

УДК 681.2.089

### Функциональная диагностика человеко-машинных систем

В.Т Коваль<sup>1</sup>, А.Н. Розенбаум<sup>2</sup>, А.Е. Соловей<sup>3</sup>, Г.А. Заяц<sup>4</sup>, И.В. Гарасев<sup>5</sup>

<sup>1, 5</sup> Дальневосточный федеральный университет

<sup>2</sup> Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточное отделение  
Российской академии наук

<sup>3, 4</sup> 1477 Военно-морского клинического госпиталя

**Аннотация:** Рассмотрена надежность элементов человеко-машинных систем при динамическом взаимодействии оператора и техники. На примере анализа состояния здоровья плавсостава на морском флоте России отмечена важная роль сердечно-сосудистых заболеваний. У трети заболевших болезнь развивается внезапно. Это часто приводит к катастрофическим последствиям при эксплуатации важных человеко-машинных систем. Оценивается влияние здоровья в человеко-машинных системах на безотказную работу комплексов. Предложены новые критерии оценки удельного количества крови на единицу массы ткани органов человека. Предлагается новый неинвазивный способ неконтактного измерения параметров кровотока на основе магнитных датчиков. Разработанные технические приборы и методы анализа состояния оператора, подтвержденные экспериментально с использованием потенциально больших и здоровых групп моряков.

**Ключевые слова:** человеко-машинные системы, неконтактное измерение, магнитные датчики

Управление и обслуживание сложных компьютеризированных комплексов сопровождается возрастающими психоэмоциональными нагрузками, насыщенностью потоков информации, предъявляет повышенные требования к состоянию здоровья операторов человеко-машинных систем. Что касается технической составляющей системы, -ее надежность обеспечивается тщательно продуманными организационными мероприятиями от ежедневного «проворачивания» оружия и технических средств до сервисного гарантийного обслуживания, планово-предупредительного ремонта до множества научных исследований, направленных на решение проблем надежности технических средств на каждом из этапов их эксплуатации.

Если бы до 80% технических систем выходило из строя внезапно и непредсказуемо, а треть из них не подлежала ремонту и восстановлению, то

ситуация считалась бы неприемлемой. Иначе обстоят дела оценкой состояния здоровья операторов человеко-машинных систем. В частности, на морском флоте у восьми из десяти человек плавсостава до достижения сорокапятилетнего возраста отмечаются заболевания сердечно-сосудистой системы. У трети из них заболевания развиваются внезапно и стремительно, угрожая тяжелыми последствиями [7].

Существует настоятельная потребность в разработке портативной необременительной аппаратуры медицинского назначения, позволяющей контролировать и прогнозировать состояние операторов человеко-машинных систем при выполнении полетов, вахт, диспетчерских обязанностей. Необходимо так же определиться и с направлением исследований, необходимым набором сил и средств для решения этих проблем.

Надежность организма человека обеспечивается уровнем надежности элементов его систем в их динамическом взаимодействии. Проблема надежности каждого человека не может рассматриваться в отрыве от надежности системы здравоохранения. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ни в одной стране мира нет достаточных ресурсов для полного обеспечения нужд национального здравоохранения. Отсюда – необходимость выбора оптимальной стратегии и тактики законодательного регулирования в этой области человеческой деятельности.

На протяжении многих десятилетий проблема гипертонической болезни остается нерешенной, несмотря на принципиальную и практическую возможность снизить АД в процессе фармакотерапии. Полагаем, повышение артериального давления необходимо рассматривать не как болезнь, а как следствие, неизбежную, порою – избыточную, но всегда – компенсаторную реакцию на различные нарушения гемодинамики. Наблюдения, проводимые нами в течение ряда лет в ФГКУ «1477 Военно-морском клиническом

---

госпитале» Минобороны России, дают основание полагать, что существование эссенциальной гипертонической болезни не находит подтверждения. У повышения артериального давления непременно есть причины. Ссылки на «эссенциальность» не должны препятствовать их выявлению. С заслуживающим пристального внимания постоянством артериальная гипертензия и формирование гиперкинетического типа гемодинамики отмечается в начальном периоде многих заболеваний. В том числе, при поражениях техногенной этиологии. Принципиальных отличий от развития так называемой гипертонической болезни при этом не выявлено. В значительной мере универсальны и факторы риска [1,3].

Исследования Л.В. Поташева (1980), М.Б. Коломойской, Е.А. Дикштейн(1986), А.Марстона (1989) и наши наблюдения (1998- 2012) позволяют установить наличие зависимости между артериальными гипертензиями и выраженным нарушением магистрального и органного кровотока [6].

