

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ХИРУРГИИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Б.В.  
ПЕТРОВСКОГО»**

*На правах рукописи*

**Комнов Роман Дмитриевич**

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ИСКУССТВЕННОЙ  
ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ В РАННЕМ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ У  
КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ**

**3.1.12. – Анестезиология и реаниматология**

**ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА МЕДИЦИНСКИХ НАУК**

**Научный руководитель:**

**Д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН**

**Еременко Александр Анатольевич**

**Москва 2023**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ.....	2
Введение.....	3
Глава 1. Обзор литературы .....	9
1.1. Исторический экскурс об искусственной вентиляции лёгких .....	9
1.2. Протективные стратегии респираторной поддержки.....	11
1.3. Искусственная вентиляция лёгких и ранняя активизация в кардиохирургии .....	15
1.4. Интеллектуальные режимы респираторной поддержки.....	21
1.4.1. Режим Adaptive Support Ventilation .....	23
1.4.2. Режим Intellivent - ASV® .....	27
1.4.3 Ограничения применения интеллектуальных технологий .....	30
1.4.4. Распространенность интеллектуальных режимов на территории Российской Федерации .....	31
1.5. Особенности проведения респираторной поддержки у пациентов с ожирением .....	32
Глава 2. Материалы и методы исследования.....	37
2.1. Характеристика исследуемых пациентов .....	37
2.2. Методы исследования.....	41
2.3. Тактика респираторной поддержки в группах сравнения.....	42
2.4. Статистический анализ данных .....	48
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	49
3.1. Сравнение применения интеллектуальных режимов респираторной поддержки и традиционного подхода после неосложненных кардиохирургических операций.....	49
3.2. Обсуждение результатов, полученных при сравнении применения интеллектуальных режимов и традиционного подхода.....	56
3.3. Сравнение применения интеллектуальных режимов и традиционного подхода после неосложненных кардиохирургических операций у пациентов с наличием ожирения. ....	61
3.4. Обсуждение применения интеллектуальных режимов и традиционного подхода после неосложненных кардиохирургических операций у пациентов с наличием ожирения .....	65
3.5. Использование интеллектуальных режимов в отечественной клинической практике – анонимное анкетирование .....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	76
ВЫВОДЫ.....	79
Практические рекомендации .....	80
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	81
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	83
Приложения.....	93

## Введение

Искусственная вентиляция лёгких (ИВЛ) – важный и неотъемлемый этап в лечении пациентов после оперативных вмешательств на открытом сердце. Современные протоколы и руководства по быстрому восстановлению после оперативных вмешательств рекомендуют, по возможности, стремиться к минимизации времени послеоперационной респираторной поддержки [Gregory A.J., 2020]. Общемировым трендом становится перевод пациента на самостоятельное дыхание после кардиохирургической операции, как только пациент согрет, достигнуты удовлетворительные показатели артериального газообмена, стабилизированы гемодинамика и гемостаз [Dabbagh A., 2020].

Однако, даже во время проведения кратковременной вентиляционной поддержки, важно соблюдать основные принципы механической вентиляции лёгких: безопасность и эффективность (минимизация повреждения лёгочной ткани при обеспечении должного артериального газообмена), комфорт (оптимизация отношения работы дыхания, совершаемой пациентом с работой, совершаемой аппаратом ИВЛ), своевременное отлучение [Chatburn R.L., 2011].

Принимая во внимание, что описано вентилятор-ассоциированное повреждение в исходно интактных лёгких при установке повреждающих параметров ИВЛ (ДО (дыхательный объём) больше 6 мл/кг идеальной (предсказанной) массы тела (ПМТ), низкий уровень положительного давления в конце выдоха (PEEP (Positive End-Expiratory Pressure))), клиницисты обязаны уделять повышенное внимание безопасности проводимой респираторной поддержки [Serpa Neto A., 2015].

Таким образом, в современных условиях на врачей отделений интенсивной терапии ложится большая нагрузка по соблюдению принципов протективной механической вентиляции лёгких у каждого пациента, и уследить за ежеминутно изменяющимися респираторными потребностями пациента, на практике становится очень сложной задачей.

Традиционно у пациентов в раннем послеоперационном периоде используются принудительные режимы ИВЛ, такие как режим синхронизированной перемежающейся принудительной вентиляции (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)), управляемые по объёму (Volume Control (VC)) или давлению (Pressure Control (PC)) с переключением во вспомогательные режимы при появлении спонтанной дыхательной активности (Pressure Support Ventilation (PSV)). Вопреки расхожему мнению на настоящий момент нет убедительных доказательств в пользу использования того или иного режима ИВЛ в клинической практике [Dabbagh A., 2020].

