

УДК 613.6.027

## **МОНИТОРИНГ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ РАБОТНИКА В ТЕЧЕНИЕ СМЕНЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ**

В.И. Погорелов, БТа-201, II курс

Научный руководитель: А.И. Фомин, д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В настоящее время заболевания сердечно-сосудистой системы работников возможно выявить только во время обязательных медицинских осмотров или диспансеризации. Не редки случаи, когда выявление заболевания происходит не на стадии его зарождения, а на стадии развития. Это зачастую подразумевает наличие противопоказаний к выполняемой работе, и требует перевода сотрудника на другие виды работ или увольнение.

Мониторинг частоты сердечных сокращений в течение смены и дальнейший его анализ позволят проводить донозологическую диагностику: выявлять предрасположенность работника к сердечно-сосудистым заболеваниям, обнаруживать изменения функционального состояния организма, предупреждать на ранних стадиях развитие заболеваний.

Согласно расчетам Росстата, основанных на данных Минздрава, в 2018, 2019 и 2020 годах заболеваемость болезнями системы кровообращения составила 4784, 5136, 4303 тысяч соответственно. [1]

Смертность от болезней системы кровообращения снижалась за последние несколько лет, но в 2020 году резко выросла и почти достигла показателя 2014 года. В 2020 году показатель достигал 643,9 случая на 100 тыс. населения против 653,9 – в 2014 г. По данным НМИЦ им. В.А. Алмазова, в 2020 году от болезней системы кровообращения умерло 944 843 человека. [2]

Повышение эффективности скрининга – актуальная задача для предупреждения развития заболеваний сердечно-сосудистой системы. Одним из возможных способов повышения эффективности является мониторинг частоты сердечных сокращений работника в течение смены.

Существует два специфичных биомаркера, характеризующие деятельность сердечно-сосудистой системы – частота сердечных сокращений и пульс.

Под частотой сердечных сокращений (ЧСС) понимается количество сердечных систол в единицу времени.

Сокращение желудочков сердца провоцирует выброс крови в кровеносные сосуды. Такие выбросы крови формируют волны, вызывающие по мере своего продвижения деформации стенок кровеносных сосудов. Именно эти колебания сосудов определяются как пульс.

Главная задача ЧСС заключается в поддержании сердечного выброса на уровне, необходимом потребностям организма.

Сердечный выброс – количество, прокачиваемое сердцем, крови за минуту. Он может изменяться при изменении ЧСС или объема крови, выталкиваемого из одного желудочка за одно сокращение.

В случаях поражения миокарда, а также при увеличении потребности миокарда в кислороде, повышение ЧСС может выступать в качестве компенсаторного механизма для увеличения сердечного выброса. [4]

Так как пульс представляет собой колебание стенок кровеносных сосудов, различают следующие виды пульса: капиллярный, венозный, артериальный.

Капиллярный пульс. Выражается в ритмичном расширении мелких артериол в результате быстрого и значительного повышения давления в артериальной системе во время систолы. Капиллярный пульс является отклонением от нормы, так как у здорового человека кровоток в капиллярах непрерывен, вследствие деятельности прекапиллярных сфинктеров, и наиболее выражен при недостаточности аортального клапана.

Венный пульс. Определяется как пульсация в крупных, близко расположенных к сердцу, венах – обычно в полых и яремных. Возникает как результат колебаний давления и объема в венах, связанных с динамикой оттока крови в правое предсердие в разные фазы систолы и диастолы. Эти колебания малоамплитудны и трудноуловимы в нормальном состоянии. В периферических венах практически не встречается.

Артериальный пульс. Представляет наибольшую ценность для диагностирования: за счет большого количества свойств позволяет получить представление о частоте, силе и ритме сердечных сокращений.

Свойства артериального пульса:

- частота;
- ритмичность;
- наполнение;
- напряжение;
- высота;
- форма (скорость);

Существуют следующие способы исследования пульса: пальпация, осмотр, сфигмоманометрия, сфигмография, пульсоксиметрия. Так как пальпация и осмотр не применимы для реализации постоянного мониторинга, сфигмография – устаревший метод, а сфигмоманометрия требует применения специального оборудования, принято решение уделить внимание использованию пульсометров.

Несмотря на большое количество свойств артериального пульса, технологическое измерение в реальных условиях без применения сложнотехнологического и объемного оборудования возможно только для свойства «частота».

Тем не менее, мониторинг одной только частоты артериального пульса позволит снизить риски развития патологий, которые сопровождаются нарушением ритма сердца – мерцательная аритмия, пароксизмальная тахикардия, различные внутрисердечные блокады.

