

УДК 612.172.4:611.1

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНОСОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ В КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИОЛОГИИ

Сухова А.П., Хмара К.В., Васенко Е.А., Жерихова Я.Н.

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Волгоград, e-mail: suhova1231997@mail.ru*

Сердечнососудистая патология традиционно уже много десятков лет является ведущей причиной смертности во всем мире. В связи с этим исследования в области биологии сердечнососудистой системы являются приоритетными, так как позволяют вскрывать тонкие механизмы патогенеза патологии сердца и сосудов, выявлять причинные факторы нарушения их функции, а также разрабатывать новые подходы к оценке их функционирования в физиологических и патологических условиях. Перспективным направлением является разработка новых инструментальных технологий для более точной и быстрой диагностики функции сердца и сосудов с учетом различных параметров (пол, возраст, интоксикация и т.д.). Помимо классических способов оценки функционального состояния сердечнососудистой системы – электрокардиографии и неинвазивной оценки артериального давления в сосудах, разработаны и широко применяются как в кардиологической практике, так и в экспериментальной биологии, методы инвазивной оценки артериального давления, методы оценки величины сердечного выброса, оксиметрии, а также аппаратные системы для комплексного исследования различных параметров деятельности сердца и сосудов.

**Ключевые слова:** оценка функционального состояния сердечнососудистой системы, электрокардиография, артериальное давление, оценка сердечного выброса, оксиметрия

## MODERN APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM IN CLINICAL MEDICINE AND EXPERIMENTAL BIOLOGY

Sukhova A.P., Khmara K.V., Vasenko E.A., Zherikhova Y.N.

*Volgograd State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Volgograd, e-mail: suhova1231997@mail.ru*

Cardiovascular pathology has traditionally been the leading cause of death worldwide for decades. In this regard, research in the biology of the cardiovascular system is a priority, as it allows revealing the subtle mechanisms of pathogenesis of the pathology of the heart and blood vessels, identifying the causal factors of impaired function, as well as developing new approaches to assessing their functioning under physiological and pathological conditions. A promising direction is the development of new instrumental technologies for more accurate and rapid diagnosis of cardiac and vascular function, taking into account various parameters (gender, age, intoxication, etc.). In addition to the classical methods of assessing the functional state of the cardiovascular system – electrocardiography and non-invasive assessment of blood pressure in vessels, methods for assessing the amount of cardiac output, oximetry, as well as methods of invasive assessment of blood pressure have been developed and are widely used in cardiology hardware systems for a comprehensive study of various parameters of the activity of the heart and blood vessels.

**Keywords:** evaluation of the functional state of the cardiovascular system, electrocardiography, blood pressure, cardiac output, oximetry

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти во всем мире: ни по какой другой причине ежегодно не умирает столько людей, сколько от ССЗ. По оценкам, в 2017 году от ССЗ умерло более 18 миллионов человек, что составило 1/3 всех случаев смерти в мире. Схожая картина наблюдается и в России, где главной причиной смерти россиян, так же являются ССЗ – почти половина (47% на 2017 год) летальных исходов [1,2]. Все это обуславливает приоритетность исследований в области патологии сердечнососудистой системы, и в частности ее функционального состояния, не только в России, но и во всем мире.

Перспективным направлением в оценке состояния сердечнососудистой системы яв-

ляется разработка новых инструментальных технологий для более точной и быстрой диагностики функции сердца и сосудов с учетом различных параметров (пол, возраст, интоксикация и т.д.) [3–6].

Традиционно к базовому инструментальному методу оценки сердечнососудистой системы как в кардиологической клинике, так и в экспериментальной биологии, является электрокардиография (ЭКГ) – объективный метод регистрации разности потенциалов работающего сердца [7]. Электрокардиограмма – графическое отображение снятых с поверхности тела разности потенциалов, возникающих в результате его работы, путем регистрации усредненных всех векторов потенциалов действия, возникающих в определенный момент времени работы

сердца. В настоящее время ЭКГ относится к числу эталонных методов исследования сердца. Международным эталоном является регистрация ЭКГ в 12 общепринятых отведениях: три стандартных (I, II, III), три однополюстных усиленных от конечностей (aVL, aVR, aVF) и шести грудных усиленных однополюстных отведений Вильсона (V1 – V6). При необходимости используются отведения Неба (Д, А, J). Спинные отведения (V7, V8, V9), Франка (X, Y, Z), отведения Эванса (R0), Линка, Льюиса, CS, пищеводные, внутриволостные отведения. ЭКГ проводится с помощью специального прибора – электрокардиографа, который имеет различные модификации, разное количество каналов для исследования, способы обработки и фиксирования полученных результатов, а также различные методики, в которых он применяется (чреспищеводная электрокардиография, векторкардиография, суточное Холтеровское мониторирование и т.д.).

