

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ НЕИНВАЗИВНОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ КРОВОТОКА В СОСУДАХ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА

Рамазанова К.А., к.м.н., доцент\*; Айкеева А.А., к.т.н., доцент\*\*;  
Аталикова А.С., к.б.н., ведущий специалист\*\*

\*Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

\*\*Карагандинский государственный университет им. академика Е.А.Букетова  
г. Караганда, Республика Казахстан

Идея работы заключается в применении электроаналоговых моделей для определения скорости кровотока в сосудах внутренних органов человека, основанных на аналогии протекания крови по кровеносному руслу и электрического тока по цепи, состоящей из ряда электрических элементов. Работа, кроме вышеназванных областей медицины представляет интерес и в терапии, например при введении препаратов определение скорости кровотока имеет значение для оценки времени достижения максимальной концентрации препаратов во внутренних органах.

*Ключевые слова:* кровообращение, кровоток, четырехполюсник, электричество, система.

По данным мировой статистики сердечнососудистые заболевания занимают ведущее место среди причин смертности и инвалидизации населения. В Казахстане первичная заболеваемость сердечнососудистыми заболеваниями за 4 года выросла в 1,3 раза (2001 год - 1396 человек на 100 тыс. населения, в 2004 год – 1845 человека). Общая заболеваемость сердечнососудистыми болезнями на 2004 год составила 8504,2 человека на 100 тыс. населения (1276702 человека или около 8,5% от всего населения).

По уровню смертности от болезней органов кровообращения Казахстан занимает одно из первых мест среди стран Европейского союза, Центральной и Восточной Европы, Центрально-Азиатского региона. Показатель смертности от болезней органов кровообращения остается самым высоким, превышая показатель смертности от онкологических заболеваний, травм, несчастных случаев, болезней органов дыхания в несколько раз.

Первыми работами, положившими начало таких исследований, можно считать работы Гарвея и Ньютона. Всплеск таких исследований начался во второй половине 20 века, когда к исследованиям по моделированию сердечно-сосудистой системы (ССС) человека стали привлекать математический аппарат и вычислительную ТехННКУ: F.S. Grodins (1966), P.L. Vadot (1968), L. Pater (1966), Шумаков В.И. (1971) и др.). Широкий спектр моделей ССС привел к трудностям, связанных с тем, что при построении конкретной модели используются принципы, присущие, пожалуй, только этой модели. Однако при решении задач, которые возникают как в теоретических исследованиях, так и при решении задач клинического плана, приходится пользоваться несколькими моделями. Поэтому встает необходимость соотнести определенную модель (или несколько моделей) в рамках другой (или нескольких) модели и наоборот. Необходимо объединяющее начало, позволяющее выводы, полученные на основании одной модели, соотносить с результатами, выявленными в рамках другой модели. Подходы, предлагаемые к настоящему времени (Е.Н. Starling, A. Hill, Хаютин В.М., Шумаков В.И., Бакусов Л.М., Лишук В.А. и др.) обуславливали анализ большого числа параметров, от которых зависит поведение ССС, а при более детальном описании ее функционирования проявляется тенденция к еще большему увеличению числа параметров [1].

Накоплен большой материал о структуре кровообращения, однако взаимодействие отдельных его звеньев изучено недостаточно. За последние годы наряду с экспериментальным исследованием процессов гемодинамики все большее внимание исследователей привлекает возможность изучения функционирования аппарата кровообращения с помощью моделирования [2,3,4]. В настоящее время в мире моделирование системы кровообращения не направлено на определение скорости кровотока.

Работы по моделированию системы кровообращения, проводимые в России и США, также не направлены именно на определение скорости кровотока, поэтому в данной работе нуждаются как врачи-диагносты, так и хирурги разных специализаций [5].

