

## Методы регистрации и возможности современных устройств мониторинга частоты дыхания (обзор литературы)

### Аннотация

Определение частоты дыхания является необходимой задачей при оценке состояния здоровья человека. В обзоре приведено описание современных устройств, применяемых для регистрации и мониторинга частоты дыхания. Показаны преимущества и недостатки принципов работы данных устройств.

### Введение

Частота дыхания – показатель, отражающий физическое состояние человека и его здоровья в целом. Паузы в дыхании продолжительностью от секунды до минуты характерны для апноэ во сне, а слишком быстрое дыхание в состоянии покоя может дать важный прогноз остановки сердца. Кроме того, спортсмены полагаются на частоту своего дыхания как на показатель физической подготовки, предпочитая медленное, но глубокое дыхание во время упражнений. Частота дыхания является одним из критериев при определении степени тяжести состояния больных острой респираторной инфекцией, вызываемой коронавирусом SARS-CoV-2 (COVID-19). Интересно, что существует несколько доступных методов для определения частоты дыхания, помимо простого подсчета подъема и опускания грудной клетки. В статье показаны основные преимущества и недостатки двух основных методов диагностики для измерения параметров дыхания: пневмографии (пневмометрии) и спирометрии. Целью многих исследователей является создание носимых устройств, способных непрерывно контролировать дыхательную активность в естественных физиологических условиях.

Дыхание представляет собой совокупность процессов, обеспечивающих поступление в организм кислорода, использование его для окисления органических веществ и удаления из организма углекислого газа [1]. Дыхание является процессом периодическим и по своей природе имеет определенное сходство с механическими колебательными процессами, в частности, имея такую характеристику, как частота дыхания [2], [3].

Частота дыхания (ЧД) – это динамический показатель вентилиции легких. Данный показатель выражается как число циклов дыхательных движений в единицу времени. Области применения измерения ЧД [4]:

1) в диагностике:

- выявление объективных изменений функционального состояния легких, в том числе и под влиянием заболеваний;
- при первичном обследовании и наличии определенных клинических симптомов (одышка, изменение перкуторного тона и характера дыхания, выявление хрипов и др.);
- прогноз течения заболевания;

2) при динамическом наблюдении (мониторинге):

- оценка эффективности терапевтических мероприятий;
- оценка динамики развития заболеваний (легочных, сердечно-сосудистых, нервно-мышечной системы);

3) при экспертной оценке:

- временной утраты трудоспособности;
- пригодности к работе в определенных условиях.

Большинство патологических состояний, связанных с дыханием, характеризуется определенными клиническими проявлениями [5]-[8]. Постановка точного диагноза зависит как от ясности клинической картины и квалификации врача, так и от используемых для подтверждения диагностических технологий [9]-[13]. Актуальность данного исследования основывается на том, что в настоящее время среди врачей возрастает осознание ценности правильной диагностики ЧД [14], [15].

Частота дыхательных движений является одним из критериев при определении степени тяжести состояния больных острой респираторной инфекцией, вызываемой коронавирусом SARS-CoV-2 (COVID-19) [16]:

- легкая форма тяжести COVID-19 (амбулаторное лечение, все признаки):  $T_{\text{тела}} < 38,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{ЧД} \leq 22/\text{мин}$ ; отсутствует одышка при привычной физической нагрузке;  $\text{SpO}_2 \geq 95 \%$ ;
- среднетяжелая форма тяжести COVID-19: госпитализация при наличии двух из четырех следующих основных критериев:  $T_{\text{тела}} \geq 38,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{SpO}_2 < 95 \%$ ;  $\text{ЧД} > 22/\text{мин}$ ;
- тяжелое течение COVID-19: экстренная госпитализация в ОРИТ при наличии двух из трех следующих основных критериев:  $T_{\text{тела}} \geq 39 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{ЧД} \geq 30/\text{мин}$ ;  $\text{SpO}_2 \leq 93 \%$ ;
- крайне тяжелое течение COVID-19: экстренная госпитализация в ОРИТ при наличии двух из трех следующих основных критериев: нарушение сознания;  $\text{SpO}_2 < 92 \%$  (на фоне  $\text{O}_2$ -терапии);  $\text{ЧД} > 35/\text{мин}$ .

Все большую актуальность приобретает использование специальных приборов для регистрации ЧД. Хотя класс подобных устройств достаточно обширен и разнообразен, функциональность и надежность многих из них находятся под большим вопросом. В последнее время на отечественном рынке медицинских приборов наблюдается увеличение спроса на устройства данного класса [17]-[26].