Что касается термина “гипертоническая болезнь”, надо отметить, произошла далеко не безобидная или формальная подмена понятий “симптом” и “болезнь”. Оставаясь на позициях Гарвея и Мальпиги, необходимо признать, что нет, и никогда не было гипертонической болезни, как нет болезни температурной, кашлевой или чихательной. Есть артериальная гипертензия, как симптом, следствие, защитно-компенсаторная реакция в ответ на ишемию, ибо доставить необходимое количество крови через поврежденные сосуды можно лишь при увеличении градиента давления (Закон Хагена-Пуазейля). Снижение давления по этой причине может подрывать защитную реакцию, способствуя увеличению степени ишемии [5,6].

Мультифакторные изменения окружающей среды могут достигать степени чрезвычайного раздражителя, когда реакция организма превышает

---

референтные пределы физиологических значений, достигая уровня болезни [3,4,7].

Защитно-приспособительные, компенсаторные реакции в ответ на раздражение стереотипно проявляются в различных формах (артериальная гипертензия, высокая температура, аллергия и др.), что в зависимости от степени выраженности осложняет течение основного заболевания и уже само по себе представляет серьезную опасность для здоровья и жизни человека [5,6].

Проблемы этиологии в отношении большой группы грозных сердечнососудистых заболеваний остаются не вполне решенными, изобилуют перечислением факторов риска, количество которых колеблется от 30 до 200 и продолжает увеличиваться [1,2].

Во всех наблюдаемых профессиональных группах отмечена трансформация эукинетического типа центральной гемодинамики (ЦГД) в гиперкинетический на протяжении первых 10-15 лет профессиональной деятельности с последовавшей в дальнейшем эволюцией в гипокинетический при стаже работы свыше 20-25 лет.

Региональные нарушения гемодинамики, обусловленные перечисленными факторами, влекут за собою компенсаторную реакцию в виде артериальной гипертензии. Повышение артериального давления призвано обеспечить доставку необходимого объема крови через поврежденную, сузившуюся сосудистую сеть. Лечение такой гипертензии приводит к феномену «обкрадывания» органов и тканей в бассейне поврежденных сосудов. Отсутствие лечения и длительно существующая гипертензия ведет к гипертрофии миокарда.

Одним из этапов этого процесса являются клинические проявления несоответствия между потребностью все увеличивающегося миокарда и возможностями его сосудистой сети, т.е. ишемическая болезнь сердца.

---

Региональные нарушения кровообращения, обусловленные перечисленными факторами, вызывают компенсаторную артериальную гипертензию. Компенсаторная артериальная гипертензия, в ряде случаев, трактуется как гипертоническая болезнь. Попытки ее лечить приводят к феномену «обкрадывания» в бассейне пораженных сосудов с развитием в той или иной степени дистрофии или атрофии органов в бассейне пораженных сосудов.

Неадекватное лечение становится началом цепочки, ведущей к гипертрофии миокарда и ее финальной стадии в момент несовпадения потребностей гипертрофированного миокарда и возможностей обеспечивающей его сосудистой системы. Возможно, по мере нарастания гипертрофии складывается ситуация, имеющая признаки ишемической болезни сердца. Не случайно ЭКГ при гипертрофии левого желудочка имеет признаки его ишемии (снижение сегмента S–T и отрицательный зубец T в соответствующих отведениях).

Одним из открытий, дающих ключ к пониманию причин «пандемии» артериальной гипертензии, можно считать наблюдения Р.Брайта (1820 г.), установившего связь между заболеваниями почек и гипертрофией миокарда левого желудочка. Механизм почечных гипертензий тщательно изучен и может быть отнесен к категории компенсаторных, защитных реакций, направленных на предотвращение ишемии почек. Вероятно, и другие органы и ткани компенсируют грозящую им ишемию, поддерживая градиент артериального давления. Кровь движет не давление, а его градиент.

Гипертензия, необходимая для поддержания градиента давления, с течением времени способствует, более того, предполагает развитие гипертрофии миокарда. Однако, всякая гипертрофия сопровождается уменьшением удельного количества крови на единицу массы тканей органа, уже по одной только этой причине вызывая ту или иную степень ишемии.

---

Это вполне объясняет генез электрофизиологических признаков гипертрофии миокарда.

Своевременное выявление и устранение факторов риска, правильный алгоритм медицинского контроля, диспансеризации могут и должны обеспечить предупреждение и снижение заболеваемости.

Возрастает актуальность проблемы значительно большей распространенности гипертонической болезни среди организованных (профессиональных) популяций в сравнении с неорганизованными (гражданским) населением. В этой связи особое внимание уделяется техногенным факторам среды обитания и профессиональной деятельности.

Основным (скрининговым) методом диагностики гипертонической болезни является измерение артериального давления. Метод вошел в практику в 1905 году (Н.С. Коротков) и не претерпел к настоящему времени существенных изменений. Это «оператор-зависимая» методика, погрешность может достигать 20-25% у различных медицинских работников. Тревожно-мнительное ожидание результата (синдром белого халата) со стороны пациента еще увеличивает погрешность измерения. В этой связи крайне актуально применение аппаратов для неконтактного измерения параметров кровотока.

