

УДК 681.2.089

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ОПЕРАТОРОВ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ МОРСКОГО ПОХОДА

В. Т. Коваль, Д. В. Голишевский, А. Е. Соловей, Г. А. Заяц

1477 Военно-морской клинический госпиталь МО РФ, г. Владивосток, Россия

MOBILE EQUIPMENT AND METHODS OF CONTROL HEALTH OPERATORS MAN-MACHINE SYSTEMS IN TERMS OF SEA VOYAGES

V. T. Koval, D. V. Golishevsky, A. E. Nightingale, G. A. Zayats

1477 Naval Clinical Hospital Defense of the Russian Federation, Vladivostok, Russia

© Коллектив авторов, 2015 г.

Авторами определены методические подходы к возможности функциональной диагностики состояния здоровья людей-операторов как элементов человеко-машинных систем при динамическом взаимодействии человека и техники. В качестве работы операторов оценивались деятельность плавсостава морского флота России и его состояние здоровья. Отмечена важная роль сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). У трети заболевших моряков ССЗ развиваются внезапно. Это часто приводит к нарушению управления и ошибкам при эксплуатации важных человеко-машинных систем. Оценивается влияние здоровья операторов в человеко-машинных системах на безотказную работу комплексов. Предложены новые критерии оценки удельного количества крови на единицу массы ткани органов человека. Авторами разработан новый неинвазивный способ неконтактного измерения параметров кровотока на основе магнитных датчиков. Описаны предлагаемые приборы и функциональные методы анализа состояния оператора, подтвержденные экспериментально с использованием больших когорт здоровых групп моряков.

Ключевые слова: человеко-машинные системы, операторы, плавсостав морского флота, функциональная диагностика состояния здоровья, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), параметры кровотока неконтактное измерение, магнитные датчики.

The authors identified methodological approaches to the possibility of functional diagnosis of the state of health human operators as elements of human-machine systems with dynamic interaction between man and technology. As of the operators were evaluated seafarers Russian Navy and its state of health. The important role of cardiovascular disease (CVD). One-third of cases of CVD sailors develop suddenly. This often leads to disruption of management and exploitation of important errors in human-machine systems. The influence of health operators in man-machine systems for reliable operation of systems. Proposed new criteria for evaluating the specific amount of blood per unit mass of tissue organs. The authors have developed a new non-invasive method for non-contact measurement of blood flow parameters on the basis of magnetic sensors. Proposed devices and functional analysis method for the operator, confirmed experimentally using large cohorts of healthy groups of seafarers.

Key words: man-machine systems, operators, seafarers Navy, functional diagnostics health, cardiovascular disease (CVD), blood flow parameters Noncontact measurement, magnetic sensors.

Введение. Человеко-машинные системы — это комплексы, состоящие из людей и техники, дополняющих друг друга и использующих собственные преимущества. Основное преимущество человека — способность к творческому,

нестандартному мышлению. Основное преимущество машины — быстрое действие.

Надежность технической составляющей системы обеспечивается тщательно продуманными организационными мероприятиями:

от ежедневного «проворачивания» оружия и технических средств до сервисного гарантийного обслуживания, планово-предупредительного ремонта. Множество научных исследований направлено на решение проблем надежности технических средств на каждом из этапов их эксплуатации. Управление и обслуживание сложных компьютеризированных комплексов сопровождается возрастающими психоэмоциональными нагрузками, насыщенностью потоков информации, предъявляет повышенные требования к состоянию здоровья операторов человеко-машинных комплексов [1, 2].

Одной из актуальных проблем, связанных с эффективной и надежной работой сложных человеко-машинных комплексов, является задача повышения надежности работы человека-оператора, управляющего технической системой, которая в значительной степени зависит от состояния его здоровья, условий труда и окружающей экологической обстановки [3, 4].

Цель исследования: рассмотреть методические подходы к созданию мобильных средств и методов контроля состояния здоровья операторов человеко-машинных систем в условиях морского подхода.

