

## ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЙ КОД СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ

**Г.М.Поединцев, О.К.Воронова**

*Воронежский государственный университет*

*394690 г. Воронеж. Университетская площадь, 1, [ikmuf99@mail.ru](mailto:ikmuf99@mail.ru)*

На рубеже веков особую значимость приобретает вопрос о том, по какому направлению будет развиваться научно-технический прогресс в ближайшие 20 лет. По нашему убеждению, одним из наиболее эффективных направлений будет получение новых знаний о механизме внутреннего трения в жидкостях и газах, разработка на этой основе новых технологий, в том числе и медицинских. В свою очередь, это позволит создать новые высокоэффективные медицинские информационные системы.

Поиск способов снижения потерь напора на преодоление внутреннего трения при движении жидкостей и газов уже не одно столетие является важнейшей и актуальнейшей научной и инженерной задачей, поскольку эти потери составляют примерно 99% от общих затрат энергии. Мы хотим очень кратко представить лишь некоторые научные и практические результаты, полученные нами при решении этой проблемы в течение последних 30 лет.

При решении этой проблемы были использованы уравнения Навье-Стокса и аксиоматический метод. А именно, предпосылки (аксиомы), положенные в основу вывода этих уравнений, были проверены аксиоматическим методом на непротиворечивость и независимость. Были выявлены противоречивость и зависимость некоторых аксиом, устранение которых позволило вывести уравнения движения реальной жидкости. Анализ полученных уравнений показал, что они не только адекватно описывают известные ламинарное и турбулентное течения жидкости, но и сам механизм внутреннего трения. Теория показала, что в момент возникновения движения жидкости из состояния покоя, например в трубе, возникает и начинает функционировать механизм внутреннего трения, имеющий волновую природу. А именно, в очень тонком пограничном слое жидкости на внутренней поверхности трубы возникает сжатый пакет осесимметричных концентрических волн, точнее – волн трения. Этот пакет сразу же, с момента возникновения, начинает расширяться, подобно растягивающейся гармошке. Волна, расположенная на переднем фронте пакета, сокращаясь, убегает к оси трубы со скоростью звука в среде, а пограничная волна, не отрываясь от стенки трубы, медленно расширяется. При приходе к оси трубы, радиус концентрической волны переднего фронта сокращается до нуля, и волна исчезает. За ней одна за другой к оси трубы приходят и исчезают остальные волны. С момента прихода к оси трубы расплывшейся пограничной волны, волнообразный профиль скорости движения среды начинает переформировываться в параболический, а начальная стадия разгонного течения переходит в окончательную стадию (пуазейлевское течение), для которой становится приложимой гипотеза Ньютона.

Другой характерной особенностью начальной стадии разгонного течения (для краткости названного «третьим» режимом) являются малые потери напора на преодоление трения (не более 3-4%), то есть это самый экономичный режим транспортирования жидкостей и газов по трубам и каналам.

В дальнейшем нами был разработан способ удержания «третьего» режима движения среды в трубопроводе в течение неограниченного времени. Он заключается в том, что транспортирование среды осуществляется в пульсирующем режиме с особой формой импульса скорости движения в каждом импульсе. Была разработана математическая модель оптимальной гидросистемы, предназначенной

для транспортирования среды в этом режиме. Затем, набор признаков, достаточно полно характеризующий эту гидросистему, был выявлен в системе кровообращения, что и стало доказательством того, что кровь движется по кровеносным сосудам не в пуазейлевском, а в самом экономичном «третьем» режиме.

Анализ свойств и закономерностей оптимальной гидросистемы позволил понять многие известные, но не объяснимые функциональные особенности системы кровообращения (плоский и М-образный профили скорости движения крови в кровеносных сосудах, фазовая структура сердечного цикла, механизм образования эритроцитарных монетных столбиков) и получить новые знания о ней. Например, то, что при движении крови по сосудам в «третьем» режиме, она расслаивается волновым механизмом внутреннего трения на два потока, поток чистой плазмы и поток плазмы, в котором концентрация эритроцитов может достигать 90%. При такой структуре движущейся крови эритроциты движутся быстрее плазмы.