Прежде чем приступить к разработке устройства измерения частоты дыхания, необходимо исследовать основные методы, применяемые для регистрации ЧД, определить их основные принципы, достоинства и недостатки [4].

Существуют два основных метода диагностики для измерения параметров дыхания: пневмография (пневмометрия) и спирометрия [27]-[33].

*Пневмография* – метод исследования внешнего дыхания, заключающийся в графической или цифровой регистрации дыхательных движений [27], [28]. Принцип пневмографии состоит в том, что механическая энергия дыхательных движений грудной клетки переводится в электрический ток датчика-проводника с последующей преформацией его в работу регистрирующего устройства [30]-[33]. В приборах-пневмографах в качестве преобразователя (датчика) используются заполненные токопроводящим порошком или раствором резиновые трубки (одна или несколько), закрепленные на поверхности грудной клетки пациента при помощи эластичного бинта или жилета. Существуют также другие типы пневмографов, где вместо резиновых трубок используются фиксируемые на груди электроды [30].

*Спирометрия* – метод исследования функции внешнего дыхания, включающий в себя измерение объемных и скоростных показателей дыхания [32]. Принцип спирометрии состоит в том, что поток воздуха, фиксируемый датчиком, регистрируется и анализируется в электронном устройстве. Иначе говоря, приборы-спирометры – это цифровые устройства, которые состоят из датчика потока воздуха и электронного устройства, преобразующего показания датчика в цифровую форму и производящего необходимые вычисления [32].

Достоинства пневмографии: простой принцип регистрации измерений и широкая распространенность на рынке устройств пневмографов.

Недостатки пневмографии:

- крупные размеры оборудования (500 x 100 x 500 мм, без учета нагрудного пояса, жилета или электродов);
- малое количество измеряемых параметров по сравнению с методом спирометрии;
- большое время на подготовку и проведение процедуры;
- относительно высокая погрешность измерений – до 10 %;
- наличие противопоказаний к проведению процедуры (дети до 5 лет и люди с сердечными заболеваниями).

Достоинства спирометрии:

- малые размеры оборудования;
- многофункциональность и многозадачность;
- малое время регистрации сигнала и обработки информации;
- возможность проведения диагностических процедур у животных.

Недостаток спирометрии – высокая стоимость спирометров.

На основании проведенного сравнения можно сделать вывод, что необходимо разработать устройство, принцип измерения ЧД которого будет основан на методе спирометрии.

На сегодняшний день на рынке представлены следующие приборы для регистрации ЧД, краткие описания которых приведены ниже.

### 1 Датчик частоты дыхания (ОАО «МЕДИУС», Россия)

Цифровой датчик обеспечивает регистрацию ЧД человека на основе измерения разности температур вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. В качестве чувствительного элемента используется термистор, помещаемый во внешний носовой проход, для определения разности температур между вдыхаемым холодным и выдыхаемым теплым воздухом.

Диапазон измерения ЧД – от 0 до 30 цикл/мин. Имеется возможность измерения в состоянии покоя и при физической нагрузке. К компьютеру датчик подключается через USB-разъем. Специализированное программное обеспечение осуществляет вывод данных в виде зависимости ЧД от времени [34].

### 2 Датчик частоты дыхания «Releop» (Россия)

Датчик измеряет частоту дыхательных движений (циклов вдох-выдох) за единицу времени, анализирует количество сокращений грудной клетки и передней брюшной стенки [35]. В комплект датчика входит набор гигиенических одноразовых насадок, плотно одеваемых на дыхательную трубку.

### 3 Цифровой датчик частоты дыхания (с маской) «ps-2187 PASCO» (США)

Устройство не является медицинским прибором и предназначено для использования только в образовательных целях. Датчик ЧД измеряет частоту дыхания, определяя изменение давления в стандартной одноразовой пылезащитной маске. Он обеспечивает стабильность измерений даже во время физических нагрузок.



Рис. 1. Цифровой датчик частоты дыхания «ps-2187 PASCO» (США)

В комплект входят (рис. 1):

- одноразовый барометрический цифровой датчик давления с фиксатором и трубкой для подключения к измерительному устройству;
- одноразовая пылезащитная маска;
- регистратор данных.

Диапазон измерений – от 5 до 60 вдохов/мин. Устройство обеспечивает два режима работы:

- 1) измерение частоты дыхания как величины, обратно пропорциональной времени между двумя последовательными вдохами;
- 2) измерение средней частоты дыхания, вычисляемой на основе продолжительности четырех циклов вдох-выдох.