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 с оценкой состояния здоровья операторов человеко-машинных систем. В частности, на морском флоте у 80% плавсостава до достижения 45-летнего возраста отмечаются ССЗ. У 30% из них заболевания развиваются внезапно и стремительно, угрожая тяжелыми последствиями [1, 5].

Каковы же мобильные средства и методы контроля, которыми располагает врач в море? Это непременно фонендоскоп, предложенный Теофилом Гиацинтом Лаэннеком в 1816 г. и не претерпевший с тех пор принципиальных изменений. В комплекте с ним имеется тонометр для измерения артериального давления по методу Н. С. Короткова, применяемому с 1905 г. Конечно, дело не в почтенном возрасте этих приборов. Колесо изобрели еще раньше, и это не повод отказываться от автомобилей. Однако использование фонендоскопа и тонометра относят к оператор-зависимым методикам, ошибка при которых может достигать 25%. Существует настоятельная потребность в разработке портативной необременительной аппаратуры меди-

цинского назначения, позволяющей контролировать и прогнозировать состояние операторов человеко-машинных систем при выполнении полетов, вахт, диспетчерских обязанностей. Необходимо также определиться 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. Комитет экспертов ВОЗ отмечает, что наибольших успехов здравоохранение достигло в тех странах, в которых вектор развития направлен на социализацию и повышение роли государства в обеспечении доступности и качества медицинской помощи. Признано, что самой близкой к оптимальной оказалась советская система здравоохранения, в наибольшей мере обеспечивавшая общедоступность и справедливость медицинской помощи. Секретариат ВОЗ разработал стратегические рекомендации развития медицины с учетом опыта советского здравоохранения. При выборе конкретных методов функциональной диагностики временная «мода» не должна выдвигаться на первый план. Основные тенденции в диагностике выдержали проверку временем (несколькими десятилетиями), тогда как многие из числа «ультрасовременных» не оправдывают возлагавшихся на них надежд.

На протяжении многих десятилетий проблема гипертонической болезни остается нерешенной, несмотря на принципиальную и практическую возможность снизить артериальное давление (АД) в процессе фармакотерапии. Полагаем, что повышение артериального давления необходимо рассматривать не как болезнь, а как следствие, неизбежную, порой избыточную, но всегда компенсаторную реакцию на различные нарушения гемодинамики.

Наблюдения, проводившиеся в течение ряда лет в ФГКУ «1477 Военно-морской клинический госпиталь» Минобороны России, дают основание полагать, что существование эссенциальной гипертонической болезни не находит подтвержде-

ния. У повышения АД непременно есть причины [6, 7]. Ссылки на «эссенциальность» не должны препятствовать их выявлению. С заслуживающим пристального внимания постоянством артериальная гипертензия и формирование гиперкинетического типа гемодинамики отмечаются 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 [5, 4, 8].

Бернс (1809) отмечал: «Если энергично двигать конечностью, на которую мы со средним усилием накладываем лигатуру, нарушается баланс между энергетической потребностью тканей и поступлением энергии: лишенная адекватного кровообращения конечность вскоре перестает двигаться». В переводе с греческого «ишемия» означает препятствие, задержку тока крови. Р. Вирхов (1858) предложил использовать этот термин по отношению ко всем обстоятельствам, когда нарушается равновесие между потребностью органа в крови и фактическим ее поступлением. Различные органы при некоторых обстоятельствах могут испытывать ишемию. Следует признать, что ишемическая болезнь сердца с одним из крайних ее проявлений в виде инфаркта миокарда стоит в одном ряду с язвенной болезнью как проявлением ишемической болезни кишечника и с ишемической болезнью почек. Исследования Л. В. Поташева (1980), М. Б. Коломойской, Е. А. Дикштейн (1986), А. Марстона (1989) и наши наблюдения (1998–2012 гг.) позволяют установить наличие зависимости между артериальной гипертензией 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 [9–13].

Мультифакторные изменения окружающей среды могут достигать степени чрезвычайного раздражителя, когда реакция организма превышает референтные пределы физиологических значений, достигая уровня болезни [14–16].

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 [17, 18].