Другим примером новых знаний, полученных при таком подходе к исследованию функционирования системы кровообращения, является установленная нами закономерность, отображающая зависимость величин гемодинамических параметров от длительностей фаз сердечного цикла. Иначе можно сказать, что информация о транспортной (гемодинамической) функции системы кровообращения закодирована в виде длительностей фаз сердечного цикла, а разработанная математическая модель оптимальной гидросистемы служит ключом к расшифровке этого кода.

На этой основе был разработан новый математический метод диагностики функционального состояния сердечно-сосудистой системы, представляющий собой совокупность неинвазивных способов определения параметров центральной гемодинамики по длительностям фаз сердечного цикла. Третья версия математического метода была реализована в программно-аппаратном модуле «Ваше сердце» (ПАК).

ПАК предназначен для определения объемно-фазовых параметров центральных отделов системы кровообращения (сердца и сопряженных с ним крупных кровеносных сосудов) по длительностям зубцов и интервалов ЭКГ.

Работа с ПАК «Ваше сердце» включает:

1) Определение по стандартно записанной ЭКГ в одном или нескольких кардиоциклах длительностей QRS, R-S, Q-T, P-Q (сегмента), RR.

2) Расчет на ЭВМ (с помощью ПАК) величин следующих гемодинамических параметров:

SSV (мл/см<sup>2</sup>) – количество крови, протекающей через один квадратный сантиметр площади просвета аорты за один удар (удельный ударный объем);

SMV (л/см<sup>2</sup>) – удельный минутный объем;

SV (мл) – ударный объем;

MV (л) – минутный объем кровообращения;

PV<sub>1</sub> (мл) – объем крови, поступающий в диастолу в левый желудочек сердца в фазу быстрого наполнения в результате действия присасывающей функции желудочка и венозного притока;

PV<sub>2</sub> (мл) – объем крови, поступающий в левый желудочек сердца в фазу медленного наполнения в результате действия присасывающей функции желудочка и венозного притока;

PV<sub>3</sub> (мл) – объем крови, поступающий в левый желудочек сердца в фазу систолы предсердия, характеризующий контрактильную способность миокарда левого предсердия;

PV<sub>4</sub> (мл) – объем крови, изгоняемый левым желудочком сердца в фазу быстрого изгнания;

PV<sub>5</sub> (мл) – объем крови, изгоняемый левым желудочком сердца в фазу медленного изгнания;

$PV_6$  (мл) – объем крови, перекачиваемый в систолу восходящей аортой как перистальтическим насосом;

$PV_1$  (% SV), ...,  $PV_6$  (%SV) – диастолические и систолические объемно-фазовые параметры, выраженные в процентах от ударного объема.

Оценка состояния насосной функции сердца и сопряженных с ним крупных кровеносных сосудов осуществляется не по абсолютным величинам гемодинамических параметров, а по их отклонениям от нижней и верхней границ нормы, зависящей от частоты сердечных сокращений (HR), пола и возраста человека.

Таким образом, разработанный нами математический метод диагностики функционального состояния сердечно-сосудистой системы позволяет существенно расширить возможности электрокардиографии, являющейся одним из наиболее широко применяемых и доступных в любых условиях диагностических методов. В свою очередь, это дает возможность повысить эффективность диагностики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний. В заключение, приведем лишь один пример конкретной реализации математического метода.

**ПРИМЕР.** Результаты исследования математическим методом гемодинамики пациента с диагнозом: острый обширный инфаркт миокарда передней стенки левого желудочка.

*ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ НАСОСНОЙ ФУНКЦИИ СЕРДЦА И  
СОПРЯЖЕННЫХ С НИМ КРУПНЫХ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ ПО ЭКГ*

Дата: 07.08.1998 г.    Время: 11:50

Пол: мужчина    Ф.И.О.: Иванов Алексей Николаевич    Возраст: 27 лет

**ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИНТЕРВАЛОВ И СЕГМЕНТОВ ЭКГ**

QRS = 80 ms; R-S = 30 ms; Q-T = 240 ms; P-Q<sub>c</sub> = 140 ms; R-R = 600 ms;  
HR = 100 bpm