Еще одной важной проблемой является определение (прижизненное) массы миокарда, поскольку гипертрофия левого желудочка –важнейший фактор риска инфаркта миокарда и смерти от сердечно-сосудистой патологии. Остается невыясненным, влияет ли на прогноз обратное развитие гипертрофии ЛЖ.

Проблемой является и исследование адекватности кровотока во внутренних органах. Необходимы устройства и методы для исследования состояния их гемодинамики, что способствовало бы решению этих проблем.

Удельное количество крови на единицу массы ткани тем меньше, чем больше степень ее гипертрофии. Поэтому всякая гипертрофия при прочих равных условиях кровоснабжения есть та или иная степень ишемии даже еще до появления клинических симптомов патологии. В этой связи определение функционального индекса соответствия (ФИС) позволяет выявить начальные проявления заболевания.

Увеличение периферического сопротивления сосудов вне зависимости от причины компенсируется для сохранения градиента давления систолической артериальной гипертензией (закон Хагена-Пуазейля), формированием гиперкинетического типа кровообращения. Поэтому раннее выявление нарушений периферической гемодинамики и адекватное вмешательство может предотвратить развитие гипертензии, гипертрофии и, соответственно, ишемии.

По нашим наблюдениям, системный кровоток в условиях АГ характеризуется развитием вначале гиперкинетического, а затем гипокинетического типа гемодинамики. В контрольной группе (здоровые) преобладал эукинетический тип циркуляции.

В условиях биологического оптимума жизнедеятельности человека преобладающим типом системной циркуляции является эукинетический. Число лиц с гипокинетическим типом увеличивается по мере нарастания тяжести и продолжительности артериальной гипертензии.

Гиперкинетический тип центральной гемодинамики является основным при дебюте гипертонической болезни I стадии и заболеваниях, сопровождающихся артериальной гипертензией.

Масса миокарда левого желудочка увеличивается при гипертонической болезни II и III стадий в большей степени, чем при хроническом гломерулонефрите и хроническом пиелонефрите.

Ремоделирование левого желудочка начинается в раннем периоде гипертонической болезни. Длительно сохраняющаяся артериальная гипертензия сопровождается развитием гипертрофии левого желудочка и его диастолической дисфункции.

Исследованные показатели практически не отличаются во всех случаях заболеваний, протекающих с формированием гиперкинетического типа гемодинамики.

Полагаем, что роль «стрессорного фактора» у лиц героических профессии не столь однозначна и несколько преувеличена. Влияние таких факторов преходяще, тогда как летчиков и трактористов, моряков и шахтеров в значительно большей степени и постоянстве объединяет воздействие локальной и общей вибрации, шума, электромагнитных излучений (ЭМИ), геомагнитных полей.

Новые технические средства и методы оценки состояния центральной и периферической гемодинамики, методы диагностики позволяют контролировать отклонения в состоянии здоровья и физиологических функций на донологическом уровне.

Традиционные методы и технические средства функциональной диагностики гемодинамики при использовании новых технологий позволяют получать высокоинформативные показатели.

Для мобильного мониторинга нами разработан «Способ неконтактного измерения параметров кровотока, устройство его осуществления и микроэлектронный магнитный датчик», который устанавливается в непосредственной близости над артерией, измеряет напряженность импульсного магнитного поля, создаваемого кровотоком. Параметры кровотока, преобразуются в электросигналы, формируют их в цифровые сигналы, которые поступают на вход в ЭВМ для их обработки. По результатам измерений вычисляют систолическое и диастолическое

---



давление, причем систолическое давление соответствует максимальному значению напряженности магнитного поля, а диастолическое – минимальному, создаваемому кровотоком. Дополнительно вычисляют частоту сердечных сокращений и скорость распространения пульсовой волны. С помощью указанного устройства возможно измерение параметров кровотока одновременно от одного до 250 человек.

### **Выводы.**

-Увеличение периферического сопротивления сосудов вне зависимости от причины компенсируется для сохранения градиента давления систолической артериальной гипертензией (закон Хагена-Пуазейля), формированием гиперкинетического типа кровообращения. Поэтому раннее выявление нарушений периферической гемодинамики и адекватное вмешательство может предотвратить развитие гипертензии, гипертрофии и, соответственно, ишемии;

-Системный кровоток в условиях АГ характеризуется развитием вначале гиперкинетического, а затем- гипокинетического типа гемодинамики. В контрольной группе здоровых людей преобладал эукинетический тип циркуляции;

- Неконтактные методы и технические средства диагностики позволяют на донологическом уровне регистрировать изменения региональной гемодинамики.