Проблемы этиологии в отношении большой группы грозных ССЗ остаются не вполне решенными, изобилуют перечислением факторов риска, количество которых колеблется от 30 до 200 и продолжает увеличиваться [3, 19, 20].

Число ограничений создает впечатление, что жить вообще вредно. Эмпирическое накопление фактов не может объяснить динамику сердечно-сосудистой патологии. В действительности, имеются многочисленные свидетельства толерантности людей к некоторым «факторам риска», например к пищевым жирам. Тавтология в отношении факторов риска не выполняет и прагматическую роль ввиду отсутствия строго научных формулировок (дефиниции).

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 тип при стаже работы свыше 20–25 лет.

Региональные нарушения гемодинамики, обусловленные перечисленными факторами, влекут за собою компенсаторную реакцию в виде артериальной гипертензии. Повышение АД призвано обеспечить доставку необходимого объема крови через поврежденную, сузившуюся сосудистую сеть. Отсутствие лечения и длительно существующая гипертензия ведут к гипертрофии миокарда [2, 3].

Один из этапов этого процесса — клинические проявления несоответствия между потребностью все увеличивающегося миокарда и возможностями его сосудистой сети, т. е. ишемическая болезнь сердца [13, 19].

Региональные нарушения кровообращения, обусловленные перечисленными факторами, вызывают компенсаторную артериальную гипертен-

зию, которая в ряде случаев трактуется как ГБ. 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 [1, 20].

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 на ЭКГ при гипертрофии левого желудочка имеются признаки его ишемии (снижение сегмента *ST* и отрицательный зубец *T* в соответствующих отведениях).

Одним из открытий, дающих ключ к пониманию причин «пандемии» артериальной гипертензии, можно считать наблюдения Р. Брайта (1820), 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 [10, 11, 19].

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 ввиду значительно большей распространенности ГБ 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 изме-

рение АД. Метод вошел в практику в 1905 г. (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 более увеличивает погрешность измерения. Становится крайне актуальной разработка 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 задач диагностики и прогнозирования [5].

Фармакологическая промышленность постоянно предлагает все новые и новые гипотензивные средства. Однако проблема гипертонической болезни на протяжении многих десятилетий остается нерешенной. Она и не может быть решена до тех пор, пока не наступит понимание, что гипертонической болезни не существует. Повышение артериального давления является компенсаторной, защитной реакцией организма на ишемию любого происхождения.

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 [5, 8, 16].

Увеличение периферического сопротивления сосудов вне зависимости от причины компенсируется для сохранения градиента давления систолической артериальной гипертензией (закон Хагена–Пуазейля), формированием гиперкинетического типа кровообращения. Раннее выявление нарушений периферической гемодинамики и адекватное вмешательство могут 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 профессий, связанных с повышенным психоэмоциональным напряжением, 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 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 гемодинамики нами разработан «Способ неконтактного измерения параметров кровотока, устройство его осуществления и микроэлектронный магнитный датчик», который устанавливается в непосредственной близости над артерией для измерения напряженности импульсного магнитного поля, создаваемого кровотоком. Параметры кровотока преобразуются в электрические сигналы, 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.

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

2. Системный кровоток в условиях АГ характеризуется развитием вначале гиперкинетического, а затем — гипокинетического типа гемодинамики. В контрольной группе (здоровые люди) преобладал эукинетический тип циркуляции.

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

4. 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. 210–15.
2. Шулуток Б. И. Гипертоническая болезнь и другие формы артериальных гипертензий. — СПб.: Ренкор, 1998.— 200 с.