**ОБЪЕМНО – ФАЗОВЫЕ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ**

Параметры	Величины	% от нормы
SSV (ml/sm <sup>2</sup> )	7.0	-9
SMV (l/sm <sup>2</sup> )	0.7	-9
SV (ml)	34	-17
MV (l)	3.4	-17
PV <sub>1</sub> (ml)	9	-36
PV <sub>2</sub> (ml)	6	-34
PV <sub>3</sub> (ml)	18	0
PV <sub>4</sub> (ml)	20	-17
PV <sub>5</sub> (ml)	14	-17
PV <sub>6</sub> (ml)	6	-2
PV <sub>1</sub> (% SV)	27	-8
PV <sub>2</sub> (% SV)	19	-5
PV <sub>3</sub> (% SV)	54	13
PV <sub>4</sub> (% SV)	59	0
PV <sub>5</sub> (% SV)	41	0
PV <sub>6</sub> (% SV)	18	3

## ОЦЕНКА:

1. Величина сердечного выброса ниже предела нормальных величин.
2. Объем крови, поступающий в левый желудочек сердца в раннюю диастолу, значительно ниже предела нормальных величин, что свидетельствует о значительном снижении «присасывающей» функции левого желудочка сердца, которое является симптомом заболеваний сердца, сопровождающихся гипертрофией миокарда.
3. Соотношение между диастолическими объемно-фазовыми параметрами сдвинуто от нормального соотношения в сторону увеличения объема крови, поступающего в левый желудочек сердца в фазу систолы предсердия, что свидетельствует о нагрузке объемом левого предсердия.

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СУТОЧНОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ ЭКГ У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА В САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ УСЛОВИЯХ

А.Ю. Тишаков, С.В. Мешалкина

*Сочинский центральный военный санаторий*

*г. Сочи, Курортный проспект 94, тел. (8622) 97-08-88, 92-52-50*

Метод 24-часового Холтеровского мониторирования с целью выявления безболевых форм, ИБС, регистрации кратковременных нарушений ритма и проводимости, оценки эффективности санаторного лечения получает все более широкое применение в Сочинском ЦВС.

Цель работы: изучение диагностических возможностей суточного мониторирования ЭКГ у больных ИБС, стенокардией напряжения, функциональный класс 1-2 в процессе санаторно-курортного лечения.

Нами обследовано 116 мужчин и 14 женщин в возрасте 40-65 лет, поступивших в санаторий с определенным диагнозом ИБС, стенокардия напряжения, функциональный класс 1-2.

В комплексное обследование входили: велоэргометрия, компьютерная спирография, суточное мониторирование. Суточное мониторирование проводилось в условиях естественного двигательного режима с помощью аппарата "KODY ELCOT/AD24 PLUS F" (Индия). Кардиокомплекс состоял из носимой части - регистратора и стационарной части - анализатора. Носимый регистратор записывал электрокардиограмму в течение 24 часов. Носимый регистратор крепился на пациенте. Electroды фиксировались на теле. Использовались отведения близкие к отведениям V I -V2 и V5-V6 стандартной ЭКГ. По окончании записи регистратор подсоединяется к анализирующему устройству, которым являлся персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением, позволяющим проводить автоматическую расшифровку и обработку полученной информации.

Суточное мониторирование проводилось на фоне климатолечения, бальнеотерапии, лечения лазером и сегментарно-рефлекторного массажа при ИБС. При суточном мониторировании ЭКГ больные вели дневник, в котором регистрировали приступы стенокардии, прием климато-, физиопроцедур, время и характер выполняемых нагрузок. При расшифровке записи эти данные сопоставляли с ЭКГ. В протоколе исследования отмечали количество эпизодов ишемии, с указанием динамики сегмента ST, их продолжительность, времени возникновения, величину смещения сегмента ST, а также эпизоды нарушений ритма с их характеристикой, характер субъективных ощущений.

При суточном мониторировании ЭКГ выявлена высокая чувствительность метода — признаки ишемии миокарда установлены у 34% больных. У 92% пациентов эпизоды ишемии протекали бессимптомно, а у 8% болевые приступы носили легкий характер.