

И.В. Гераськин, В.А. Гераськин, Н.В. Гераськина

## Определение накопления конденсата по регистрации уровня шума в дыхательном контуре аппаратов искусственной вентиляции легких

Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород

**Резюме.** Обосновывается способ определения накопления конденсата по регистрации уровня шума в дыхательном контуре аппаратов искусственной вентиляции легких. Согласно предложенному способу проводится мониторинг состояния и работоспособности аппаратов при проведении искусственной вентиляции легких и оксигенотерапии. При аппаратной вентиляции легких в дыхательном контуре образуется усиливающееся турбулентное течение водной или газовой струи, сопровождающееся нарастанием шумового эффекта и вибрации. Возрастание уровня акустических шумов от колебаний скопления конденсата в газообразных средах регистрировалось прибором для объективного измерения уровня звука – шумомером. Показатели шумовых эффектов достигали более высокого уровня на влажном контуре (наличие капель конденсата или скоплений жидкости) по сравнению с показателями, полученными на «сухом» дыхательном контуре. Разница в уровнях регистрируемых шумов достигала 10 дБ и возрастала с 37,73 до 47,36 дБ. Участки дыхательного контура с наибольшей степенью сужения просвета и критических скоплений водного конденсата и слизи являются источником возникновения турбулентности воздушного потока и усиления шума. В условиях пролонгированной искусственной вентиляции легких скорость увлажненного воздушно-газового потока постоянно изменяется, особенно при аппаратном моделировании фаз вдоха и выдоха и увеличении температуры в камере увлажнителя. Предложенная методика предназначена для выявления критических уровней конденсата воды в аппаратных дыхательных контурах по регистрации интенсивности нарастания уровня шума и выбора рационального режима эксплуатации медицинского оборудования. Данные о формирующейся критической ситуации отображаются на экране шумомера и информируют медицинский персонал о необходимости проведения санации контура аппарата искусственной вентиляции легких. Преимущественная область применения – отделения реанимации и интенсивной терапии, медицинские транспортные бригады при проведении внутрибольничной или межгоспитальной транспортировки, хирургические операционные при проведении ингаляционных наркозов.

**Ключевые слова:** шумовой эффект и вибрация, дыхательный контур, конденсат, искусственная вентиляция легких, турбулентность, шумомер, акустические шумы, отделение реанимации и интенсивной терапии.

**Введение.** Современное отделение реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) представляет сложную систему, отличающуюся повышенным воздействием на пациента и окружающую его среду антропогенных и прежде всего техногенных факторов.

В условиях возрастающей технической составляющей интенсивной терапии методы совершенствования лечебно-охранительного режима становятся все более актуальными. Комплекс лечебно-профилактических мероприятий, направленных на своевременное обеспечение максимального физического и психического покоя больного, находящегося в ОРИТ, является неотъемлемой составляющей работы медицинского персонала [2].

Чрезмерное сопротивление контура дыхательного аппарата перемещению воздушно-газовой дыхательной смеси обусловлено сдавливанием, изменением диаметра, формы, деформации отдельных его компонентов. Сопротивление потоку выдыхаемого и вдыхаемого воздуха (по закону Гагена – Пуазейля) обратно пропорционально квадрату площади сечения путей транспорта газовой смеси. Поэтому даже небольшое уменьшение просвета дыхательного контура

значительно препятствует прохождению воздушно-газового потока [4].

Участки прогрессирующего скопления водного конденсата и слизи в контуре дыхательного аппарата определяют неравномерность сужения диаметра проводящих шлангов контура, увеличивают сопротивление потоку воздуха, способствуют формированию турбулентности и возрастанию уровня шума (рис. 1).

Выполненная работа относится к области медицинской связи и контроля регистрируемых параметров в интенсивной медицине. Согласно предложенному способу проводится мониторинг состояния и работоспособности аппаратов по проведению искусственной вентиляции легких (ИВЛ) и оксигенотерапии. Предложенная методика предназначена для выявления критических уровней конденсата воды в аппаратных дыхательных контурах по регистрации интенсивности нарастания уровня шума и выбора рационального режима эксплуатации медицинского оборудования. Преимущественная область применения – отделения реанимации и интенсивной терапии, медицинские транспортные бригады при проведении внутри-