Эти измерения передаются в цифровом формате на компьютер или регистратор данных для последующего анализа [36].

### 4 Цифровой датчик частоты дыхания (нагрудный) «PASCO» (США)

Цифровой датчик обеспечивает регистрацию ЧД до и после физических упражнений. Он измеряет изменение давления, которое происходит в грудной полости при расширении и сжатии во время дыхания.

Типичные области применения: проведение сравнения до и после физической нагрузки, расчет возможных корреляций между ЧД и частотой сердечных сокращений, определение влияния высоты на дыхание [36]. Включает в себя: цифровой датчик относительного давления «PASCO» и пояс – датчик ЧД. Дополнительно для сбора, отображения и анализа данных используют один из интерфейсов в разделе «Системы сбора и обработки данных». Следует отметить, что нагрудный датчик ЧД не является медицинским инструментом – он не должен быть использован для выяснения состояния здоровья или тренированности человека [36].

### 5 Цифровой USB-датчик частоты дыхания

Датчик является электронным блоком, который подключается непосредственно к персональному компьютеру. Первичный преобразователь датчика выполнен на основе терморезистора и встроены в дыхательную маску (рис. 2). Маска предназначена для закрепления на лице испытуемого и позволяет производить измерения при различных физических нагрузках и в состоянии покоя. На терморезисторе производится преобразование температуры вдыхаемого и выдыхаемого воздуха в электрический сигнал [37].



Рис. 2. Цифровой USB-датчик частоты дыхания «Радуга» (Россия)

Компьютерная программа выполняет представление данных на мониторе, обеспечивает сохранение данных и возможность передачи данных в другие программы, например в Excel.

### 6 Беспроводной респираторный пояс GDX-RB для измерения частоты дыхания («Vernier Software & Technology», США)

Датчик респирации для определения ЧД представляет собой регулируемый пояс с беспроводным датчиком, который также может работать через USB (рис. 3).

Определить эффективность тренировки, скорость стабилизации дыхания после выполнения спортивных упражнений, задержку и влияние объема грудной клетки – все эти показатели можно измерить при помощи беспроводного пояса дыхания. Беспроводной респиратор использует датчик силы и регулируемый нагрудный нейлоновый ремешок, чтобы измерить усилия дыхания и скорость дыхания. Светодиодный индикатор обеспечивает обратную связь, поэтому можно улучшить натяжение ремня [38].



Рис. 3. Беспроводной респираторный пояс GDX-RB («Vernier Software & Technology», США)

## Заключение

В обзоре приведено описание современных устройств, применяемых для регистрации и мониторинга частоты дыхания. Показаны преимущества и недостатки принципов работы данных устройств. Существующие модели устройств не являются автономными: интерпретация показателей происходит при помощи компьютера (смартфона) или программного обеспечения.

Перспективным направлением дальнейших исследований может быть разработка автономного устройства (маски) для регистрации и мониторинга ЧД с возможностью визуализации требуемых показателей без вспомогательного оборудования.

### Список литературы:

1. Алексеева А.С., Сергеева М.С., Башиева Г.М. и др. Физиология дыхания / Учебно-методическое пособие для студентов медицинских вузов. Издание 3-е, доп. – Самара: АС-Дизайн, 2015. 88 с.
2. Завалишина С.Ю., Медведев И.Н., Кутафина Н.В. Физиология дыхания и кровообращения. – Курск, 2017. 162 с.
3. Федин А.Н., Никитина Е.Р., Кривченко А.И. Сравнительная физиология дыхания. – М.: РАН, 2018. 324 с.
4. Минаев А.В. Измерения дыхания. – Нижний Новгород: НГТУ, 2002. 120 с.
5. Туйчиева Ф.Г., Ходжиева А.Ю. Патология органов дыхания / XII Международная научно-практическая конференция «International Scientific Research-2018. – М.: Научный центр «Олимп», 2018. С. 299-301.
6. Джабаева С.Е., Ахаева А.С. Особенности клинических проявлений внебольничной пневмонии у детей различного возраста // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2018. Т. 63. № 4. С. 179-180.
7. Афтаева Л.Н., Мельников В.Л., Кубрина О.Ю. и др. Клинические проявления внебольничной пневмонии // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. № 2. С. 258-264.
8. Гизингер О.А. Коронавирусная инфекция: информация для терапевта // Терапевт. 2020. № 3. С. 78-81.
9. Мочалова Е.С. Исследование внешнего дыхания человека с целью разработки прибора для определения фаз дыхания человека / Сборник тезисов докладов XIV Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения-2019». Москва, Барнаул, Ахтубинск. 2019. С. 287.
10. Лаптева Е.А., Коваленко И.В., Лаптев А.Н. и др. Применение технологии «нейронных сетей» для выявления и мониторинга аускультативных феноменов при диагностике заболеваний органов дыхания // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18. № 3. С. 230-235.