В многочисленных исследованиях аппарат кровообращения человека рассматривался как самостабилизирующая система. Однако, за последнее время интенсивно изучаются другие виды саморегулирования, происходящих в адаптивных системах [6]. В медицине для диагностики заболеваний, а также при подготовке к хирургическим операциям необходимо знать скорость

кровотока в сосудах внутренних органов человека. Но в настоящее время не существует эффективного неинвазивного способа определения скорости кровотока в сосудах внутренних органов и в сосудах к ним подходящих. Метод доплерографии позволяет определить скорость кровотока в верхних и нижних конечностях человека (на руках и ногах), что не позволяет прогнозировать скорость кровотока во внутренних органах [7,8,9]. А точность и достоверность измерения скорости кровотока с помощью аппаратов УЗИ зависит от самого аппарата УЗИ, программного обеспечения, набора датчиков, размера монитора. Для подавляющего большинства УЗИ аппаратов не нормируется предельная погрешность (а также разрешающая способность и т.п.). Известно, что измерение скорости кровотока с помощью аппаратов УЗИ имеет большую погрешность (до 60%), на которую влияет человеческий фактор, программное обеспечение, качество датчиков, колебания напряжения в электрической сети. Также следует отметить, что измерение скорости кровотока аппаратом УЗИ — достаточно субъективная методика, так как одни и те же данные могут трактоваться различными врачами по-разному. Метод серьезно зависит от уровня квалификации врача, поскольку некачественная интерпретация различных акустических помех и артефактов способны дать картину тех заболеваний, которых у больного нет.

Применяемый в настоящее время измерение скорости кровотока с помощью проникновения зонда в сосуды: во-первых показан не всем больным, во-вторых является сложной операцией с возможными негативными последствиями (повреждение кровеносных сосудов и т.п.)

Разрабатываемая методология заключается в определении скорости кровотока в сосудах внутренних органов неинвазивным способом по результатам доплерографии в верхних и нижних конечностях человека, в создании типоряда организма человека с учетом отличий в разветвлениях системы кровообращения организма человека

При моделировании учитывается взаимное влияние различных органов, а также эластичность стенок сосудов. Входными характеристиками являются результаты доплерографии. Работа предусматривает изучение системы кровообращения человека до капиллярной системы. При моделировании применяется теория четырехполосника, с построением схемы замещения, входными величинами которого являются результаты доплерографии. Для этого проводится аналогия скорости кровотока с силой электрического тока. Теоретические результаты необходимо подтвердить экспериментальными исследованиями.

Для достижения цели по разработке методов определения скорости кровотока в кровеносных сосудах внутренних органов человека без вмешательства внутрь организма необходимо решение следующих задач:

- анализ и исследование типов организма человека, создание типоряда организма человека с учетом отличий в разветвлениях системы кровообращения организма человека;
- электроаналоговое моделирование системы кровообращения по типоряду с помощью пакетов прикладных программ;
- определение взаимосвязи параметров, характеризующих кровообращение: артериальное давление крови в кровеносном русле, объемный кровоток, периферическое сопротивление;
- разработка алгоритма определения скорости кровотока в сосудах внутренних органов;
- измерение скорости кровотока на конечностях методом доплерографии у экспериментальной группы людей;
- определение целевых функций, для расчета скорости кровотока в сосудах внутренних органов по результатам доплерографии;
- измерение скорости кровотока в сосудах внутренних органов методом инвазивного вмешательства у экспериментальной группы людей, сравнение с результатами расчета и определение погрешности.

Сравнительный анализ скорости кровотока в контрольных точках со среднестатистическими показателями позволит оценить состояние сосудистой системы и установить наличие патологии (сужение, препятствие).

Полученные результаты по разрабатываемой методологии, позволят с достаточной точностью определить скорость кровотока в сосудах внутренних органах. Это даст возможность врачам более правильно диагностировать болезнь. В большинстве случаев больным не нужно будет делать дорогостоящие обследования зондированием кровеносных сосудов. Разработанная методология будет значительным этапом в развитии изучения сердечно-сосудистой системы и в других областях медицины, где параметры кровотока указывают на определенные симптомы болезни. От полученных результатов можно ожидать сильный социальный и экономический эффект, так как будет облегчено диагностирование болезней и подготовка к сложным медицинским операциям.