В условиях биологического оптимума жизнедеятельности человека преобладающим типом системной циркуляции является эукинетический. Число лиц с гипокинетическим типом увеличивается по мере нарастания тяжести и продолжительности артериальной гипертензии.

### Литература:

1. Антонов А.А. Гемодинамические аспекты гипертонической болезни. // Сердце. 2006. Т. 5, № 4. С. 210-215.
2. Коваль В.Т., Коваль Е.В., Окунь Б.В., Конорева Н.А., Кузьменко Е.А. Электромагнитные излучения, шум и вибрация, как этиопатогенетические факторы профессиональной патологии. // Здоровье. Медицинская экология. Наука, 2002. № 4-5. С.53.
3. Коваль В.Т., Коваль Е.В. Гипертрофия миокарда в прогнозировании надежности человеко-машинных систем. Тезисы доклада. Материалы юбилейной научно-практической конференции, посвященной 140-летию военно-морского клинического госпиталя. Дальневосточный рецензируемый медицинский научно-практический журнал «Здоровье. Медицинская экология. Наука». Владивосток: ВФ ГУ ДНЦ СО РАМН, 2012. № 1-2 (47-48). С. 188-189.
4. Коваль В.Т., Коваль Е.В. Гипертрофия миокарда в прогнозировании надежности профессиональной деятельности военнослужащих. Тезисы доклада. Материалы юбилейной научно-практической конференции, посвященной 140-летию военно-морского клинического госпиталя. Дальневосточный рецензируемый медицинский научно-практический журнал «Здоровье. Медицинская экология. Наука». Владивосток: ВФ ГУ ДНЦ СО РАМН, 2012. № 1-2 (47-48). С. 196-197.
5. Лещинский Л.А., Димов А.С., Максимов Н.И. Клинико-методологические аспекты этиологии ишемической болезни сердца // Клиническая медицина, 2006. № 10. С. 11-15.
6. Розенбаум А.Н., Коваль В.Т. Построение формальной модели функционирования биологического объекта в среде обитания. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». //Пенза: ПГУ, 2008. Т. 1. С. 241.

7.Хорошун Р.М., Коваль В.Т., Окунь Б.В., Конорева Н.А., Бочарова Т. Возможности метода ультразвуковой доплерографии в диагностике ангиодистонических синдромов при профессиональных заболеваниях. // Здоровье. Медицинская экология. Наука, 2002. № 1-2. С. 80.

### References:

1. Antonov A.A. Gemodinamicheskie aspekty gipertonicheskoj bolezni.// Serdce. 2006. T. 5, № 4. S. 210-215.
2. Koval' V.T., Koval' E.V., Okun' B.V., Konoreva N.A., Kuz'menko E.A. Jelektromagnitnye izluchenija, shum i vibracija, kak jetiopatogeneticheskie faktory professional'noj patologii. // Zdorov'e. Medicinskaja jekologija. Nauka, 2002. № 4-5. S.53.
3. Koval' V.T., Koval' E.V. Gipertrofija miokarda v prognozirovanii nadezhnosti cheloveko-mashinnyh sistem. Tezisy doklada. Materialy jubilejnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 140-letiju voenno-morskogo klinicheskogo gospitalja. Dal'nevostochnyj recenziruemyj medicinskij nauchno-prakticheskij zhurnal «Zdorov'e. Medicinskaja jekologija. Nauka». Vladivostok: VF GU DNC SO RAMN, 2012. № 1-2 (47-48). S. 188-189.
4. Koval' V.T., Koval' E.V. Gipertrofija miokarda v prognozirovanii nadezhnosti professional'noj dejatel'nosti voennosluzhashhih. Tezisy doklada. Materialy jubilejnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 140-letiju voenno-morskogo klinicheskogo gospitalja. Dal'nevostochnyj recenziruemyj medicinskij nauchno-prakticheskij zhurnal «Zdorov'e. Medicinskaja jekologija. Nauka». Vladivostok: VF GU DNC SO RAMN, 2012. № 1-2 (47-48). S. 196-197.
5. Leshhinskij L.A., Dimov A.S., Maksimov N.I. Kliniko-metodologicheskie aspekty jetiologii ishemicheskoj bolezni serdca // Klinicheskaja medicina, 2006. № 10. S. 11-15.



6. Rozenbaum A.N., Koval' V.T. Postroenie formal'noj modeli funkcionirovanija biologicheskogo ob#ekta v srede obitanija. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo». //Penza: PGU, 2008. T. 1. S. 241.

7.Horoshun R.M., Koval' V.T., Okun' B.V., Konoreva N.A., Bocharova T. Vozmozhnosti metoda ul'trazvukovoj doplerografii v diagnostike angiodistonicheskikh sindromov pri professional'nyh zabolevanijah. // Zdorov'e. Medicinskaja jekologija. Nauka, 2002. № 1-2. S. 80.