



# Симуляционный тренинг по респираторной терапии





# Вольфганг Хайнрихс

Wolfgang Heinrichs, доктор медицинских наук, профессор

Вольфганг Хайнрихс (1950 г.р.) закончил Университет Westfaelische Wilhelms, г. Мюнстер, Германия. Последипломное образование по анестезиологии прошел в клинике проф. Hans Nolte. С 1985 года начал работать врачом-специалистом в отделении реаниматологии Университетской клиники Майнца. Диссертация на соискание степени доктора медицинских наук по теме «Дыхательная система», 1987 г., клиника анестезиологии Университета Иоганна Гутенберга в г. Майнце. С 1993 г. профессор кафедры анестезиологии.

В 1997 г. стал основателем симуляционного центра Университета г. Майнца, в котором начал проводить симуляционный тренинг по педиатрии и неотложной медицинской помощи. Руководитель отделения неотложной медицинской помощи Университетской клиники г. Майнца.

В 2003 г. основал симуляционный центр AQA1 в г. Майнц, став его руководителем. К 2012 г. симуляционный центр AQA1 является одним из крупнейших частных симуляционных центров в Европе, ежегодно проводя обучение 5000 врачей в ходе более 550 однодневных учебных циклов.

Член Немецкого медицинского общества анестезиологов и реаниматологов (DGAI), член Европейского общества симуляционного обучения в медицине (SESAM), Общество обучения анестезиологии SEA.

Недавно опубликованные научные работы:

- Фармакология в симуляционном обучении, определение лекарственного препарата.
- Реализация клинических концептов в симуляционном обучении.
- Общепринятое определение седации в гастроэнтерологии.
- Симуляционное обучение тотальной внутривенной анестезии / инфузии по целевой концентрации.
- Симуляционное обучение анестезии с мониторингом биспектрального индекса.
- Симуляционное обучение ингаляционной анестезии.
- Симуляционное обучение гемодинамическому мониторингу.
- Участие в разработке респираторного тренажера TestChest.

## Введение

Традиционно обучение методам искусственной вентиляции легких строилось по принципу «смотри и повторяй». В рамках этого подхода обучаемые сначала наблюдали за действиями опытного персонала отделения реанимации, а затем методом проб и ошибок осваивали различные методы искусственной вентиляции легких самостоятельно. Учитывая тот факт, что жизнь живых пациентов зависит от корректности проведения процедуры искусственной вентиляции легких, можно сказать, что традиционные методы обучения не удовлетворяют требованиям современного образовательного процесса.

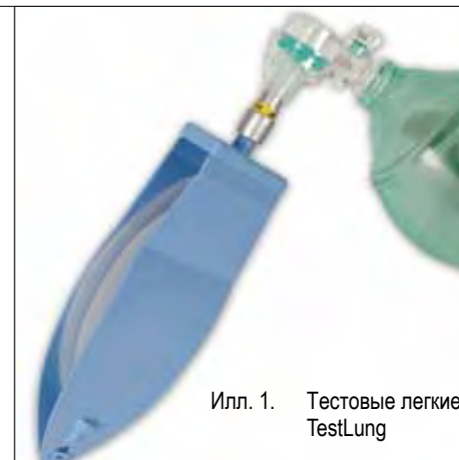
Иной сценарий: клиника принимает решение приобрести комплект высококласных аппаратов ИВЛ для отделения реанимации. Компания-поставщик проводит ознакомительный тренинг, в ходе которого медицинский персонал получает возможность, допустим, в течение одного часа потренироваться в применении нового оборудования. Современные модели респираторов имеют десятки разнообразных рабочих режимов, и перед обучаемым стоит непростая и ответственная задача правильно выбрать из многих опций наиболее подходящий для данного пациента режим вентиляции.

