

## Лекция 2

### Проверка аппаратов искусственной вентиляции легких

**Цель занятия:** получить представление о принципах проверки аппаратуры искусственной вентиляции легких (ИВЛ), их общих конструктивных решениях, о конкретных примерах реализации таких устройств.

**Базовая информация:** знания, полученные из курсов «Основы электротехники», «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий», «Средства съема диагностической информации и подведения лечебных воздействий», «Биотехнические системы медицинского назначения».

**Содержание занятия.** Тестеры аппаратов искусственной вентиляции легких, анализаторы расхода газа и цифровые измерители давления газов – приборы, предназначенные для поверки аппаратов искусственной вентиляции легких.

К серии портативных анализаторов расхода газа относятся не только измерители расхода газа и тестеры аппаратов для искусственной вентиляции легких. Эти продукты также измеряют давление, поток, объем, концентрацию кислорода и газовую температуру. С их помощью проверяется множество медицинских устройств для измерения расхода газа и давления, таких как эндоскопические инсуффляторы, устройства для анестезии, измерители потока, датчики давления и устройства всасывания. Их многосторонность - часть того, что делает их испытательными инструментами выбора для профессионалов по качеству здравоохранения и безопасности.

Так, прибор VT305 является быстрым и легким способом тестирования медицинского расхода газа и устройств давления.

Прибор прост в использовании для быстрой и эффективной настройки, проведения испытания и введения результатов.

Портативный анализатор расхода газа для случаев, когда вы в пути и вам необходим легко транспортируемый прибор.



Рис. 5.1. Анализатор расхода газа Fluke VT305.

Благодаря автоматической стандартной работе, которая уменьшает количество ошибок и улучшает последовательность данных.

Еще одним видом приборов, применяющихся для оценки исправности аппаратуры ИВЛ, являются цифровые измерители давления (DPM).

Цифровые измерители давления - легкие, высокоэффективные, универсальные испытательные инструменты, которые покрывают основные параметры положительного давления и диапазонов вакуума. Существуют три модели.

Прибор предназначен для тестирования медицинских устройств, где требуются низкое давление, температура и измерения низкого потока или влажности. Специальные режимы экрана и двунаправленный расход делают его пригодным для полного и эффективных испытаний как обычных механических аппаратов искусственной вентиляции легких, так и высокочастотных аппаратов искусственной вентиляции легких. По европейским стандартам, 100 % запланированного профилактического техобслуживания устройств ИВЛ должно выполняться хотя бы 1 раз в год. Тестеры ИВЛ имеют возможность для измерения давления высокого или низкого расхода и заменяет потребность для датчиков и измерителей расхода. Он измеряет 21 параметров аппарата искусственной вентиляции

легких и может показать их все на одном экране. Результаты можно напечатать напрямую с устройства или с ПК с включенным в комплект Windows-совместимым ПО. Большинство таких приборов также оснащено встроенным экраном и показывают минимум, максимум, среднее и абсолютное значение для всех параметров.

## Аппаратура высокочастотной вентиляции легких

**Цель занятия:** получить представление об общих принципах высокочастотной вентиляции легких (ВВЛ), общих конструктивных решениях аппаратуры ВВЛ, о конкретных примерах реализации таких устройств.

**Формируемые компетенции:** ПК-8, ПК-14, ПК-15.

**Базовая информация:** знания, полученные из курсов «Основы электротехники», «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий», «Средства съема диагностической информации и подведения лечебных воздействий», «Биотехнические системы медицинского назначения».

**Содержание занятия. Высокочастотная вентиляция легких** - вентиляция легких с частотой, более чем в 4 раза превышающей нормальную частоту, однако она может рассматриваться и как простое повышение частоты стандартной ИВЛ. Наиболее принципиальной разницей ВВЛ и традиционной ИВЛ является то, что первая требует лишь 1—3 мл/кг дыхательного объема для поддержания нормального парциального содержания кислорода в крови, тогда как вторая — 7—10 мл/кг. ВВЛ подразделяется на три вида: высокочастотная объемная вентиляция (ВЧОВ), высокочастотная струйная вентиляция (ВЧСВ) и осцилляторная высокочастотная вентиляция (ОВЧВ).