Совершенствование аппаратов механической вентиляции лёгких, разработка новых уровней обратной связи - создало возможность применения ряда технологий, которые можно

назвать «интеллектуальные», или адаптирующиеся к особенностям дыхания пациента и его респираторным потребностям. Описанные выше технологии работают в замкнутом цикле, т.е. осуществляют обратную связь «больной-респиратор-больной», не только снижая при этом нагрузку на медицинский персонал, но зачастую с большей скоростью и точностью подбирая оптимальные параметры вентиляции [Кассиль В.Л., 2017]. Фактически аппарат заменяет некоторые функции врача по подбору оптимального режима ИВЛ или вспомогательной вентиляции лёгких (ВВЛ).

Первоначально у клиницистов появилась возможность использовать режим ASV - Adaptive Support Ventilation (адаптивной поддерживающей вентиляции легких), разработанный компанией Hamilton Medical AG (Швейцария) и нацеленный на автоматическую адаптацию респиратора к непрерывно меняющемуся состоянию и потребностям пациента. С практической точки зрения данный режим создан для интерактивного поддержания состояния «респираторного комфорта» и ориентирован на скорейшее «отлучение» пациента от респиратора. ASV управляется по принципу обратной связи, при его применении респиратор регулирует давление вдоха для достижения целевого дыхательного объёма, сводя к минимуму работу дыхания пациента, основывая расчёты на уравнениях Otis [Otis A.B., 1950] и Mead [Mead J. et al., 1967]. Кроме того, автоматически регулируется число принудительных и спонтанных вдохов в зависимости от дыхательной активности пациента.

Дальнейшей эволюцией ASV стал режим Intellivent-ASV<sup>®</sup>, практически полностью роботическая технология респираторной поддержки, когда на основе данных пульсоксиметрии, капнографии и механики дыхания респиратор автоматически подбирает оптимальные параметры вентиляции для достижения целевых показателей артериального газообмена, по мере стабилизации состояния пациента осуществляет перевод от полной искусственной вентиляции легких через вспомогательные режимы к самостоятельному дыханию, без участия медицинского персонала, которому отведены функции наблюдения и контроля. Давление вдоха для достижения целевого дыхательного объёма и оптимальная частота дыханий для сведения к минимуму работы дыхания пациента рассчитываются, как и в базовом режиме ASV, на основании уравнений Otis [Otis A.B., 1950] и Mead [Mead J. et al., 1967]. Так же в данном режиме существует опция ранней активации автоматизированного отлучения пациентов от респиратора.

Использование описанных режимов может обладать существенным преимуществом над традиционным подходом к прекращению респираторной поддержки за счет:

- сохранения гарантированного минутного объема вентиляции, независимо от наличия спонтанной дыхательной активности пациента,

-непрерывной коррекции и автоматического подбора наиболее безопасных параметров респираторной поддержки в зависимости от текущего состояния респираторной системы пациента,

- автоматического перевода пациента на вспомогательные режимы,
- возможности скорейшего отлучения пациента от респиратора.

Значительный исследовательский интерес представляет наблюдение в раннем послеоперационном периоде за пациентами с высокой вероятностью развития дыхательных нарушений, каковыми являются пациенты с ожирением. Согласно данным мировой литературы они чаще подвержены респираторным осложнениям, включая острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС), и проведение респираторной поддержки у данной группы больных чаще сопряжено с различными трудностями [De Jong, A., 2020].

Рекомендации [Maia L.A., 2017] по проведению респираторной поддержки у пациентов с ожирением, в целом, сходны с общепринятыми канонами протективной вентиляции – использовать малые дыхательные объёмы, снижать движущее давление (driving pressure ( $\Delta P$ )) и интегральный показатель, отражающий повреждающее действие проводимой вентиляции на лёгкие (Mechanical Power (MP)).

Данных об использовании и эффективности применения интеллектуальных режимов ИВЛ у пациентов с ожирением (индекс массы тела (ИМТ)  $> 30$  кг/м<sup>2</sup>) в мировой литературе на настоящий момент практически нет.