11. Винокуров А.С., Смирнова А.Д., Бельская О.И. и др. Клинико-рентгенологические варианты поражения легких при инфекции, вызванной staphylococcus aureus // Клиническая практика. 2021. Т. 12. № 3. С. 71-89.
12. Омарова С.М., Алиева А.И., Свитич О.А., Абсерханова Д.У. Эффективность современных критериев диагностики и рациональной антибиотикотерапии вентилятор-ассоциированных пневмоний у новорожденных // Российский иммунологический журнал. 2015. Т. 9 (18). № 2-1. С. 120-122.
13. Новикова Е.И., Андрианова Е.А., Удодова Е.Е. и др. Разработка экспертной системы для диагностики заболеваний легких на основе нейросетевого моделирования // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2021. Т. 20. № 1. С. 155-159.
14. Маничев И.А., Грекова Т.И., Сиваков А.П. Современные подходы к качеству спирометрического исследования: аппаратная поддержка, экспертные системы / XII Международная научно-техническая конференция «Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» – «Медэлектроника-2020». Минск. 2020. С. 206-209.
15. Никифоров В.С., Лунина М.Д., Давидовская Е.И. и др. Стандарты проведения и оценка результатов спирометрии. – СПб.: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, 2019. 45 с.
16. Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции COVID-19, версия 15 (22.02.2022). 245 с. / [https://cdn.stopcoronavirus.ru/ai/doc/1301/attach/vmr\\_COVID-19\\_V15.pdf](https://cdn.stopcoronavirus.ru/ai/doc/1301/attach/vmr_COVID-19_V15.pdf) (дата обращения 17.04.2022).
17. Гришин О.В. Мобильный биомониторинг в клинике заболеваний органов дыхания и кровообращения / Материалы Седьмой всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные аспекты компенсаторно-приспособительных процессов». Новосибирск. 2015. С. 55.
18. Овчинников Ю.В., Мостовой Л.В. Дистанционное скрининговое мониторирование функции дыхания во время сна у военнослужащих / Сборник статей конференции «Биотехнические системы и технологии». Анапа. 2019. С. 63-64.
19. Федоров В.А., Борчанинов М.Г. Способ регистрации артериального пульса и частоты дыхания и устройство для его осуществления / Патент № 2053706 С1 РФ. Оpubл. 10.02.1996.
20. Дембовский М.В., Писарева А.В. Разработка биотехнической системы магнитоплетизмографии для мониторинга частоты дыхания и частоты сердечных сокращений // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2020. Т. 19. № 4. С. 119-126.
21. Нгуен М.Т., Юлдашев З.М. Метод и аппаратно-программный комплекс для комплексной оценки физиологических резервов спортсмена во время тренировок // Биотехносфера. 2020. № 5 (65). С. 3-11.
22. Живолупова Ю.А. Информационное и методическое обеспечение системы удаленного кардиореспираторного мониторинга для диагностики нарушений дыхания во сне // Биотехносфера. 2019. № 6 (64). С. 41-46.
23. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Реализация бесконтактного метода мониторинга процессов дыхания и сердцебиения пациента во время сеанса магнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. Т. 24. № 4. С. 23-32.
24. Анищенко Л.Н., Лобанова В.С., Давыдова И.А. и др. Мониторинг паттерна дыхания человека во сне при помощи двухканального биорадиолокатора // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. Т. 24. № 5. С. 47-58.
25. Ревинская И.И., Камлач П.В., Далидович В.О. и др. Комплекс для мониторинга параметров дыхания пациента / XII Международная научно-техническая конференция «Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» – «Медэлектроника-2020». Минск. 2020. С. 190-193.