**Преимущества ВВЛ:** улучшение деятельности сердечно-сосудистой системы в результате снижения пикового и среднего давления в дыхательных путях; уменьшение риска баротравмы; обеспечение адекватной вентиляции при негерметичных дыхательных путях; возможность вентиляции через тонкие катетеры и, следовательно, улучшение оперативного доступа при операциях на гортани и трахее; снижение потребности в седатации при ее использовании в ОИТ.

**Недостатки ВВЛ:** метод требует специальной аппаратуры; имеется опасность газового потока высокого давления; затруднено увлажнение

вдыхаемых газов; на дыхательный объем существенно влияют изменения податливости легких; затруднен мониторинг параметров вентиляции; трудно предопределить минутный объем вентиляции при ВВЛ.

**При высокочастотной объемной вентиляции** дыхательный объем 2—3 мл/кг доставляется через традиционную эндотрахеальную трубку с частотой 60—120 циклов в минуту. Струйный инжектор, помещенный на некотором расстоянии от больного, может использоваться для подачи ДО через длинную трубку большого диаметра, которая соединяется с эндотрахеальной трубкой. При этом получают пульсирующий поток газа с большой зоной волнового фронта и низкой скоростью, который действует как поршень внутри эндотрахеальной трубки. Выдох пассивный. ВЧОВ популярна в Скандинавии, особенно при эндоскопии дыхательных путей.

**При высокочастотной струйной вентиляции легких** газ доставляется с высокой скоростью через сопло с частотой 60 — 600 циклов в минуту. Отверстие может быть в Т-образном коннекторе, соединенном с традиционной эндотрахеальной трубкой, в тонкой трубке, встроенной в стенку специальной эндотрахеальной трубки, или на конце катетера большого диаметра, введенного в трахею либо через связки, либо чрескожно. В начальной фазе инспираторного цикла струя подает газ от Т-образного коннектора через открытое отверстие эндотрахеальной трубки или через гортань по катетеру. Подаваемый газ имеет нормальную кривую потока, и физиология газообмена при этом весьма сходна с ВЧОВ. Высокочастотные струйные вентиляторы работают, как постоянные генераторы давления; снижение податливости легких приводит к падению ДО. Выдох пассивный, поэтому необходимо обеспечить свободный выдох для предупреждения баротравмы. Подача газовой смеси с помощью струйной вентиляции весьма популярна (если только не брать в расчет проблему увлажнения), так как это единственный способ обеспечить увлажнение вдыхаемых газов, которое позволяет избежать повреждения цилиарного эпителия и задержки мокроты. ВЧСВ используется в различных ситуациях, особенно в хирургии гортани и

дыхательных путей, микронейрохирургических операциях и в интенсивной терапии у взрослых.

**Метод осцилляторной высокочастотной вентиляции легких** отличается от двух предыдущих наличием активного выдоха. Поршень или конус типа громкоговорителя используется для создания синусоидального характера дыхания, при котором выдох является зеркальным отражением вдоха. Частота варьирует от 120 до 6000 циклов в минуту. Добавочный поток газа накладывается на осцилляции для притока свежего газа и элиминации CO<sub>2</sub>. Эти системы действуют как T-образный коннектор: эффективность элиминации CO<sub>2</sub> является функцией добавочного потока газа. Ударный объем осциллятора (40—70 мл) меньше объема проводящих путей, поэтому механизм газообмена неясен. Клинический интерес с ОВЧВ связан главным образом с лечением дистресс синдрома новорожденных, но в настоящее время еще не накоплено достаточно доказательств превосходства этого метода над традиционной вентиляцией легких.

Из этих трех методов ВЧСВ нашла наибольшее клиническое применение. Точный механизм газообмена при ВЧВЛ пока не выяснен.