### **Степень разработанности темы исследования**

Интеллектуальные технологии респираторной поддержки начинают активно применяться на территории Российской Федерации (РФ), однако их применение описано в единичных работах [Полупан А.А., 2011; Fot E. et al., 2017; Ананьев Е.П. и соавт., 2017]. Не описаны рекомендации по их применению у различных категорий пациентов. Нет трудов, показывающих сравнение полуавтоматизированных и полностью автоматизированных технологий респираторной поддержки. Отсутствуют данные о клиническом применении интеллектуальных режимов у пациентов с ожирением.

Вышеописанное и обусловило цели и задачи нашего исследования.

**Цель работы:** разработать оптимальный подход к проведению респираторной поддержки и отлучению от респиратора у пациентов после кардиохирургических вмешательств на основе интеллектуальных режимов ИВЛ, сравнить особенности использования интеллектуальных технологий респираторной поддержки с общепринятым протоколом врачебного контроля над проведением ИВЛ.

**В связи с этим поставлены следующие задачи:**

- 1) Оценить эффективность и безопасность проводимой вентиляции лёгких при применении интеллектуальных режимов респираторной поддержки.
- 2) Сравнить особенности респираторной поддержки в раннем послеоперационном периоде с использованием протокола полного врачебного контроля над проводимой вентиляцией лёгких с использованием полуавтоматического и полностью автоматизированного интеллектуальных режимов ИВЛ.
- 3) Оценить возможность применения интеллектуальных технологий управления респираторной поддержкой и отлучением от респиратора у пациентов с ожирением (ИМТ больше 30 кг/м<sup>2</sup>).
- 4) Оценить и сравнить нагрузку на врачей, участвующих в проведении послеоперационной вентиляции лёгких.
- 5) Оценить осведомлённость российских врачей анестезиологов-реаниматологов об интеллектуальных режимах ИВЛ, доступность применения подобных режимов в клинической практике и выявить сложности, возникающие при работе с данными режимами.

**Научная новизна**

В представленном исследовании впервые проведена сравнительная оценка между собой полуавтоматических и полностью автоматизированных технологий респираторной поддержки с традиционным протоколом проведения респираторной поддержки у кардиохирургических пациентов в раннем послеоперационном периоде.

Впервые исследовано применение интеллектуальных технологий респираторной поддержки у пациентов с ожирением, показана безопасность и эффективность их использования.

Впервые проведено анкетирование, показавшее широту применения интеллектуальных режимов респираторной поддержки на территории РФ и, описавшее трудности, возникающие у пользователей подобных технологий.

**Практическая значимость**

Применение интеллектуальных технологий ИВЛ позволяет индивидуализировать респираторную поддержку для каждого пациента, а применение полностью автоматизированной технологии позволяет интерактивно корректировать еще и минутную вентиляцию, и управление насыщением гемоглобина кислородом у пациентов на ИВЛ и ВВЛ, автоматизировано подводить респираторную поддержку к тесту спонтанного дыхания (ТСД) и её прекращению. Проведенное анкетирование показало, что несмотря на осведомлённость российских реаниматологов о

существовании интеллектуальных технологий, частота их применения на практике достаточно низка, организация и проведение дополнительных образовательных программ может способствовать более активному применению данных режимов в клинической практике.

### **Личный вклад автора**

Автор лично проводил анализ протоколов проведения респираторной поддержки, обработку статистических данных и литературы. Автором лично проведено анкетирование по применению интеллектуальных технологий, выполнено написание и оформление диссертационной работы.

Автором проведена работа по внедрению интеллектуальных технологий респираторной поддержки в ежедневную практику кардиореанимации РНЦХ имени Б.В. Петровского, с неоднократным проведением обучений для сотрудников различных подразделений РНЦХ.

### **Положения, выносимые на защиту**

1) Использование интеллектуальных режимов респираторной поддержки (особенно полностью автоматизированной технологии) в послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов, непрерывно обеспечивает наиболее безопасные для пациента параметры вентиляции, без ущерба эффективности проводимой вентиляции.

2) У пациентов с ожирением применение полностью автоматизированных интеллектуальных технологий респираторной поддержки в раннем послеоперационном периоде после кардиохирургических вмешательств обладает преимуществами перед традиционным подходом.

3) Использование интеллектуальных технологий позволяет значительно снизить нагрузку на медицинский персонал, участвующий в процессе проведения респираторной поддержки за счёт снижения необходимости более частого контроля за её проведением, снижения количества вносимых ручных изменений в настройки респиратора, снижения времени, затраченного на наблюдение и внесение изменений в проведение вентиляции.