3. Беленков Ю. Н., Атьков О. Ю. Методы исследования: Руководство по внутренним болезням / под общ. ред. Е. И. Чазова.— М.: Медицина, 1997.— 278 с.
4. Лупанов В. П. Алгоритм неинвазивной диагностики ишемической болезни сердца. Сравнительная оценка функциональных проб // РМЖ.— 2004.— Т. 12, № 12.— С. 718–720.
5. Коваль В. Т., Коваль Е. В. Гипертрофия миокарда в прогнозировании надежности профессиональной деятельности военнослужащих // Здоровье. Медицинская экология. Наука.— 2012.— № 1–2 (47–48).— С. 196–197.
6. 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.
7. Лецинский Л. А., Димов А. С., Максимов Н. И. Клинико-методологические аспекты этиологии ишемической болезни сердца // Клиническая медицина.— 2006.— № 10.— С. 11–15.
8. Коваль Н. В., Татаркина Н. Д., Коваль В. Т. Структурно-функциональные изменения и ремоделирование миокарда у больных артериальной гипертензией // Сибирский медицинский журнал.— 2008.— № 1.
9. Коваль В. Т., Татаркина Н. Д., Пономаренко Ю. В. Региональные нарушения гемодинамики и артериальные гипертензии // Мат-лы Росс. Национ. Конгр. Кардиол.— М., 2000.— С. 24–26.
10. Girard P. Memoire sur le mouvement des fluides dans les tubes capillaires et l'influence de la temperature sur ce mouvement // Mem. de l'Inst. (Paris).— 2010.— Vol. 1813 (5).— P. 249–380.
11. Hagen G. H. L. Uber die Bewegung des Wassers in engen cylindrischen Rohren // Ann. Phys. Chem.— 2001.— Vol. 46.— P. 423–442.
12. Harvey W. Movement of the heart and blood in animals. An anatomical essay, 1628 / Trans. by Kenneth J., Franklin.— Oxford: Blackwell, 1957.
13. Newton I. Principia mathematica. — 2nd ed., lib. II, sect. IX. The circular motion of liquids, Proposition LI, Theorem XXXIX, 1713.
14. Беленков Ю. Н. Неинвазивные методы диагностики ишемической болезни сердца // Кардиология.— 1996.— № 1.— С. 4–11.
15. Грачев А. В. Особенности внутрисердечной гемодинамики, ремоделирования и диастолической функции левого желудочка сердца у больных с почечно-паренхиматозными гипертензиями // Нефрология.— 2001.— Т. 5, № 1.— С. 62–73.
16. Коваль В. Т., Коваль Е. В. Гипертрофия миокарда в прогнозировании надежности человеко-машинных систем // Здоровье. Медицинская экология. Наука.— 2012.— № 1–2 (47–48).— С. 188–189.
17. Фейгенбаум Х. Эхокардиография.— М.: Видар, 1999.— 214 с.
18. 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.
19. Капелько В. И. Гидродинамические основы кровообращения // Соросовский образовательный журнал.— 1996.— № 2.— С. 44–50.
20. Розенбаум А. Н., Коваль В. Т. Построение формальной модели функционирования биологического объекта в среде обитания. Труды международного симпозиума «Надежность и качество».— Т. 1.— Пенза: ПГУ, 2008.— С. 241.

Поступила в редакцию: 06.06.2015 г.

Контакт: Коваль Василий Трофимович, fregat80@mail.ru

Сведения об авторах:

Коваль Василий Трофимович — канд. мед. наук, заведующий отделением функциональной диагностики ФГКУ «1477 ВМКГ» МО РФ, 690005, Владивосток, ул. Ивановская, д. 4; тел.: 8 (423) 75-35-63; e-mail: fregat80@mail.ru;
Голишевский Денис Вячеславович — полковник медицинской службы, начальник ФГКУ 1477 «Военно-морского клинического госпиталя» МО РФ, 690005, Владивосток, ул. Ивановская, д. 4; тел.: 8 (423) 246-77-77;
Соловей Андрей Евгеньевич — начальник медицинской части ФГКУ «1477 ВМКГ» МО РФ, 690005, Владивосток, ул. Ивановская, д. 4; тел.: 8 (423) 46-78-14(120); e-mail: vgku@mail.ru;
Заяц Григорий Андрианович — канд. мед. наук, врач функциональной диагностики отделения функциональной диагностики ФГКУ «1477 ВМКГ» МО РФ, 690005, Владивосток, ул. Ивановская, д. 4; тел.: 8 (423) 75-35-63; e-mail: zayatc-g@mail.ru.