

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ**

**Фролова Ангелина Игоревна,
Баранов Виктор Алексеевич, к.т.н., доцент,
Бержинская Марина Викторовна, к.т.н., доцент,
Ильин Кирилл Алексеевич,
Першин Егор Андреевич**

Пензенский государственный университет

Frolova Angelina, ang.frolova2016@gmail.com

Baranov Viktor, PhD, baranov_va2202@mail.ru

Berzhinskaya Marina, PhD, mberj@mail.ru

Ilyin Kirill, kirik3271nikita99@yandex.ru

Pershin Egor, egor.pershin.02@mail.ru

Penza State University

Показатели внешнего дыхания могут быть измерены портативными измерительными устройствами в процессе дистанционного мониторинга после калибровки по показаниям спирометра.

Ключевые слова: телемедицина, дистанционный мониторинг, внешнее дыхание, показатели внешнего дыхания, спирометр, калибровка.

Дистанционный мониторинг внешнего дыхания (ДМД) является быстроразвивающимся направлением телемедицины. ДМД необходим для мониторинга хронической обструктивной болезни легких, выявления апное (остановка дыхания во сне более 10 секунд) и типовых нарушений дыхательного ритма, опасных для жизни. Особую актуальность развитию ДМД придало разрешение использовать телемедицинские технологии при лечении больных COVID-19. Канал измерения частоты дыхательных движений (ЧДД) является обязательным компонентом телемедицинской информационно-измерительной системы для мониторинга состояния больного COVID – 19 [1], поскольку ЧДД входит в критерии необходимости госпитализации при ухудшении состояния больного. Показатели внешнего дыхания измеряются аппаратом для сердечно-легочной реанимации при внегоспитальной остановке сердца [2].

Диагностика заболеваний дыхательной системы и контроль процесса лечения осуществляются на основе более 20 количественных показателей [3]. Все показатели можно разделить на две группы: показатели ритмичности (ЧДД, длительность вдоха, длительность выдоха, длительность дыхательной паузы) и показатели интенсивности (форсированная жизненная емкость легких, л; пиковая объемная скорость выдоха, л/с; пиковая объемная скорость выдоха, л/с; минутный объем дыхания, л/мин)

Существующие устройства для измерения показателей внешнего дыхания в процессе ДМД подразделяются на контактные и бесконтактные. Принцип измерения (движение воздуха при вдохе и выдохе, различие температуры вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, перемещения грудной клетки и передней брюшной стенки) и конструкция контактных устройств предусматривает механический контакт с кожей и/или слизистыми оболочками.

Бесконтактные измерительные устройства имеют явные преимущества в плане соблюдения санитарно-гигиенических требований и удобства использования при ДМД мониторинге. ЧДД измеряется путем анализа отраженного от груди направленного радио-, оптического или ультразвукового излучения. Однако такие измерения могут быть организованы в пределах дома пациента, а в условиях амбулаторного мониторинга состояния здоровья бесконтактный ДМД невозможен.

Перспективным направлением решения задачи является разработка портативных носимых измерительных устройств. Датчик, чувствительный к акустическим, механическим или электрическим (изменения биоимпеданса торса) явлениям, сопровождающим дыхание, крепится на одежде или является её элементом [4]. При любом способе формирования измерительного сигнала в дальнейшем он преобразуется в электрическое напряжение как физическую величину, наиболее удобную для аналого-цифрового преобразования. Результаты аналого-цифрового преобразования передаются по цифровому каналу связи на автоматизированное рабочее место (АРМ) лечащего врача.

Извлечение из сигнала информации о ЧДД не представляет сложности, т.к. результат измерения формируется путем счета периодов процесса в течение минуты с абсолютной погрешностью измерения ± 1 период. Другие показатели ритмичности также могут быть измерены с требуемой точностью, поскольку погрешность квантования определяется известным временем аналого-цифрового преобразования. Однако результаты аналого-цифрового преобразования сигнала датчика не могут быть использованы для измерения показателей внешнего дыхания, измеряемых спирометром в ходе поликлинического обследования, из-за неизвестности коэффициентов связи между параметрами сигнала и показателями дыхания.

В Государственный реестр средств измерений РФ внесен ряд типов спирометров: микропроцессорный спирометр СпироС-100, спирометр автономный запоминающий МАС2-Б, спирометр компьютерный для диагностики нарушений вентиляционной способности легких Спиро-Спектр, аппарат для спирометрии и пульсоксиметрии «MIR» SpiroLab III, спирометр CHEST HI-101. Первично измеряемыми показателями внешнего дыхания являются объем воздуха и объемная скорость воздуха. Значения других показателей внешнего дыхания определяются расчетным путем по результатам измерений первичных показателей.