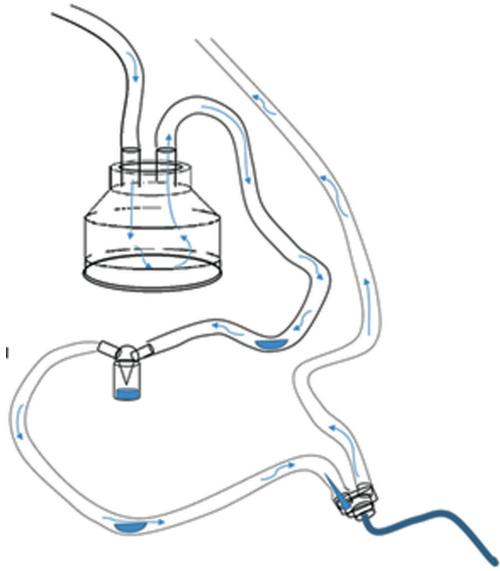


Рис. 1. Схема контура увлажнителя аппарата искусственной вентиляции легких: 1 – интубационная трубка; 2 – коннектор интубационной трубки; 3 – шланги дыхательного контура; 4 – банка для сбора конденсата; 5 – конденсат; 6 – увлажнитель. Стрелками обозначены зоны турбулентности

больничной или межгоспитальной транспортировки, хирургические операционные при проведении ингаляционных наркозов.

**Цель исследования.** Определить способ выявления критических уровней водного конденсата в аппаратных дыхательных контурах по регистрации интенсивности нарастания уровня шума.

**Материалы и методы.** В исследования включены данные неинвазивной регистрации изменений амплитуды шумов в дыхательном контуре функционирующих аппаратов ИВЛ при накоплении водного конденсата. Регистрация параметров проводилась с внешней поверхности деталей контура дыхания микрофоном шумомера. Применяли внешний микрофон и программу шумометрии (melon soft, 2017 г.) на базе платформы Android. Возможно использование дистанционного микрофона, подключенного по системе Bluetooth или через wi-fi-адаптер. Измерение уровня формирования шумов осуществлялось на фоне продленной ИВЛ аппаратами «Chirolog sv» (Чехия) в режиме PS-VG-поддержки давлением с гарантией объема или в режиме PS-CMV, применяемой для управляемой вентиляции (рис. 2). Проведена регистрация и анализ 84 показателей определения шумовых эффектов в четырех точках дыхательного контура [3].

Статистическая обработка данных проводилась на персональном компьютере HP с операционной системой Microsoft Windows 7, использован пакет «Анализ данных» программы MS Excel. Осуществлялись сбор первичных данных об изучаемом объекте,

их сводка и группировка на однородные группы по одному или нескольким признакам, вычисление и интерпретация обобщающих статистических показателей: абсолютных и относительных величин, показателей вариации и средних величин, исследование корреляции связей, расчет показателей динамики и индексов, проведение дисперсионного и регрессионного анализа взаимосвязанных показателей. Определяли среднюю арифметическую (M), стандартную ошибку средней арифметической (m), а также процентное выражение ряда данных. Оценка значимости различия средних значений и частоты проявления признаков в различных группах больных проводилась с помощью параметрического t-критерия Стьюдента [4]. Работа выполнена в отделениях интенсивной терапии при проведении продленной ИВЛ.

**Результаты и их обсуждение.** В условиях пролонгированной ИВЛ скорость увлажненного воздушно-газового потока постоянно изменяется, особенно при аппаратном моделировании фаз вдоха и выдоха, в участках уменьшения диаметра трубок контура. При увеличении скорости течения жидкости или газа в среде самопроизвольно образуются как многочисленные нелинейные фрактальные волны, так и обычные линейные волны различной амплитуды. Возмущения потока препятствиями могут значительно снижать величину перехода в турбулентное течение. Критерий перехода от ламинарного к турбулентному режиму течения и обратно характеризуется числом Рейнольдса. Последнее определяется следующими соотношениями:

$$Re = vDg / \nu,$$

где  $Dg$  – гидравлический диаметр (м);  $v$  – характерная скорость (м/с);  $\nu$  – кинематическая вязкость среды ( $M^2/c$ ).

При продленной аппаратной вентиляции образуется усиливающееся турбулентное течение водной или газовой струи, сопровождающееся нарастанием шумового эффекта и вибрации. Известно, что шум оказывает значительное негативное воздействие на здоровье человека. При этом воздействие шума на человека совместно с другими физическими факторами может привести к усилению патогенного воздействия. Шум способен увеличивать содержание в крови таких гормонов стресса, как кортизол, адреналин и норадреналин, даже во время сна. Чем дольше эти гормоны присутствуют в кровеносной системе, тем больше вероятность, что они приведут к опасным для жизни физиологическим проблемам.

Возрастание уровня акустических шумов от колебаний скопления конденсата в газообразных средах фиксировалось прибором для объективного измерения уровня звука – шумомером.