ЭКГ является «скрининговым», первым инструментальным исследованием сердечной патологии. При этом можно выявить признаки ишемии миокарда, как свежие, так и ранее перенесенные инфаркты. Свообразная картина имеется при нарушении ритма, отмечаются признаки артериальной гипертензии, сердечной недостаточности.

Другим важным показателем состояния сердечнососудистой системы является величина кровяного давления в сосудах – артериального давления (АД). Существуют инвазивный и неинвазивный методы исследования кровяного давления [8].

Инвазивный метод позволяет непрерывно следить за состоянием пациента с нестабильным давлением, наблюдать за динамикой работы сердца и сосудистой системы, а также определять эффективность проводимой терапии. Чаще всего инвазивное измерение применяется во время: искусственной вентиляции лёгких, кардиохирургических операций, кардиогенного шока, диагностики кислотно-основного и газового состава крови в артериях. Кроме этого, нередко такой метод применяется в родильных домах для контроля состояния недоношенных малышей.

Процедура измерения проводится под местным наркозом. Необходимость его заключается в обезболивании той части тела, где будет установлен катетер, который соединён с датчиками при помощи трубок. По этим трубкам запускается специальная жидкость, предотвращающая свёртыванию крови и обеспечивающая передачу колебаний к датчику. Чтобы показатели были точными, датчик устанавливается обязательно

на уровне сердца. После того как датчик получает колебания кровяного напора, происходит преобразование их в электрические сигналы, которые впоследствии передаются компьютеру и выводятся на монитор. С помощью инвазивного метода измерение давления происходит непрерывно, а данные отражаются на мониторе. Кроме того, существует несколько особенностей, которые необходимо учитывать: Во время измерения важно, чтобы пациент находился под постоянным присмотром специалиста. Специальная жидкость, протекающая по трубкам, и катетер должны меняться 1 раз в 24 часа. Чаще всего для трубок применяется физиологический раствор, но если у пациента из-за него повышается АД, то может быть использована глюкоза. При смене катетера важно следить, чтобы в артерию не попал воздух. Если во время измерения образуются сгустки крови, их необходимо обязательно удалять, так как существует риск развития опасных осложнений.

Неинвазивный метод измерения кровяного давления – аускультативный метод. Аускультативный метод измерения артериального давления был изобретен в 1905 году русским хирургом Н.С. Коротковым. В настоящее время, согласно приказу Минздрава РФ метод Короткова считается основным способом измерения АД (артериального давления). Кроме того, Всемирная организация здравоохранения приняла методику как референтный способ неинвазивного определения АД. Типичным прибором для измерения давления по методу Короткова является механический тонометр с фонендоскопом. Существуют также ртутные и электронные тонометры, использующие аускультативный метод, но они не получили широкого распространения, поэтому рассмотрим процедуру с использованием классического прибора. В основе аускультативного метода измерений артериального давления лежит процесс выслушивания звука пульсации (тонов Короткова) пережатой артерии. Для этого перед началом процедуры на плечо пациента надевается и плотно фиксируется манжета тонометра. Важно, чтобы манжета покрывала участок артерии, находящийся на 2–3 сантиметра выше локтевой ямки. При помощи интенсивного сдавливания груши тонометра в манжету накачивается воздух. Нагнетание прекращается ориентировочно на 30 мм. рт. ст. выше уровня систолического давления, когда пульсация артерии полностью перестает прослушиваться. В этот момент давление в манжете прибора достаточно высокое, и полностью перекрывает кровоток. Специалист, проводящий измерения, прислоняет головку сте-

тоскопа к сгибу локтя, туда, где проходит лучевая артерия, и внимательно выслушивает тоны, синхронные с сердцебиением. Первый тон Короткова проявляется, когда давление падает до уровня, равного систолическому или верхнему давлению. Кровь в этот момент проходит рывками по сдавленной манжете артерии (пульсация). Затем воздух в манжете начинает спускаться, давление падает, и оно перестает создавать ограничения кровотоку. Тоны приглушаются, пока не исчезают окончательно, что характерно для диастолического или нижнего давления.