В подобной ситуации неоценимую помощь окажет искусственная модель легких пациента, на которой

врачи смогут испытать широкий диапазон различных методов искусственной вентиляции легких и выбрать наиболее подходящий для конкретного пациента. Для образовательных целей в освоении респираторной терапии очень важно применять тренажер с высокой реалистичностью. Чтобы обучаемые могли отработать различные техники применения аппарата ИВЛ необходимо воссоздать правдоподобную клиническую ситуацию во время учебной сессии и использовать реальные медицинские инструменты и оборудование.

Применение тренажера позволит лучше ознакомиться с функциями аппарата ИВЛ, что особенно ценно в ситуации, когда на обучающий тренинг отводится ограниченное время. В обучении приемам оказания респираторной терапии большое значение имеет отработка практических навыков, при этом работа с пациентами нежелательна, так как, при их и без того изначально тяжелом состоянии, создается дополнительная угроза безопасности. Только после того, как врач полностью освоит управление аппаратом ИВЛ, он может быть допущен к практике в клинике.

Модели легких выпускаются в различных вариантах. 1. Самая простая форма тренажера представляет собой эластичную мембрану (обычно называемую *Test Lung*



Илл. 1. Тестовые легкие TestLung

- «Тестовые легкие» (илл. 1). Этот тип легких предназначен для того, чтобы проверить основные функции аппарата ИВЛ или его герметичность (илл.1). С точки зрения легочной физиологии эта форма тренажера не имитирует легкие настоящего пациента и не предусматривает функцию газообмена, соответственно не может использоваться для обучения.

2. Механизм искусственных легких типа *Michigan Lung* производства американской фирмы *Michigan Instruments* (илл. 2) представляет собой мембрану, приводимую в действие пружинами. Дыхательные пути могут быть оснащены дополнительными резисторами. Этот тип легких может использоваться для более расширенного обучения режимам искусственной вентиляции легких. Однако эта форма легких имеет линейную функцию комплайенса (приводится

в движение пружинами), поэтому они не могут использоваться для имитации реального пациента и не предусматривают функцию газообмена.



Илл. 2. Тренажер Michigan Lung

3. Искусственные легкие с электронным управлением типа тренажера *Ingmar ASL 5000™* (илл. 3). Аппарат ASL 5000 представляет собой мембрану, которая приводится в движение линейным двигателем. При помощи программного обеспечения может имитироваться нелинейный комплаинс, варьироваться сопротивление и остаточная емкость легких (ФОЕ). Тренажер имитирует дыхательные движения различных «пациентов», в том числе нелинейный комплаинс и сопротивление дыхательных путей, оснащен функцией дистанционного управления и обработкой данных в режиме реального времени. Аппарат не воспроизводит функции газообмена.

4. Физиологически достоверные искусственные легкие, позволяющие с высокой точностью имитировать параметры дыхательной системы, включая газообмен и ее взаимодействие с сердечно-сосудистой системой, а также реакцию на вводимые лекарственные препараты и газообразные анестетики, воспроизведены в инновационном тренажере *TestChest*. Аппарат отвечает всем требованиям практического обучения респираторной терапии острых и хронических заболеваний легких, обеспечивая достоверную имитацию физиологии легких в норме и патологии.

5. Ряд центров для освоения на высоком уровне физиологии и патологической физиологии проводят



Илл. 3. Тренажер ASL500 (выделен).



Илл. 4. Симуляционный комплекс респираторной терапии TestChest



Илл. 5. Обучение на животных

обучение методам механической вентиляции легких, гемодинамического контроля и физиологии взаимодействия легких и сердца на животных (илл.5). Однако несмотря на то, что модели – живые существа (свиньи, собаки), тренинг на животных ненадежен и малоэффективен, а отработка респираторной терапии при патологии практически невозможна. Тогда как благодаря высокой реалистичности тренажер TestChest может служить полноценной заменой тренингу в виварии.

## Расширенный тренинг по респираторной терапии

Забота о безопасности пациентов диктует необходимость проведения симуляционного тренинга врачей-специалистов по респираторной терапии - его актуальность столь же высока, как и тренажерная подготовка пилотов в авиации: обучение проводится в обстановке, исключающей угрозу жизни.

