лашкевич, В.М. Бондарик // РТ – 2010 Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций : Материалы 6-й междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 19–24 апр. 2010 г./ Севаст. нац. техн. ун-т. — Севастополь, 2010. – С. 354.

29—А.Камлач, П.В. Закономерности взаимодействия ультразвукового поля с компонентами жидких биологических сред / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Медэлектроника—2010: Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. VI междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2010 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2010. – С. 146–149.

30—А.Камлач, П.В. Математическая модель влияния ультразвука на параметры гемостаза / П.В. Камлач // Медэлектроника—2010: Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. VI междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2010 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2010. – С. 149–151.

31—А.Камлач, П.В. Применение ультразвука для перемешивания препаратов крови / П.В. Камлач, А.А. Ушакова, В.М. Бондарик // Медэлектроника—2010: Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. VI междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 дек. 2010 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2010. – С. 151–152.

32—А.Камлач, П.В. Математическая модель определения параметров ультразвука при перемешивании жидких сред / П.В. Камлач, А.А. Ушакова, В.М. Бондарик // РТ—2011: Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций : материалы VII междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Севастополь, 11–15 апр. 2011 г. / Севаст. нац. техн. ун-т ; науч. ред. Ю.Б. Гимпилович. – Севастополь, 2011. – С. 317.

33—А.Камлач, П.В. Классификация инструментальных методов исследования параметров гемостаза / П.В. Камлач // Медэлектроника—2012: Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. VII междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13–14 дек. 2012 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2012. – С. 48–50.

34—А.Камлач, П.В. Ультразвуковые исследования параметров гемостаза / П.В. Камлач, А.А. Ушакова, В.М. Бондарик, А.В. Будник // Медэлектроника—2012: Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. VII междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13–14 дек. 2012 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2012. – С. 243–245.

35—А. Ушакова, А.А. Разработка прототипа медицинской экспертной системы для диагностики заболеваний системы гемостаза / А.А. Ушакова, П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Медэлектроника—2012: Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. VII междунар.

науч.-техн. конф., Минск, 13–14 дек. 2012 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2012. – С. 85–86.

Тезисы докладов на научных конференциях

36–А. Дыма, К. Устройство ультразвукового контроля коллоидных растворов / К. Дыма, П. Камлач // Физика конденсированного состояния : тез. докл. XIII Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 26–28 апр. 2005 г. / Гродн. гос. ун-т. – Гродно, 2005. – С. 296–299.

37–А. Камлач, П.В. Акустический контроль сложных коллоидных растворов / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // НИРС–2005 : сб. тез. докл. X Респ. науч. конф. студентов и аспирантов высш. учеб. заведений Респ. Беларусь, Минск, 14–16 февр. 2006 г. : в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т [и др.] ; редкол.: С.К. Рахманов [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 2. – С. 153–154.

38–А. Камлач, П.В. Ультразвуковой контроль коллоидных растворов / П.В. Камлач // Физика конденсированного состояния: тез. докл. XIV Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 26–28 апр. 2006 г. / Гродн. гос. ун-т ; редкол.: В.Н. Гарбузов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2006. – С. 179–181.

39–А. Камлач, П.В. Исследования коллоидных растворов с помощью ультразвука / П.В. Камлач // Микроэлектроника и информатика–2006 : тез. докл. XIII Всероссийск. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Зеленоград, 19–21 апр. 2006 г. / Моск. гос. ин-т электрон. техники. – М., 2006. – С. 316.

40–А. Пыжик, Н.В. Моделирование изменения интенсивности ультразвука в многослойной структуре / Н.В. Пыжик, П.В. Камлач, В.А. Жданович // Физика конденсированного состояния : тез. докл. XV Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 25–27 апр. 2007 г. : в 2 ч. / Гродн. гос. ун-т ; редкол.: Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2007. – Ч. 2. – С. 204–208.

41–А. Сверликов, С.С. Устройство ультразвукового контроля коагуляционных параметров / С.С. Сверликов, П.В. Камлач // Физика конденсированного состояния : тез. докл. XV Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 25–27 апр. 2007 г. : в 2 ч. / Гродн. гос. ун-т ; редкол.: Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2007. – Ч. 2. – С. 219–222.

42–А. Камлач, П.В. Применение ультразвука для оценки коагуляционных параметров / П.В. Камлач, В.М. Бондарик // Микроэлектроника и информатика–2008 : тез. докл. XV Всероссийск. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Зеленоград, 23–25 апр. 2008 г. / Моск. гос. ин-т электрон. техники. – М., 2008. – С. 263.

43–А. Камлач, П.В. Моделирование кавитации в крови при воздействии ультразвука / П.В. Камлач, В.А. Пермякова // Физика конденсированного состояния : тез. докл. XVI Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов,

Гродно, 23–25 апр. 2008 г. : в 2 ч. / Гродн. гос. ун-т ; редкол.: Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2008. – Ч. 2. – С. 41–43.

44–А. Бондарик, В.М. Применение ультразвука для измерения коагуляционных параметров / В.М. Бондарик, П.В. Камлач, Т.А. Тавгень // Международная науч.-техн. конф., посвящ. 45-летию МРТИ – БГУИР : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19 марта 2009 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники: – Минск, 2009. – С. 78–79.