Измерение сердечного выброса. В клинической практике сердечный выброс (СВ) можно оценить измерением импеданса грудной клетки или более обычным и надежным методом разведения индикатора.

В своей простейшей форме первичную основу определения СВ по методу Фика (Fick) можно объяснить следующим образом: количество любого маркера, содержащегося в статическом объеме, представляет собой произведение этого объема и концентрации.

В классическом варианте в качестве индикатора использовался краситель, поддающийся обнаружению спектрофотометрическим методом (например, индигоцианин или «кардиогрин»), который связывается с плазменным белком.

В динамической системе, в которую непрерывно добавляется и из которой непрерывно выводится маркер, скорость выведения маркера равна произведению скорости потока и разности концентраций на входе и выходе области выведения.

В равновесном состоянии никакого повышения или снижения маркера не происходит.

Например, если артериальный кислород потребляется организмом и пополняется с той же скоростью легкими,  $VO_2$  – это произведение СВ и разности концентраций  $O_2$  между артериальной и смешанной венозной (легочной артериальной) кровью.

Поэтому, если скорость потребления  $O_2$  известна или легко оценивается, определив содержание  $O_2$  в артериальной и смешанной венозной (взятой из легочной артерии) крови, можно вычислить скорость потока (сердечный выброс).

Однако в нестабильных условиях результаты этих вычислений могут быть совершенно ошибочными.

Термодиллюционный метод. Подобный же принцип применяется для определения СВ термодиллюцией, при которой введенный и разведенный тепловой маркер является тепловым дефицитом и скорость его исчезно-

вения за счет разбавления теплой венозной кровью является показателем скорости кровотока.

Хотя все введенные в легочную артерию катетеры позволяют получить пробу смешанной венозной крови для определения по методу Фика (Fick), возможности термодиллюции обеспечивают более удобное, повторяющееся и точное измерение кровотока.

Чувствительный малоинерционный термистор, прикрепленный к концу катетера, под влиянием колебаний температуры непрерывно изменяет электрическое сопротивление, реагируя на тепловые изменения в крови легочной артерии.

Как дополнительное преимущество термистор обеспечивает высоконадежное, непрерывное считывание внутренней температуры тела.

Когда порция холодной жидкости поступает в правое предсердие, она смешивается с теплой венозной кровью, возвращающейся с периферии.

Правый желудочек перемешивает и гомогенизирует две жидкости, и термистор регистрирует динамическую температурную кривую, образующуюся, когда смесь промывает проксимальную часть легочной артерии.

При должном внимании к методу получения данных термодиллюционный метод оценки СВ дает информацию, хорошо сопоставимую с результатами, полученными в стабильном состоянии методом Фика (Fick) и разведением красителя.

Оксиметрия – это метод измерения концентрации кислорода в крови. Мониторинг концентрации кислорода в крови позволяет не только диагностировать некоторые заболевания, но и предотвратить их возникновение, составить программу лечения, профилактики и реабилитации.

Оксиметрия выполняется с помощью оксиметра, фотоэлектрического устройства, специально предназначенного для этой цели. Для исследования применяется специальный датчик, который крепится к ногтевой фаланге пальца или на другом участке тела с незначительной толщиной (стопе новорожденного, мочке уха), а также на поясе пациента. В медицинских учреждениях применяются стационарные модели. Существует также инвазивный метод измерения уровня концентрации кислорода в крови. В основе инвазивного метода лежит использование пробы крови в лабораторных условиях. Этот метод более точный, но не может применяться для непрерывного мониторинга.

Оксиметры, которые наиболее часто используются сегодня, называются пульсок-

симетры, потому что они реагируют только на пульсацию, например, в области пульсирующих капилляров зоны тестирования.

Пульсометр пропускает луч красного и инфракрасного света через русло пульсирующего капилляра, фиксируя меру насыщения крови кислородом. Оксиметр работает по принципу, основанному на том, что кровь, насыщенная кислородом, имеет более яркий красный цвет, чем венозная кровь, для которой характерен сине-фиолетовый цвет. Прежде всего, пульсоксиметр измеряет интенсивность и оттенки красного, представленные в фракции крови с кислородом и без кислорода. Пульсоксиметр обнаруживает пульс, а затем вычитает интенсивность цвета, когда пульс отсутствует. Эта информация отображается на электронном экране в виде процента насыщения кислородом в крови.