В ходе проведения симуляционных тренингов по анестезиологии и респираторной терапии нами было отмечено, что дыхательная система симуляторов пациента, имевшихся в нашем распоряжении, не отвечает образовательным потребностям. Из-за отсутствия возможности определения целого ряда важных параметров дыхательной системы, данные устройства не могли быть использованы для обучения на аппаратах ИВЛ высокого класса в полной мере. Симуляционный центр AQA1 (г. Майнц, Германия - см. Приложение А) и компания Органис (г. Ландкварт, Швейцария) объединили свой опыт в области симуляционного обучения, и при помощи высокотехнологичных материалов и математических моделей создали респираторный тренажер TestChest. Конструкция тренажера состоит из замкнутого пространства, в котором подвижная мембрана

приводится в движение линейным мотором (илл. 6). Рабочий объем пространства составляет 8 л, благодаря чему имитируется работа легких человека с реалистичным остаточным объемом и жизненной емкостью легких (ЖЕЛ).

Тренажер настолько достоверно имитирует эти показатели, что дыхательные мониторы современных респираторов не определяют подмены живого пациента механическим устройством - на илл. 7 показан пример петли давления по объему, зарегистрированной аппаратом ИВЛ Hamilton S1. На контуре представлены верхняя и нижняя точки перегиба, а также гистерезис между ин- и экспираторными кривыми потока – форма кривой в точности соответствует характеристикам легких человека.

Компьютерная программа управления двигателем позволяет имитировать нелинейную S-образную кривую комплаинса, гистерезис между ин- и экспираторными кривыми давления потока, раскрытие и коллапс легкого. Встроенные датчики кислорода, давления и температуры позволяют рассчитать объем поглощаемого легкими кислорода при помощи формул газообмена, позволяют учитывать объем воздуха, проходящий через шунтирующий контур.

Имитируемая кардиопульмональная связь поддерживается всеми аппаратами ИВЛ нового поколения в режимах расширенной и автома-



Илл. 6. Вся механическая конструкция респираторного тренажера TestChest изготавливается в Швейцарии

Илл. 7. Петля давления по объему, зарегистрированная аппаратом ИВЛ

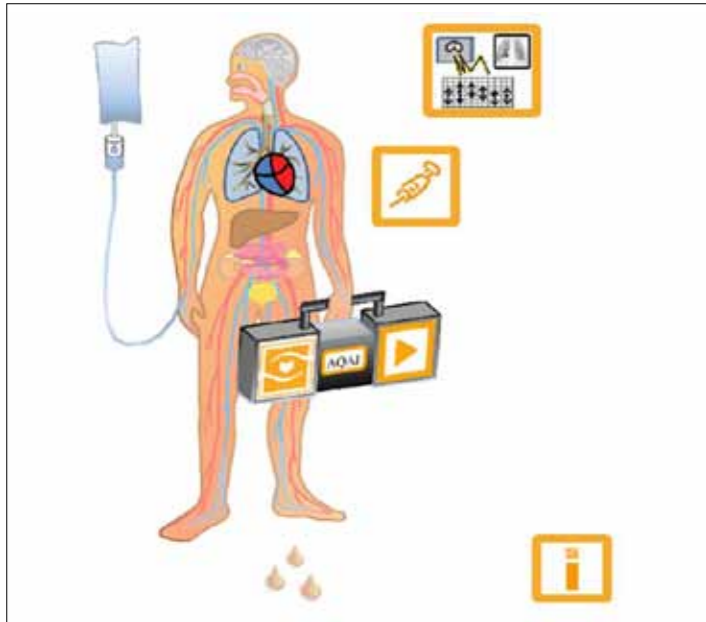






Илл. 8. Стандартный датчик пульсоксиметра присоединен к искусственному пальцу

Илл. 9. Программное обеспечение воспроизводит комплексную физиологическую модель: дыхательная система, кровообращение, метаболизм, введение препаратов



тической вентиляции. При опциональной комплектации регулятором потока  $\text{CO}_2$  воспроизводится нарастающее концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе, что также определяет дыхательными мониторами аппарата ИВЛ. В этом случае на дисплее стандартного капнографа будет отображаться показатель мертвого пространства и реалистичная капнограмма.