В качестве примера конкретной реализации аппаратуры ВВЛ можно указать аппарат MONSOON.



Рис. 6.1. Аппарат искусственной вентиляции легких MONSOON

Аппарат искусственной вентиляции легких MONSOON - универсальный аппарат высокочастотной струйной искусственной вентиляции легких для всех процедур в ЛОР хирургии, торакальной хирургии, кардиохирургии в качестве интенсивной терапии для пациентом с тяжелыми повреждениями легких, АРДС-синдромом и бронхоплевральными фистулами.

Особенности аппарата: надежная система увлажнения газовой смеси (встроенный роликовый увлажнитель), обогрев смеси; система контроля по давлению (исключение баротравмы легких); высокоточный смеситель газов (до 8 атм на входе в аппарат); возможность дифференциальной вентиляции легких, jet вентиляция; инъекционная игла в комплекте (возможность вентиляции в экстренных условиях без присутствия специалиста); наличие контрольного экрана для отслеживания параметров дыхания пациента

Режимы вентиляции аппарата ИВЛ: РЕЕР - положительный экспираторный; СРАР - постоянное положительное давление в дыхательных путях при самостоятельном дыхании; подогрев и увлажнение газовой смеси; контроль объема поставляемого газа; обходной поток для небулайзера. Основные технические характеристики аппарата: частота дыхательных движений: 12-1200 дых/ мин.; время вдоха: 20 - 70 %; FiO<sub>2</sub>: 0.21 - 1.00; увлажнение: 0 - 100 %; обводной поток: 0 - 70 LPM; уровень РЕЕР: 10 - 40 mbar; установочное давление: 0.4 - 3.5 bar.

Мониторируемые параметры: управляемое давление, низкий объем дыхания, увлажнение, обводной поток ЕЕР, частота, FiO<sub>2</sub>, время вдоха MAP, минутный объем, давление в паузе, уровень РЕЕР,

Сигналы тревоги аппарата: PIP (Пиковое давление на вдохе P<sub>пик</sub>) – 0-80 mBar, PP (Давление в паузе) – 0-80 mBar



## Ингаляторы

**Цель занятия:** получить представление об общих принципах ингаляционного введения лекарств, общих конструктивных решениях ингаляторов, о конкретных примерах реализации таких устройств.

**Формируемые компетенции:** ПК-8, ПК-14, ПК-15.

**Базовая информация:** знания, полученные из курсов «Основы электротехники», «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий», «Средства съема диагностической информации и подведения лечебных воздействий», «Биотехнические системы медицинского назначения».

**Содержание занятия.** Ингаляторы-приборы для приведения рабочих веществ в форму мелкодисперсного аэрозоля, пригодную для вдыхания. Ингаляторы можно подразделить на действующие посредством нагрева рабочего вещества и на ингаляторы, не нагревающие его. К первому типу относятся паровые ингаляторы. Ко второму типу – электронно-сетчатые ингаляторы, ультразвуковые ингаляторы и компрессорные ингаляторы (струйные). Последние три объединены термином "небулайзеры" от латинского слова nebula - туман, облако. Они генерируют не пары, а поток аэрозоля, состоящего из микрочастиц ингалируемого раствора.

Действие основано на эффекте испарения лекарственного вещества. При общей эффективности, паровая ингаляция имеет некоторые недостатки. Во-первых, бывает трудно вдыхать струю горячего пара, во-вторых, при нагреве часть действующих лекарственных веществ неизбежно разрушается, в-третьих, горячую ингаляцию нельзя применять при температуре выше 37,5С.

Использоваться в паровых ингаляторах могут лишь летучие растворы, имеющие точку кипения ниже 100 градусов, чаще всего - эфирные масла. Это значительно сужает спектр возможных компонентов для паровой ингаляции. Но самый большой недостаток паровых ингаляторов - в низкой концентрации ингалируемого вещества. Как правило, она ниже порога лечебного воздействия.