4) Отсутствие надлежащей подготовки по работе с интеллектуальными режимами, недостаток необходимых расходных материалов значительно затрудняют использование новейших технологий на практике.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность полученных данных определяется достаточным объёмом выборки наблюдений (181 пациент), четкой постановкой цели и задач, использованием в работе

современных технологий, применением адекватных, в соответствии с поставленными задачами, методов статистического анализа и проведением полноценного сбора данных. Представленные научные положения, выводы и рекомендации подкреплены собственными результатами, представленными в материалах работы (текст, таблицы и рисунки). Результаты научной работы были доложены и обсуждены на всероссийских и международных конференциях: 32nd Annual Congress The European Society of Intensive Care Medicine (Берлин, сентябрь 2019); 33rd Annual Congress The European Society of Intensive Care Medicine (Мадрид, декабрь 2020 г); III Всероссийский Конгресс с международным участием "Актуальные вопросы медицины критических состояний" (Санкт Петербург, май 2021); 35th Annual Congress The European Society of Intensive Care Medicine (Париж, октябрь 2022); 36th Annual Congress The European Society of Intensive Care Medicine (Милан, октябрь 2023).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликованы 4 статьи в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки РФ.

### **Структура и объём диссертации**

Диссертация изложена на 95 страницах и оформлена в виде рукописи в соответствии с национальным государственным стандартом РФ ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 и включает введение, три главы, заключение, выводы, практические рекомендации и список литературы. Работа содержит 7 таблиц и иллюстрирована 8 рисунками. Библиографический указатель содержит 21 отечественный и 165 зарубежных источников литературы.



## Глава 1. Обзор литературы

### 1.1. Исторический экскурс об искусственной вентиляции лёгких

Попытки использования ИВЛ известны со времён рождения человечества. Изначально её пытались применять только для оживления внезапно умерших людей или для поддержания жизни при внезапном прекращении самостоятельного дыхания.

В Библии упоминается об оживлении ребенка пророком Елисеем, вдохнувшим свой выдох в уста усопшего младенца [Henry M., 1710]. В Средние Века описано несколько удачных способов обеспечения вентиляции лёгких - в 1530 году Парацельсом при асфиксии были успешно применены кожаные меха с обеспечением вентиляции через специальный ротовой воздуховод.

В XVIII веке британский священник Stephen Hales в труде «Статические опыты» рассказал об одном из первых ручных аппаратов для вдувания воздуха в легкие под названием «респиратор».

С 1892 года появляются данные о промышленных аппаратах ИВЛ – респиратор Fell-O'Dwyer, который с успехом применялся для обеспечения вентиляции пациентам с отравлением опиумом и в торакальной хирургии [Matas R., 1900].

Эпидемия полиомиелита в середине XX века послужила значимой вехой в истории ИВЛ - жизни тысяч пострадавших были спасены респиратором Дринкера, часто именуемым «железным лёгким» – данный аппарат создавал отрицательное давление вокруг пациента и способствовал движению воздуха в лёгкие и обратно [Drinker P., 1929]. Одновременно с аппаратами, которые работали по принципу создания отрицательного давления вокруг грудной клетки (кирасные) или всего тела пациента (Дринкера), разрабатывались и совершенствовались респираторы, которые доставляли в лёгкие определённый объем воздуха. Так в 1947 году E.Trier Morch [Rosenberg H., 2000] усовершенствовал шведский "Spiropulsator", для подачи воздуха использовался поршневой насос, а в 1952 году появился первый массовый аппарат для проведения ИВЛ, разработанный шведским учёным С. G. Engstrom [Engstrom C.G., 1954].

Именно с середины XX века резко поменялся вектор дальнейшего развития аппаратов для проведения респираторной поддержки. В течение довольно короткого периода времени респираторы, в которых искусственный вдох осуществлялся за счет приложения отрицательного давления к грудной стенке, изолированной от атмосферы, уступили место респираторам, которые создавали положительное давление в дыхательных путях. Данные аппараты оказались на порядок проще и компактнее респираторов старого типа, процедура вентиляционной поддержки стала значительно технологичнее и удобнее для персонала, а потому более пригодной для повсеместного использования. С этого момента в отделениях интенсивной терапии стало

возможным длительное протезирование функции внешнего дыхания. В первых респираторах были возможны только грубые настройки – пациентам доставлялся указанный дыхательный объём с заданной частотой дыханий, что требовало для предотвращения асинхроний (несоответствие проводимой вентиляционной поддержки вентиляционному запросу пациента в определённый момент времени) между респиратором и пациентом глубокой степени седации пациента и миорелаксации. Совершенствование аппаратуры, создание новых уровней обратной связи позволило значительно улучшить взаимодействие между респиратором и пациентом, позволило существенно снизить дозы, а порой и вовсе отказаться от миорелаксантов и седативных препаратов при проведении респираторной поддержки в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ).