Зарегистрированные характеристики динамики шума, распределение по уровню нарастания свидетельствовали о зависимости накопления конденсата и слизи. Показатели шумовых эффектов достигали

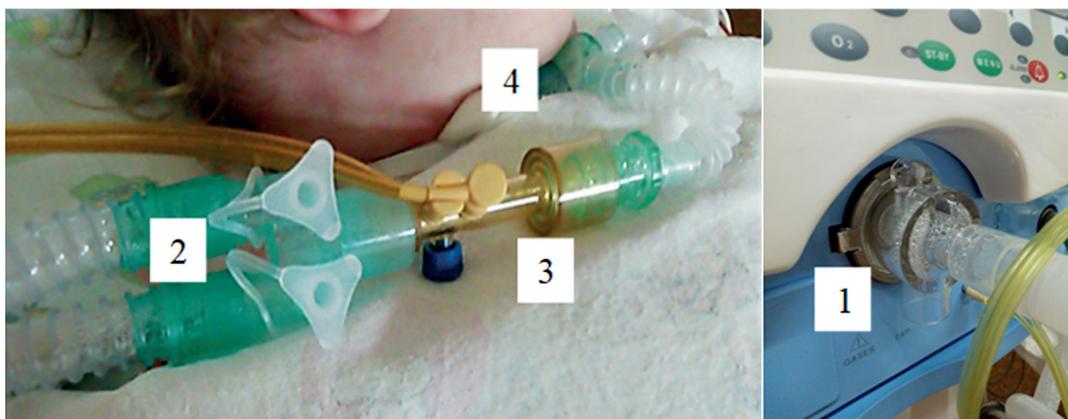


Рис. 2. Определение шумовых эффектов в четырех точках дыхательного контура: 1-я – аппарат ИВЛ; 2-я – трубки дыхательного контура; 3-я – коннектор; 4-я – интубационная трубка

более высокого уровня на влажном контуре (наличие капель конденсата или скоплений жидкости) по сравнению с показателями, полученными на «сухом» дыхательном контуре. Разница в уровнях регистрируемых шумов достигала 10 дБ, и возрастала с 37,73 до 47,36 дБ. (рис. 3). Достоверность зарегистрированных отличий по отношению к значениям контрольной группы («сухой» дыхательный контур) определялась при  $p < 0,05$ .

Меньшей разницей величин шума (до 1,6 дБ) характеризуются данные замеров в 1-й и 2-й точках, что обусловлено низким уровнем накопления конденсата, отсутствием технологических сужений в этих зонах контура, отсутствием слизи, применением малозумных двигателей и клапанов в аппаратах ИВЛ. Полученные результаты свидетельствуют о том, что динамика изменений показателей достигала максимальных значений в проекции интубационной трубки (4-я точка) и в проекции коннектора (3-я точка – кон-

нектор). Указанные участки дыхательного контура характеризуются наибольшей степенью сужения просвета и критических скоплений водного конденсата и слизи. На этих участках возникают турбулентности воздушного потока и усиление шума.

Значимой связи между показателями амплитуды шумов и зависимостью частотных параметров в данных графической регистрации шумомером звуковой волны не выявлено. Смена параметров, при формировании изменений аппаратной вентиляции (частота дыханий, время вдоха, %  $O_2$ , положительное давление к концу выдоха) не влияло на максимум амплитуды, значения которой сохранялись в интервале до 25 дБ. Выраженность шумов определялась возрастанием уровня жидкости и ее локализацией в контуре аппарата ИВЛ. Данные о формирующейся критической ситуации отображаются на экране шумомера и информируют медицинский персонал о необходимости проведения санации контура аппарата ИВЛ (рис. 4).

Уровень шума в контуре аппарата ИВЛ (значения в дБ.)

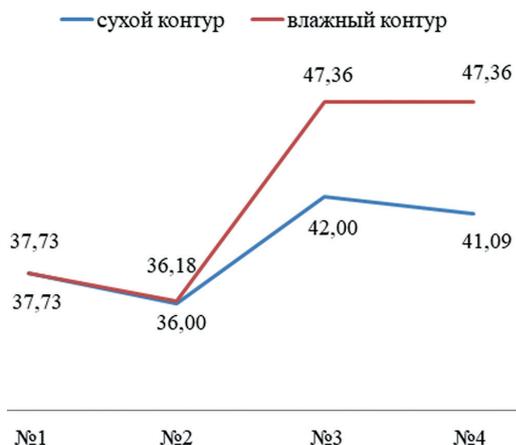


Рис. 3. Динамика шумов (дБ) в точках: 1-я – аппарат ИВЛ; 2-я – контейнер; 3-я – коннектор; 4-я – интубационная трубка; \* –  $p < 0,05$

**Заключение.** Надежным способом решения проблемы шума является снижение его уровня в самом источнике за счет изменения конструкции и технологии аппаратов. К мерам данного типа относятся замена шумных процессов бесшумными, оптимизация деятельности персонала интенсивной терапии по уходу за больными с продленной ИВЛ.