Оксигенация виртуального пациента определяется датчиком пульсоксиметра, присоединенного к искусственному пальцу (илл. 8). Пульс и амплитуда кривой сатурации могут различаться в зависимости от капиллярного наполнения.

Вопрос отработки респираторной терапии мышечной слабости (синдрома отмены) также является весьма актуальным. Физиологическая модель, на основе которой работает симулятор, позволяет воспроизводить мышечную активность легких при спонтанном дыхании. Существуют два режима спонтанного дыхания: режим P0.1, в котором срабатывает механизм запуска аппарата ИВЛ и режим, в котором аппарат может быть запрограммирован на спонтанное дыхание при заданной частоте дыханий. Так как самопроизвольное дыхание происходит в соответствии с заданными параметрами мышечной активности, то амплитуда движения мышц легко регулируется, благодаря чему можно легко имитировать здоровые мышцы или мышечную слабость – функция, которая позволяет имитировать состояние, возникающее после снятия респираторной поддержки.

В мышечной модели ТестЧест предусмотрена функция расчета внутриплеврального давления. Непрерывный сигнал об этом давлении используется далее в электропневматическом генераторе давления, который может непосредственно передать сигнал на современный аппарат ИВЛ (имитируя показания пищевода баллона, в реальности используемого для измерения внутриплеврального давления). Таким образом, вместе с данной функ-

цией воспроизводится вся концепция транспульмонарного давления, охватывая все расширенные режимы ИВЛ с поддержкой по давлению.

Поскольку симулятор точно определяет момент инициализации мышечной активности, это позволяет имитировать нейро-контролируемую респираторную поддержку (режим *NAVA - Neurally Adjusted Ventilatory Assist*), когда работа аппарата регулируется при помощи нервного импульса от дыхательного центра. В этом случае электрическая активность диафрагмы имитируется при помощи компактного блока сопряжения, который посылает сигнал на аппарат ИВЛ, оснащенный соответствующим типом пускового механизма.

Таким образом, высокотехнологичный тренажер ТестЧест позволяет организовывать полноценные тренировки для анестезиологов, реаниматологов и медсестер, желающих освоить базовые навыки или отработать более сложные процедуры пульмонологической помощи.

Расширенная версия программного обеспечения наряду с моделью дыхательной системы воспроизводит комплексную физиологическую модель, контролируя кровообращение, метаболизм, объемы, введение лекарственных препаратов и пр. (илл. 9). Программа позволяет получить общую картину о состоянии пациента и проводить лечение при помощи лекарственных препаратов, физиотерапии, изменении

положения тела пациента. Изменение статуса происходит автоматически с течением времени, что позволяет имитировать различные клинические сценарии, например, постепенное перерастание дыхательной недостаточности начальной степени в более тяжелую форму, а когда при помощи аппарата ИВЛ производится более активная вентиляция легких, наступает улучшение состояния.

Если в учебной сессии принимает участие инструктор (преподаватель), то переход из одного состояния в другое может осуществляться вручную; при этом наставник может комментировать и давать дополнительную информацию по каждому состоянию перед тем, как перейти к следующему шагу.

Требуемая аппаратная часть включает ПК-сервер (ноутбук с операционной системой Windows) для управления физиологическим и фармакологическим функционалом у соответствующих моделей (илл. 10).

Если имеется точка беспроводного доступа, то можно использовать расширенную версию программного обеспечения с любого интегрированного в сеть компьютера, в том числе с планшета, смартфона, или аппарата iPad.