Пульс изменяется с возрастом человека – по мере взросления, пульс замедляется.

Таблица 1

Нормальные показатели частоты пульса у мужчин

<b>Возраст, года</b>	<b>Пульс, ударов в минуту</b>
16 – 20	65 – 75
20 – 25	63 – 72
25 – 30	60 – 70
35 – 40	60 – 80
50 – 60	60 – 70
65 – 70	60 – 75
75 – 80	60 – 65
от 85 лет и старше	55 – 65

Если частота пульса в течение продолжительного периода держится на уровне выше 90 ударов в минуту в состоянии покоя, возможны подозрения на:

- сердечную недостаточность;
- анемию любого происхождения;
- дыхательную недостаточность при болезнях легких (обструктивная болезнь, эмфизема и другие);
- нарушения ритма;
- лихорадочные состояния;
- гипертиреоз.

Широкое распространение в настоящее время получил метод измерения частоты пульса, основанный на фотоплетизмографии. Принцип ее работы базируется на определении оптической плотности ткани: исследуемая область просвечивается зеленым светодиодом, при ударе сердца кровотоки (а с ним и объем поглощенного светодиода зеленого света) увеличивается, а в период между ударами уменьшается. Используя информацию об этом отраженном свете, пульсометр посредством специальных алгоритмов рассчитывает объемную скорость кровотока и, как следствие, частоту пульса.

Для проведения измерений на постоянной основе наиболее эффективным расположением считается запястье. Данный метод измерения позволяет получить достаточно точные результаты, однако имеет ряд недостатков.

Одним из таких недостатков является чувствительность организма к температуре окружающей среды. Так, при работах в помещениях с невысокой температурой кровоснабжение кожи может существенно снизиться и не позволит пульсометру провести измерения.

Еще одним фактором, сказывающимся на объективности показателей, служит кожный покров. Наличие на нем пигментации, в том числе искусственной, оказывает влияние на работу фотодиода, и могут блокировать прохождение света к датчику.

Экспериментальные исследования показали, что выполнение ритмичных, монотонных движений способствует более точным замерам, в отличие от движений резких и бессистемных. [6]

Важно отметить ещё одно ограничение фотоплетизмографии. При существенно высоких показателях частоты пульса скорость кровообращения настолько велика, что период диастолы становится слишком коротким. Разница давления в кровеносных сосудах становится трудноуловимой и пульсометр может неправильно интерпретировать поступающую с датчиков информацию, показывая неверные значения или выдавая «ошибку».

Различают несколько групп проявлений сердечной деятельности: звуковые, механические, электрические.

Альтернативным измерению пульса способом мониторинга сердечно-сосудистой деятельности является измерение ЧСС с использованием нагрудного датчика, принцип действия которого основан на электрическом проявлении сердечной деятельности.

Нагрудный датчик состоит из двух блоков: измерительный элемент закрепляется на ремешке, который располагается на груди в районе 4-5 межреберья.

Измерительный элемент представляет собой корпус с элементом питания и двумя электродами, улавливающими колебания разности потенциалов, которые возникают при возбуждении сердечной мышцы. Одно колебание означает одно сокращение сердца.

Группа ученых кардиологического института Кливлендской клиники опубликовала результаты исследования точности оптических пульсометров. В работе сравнивались 4 устройства с оптическим определением пульса и 1 нагрудный датчик частоты сердечных сокращений. Результаты измерений сравнили с показаниями профессионального медицинского оборудования. Исследователи определили, что нагрудный датчик показал лучший результат в 99% точности измерений. Точность оптических моделей была ниже: от 83% до 91%. [6]

Директор по физическим упражнениям и клиническим испытаниям компании Valencell Крис Эскбах считает, что оптические датчики могут иметь сравнимый с нагрудными датчиками результаты измерений при определенных условиях. Во время занятий, предполагающих активные действия руками (например, комплексные физические тренировки), пульсометры могут давать сбои. [7]

Следует обратить внимание на важный факт: частота пульса не всегда равняется частоте сердечных сокращений. Величина пульса и ЧСС могут совпадать, но только у здоровых людей.

В случаях нарушения ритма, сердце сокращается беспорядочно. Левый желудочек не успевает наполниться кровью, второе сокращение происходит когда желудочек пустой, и из него не происходит выброса крови в сосуды. В этот момент пульс в артериях прослушиваться не будет, в то время как сокращение сердца произошло.