Основные метрологические характеристики данных спирометров представлены в таблице (ОСВ – объемная скорость воздуха).

Для установления связи между параметрами измерительного сигнала и параметрами внешнего дыхания предлагается в ходе поликлинического приема, на котором было принято решение о необходимости мониторинга состояния дыхательной системы, проводить калибровку устройства для ДМД методом сличения с эталоном, в качестве которого выступает стационарный спирометр.

Таблица – Метрологические характеристики спирометров

Метрологические характеристики	СпироС-100	МАС 2-Б	Спиро-Спектр	«MIR» SpiroLab III	Спирометр CHEST HI-101
Предел диапазона измерений ОСВ, л/с	12,0	16,0	15,0	12,0	14,0
Пределы допуск. абс. погрешности измерения ОСВ, л/с	±0,075	±0,05	±0,05	±0,2	±0,05
Пределы допуск. отн. погрешности измерения ОСВ, %	±5	±5	±3	±5	±3
Предел диапазона измерения объемов воздуха, л	10,0	8,0	12,0	10,0	10,0

В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины стационарным спирометром (эталон) и испытуемым прибором (устройством для ДМД). При этом определяют погрешность как разницу показаний поверяемого и эталонного средств измерений, принимая показания эталона за действительное значение величины. Достоинства этого метода в его простоте, наглядности, возможности применения автоматической калибровки, отсутствии потребности в сложном оборудовании.

В соответствии с [5] к средствам измерений, применяемым при калибровке, предъявляется ряд требований.

Все средства измерений, применяемые при калибровке (в том числе, для контроля параметров окружающей среды) должны быть калиброваны и/или поверены перед их использованием. Аттестаты и сертификаты о калибровке средств калибровки должны содержать значения действительных значений метрологических характеристик и погрешности (или неопределенности) эталона, а также заявление о соответствии эталона этим характеристикам.

Спирометры - эталоны, применяемые при калибровке устройств ДМД, должны калиброваться до и после любой регулировки (юстировки).

Калибровка устройства для ДМД проводится в следующей последовательности.

1. Устройство для ДМД устанавливается на одежде пациента, включается и подключается к АРМ лечащего врача.

2. Проводятся измерения показателей дыхания спирометром с одновременной регистрацией показаний устройства для ДМД.

3. Рассчитывается персонализированный коэффициент связи между объемной скоростью воздуха, л/с, и скоростью изменения напряжения, зарегистрированного устройством для ДМД, В/с.

4. Рассчитывается персонализированный коэффициент связи между объемом воздуха, л, и вольт-секундной площадью напряжения, зарегистрированного устройством для В-с.

5. Оценивается неопределенность результатов калибровки. Как правило, результаты калибровки представляют собой отклонение показаний калибруемого устройства для ДМД от значений измеряемой величины, полученных с помощью стационарного спирометра (эталона). При этом расчет значения неопределенности будет отличаться в зависимости от того, каким образом вносят поправку в показания калибруемого устройства: поправку вносят в каждой точке шкалы, либо введением поправочного коэффициента в зависимости от значения измеряемой величины в диапазоне измерений. Также поправка может быть учтена в суммарной неопределенности.

6. Персонализированные коэффициенты связи с указанием неопределенности заносятся в программу АРМ с целью их использования в процессе ДМД.

Результаты калибровки устройства ДМД могут быть использованы при его поверке в добровольном порядке.

Список использованных источников

1. Баранов В. А., Печерская Е. А., Сафронов М. И., Тимохина О. А. Информационно - измерительная система для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19 // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1. С. 85–92.

2. Ильин, К. А. Измеряемые параметры сердечно-легочной реанимации при внегоспитальной остановке сердца / К. А. Ильин, В. А. Баранов // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения - 2022»): материалы XIV Международной научно-технической конференции с элементами научной школы и конкурсом научно-исследовательских работ для обучающихся и молодых ученых, Пенза, 24–26 октября 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2022. – С. 35-37.

3. Методические рекомендации по использованию метода спирометрии / [Электронный ресурс] // spulmo.ru : [сайт]. – URL: https://spulmo.ru/upload/kr/Spirometria_2023.pdf?t=1 (дата обращения: 22.03.2023).

4. Subrata Kumar Kundu, Shinya Kumagai, Minoru Sasaki A Wearable Capacitive Sensor for Monitoring Human Respiratory Rate / Subrata Kumar Kundu, Shinya Kumagai, Minoru Sasaki [Текст] // Japanese Journal of Applied Physics. – Nagoya, Japan., 2013.

5. РМГ 120-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к выполнению калибровочных работ. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 23 с.