Илл. 10. Управление учебным процессом ведется через программное обеспечение, установленное на стандартный компьютер





## Клинические сценарии в респираторной терапии

В симуляционном центре AQA1 разработан ряд учебных модулей, предназначенных специально для отработки навыков респираторной терапии. Все учебные модули имеют общую структуру:

- Расширенная версия программного продукта AQA1 TestChest.
- Предварительно запрограммированные клинические сценарии для отработки различных процедур. Пользователь может последовательно проходить все учебные сценарии от простого к сложному, либо начать тренинг в произвольном порядке.
- Возможности искусственной вентиляции и иные сведения для вводного инструктажа.
- Справочное издание: Neil R. MacIntyre and Richard D. Branson (2009) Mechanical Ventilation – Second Edition.
- Дополнительная литература.

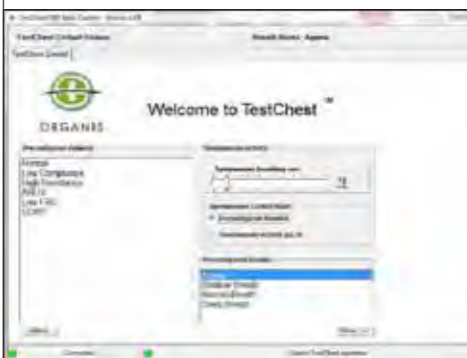
Учебные модули распределены по следующим темам (илл. 11):

- Базовая респираторная терапия.
- Расширенная респираторная терапия.
- Острое повреждение легкого / респираторный дистресс-синдром взрослых (РДСВ).
- Отмена респираторной поддержки.
- ХОБЛ.

Учебные модули строго организованы и в их основе лежат определенные учебные цели, которые перечислены в Приложении В.

Также курсант может проходить учебный модуль самостоятельно, или с участием наставника.

Илл.11. Меню пользователя с выбором учебных тем респираторной терапии



## Заключение

Современная респираторная терапия базируется на аппаратах ИВЛ с высокоточными датчиками и многообразными режимами дыхательной поддержки и искусственной вентиляции. Терапия органов дыхания проводится пациентам, находящимся в тяжелом состоянии, и поэтому дополнительный риск и нагрузка в виде сопутствующего обучения начинающих специалистов для них нежелательны.

Тренинг респираторной терапии следует проводить с использованием симуляционных технологий без риска для пациента.

Изделия для имитации органов дыхания имеют различную степень реалистичности. Более ранние модели искусственных легких воспроизводили физиологию легких лишь на уровне базовых механических свойств. Даже более совершенные модели не обеспечивали физиологию и газообмен настоящих легких, поэтому инженерное сообщество продолжало работать над созданием искусственных легких, которые смогут преодолеть все барьеры в имитации легких живого человека.

ТестЧест – респираторный тренажер высшего класса позволяет решить эту проблему. Тренажер настолько реалистичен, что даже самые чувствительные датчики аппарата ИВЛ не могут отличить искусственное легкое тренажера от легкого человека.

Симулятор поддерживает все режимы современных аппаратов искусственной вентиляции легких экспертного класса со встроенным искусственным «интеллектом».

Примером может послужить поддержка режима "IntelliVent™" на аппаратах Hamilton, функции транспульмонарного давления и нейро-контролируемой респираторной поддержки в аппаратах ИВЛ высшего класса от других производителей.





Приложение А  
**Симуляционный  
центр AQA1, г. Майнц**

В 1997 г. с целью повышения качества работы врачей-реаниматологов и анестезиологов при Университетской клинике г. Майнца нами был открыт симуляционный центр. Через пять лет его ведущими сотрудниками был создан частный симуляционный центр AQA1 (Angewandte Qualitätssicherung in Anästhesie und Intensivmedizin – Прикладное Управление качеством в Анестезиологии и Реаниматологии).

Более пятнадцати лет мы создаем информационную базу, включающую сложные клинические случаи и критические ситуации. Сегодня эта информационная база одна из крупнейших в мире. В симуляционном центре AQA1 мы использовали эти данные для практических целей – для повышения качества работы врачей анестезиологов, реаниматологов и докторов иных специальностей. В центре организовано интердисциплинарные командные тренинги - Crisis Resource Management (CRM).