Рис. 7.1. Паровой ингалятор TAKIO YN 502

Примером парового ингалятора может служить прибор TAKIO YN1502, который работает по принципу "паровой бани" и может применяться как ингалятор для дыхания нагретыми испарениями лекарства, так и для проведения соответствующих косметических процедур.

Ультразвуковой ингалятор - это прибор, позволяющий распылять лекарственные препараты в виде мелкого аэрозоля, который при вдыхании проникает в самые труднодоступные участки легких. В ультразвуковом ингаляторе разбиение жидкости достигается за счет вибрирования специальной пластины излучателя. При этом достигается размер частиц до 5 мкм, что позволяет им проникать даже в мелкие бронхи, эффективно воздействуя на воспалительный процесс. К тому же поверхность воспаленной слизистой оболочки воздухопроводящих путей (с учетом бронхиол) составляет не менее 5-10 м<sup>2</sup>, и для эффективного лечебного воздействия на нее необходим объем лекарственного препарата не менее 15-30 мл. Только ультразвуковой ингалятор за 10-15 мин работы способен развить высокую производительность и ввести в дыхательные пути такой объем лекарственного раствора. Для ингаляций можно использовать отвары лекарственных трав, щелочные растворы типа дегазированной минеральной воды Боржоми. Маленький вес и размер прибора обеспечивает дополнительное удобство в использовании, к тому же некоторые модели имеют дополнительные маски и насадки, позволяющие проводить

ингаляции лежащему или спящему больному. Так как при работе ингалятора создается целое облако прохладной мелкодисперсной жидкости, похожей на дым, ребенку совсем не обязательно держать лицо непосредственно у мундштука, достаточно просто поставить ингалятор у кровати или у места, где он играет (эффективность при этом несколько снижается).

Примером таких устройств может служить ультразвуковой ингалятор AND UN-231.



Рис. 7.2 Ультразвуковой ингалятор AND UN-231

Этот ингалятор предназначен для проведения ингаляционной терапии при заболевании бронхиальной астмой, острых респираторных заболеваниях, а также при хронических ларинготрахеитах, фарингитах, бронхитах, и других вирусных инфекциях. Прибор может работать без перерыва 30 минут, имеет регулятор воздушного потока. Основные характеристики прибора: вес около 190 г.; производительность 0,2-0,5 мл/мин.; время ингаляции 5 мл рабочего раствора 25-30 мин.; объем резервуара для медикаментов 4,5 мл.; размер частиц аэрозоля около 5 мкм

Струйные (компрессорные), в общем, имеют сходные с ультразвуковыми ингаляторами рабочие характеристики, но имеют большие размеры и массу, при работе раздается характерный шум. Компрессорные ингаляторы формируют аэрозольное облако с помощью компрессора, создающего

достаточно мощный поток воздуха через малое отверстие в камере небулайзера, содержащей лечебный раствор. К безусловному преимуществу можно отнести то, что только этот тип ингалятора может распылять практически все лекарственные составы, применяемые для ингаляций. Этот тип ингаляторов относится к наиболее универсальной категории.



Рис. 7.3. Компрессорный ингалятор Little Doctor LD-210C

Примером компрессорного ингалятора можно назвать прибор Little Doctor LD-210C. Прибор обладает следующими характеристиками: уровень шума 65 Дб, производительность 0,2 мл/мин; размер частиц аэрозоля (MMAD) 3,5-5мкм; объем резервуара для медикаментов 10 мл.

В стандартную поставку входят взрослая, детская маленькая и детская маски, взрослая и детская насадки для ингаляции через нос, мундштук, соединительная силиконовая трубка длиной 2 метра, сменные фильтры - 5 штук.

Также в последнее время на рынке появились новые приборы - ингаляторы с mesh-технологией, или электронно-сетчатые ингаляторы, в которых используется низкочастотный метод распыления лекарственного вещества. В таких ингаляторах в отличие от традиционных ультразвуковых ингаляторов Mesh-технология позволяет применять расширенный спектр препаратов: антибиотики, муколитики, гормональные препараты, в том числе Пульмикорт и Флуимуцил. Допускает использование маслосодержащих

растворов вязкостью не более 3 сП. Mesh-технология обеспечивает полностью бесшумную работу, высокую дисперсность и скорость распыления.