На сегодняшний день существует множество различных приборов и тест-систем для проведения вышеописанных методов. Важным аспектом для создания диагностической аппаратуры являются высокий функционал, высокочувствительность, точность и мобильность. На рынке медицинских приборов представлены следующие тест-системы и приборы:

Системы КД Mikro-Tip. В данной базовой системе присутствует главная особенность – высоконадежное измерение сигналов давления при беспрецедентной точности. При работе с этой системой мы можем получить точное разрешение сигнала, большой выбор катетеров Миллиара Mikro-Tip. При помощи функций LabChart (Циклические Измерения, Арифметика и Блокнот Данных) можно записать и показать в реальном времени параметры КД. К ним относятся: систолическое, диастолическое и среднее кровяное давление, а также ЧСС. В LabChart при помощи анализа предсердных и желудочковых колебаний можно получить анализ модуля кровяного давления.

ЭКГ и частота сердечных сокращений. ЭКГ происходит при помощи биоусилителей ADInstruments, предназначенных для работы с человеком, следовательно, они обеспечивают полную изоляцию, чтобы гарантировать безопасность. Биоусилитель FE132 предназначен для записи одиночного канала ЭКГ. Благодаря Двухканальному биоусилителю FE135 или Восьмиканальному биоусилителю ML138 можно записывать большое количество каналов ЭКГ. Суще-

ствует способ получения многоканального ЭКГ – запись двух стандартных отведений ЭКГ двухканальным биоусилителем, а при помощи LabChart произвести расчет оставшихся четырех. Двухканальный Биоусилитель/Стимулятор ML408 имеет в себе стимулятор, подходящий для человека, а также двухканальный усилитель, предназначенный для проведения точных электрохимических стимуляции испытуемых. ADInstruments включает в себя 8-канальный GT205/F и 16-канальный GT201/F биоусилители.

Измерение кровотока можно провести при помощи Допплеровского флуометра для крови IN191. Существуют МРТ-совместимые поверхностные лазерные Допплеровские зонды, подходящие для измерения перфузии крови кожи, тканей и мозга. Для того чтобы определить сердечный выброс при помощи метода термодилуции используют приставку для сердечного выброса ML313C со сверхбыстрой термопарой T-типа MLT1402.

#### Список литературы

1. Бадин Ю.В. Эпоха-АГ 1998–2017 гг.: Динамика распространности, информированности об артериальной гипертонии, охвате терапией и эффективного контроля артериального давления в европейской части РФ / Ю.В. Бадин, И.В. Фомин, Ю.Н. Беленков [и др.] // Кардиология. – 2019. – № Т. 59. № 1S. – С. 34–42.
2. Букатин М.В., Никитин С.А., Лямкина Е.А., Никулина А.А. Эпидемиологическая ситуация по распространенности заболеваний с артериальной гипертензией среди детей и подростков Волгоградской области // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 10. – С. 51.
3. Сливина Л.П., Букатин М.В., Молодцова И.А., Калинин Е.И., Кузнецова О.Ю. Состояние здоровья детей и подростков: экологическая детерминанта // Качество жизни населения и экология. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2015. – С. 34–50.
4. Стрюк Р.И. Ранние маркеры сердечно-сосудистого риска у женщин с наследственной отягощенностью по сердечно-сосудистым заболеваниям / Р.И. Стрюк, Я.В. Брыткова, С.А. Бернс [и др.] // Кардиология. – 2018. – Т. 58; № 6. – С. 51–60.
5. Максимов С.А., Цыганкова Д.П. Популяционный риск развития ишемической болезни сердца в зависимости от объемов потребления алкоголя населением (Исследование эссе-РФ в Кемеровской области) // Кардиология. – 2019. – Т. 59; № 1. – С. 62–68.
6. Букатин М.В., Кузубова Е.А., Бугаева Л.И. Изучение профиля функционально-поведенческой токсичности препарата бемитил // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 11. – С. 68.
7. Вилковский Ф.А. Клиническая ЭКГ с основами фармакотерапии: нормальная ЭКГ, ЭКГ при ОКС // Врач скорой помощи. – 2016. – № 1. – С. 67–70.
8. Акинин В.В. Исследование и разработка способов измерения и мониторинга артериального давления: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.11.17. – Пенза, 2016. – 22 с.