Для учебных целей используются виртуальные симуляторы и пациенты с различными заболеваниями. Уже более пятнадцати лет симуляционный центр AQA1 обучает врачей с помощью роботов-симуляторов высшего класса,

дающих полноценное представление о физиологии человеческого организма.

В год центр AQA1 проводит более 500 однодневных тренингов, обучая более 5 тысяч врачей.

Наша штатная команда состоит из 12 специалистов на полной занятости, в числе которых врачи скорой помощи, реаниматологи и анестезиологи, математики и физики, также мы привлекаем приглашенных специалистов на договорной основе.

Центр AQA1 является одним из крупнейших частных медицинских симуляционных центров в Европе.

Илл.12. Комплекты учебных моделей по респираторной терапии, разработанных в симуляционном центре AQA1



Для того чтобы тренинг был максимально приближен к реальным условиям, специалисты симуляционного центра AQA1 разработали дополнительные продукты, которые используются во время учебных сессий. Помимо симулятора ТестЧест, одной из наиболее эффективных наших разработок является видеосистема AVS–AQA1, предназначенная для видеорегистрации учебной сессии. Кроме того, в симуляционном центре разработан интерфейс для мониторинга состояния гемодинамики, насосы TIVA-TC1 для внутривенных вливаний, эхо-мониторинг и vaporизатор с сервоприводом, чтобы сделать учебную сессию максимально реалистичной.



Приложение В  
**Цели тренинга по  
респираторной  
терапии**

В ходе тренинга по респираторной терапии курсант должен:

- ознакомиться с основными понятиями искусственной вентиляции легких, такие, как регулятор потока, регулятор давления, регулятор расхода, пусковой механизм ИВЛ;
- научиться настраивать различные аппараты ИВЛ и задавать оптимальные параметры вентиляции легких;

- научиться интерпретировать кривые и значения мониторов аппарата ИВЛ;
- на практике ознакомиться с понятиями как комплайнс и резистентность, кривая комплайнса и верхняя точка перегиба, временная константа;
- научиться правильно определять ПДКВ;
- научиться определять различие между внешней РЕЕР и внутренней РЕЕР ;
- освоить режимы:
  - > вспомогательная вентиляция легких,
  - > смешанная,
  - > спонтанная вентиляция легких ВІРАР,
  - > вентиляция со сбрасываемым давлением APRV.
- научиться обеспечивать поддержку самопроизвольного дыхания;
- научиться устанавливать настройки вентилятора в соответствии с различными видами: вентиляция с низким дыхательным объемом;
- научиться предотвращать баротравму и ателектаз легкого, определять пограничные значения вентиляционных параметров;
- научиться выполнять защитную вентиляцию легких и знать понятия, связанные с повреждением легких, вызванных аппаратом ИВЛ;
- ознакомиться с такими понятиями, как емкость закрытия, раскрытие объема легких, открытое легкое и коллапс легкого;

- научиться определять оптимальные параметры вентиляции легких, превышение содержания диоксида углерода в крови, и предельно допустимые значения;
- ознакомиться с понятием сопротивление дыхательных путей на выдохе;
- научиться устанавливать оптимальные параметры на аппарате ИВЛ при высоком содержании диоксида углерода в крови и определять предельно допустимые значения;
- научиться устанавливать оптимальные значения на аппарате ИВЛ в режиме поддержки самопроизвольного дыхания и предотвращения мышечной слабости;
- научиться определять понятия «отвыкание от респираторной поддержки» и «мышечная слабость»;
- научиться устанавливать оптимальные значения на аппарате ИВЛ в режиме поддержки самопроизвольного дыхания;
- ознакомиться с термином «мышечная тренировка», «расслабление мышц»;
- освоить лечение пациентов с синдромом отмены, у которых отключение от респираторной поддержки вызывает трудности, оценить эффективность его теоретических познаний на практике.