При разработке данной методологии определения скорости кровотока необходимо использовать следующие методы: системный подход к построению структуры системы кровообращения, электроаналоговой модели; методы математического анализа, математической физики, законы электротехники и методы расчета четырехполюсника; методы физического и математического моделирования процессов функционирования системы кровообращения, методы математической статистики, решение с помощью пакетов прикладных программ, компьютерная обработка данных.

Предлагается следующий порядок и механизм проведения исследований:

- набирается контрольная группа людей (20- 30 человек) разного типоразмера;
- на аппарате доплерографии периферических сосудов СОНОМЕТ (Россия) измеряется скорость кровотока верхних и нижних конечностей человека;
- по разработанной методологии неинвазивным способом определяется скорость кровотока в сосудах внутренних органов (в контрольных точках);
- для анализа достоверности полученных результатов на аппарате УЗИ у человека измеряется скорость кровотока в сосудах внутренних органов (в контрольных точках).

Методология определения скорости кровотока в сосудах внутренних органов человека включают типовой ряд моделей системы кровообращения человека, пакет программ, позволяющий проводить математическое и компьютерное моделирование.

Заболеваемость и смертность от сердечнососудистой патологии затрагивает самую перспективную в работоспособном и репродуктивном отношении часть населения. Наибольшее количество больных и умерших приходится на мужчин в возрасте от 35 до 60 лет, что недопустимо при существующей демографической ситуации в стране. Определение скорости кровотока позволит предопределить патологию и не доводить болезнь до хирургического вмешательства.

Разрабатываемую методологию легко применить во всех медицинских лечебных учреждениях, так как в Казахстане медицинские учреждения достаточно хорошо компьютеризированы. Также полученные результаты будут интересны научному сообществу и могут быть использованы в дальнейших исследованиях сердечно-сосудистой системы человека.

Полученные результаты могут повлиять на развитие клинической и экспериментальной медицины. Особенностью исследования процессов гемодинамики с помощью электро аналогов является возможность экспериментальной проверки тех или иных гипотез о функционировании регулятора кровообращения, которые невозможно проверить в физиологическом эксперименте.

#### Литература:

- 1) Кузнецов Г.В. Математическое моделирование структурных параметров сердечно-сосудистой системы методами дифференциальных форм. Автореферат на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.- Сургут, 2012 г.
- 2) Ашметков И.В., Мухин С.И., и др. Анализ и сравнение некоторых аналитических и численных решений задач гемодинамики. Дифференциальные уравнения. 2000.
- 3) Буничева А.Я., Лукшин В.А., и др. Численное исследование гемодинамики большого круга кровообращения. Препринт. – М: МАКС Пресс, 2001. – 20 с.
- 4) Мухин С.И., Соснин Н.В., Фаворский А.П., Хруленко А.Б. Линейный анализ волн давления и скорости в системе эластичных сосудов. Препринт. – М: МАКС Пресс, 2001. – 37с.
- 5) Савицкий Н. Н., Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики, 2 изд., Л., 1963.
- 6) Иванова Л.Н., Блохин А.М., Маркель А.Л. Система кровообращения и артериальная гипертония: биофизические и генетико-физиологические механизмы, математическое и компьютерное моделирование. Монография, Издательство: СО РАН, 2008 г.- 253 стр.
- 7) Самарский А.А., Фаворский А.П., и др. **Математическое моделирование сердечно-сосудистой системы** Препринт, 1996
- 8) **Абакумов М.В., Ашметков И.В., и др. Методика математического моделирования сердечно-сосудистой системы**
- 9) Фаворский А.П., Абакумов М.В., и др. Математическая модель сердечно-сосудистой системы. Препринт – М.: МГУ, 1998, - 16с