Рис. 7.4. Меш-ингалятор B. Well

Основные характеристики прибора: полностью бесшумная работа; возможность проводить ингаляцию под углом до  $45^\circ$ ; размер частиц 1.5-4.8 мкм.

## Дефибрилляторы

**Цель занятия:** получить представление о принципах дефибрилляции, общих конструктивных решениях дефибрилляторов, о конкретных примерах реализации таких устройств.

**Формируемые компетенции:** ПК-8, ПК-14, ПК-15.

**Базовая информация:** знания, полученные из курсов «Основы электротехники», «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий», «Средства съема диагностической информации и подведения лечебных воздействий», «Биотехнические системы медицинского назначения».

**Содержание занятия.** Дефибриллятор – прибор для устранения нарушений сердечного ритма. Применяется при фибрилляции желудочков и аритмии. В целом, принцип действия прибора состоит в пропускании электрического импульса высокого напряжения через область сердца с целью синхронной деполяризации нервно-мышечных структур миокарда, устранения мерцаний и запуска нормального ритма сердечных сокращений

Воздействие импульсного тока на область сердца можно разделить на кардиоверсию и собственно дефибрилляцию.

Кардиоверсия - воздействие постоянного тока, синхронизированное с комплексом QRS. При различных тахиаритмиях (кроме фибрилляции желудочков) воздействие постоянного тока должно быть синхронизировано с комплексом QRS, так как в случае воздействия тока перед пиком зубца Т может возникнуть фибрилляция желудочков.

Воздействие прямого тока без синхронизации с комплексом QRS называется дефибрилляцией. Дефибрилляция проводится при фибрилляции желудочков, когда нет необходимости (и нет возможности) в синхронизации воздействия постоянного тока.

Дефибрилляцию осуществляют электрическим разрядом с энергией 200 Дж. Первая попытка дефибрилляции должна быть начата с напряжения 4000 В, при последующих попытках напряжение увеличивается до 5000-7000

В. Электроды должны быть увлажнены и во время разряда плотно прижаты к грудной клетке. Во время проведения разряда нужно соблюдать технику безопасности, отсоединять регистрирующие устройства и аппараты искусственной вентиляции лёгких.

Лучше наносить электрический разряд после предварительного электрокардиографического подтверждения фибрилляции желудочков. Если клиническая картина не вызывает серьезных сомнений, пульс на крупных артериях не определяется и есть возможность выполнить дефибрилляцию в течение 30 с, то ее проводят "вслепую", не теряя времени на диагностические мероприятия, регистрацию ЭКГ и начало сердечно-легочной реанимации.

Удобнее работать с двумя ручными электродами, один из которых устанавливают над зоной сердечной тупости, второй — под правой ключицей, а если электрод спинной — то под левой лопаткой. Между электродами и кожей прокладывают салфетки, хорошо смоченные изотоническим раствором натрия хлорида, или используют специальные токопроводящие пасты. В момент нанесения разряда электроды с силой прижимают к грудной клетке.

При работе с дефибрилляторами, как и с другими электроприборами, необходимо соблюдать следующие **правила техники безопасности**:

1. Строго соблюдать порядок работы с дефибриллятором.
2. Не допускать случайного нажатия кнопок управления дефибриллятором.
3. Не прикасаться к трубам водопроводной, газовой или отопительной сети, а также исключить возможность других вариантов заземления персонала, работающего с дефибриллятором.
4. Исключить возможность прикосновения окружающих к больному в момент нанесения разряда.
5. Следить за тем, чтобы изолирующая часть электродов и руки работающего с дефибриллятором были сухими.
6. Исключить ремонт дефибриллятора неспециалистами.