Такое явление называется дефицитом пульса. Он возникает при мерцательной аритмии и ряде иных заболеваний. В подобных случаях нельзя определять ЧСС, измеряя пульс. Это можно сделать только путем аускультации, или измерением электрических импульсов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее эффективным параметром для оценки сердечно-сосудистой деятельности, доступным для измерения в течение рабочей смены, является частота сердечных сокращений. Для максимальной объективности при проведении измерений следует использовать нагрудные датчики, регистрирующие изменения электрических полей сердца.

Частота сердечных сокращений – один из основных элементов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы. Однако в связи с тем, что происходящие в организме процессы тесно взаимосвязаны, ЧСС может служить маркером изменений общего состояния здоровья.

Причинами высокой ЧСС могут являться помимо заболеваний сердца, таких как аритмия, анемия, внутрисердечные блокады, тахикардия, но и, например, нарушения работы щитовидной железы.

Изменение ЧСС способно предвещать не только развитие общих, но и профессиональных заболеваний: при гипертермии, остром отравлении угарным газом, острой интоксикации хлорорганическими пестицидами наблюдается учащение ЧСС. При хронической интоксикации фосфорорганическими пестицидами ЧСС уменьшается. [8]

Для полноценной и объективной интерпретации данных замеров необходима разработка математической модели и создание на ее основе программно-аппаратного комплекса.

При разработке модели необходимо учитывать вид работ конкретного работника: частоту и продолжительность физических нагрузок, перепады высот, воздействие метеорологических условий окружающей среды и пр. Чем подробнее будет произведен учет воздействующих на работника факторов, тем более точно можно будет регистрировать изменения в выявленных паттернах состояния организма.

Программно-аппаратный комплекс должен обеспечивать своевременную передачу данных для обработки. По окончании рабочей смены, работник сдает нагрудный датчик в специально отведенное место, где посредством протокола беспроводной передачи данных результаты замеров передаются на обрабатывающее устройство, интерпретируются, и передаются работнику, ответственному за мониторинг.

Выявление отклонений частоты сердечных сокращений от среднестатистических значений при выполнении типичных трудовых функций становится

сигналом для проведения дополнительных обследований в рамках медицинского осмотра, а в случае значительных отклонений – поводом для направления на внеочередной медицинский осмотр.

Частота сердечных сокращений один из важнейших диагностических параметров, дающих представление о состоянии организма в целом, и сердечно-сосудистой системы в частности.

В настоящее время мониторинг пульса и ЧСС получил большое развитие в спортивной деятельности, однако в производственной сфере опыта применения мониторинга ЧСС в течение рабочей смены не наблюдается ни в России, ни за рубежом.

Возможности современных технических устройств позволяют с высокой точностью производить измерения. Для этого требуется правильно определить измеряемый параметр и способ измерения. Исследования показали, что нагрудный датчик измерения ЧСС наиболее точно производит замеры в сравнении с пульсометрами, работа которых основана на принципе фотоплетизмографии.

Продуманный анализ результатов измерений позволит выявить признаки заболеваний на начальном этапе и избежать значительных осложнений.

#### **Список литературы:**

1. Здравоохранение [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения: 25.02.2022).
2. Е. Калиновская. «Смертность от болезней системы кровообращения вернулась на уровень шестилетней давности» [Электронный ресурс]. URL: <https://medvestnik.ru/> (дата обращения: 25.02.2022).
3. Большев А. С., Сидоров Д. Г., Овчинников С. А. Частота сердечных сокращений. Физиолого-педагогические аспекты. Учебное пособие. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2017. — 76 с. — Режим доступа: <https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/medicine/865855.pdf>
4. Кулешова Э. В., Частота сердечных сокращений как фактор риска у больных ишемической болезнью сердца // Вестник аритмологии, 1999. № 13.
5. Веселова Е.Н., Косенко В.А., Богатырёв В.Г. Объективное исследование больных. Система органов кровообращения. Учебно-методическое пособие. Ростов-на-Дону: РостГМУ, 2016. — 72 с. — Режим доступа: <http://rostgmu.ru/wp-content/uploads/2020/03.pdf>
6. Robert Wang, Gordon Blackburn, Milind Desai, Accuracy of Wrist-Worn Heart Rate Monitors, JAMA Cardiol. 2017
7. Optical HR accuracy: The experts speak [Электронный ресурс]. URL: <https://www.wearable.com/sport/optical-heart-rate-tech-the-experts-speak-9763> / (дата обращения: 15.03.2022).
8. А.М. Литвяков, А.Н. Щупакова., Профессиональные болезни. Курс лекций. Витебск: Издательство ВГМУ, 2011. - 223 с.