26. *Алехин М.Д.* Результаты бесконтактного мониторинга паттерна дыхания во сне / Материалы IX Международной научной конференции «Системный анализ в медицине (САМ 2015)». Благовещенск. 2015. С. 47-50.
27. *Шарипова Э.С., Блинова А.Б., Терентьева А.В.* Методы исследования внешнего дыхания / Сб. труд. XXX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – «Биомедсистемы-2017». Рязань. 2017. С. 209-212.
28. *Григорьевский Б.К., Сафиуллин С.В.* Техника пневмометрии / Сб. статей международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в науке». В 3-х частях. Уфа. 2017. С. 22-25.
29. *Ревинская И.И., Камлач П.В., Мадвейко С.И. и др.* Информационные технологии для диагностики синдрома обструктивного апноэ сна // Big Data and Advanced Analytics. 2020. № 6-3. PP. 362-369.
30. *Зуев А.Л., Судаков А.И., Шакиров Н.В.* Способ импедансной спирографии для изучения динамики дыхательной функции человека и аппаратно-программный комплекс для его осуществления / Патент № 2682936. Оpubл. 22.03.2019. Бюл. № 9.
31. *Малюгин Д.А., Клюкин А.А., Таратута Р.В.* Применение спирографии для оценки аппарата внешнего дыхания у пациентов, перенесших COVID-19 (обзор клинического случая) // Молодежный инновационный вестник. 2021. Т. 10. № S1. С. 157-159.
32. *Черкашин Д.В., Шарова Н.В., Кучмин А.Н.* Спирография в клинической практике. Уч. пособие / Под ред. А.С. Свистова. 2-е изд. – СПб.: Изд-во «Политехника», 2019. 139 с.
33. *Кургалин С.Д., Залыгаева М.Е., Максимов А.В.* Применение спирографического человеко-машинного интерфейса в медицине / Материалы международной конференции «Современные методы теории краевых задач». 2015. С. 124-125.
34. Датчик частоты дыхания / [https://www.medius.ru/catalog/uchebnye\\_klassy/kabinet\\_biologii/programmno\\_tsifrovoy\\_izmeritelnyy\\_kompleks/datchik\\_chastoty\\_dykhaniya\\_tsifrovoy.html](https://www.medius.ru/catalog/uchebnye_klassy/kabinet_biologii/programmno_tsifrovoy_izmeritelnyy_kompleks/datchik_chastoty_dykhaniya_tsifrovoy.html) (дата обращения 07.12.2021).
35. Датчик частоты дыхания Releon / <https://rl.ru/products/sensors/datchik-chastoty-dykhaniya/> (дата обращения 07.12.2021).
36. Цифровой датчик частоты дыхания PASCO / <https://bazis-ufa.ru/catalog/4946.html> (дата обращения 15.12.2021).
37. Цифровой USB-датчик частоты дыхания / [http://l-micro.ru/index.php?page\\_id=2](http://l-micro.ru/index.php?page_id=2) (дата обращения 22.12.2021).
38. Беспроводной респираторный пояс GDX-RB / <https://www.vernier.com/product/go-direct-respiration-belt/> (дата обращения 22.12.2021).
- Андрей Евгеньевич Комлев,  
канд. техн. наук, доцент,  
кафедра «Электронные приборы и устройства»,  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,  
г. С.-Петербург,  
Петр Кириллович Потапов,  
канд. мед. наук, зам. начальника,  
научно-исследовательский отдел  
медико-биологических исследований,  
ФГАУ «Военный инновационный  
технополис «ЭРА»,  
г. Анапа, Краснодарский край,  
Александр Владимирович Ястребов,  
инженер,  
кафедра «Электронные приборы и устройства»,  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,  
г. С.-Петербург,  
Илья Владимирович Маркин,  
канд. техн. наук, начальник лаборатории,  
лаборатория клеточных и молекулярно-  
генетических технологий,  
научно-исследовательский отдел  
медико-биологических исследований,  
ФГАУ «Военный инновационный  
технополис «ЭРА»,  
г. Анапа, Краснодарский край,  
Павел Геннадьевич Толкач,  
канд. мед. наук, преподаватель,  
кафедра «Военная токсикология  
и медицинская защита»,  
ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская  
академия имени С.М. Кирова» МО РФ,  
г. С.-Петербург,  
Евгений Александрович Журбин,  
канд. мед. наук, начальник,  
научно-исследовательский отдел  
медико-биологических исследований,  
ФГАУ «Военный инновационный  
технополис «ЭРА»,  
г. Анапа, Краснодарский край,  
Алина Витальевна Грачева,  
студент,  
кафедра «Электронные приборы и устройства»,  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,  
г. С.-Петербург,  
e-mail: varlamova@trp.ru*

\* \* \* \* \*