Заявки на патент

45–А. Способ оценки параметров гемостаза с использованием акустических колебаний : заявка на пат. Респ. Беларусь МПК G01N 33/49 / П.В. Камлач, В.М. Бондарик, А.Н. Осипов; заявитель Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – № А 20120694. – заявл. 03.05.2012 г.



РЭЗІЮМЭ

Камлач Павел Віктаравіч

Акустаэлектронная дыягностыка актываванага частковага трамбапласцінавага і пратрамбінавага часу для вызначэння стану гемастазу

Ключавыя словы: ультрагук, гемастаз, коагулометр.

Мэта працы: распрацоўка акустаэлектронных метадаў і сродкаў дыягностыкі актываванага частковага трамбапласцінавага і пратрамбінавага часу на аснове заздзіравання акустычнымі ваганнямі пробы крыві.

Метады даследавання і абсталяванне: вымярэнне параметраў ультрагука выраблялася з выкарыстаннем распрацаванага апаратна-праграмнага комплексу акустаэлектроннага даследавання параметраў гемастазу. Мадэляванне праходжання ультрагука праз розныя асяроддзі ажыццяўлялася ў асяроддзі матэматычнага праграмавання MatLab.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны арыгінальныя метадыкі акустаэлектроннага даследавання параметраў гемастазу, якія дазваляюць вызначыць актываваны частковы трамбапласцінавы час і пратрамбінавы час для выяўлення паталогій сістэмы гемастазу, на падставе якіх устаноўлена новая залежнасць амплітудна-частотных характарыстык акустычных ваганняў з плазмай і са згусткам крыві, якія дазволілі распрацаваць акустаэлектронныя сродкі дыягностыкі актываванага частковага трамбапласцінавага і пратрамбінавага часу для вызначэння функцыянальнага стану гемастазу, што ў сукупнасці забяспечвае вырашэнне прыкладной праблемы стварэння новых сродкаў кантролю медыка-біялагічных параметраў.

Ступень выкарыстання: вынікі працы выкарыстаны ў ЗАТ «СОЛАР», у УА «БДМУ».

Вобласць ужывання: дыягнастычная медыцына.

Камлач Павел Викторович

**Акустоэлектронная диагностика активированного частичного
тромбопластинового и протромбинового времени
для определения состояния гемостаза**

Ключевые слова: ультразвук, гемостаз, коагулометр.

Цель работы: разработка акустоэлектронных методов и средств диагностики активированного частичного тромбопластинового и протромбинового времени на основе зондирования акустическими колебаниями пробы крови.

Методы исследования и оборудование: измерение параметров ультразвука производилось с использованием разработанного аппаратно-программного комплекса акустоэлектронного исследования параметров гемостаза. Моделирование прохождения ультразвука через различные среды осуществлялось в среде математического программирования MatLab.

Полученные результаты и их новизна: разработаны оригинальные методики акустоэлектронного исследования параметров гемостаза, позволяющие определить активированное частичное тромбопластиновое время и протромбиновое время для выявления патологий системы гемостаза, на основании которых установлена новая зависимость амплитудно-частотных характеристик акустических колебаний с плазмой и со сгустком крови, позволившая разработать акустоэлектронные средства диагностики активированного частичного тромбопластинового и протромбинового времени для определения функционального состояния гемостаза, что в совокупности обеспечивает решение прикладной проблемы создания новых средств контроля медико-биологических параметров.

Степень использования: результаты работы использованы в ЗАО «СОЛАР», в УО «БГМУ».

Область применения: диагностическая медицина.

SUMMARY

Kamlach Pavel Victorovich

Acoustoelectronic diagnostics of activated partial thromboplastin and prothrombin time for defining hemostasis system state

Keywords: ultrasonic sound, hemostasis, coagulometer.

Aim of the work: development of acoustoelectronic methods and techniques for diagnostics of activated partial thromboplastin and prothrombin time based on blood sample probing with ultrasonic sound.

Research methods and equipment: measurement of ultrasonic sound characteristics was performed using the developed hardware and software acoustoelectronic complex for the research of hemostasis parameters. The transmission of ultrasonic through various substances was simulated in an interactive environment for numerical computation and programming MatLab.

The obtained results and their novelty: developed innovative methods of acoustoelectronic screening of hemostasis parameters, allow to define activated partial thromboplastin and prothrombin time for detection of hemostasis system disorders. New amplitude-frequency response characteristic of acoustic oscillations with plasma and blood clot was investigated on the base of these methods that allow us to develop acoustoelectronic tools for diagnostics of activated partial thromboplastin and prothrombin time to define functional state of the hemostasis system. In total this provides the solution of applied problems of creating new controls tools of biomedical parameters.

Extent of usage: the results of the work are used in JSC "SOLAR" and in EI "BSMU."

Field of application: diagnostic medicine.

Научное издание

Камлач Павел Викторович

**АКУСТОЭЛЕКТРОННАЯ ДИАГНОСТИКА АКТИВИРОВАННОГО
ЧАСТИЧНОГО ТРОМБОПЛАСТИНОВОГО И ПРОТРОМБИНОВОГО
ВРЕМЕНИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ГЕМОСТАЗА**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Подписано в печать 18.10.2013.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,5.

Формат 60x84 1/16.
Отпечатано на ризографе.
Тираж 60 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,86.
Заказ 413.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6