В настоящее время описано семь уровней обратной связи [Tobin M.J., 2013, Горячев и соавт., 2019].

1. Setpoint control – аппарат строго следует установкам персонала, данный алгоритм реализован в режимах VC - CMV (Continuous Mandatory Ventilation), PC-CMV, PSV, CPAP (Continuous Positive Airway Pressure).

2. Dual control (DC) – на основании предписанных персоналом целей имеется логическая схема выбора микропроцессором респиратора между вдохом по объёму или по давлению- «Pressure Limited Ventilation», «Pressure Augment», «Volume Assured Pressure Support».

3. Bio-variable control – респиратором моделируется неравномерность естественного дыхания (случайным образом меняет в заданных пределах давление или объём вдоха) - Variable PSV.

4. Servo control – респиратор изменяет параметры вентиляции в соответствии с меняющимися потребностями пациента, оценивает усилие вдоха пациента для оказания пропорциональной респираторной поддержки). Данный уровень обратной связи используется в режимах «Positive Pressure Ventilation (PPV)»; «Proportional Assist Ventilation (PAV и PAV+)»; «Neurally Adjusted Ventilatory Assist (NAVA)»; «Automatic Tube Compensation».

5. Adaptive Control автоматически изменяет один из заданных параметров вентиляции для достижения, выбранного врачом приоритетного параметра. Главное отличие между Dual Control и Adaptive Control состоит в том, что Dual Control изменяет параметры в течение одного вдоха, а Adaptive Control в интервалах между вдохами.

Паттерн ИВЛ DC-CMV: «Pressure-Regulated Volume Control», «Autoflow», «VC+», «Volume targeted pressure control», «Adaptive Pressure Ventilation».

С паттерном ИВЛ DC-CSV (Continuous Spontaneous Ventilation): «Volume Support», «Volume targeted pressure support»

6. Optimal control – использование математической модели для расчёта оптимальных параметров вентиляции максимально снижающих работу дыхания. Впервые использован в алгоритме ASV.

7. Intelligent control – интерактивный выбор респиратором оптимальных параметров респираторной поддержки с учетом биомеханических свойств лёгких и изменяющихся показателей газообмена (Intellivent-ASV<sup>®</sup>, Smart Care).

Таким образом, будни современной медицины невозможно представить без использования ИВЛ в клинической практике. Во время большинства оперативных вмешательств с помощью ИВЛ обеспечивается адекватный газообмен в лёгких, в условиях необходимого (искусственного) выключения самостоятельного дыхания, а в отделениях интенсивной терапии основной задачей становится обеспечение адекватного метаболическим потребностям газообмена и дозированное уменьшение энергетических затрат пациента на работу дыхания [Кассиль В. Л. и соавт., 2004].

Интенсивная респираторная терапия становится многогранным процессом, который позволяет применять наиболее подходящую стратегию вентиляционной поддержки для пациента в данный момент.

## **1.2. Протективные стратегии респираторной поддержки**

Как показано выше современная медицина и ИВЛ неразделимы, но дыхание при механической вентиляции, если не используется кирасный вентилятор, существенно отличается от естественного, что может приводить к вентилятор – индуцированному повреждению лёгких (ВИПЛ) [Brower R. G. et al., 2000].

Активное изучение факторов риска развития ВИПЛ в последние десятилетия позволило выделить основные повреждающие механизмы: ателектотравма, баротравма, волюмотравма и биотравма [Güldner A. et al., 2015].

Новые представления о ВИПЛ указывают на возможность повреждения лёгких и другими факторами, например – повреждение сдвигом («shear stress») на границе, вентилируемой и ателектазированной ткани, неблагоприятными кардиопульмональными взаимодействиями, возможным повреждением во время выдоха [Katira V. H., 2019].

Ателектотравма - повреждение лёгочной ткани (альвеолярный эпителий, эндотелий сосудов, внеклеточная строма), вызываемое повторяющимся открытием и спадением (рекрутирование - дерекрутирование) альвеол при ИВЛ [Güldner A. et al., 2015].

На настоящий момент выделяют три механизма формирования ателектазов.

Компрессионные ателектазы возникают вследствие потери тонуса дыхательных мышц, что ведет к изменению геометрии грудной клетки и краниальному смещению диафрагмы, что снижает трансмуральное давление растяжения альвеол [Magnusson L. et al., 2003; Güldner A. et al., 2015].