После нанесения разряда сразу или через непродолжительный период быстро сменяющихся "постконверсионных" аритмий может восстановиться сердечный ритм.

Обычно реанимационные мероприятия прекращают, если в течение 30 мин нет признаков их эффективности: отсутствуют сознание, спонтанное дыхание, электрическая активность сердца, максимально расширены зрачки без реакции на свет.

Необходимо указать на наиболее распространенные ошибки при дефибрилляции. В первую очередь это длительные перерывы в массаже сердца или полное отсутствие реанимационных мероприятий во время подготовки дефибриллятора к разряду. Также можно отметить неплотное прижатие электродов к грудной клетке больного; нанесение разряда на фоне мелковолновой фибрилляции, без проведения мероприятий, повышающих энергоресурсы миокарда; нанесение разряда низкого или чрезмерно высокого напряжения.



**Рис. 8.1.** Портативный дефибриллятор ДКИ-Н-04

В качестве примера такого рода устройств можно указать прибор ДКИ-Н-04.

Этот аппарат имеет следующие характеристики: мощность, потребляемая аппаратом от сети переменного тока ( $220 \pm 22$ ) В с частотой 50—60 Гц — не более 200 ВА; максимальная энергия на нагрузке 50 Ом — ( $200 \pm 20$ ) Дж; — до 350 Дж.; Значения энергии, задаваемой дискретно с

погрешностью ( $\pm 10\% + 2Дж$ ): 5, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 время готовности аппарата к воздействию максимальной энергией при питании от сети — не более 10 с, при питании от автономного источника — не более 15 с (при повышенных энергиях — не более 25 с); автономный источник питания обеспечивает не менее 30 воздействий с максимальной энергией без подзарядки; время срабатывания устройства автоматического сброса неиспользованного заряда на внутреннюю нагрузку — 1 мин.; параметры дефибриллирующего импульса: двухполярный несимметричный импульс с соотношением амплитуд  $0,7 \pm 0,1$ ; длительность заднего фронта положительного и отрицательного импульсов — не более 20 мкс; скорость движения изображения ЭКГ на экране монитора — 25 мм/с.

Дефибриллятор-монитор состоит из следующих составных частей: несущего корпуса, в котором закреплены батареи накопительных и гасящих конденсаторов аккумуляторная батарея, кинескоп монитора, кабель с электродами и сетевой шнур, а также печатные платы: плата высоковольтного ключа с предварительным усилителем ЭКГ; плата монитора; плата устройства управления; плата передней панели; плата источника питания кинескопа; плата источников питания с зарядным устройством. Корпус аппарата с печатными платами закрыт крышками из изоляционного материала, обеспечивающими электробезопасность при работе с дефибриллятором.

Техническое обслуживание дефибрилляторов проводит медицинский персонал лечебно-профилактического учреждения. При техническом обслуживании проводить следующие работы: протереть наружную поверхность аппарата, сетевого шнура, электродов и электродного кабеля, а также переднюю панель и внутреннюю поверхность крышки с отсеками для электродов чистой сухой мягкой тканью, не оставляющей ворса, не реже 1 раз в неделю; протереть контактные поверхности электродов тканью, смоченной 3% раствором перекиси водорода с добавлением 0,5% раствора моющего средства типа «Лотос» или 1% раствора хлорамина после каждого

применения; включить аппарат в сеть, установить энергию 200 Дж и нажать кнопку ЗАРЯД- После автоматического сброса энергии, повторить процедуру еще 2 раза. Операцию повторять каждый месяц; проводить эти операции не реже одного раза в 2 месяца независимо от интенсивности эксплуатации аппарата.

При чистке запрещается применять различного вида растворители (ацетон, бензин). При работе с электродами категорически запрещается механическое повреждение электродов. Запрещается производить чистку при включенном аппарате. Устранение любых неисправностей, вплоть до замены предохранителей, следует производить только в специализированных предприятиях по ремонту медицинской техники, а до истечения гарантийного срока — на заводе-изготовителе.