В ходе исследования разработан и внедрен новый способ контроля за состоянием и функцией систем

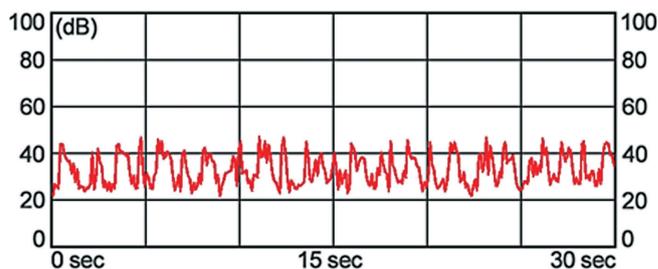


Рис. 4. Графическая регистрация параметров звуковой волны. Данные с экрана шумомера

жизнеобеспечения. Он может применяться с другими видами дистанционного контроля за состоянием пациентов и системами мониторинга функций дыхательных аппаратов, подающих увлажненную газовую смесь. В результате применения указанного способа уменьшается необходимость постоянного визуального контроля со стороны медицинского персонала за уровнем скопления конденсата, расширяются возможности мобильного наблюдения.

#### Литература

1. Май, И.В. Подход к оценке риска возникновения нарушений здоровья под воздействием шума / И.В. Май [и др.] // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – № 10. – С. 10–12.
2. Макшанова, Е.И. Лекции по общей гигиене и экологии в схемах и таблицах / Е.И. Макшанова, Т.И. Зиматкина. – Гродно: ГрГМУ, 2010. – 488 с.
3. Некипелова, О.О. Шум как экологический фактор среды обитания / О.О. Некипелова [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 157–159.
4. Тель, Л.З. Патологическая физиология: интерактивный курс лекций / Л.З. Тель, С.П. Лысенков, С.А. Шастун. – М.: Мед. информ. аг-во, 2007. – 672 с.
5. Шишелова, Т.И. Влияние шума на организм человека / Т.И. Шишелова [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 8. – С. 14–15.
6. Юнкеров, В.И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В.И. Юнкеров, С.Г. Григорьев. – СПб.: ВМА, 2002. – 266 с.

I.V. Geraskin, V.A. Geraskin, N.V. Geraskina

#### Determination of the level of condensate by recording the noise level in the respiratory circuit of mechanical ventilation devices

**Abstract.** The method of determining the accumulation of condensate by registering the noise level in the respiratory circuit of ventilators is substantiated. According to the proposed method, the condition and performance of the apparatus is monitored during artificial lung ventilation and oxygen therapy. With hardware ventilation, an increasing turbulent flow of a water or gas stream is formed in the respiratory circuit, accompanied by an increase in the noise effect and vibration. An increase in the level of acoustic noise from fluctuations in the accumulation of condensate in gaseous media was recorded by an instrument for objective measurement of sound level — a sound level meter. Indicators of noise effects reached a higher level on the wet circuit (the presence of condensation droplets or accumulations of mucus) of the liquid compared with the indicators obtained on the “dry” breathing circuit. The difference in recorded noise levels reached 10 dB, and increased from 37,73 to 47,36 dB. Areas of the respiratory circuit with the greatest degree of narrowing of the lumen and critical accumulations of water condensate and mucus are a source of turbulence in the air flow and increased noise. In conditions of prolonged artificial ventilation of the lungs, the rate of humidified air-gas flow is constantly changing, especially with hardware modeling of the phases of inspiration and expiration, and an increase in temperature in the humidifier chamber. The proposed technique is designed to identify critical levels of water condensate in the apparatus breathing circuits by recording the intensity of the increase in noise level and choosing the rational mode of operation of medical equipment. Data on the emerging critical situation are displayed on the sound level meter screen and inform medical personnel about the need to rehabilitate the circuit of the artificial lung ventilation apparatus. The primary field of application is resuscitation and intensive care units, medical transport teams during in-hospital or inter-hospital transportation, and surgical operating rooms during inhalation anesthesia.

**Key words:** noise effect and vibration, respiratory circuit, condensate, mechanical ventilation, turbulence, sound level meter, acoustic noise, intensive care unit and intensive care unit.

Контактный телефон: +7-906-578-78-81; e-mail: gvarm@mail.ru