Возникновение абсорбционных ателектазов объясняется взаимодействием двух факторов - окклюзией дистальных дыхательных путей с последующей абсорбцией газа в кровь и спадением альвеол, а также снижением вентиляционно – перфузионного отношения ниже определённого критического значения, при достижении которого поступление газа в альвеолы становится меньше его абсорбции [Güldner A. et al., 2015]. Повышение фракции кислорода во вдыхаемой смеси также может ускорять образование ателектазов вследствие высокой скорости абсорбции кислорода в кровь.

Третий механизм образования ателектазов - потеря сурфактанта, что приводит к отсутствию механизмов противодействия силам поверхностного натяжения и вызывает спадение альвеол. При данном механизме формирования ателектазов добиться стойкого открытия альвеол с помощью маневра мобилизации не удастся – происходит быстрое повторное их спадение [Güldner A. et al., 2015].

В нормальных лёгких в процессе дыхания происходит лишь изменение объема альвеолы, отсутствует коллабирование на выдохе, с последующим раскрытием альвеол во время вдоха, такая картина наблюдается лишь при патологических изменениях. К основным факторам, влияющим на образование ателектазов, относят высокую фракцию кислорода во вдыхаемой смеси, ожирение, хроническую обструктивную болезнь легких [Beitler J.R. et al., 2016].

Баротравма (разрыв лёгочной ткани) возникает из-за использования высоких давлений в дыхательных путях, а перерастяжение лёгочной ткани высокими ДО приводит к волюмотравме [Sutherasan Y. et al., 2014]. Волюмотравма сопровождается повреждением альвеолярных мембран, повышением их проницаемости, накоплению внесосудистой воды в лёгких, выбросу факторов системной воспалительной реакции, практически подводя нас к следующему осложнению – биотравме.

Биотравма развивается в результате местного и системного высвобождения медиаторов воспаления, вследствие прямого повреждения клеток лёгочной ткани, так и механизма трансдукции – превращения механических стимулов в биохимические реакции [Sutherasan Y. et al., 2014].

Также негативной стороной применения респираторной поддержки может становиться развитие послеоперационных лёгочных осложнений, наиболее распространёнными из которых являются дыхательная недостаточность, плевральный выпот, ателектазы, лёгочная инфекция и бронхоспазм [Canet J., 2010]. Общеизвестно, что развитие послеоперационных лёгочных

осложнений повышает риск инфекционных и хирургических осложнений, увеличивает продолжительность пребывания в ОРИТ и нагрузку на персонал данных отделений [Serpa Neto A. et al., 2015].

Естественно, что уменьшить частоту развития вышеуказанных осложнений можно снижая неблагоприятное воздействие на лёгочную ткань. В связи с этим особую актуальность приобретают меры профилактики лёгочных осложнений, среди которых особую роль играют протективные параметры вентиляции [Храпов К.Н. и соавт., 2020]. Совместное функционирование закрытых, открытых и уже перерастянутых альвеолярных регионов делает легочную ткань уязвимой к вредным эффектам искусственной вентиляции. На протяжении многих лет для профилактики гипоксемии и ателектазирования при проведении респираторной поддержки рекомендовалось применять высокие ДО 10-15 мл/кг, причём актуальной (фактической) массы тела, а безопасность подобного подхода объяснялась относительно коротким периодом ИВЛ [Bendixen H.H. et al., 1963].

Важной вехой в развитии интенсивной терапии стала публикация в 2000 году результатов многоцентрового исследования ARDSNet, доказавшего негативные эффекты больших ДО у пациентов с ОРДС на ИВЛ, что предопределило переход от вентиляции высокими объёмами к вентиляции малыми ДО [Brower L.G. et al., 2000].

Стоит подчеркнуть, что в исследованиях и практической работе величину ДО принято оценивать в мл/кг от предсказанной (идеальной) массы тела (ПМТ). После выхода вышеописанной работы традиционная ИВЛ с большим ДО (больше 8 мл/кг/ПМТ) и низким положительным давлением в конце выдоха (Positive End Expiratory Pressure (PEEP) < 5 см вод.ст.) без маневра мобилизации альвеол стала противопоставляться вентиляции с малыми дыхательными объёмами (ДО < 8 мл/кг ПМТ) с возможным применением уровня PEEP > 5 см вод.ст. и манёвров мобилизации альвеол, данный подход к проведению респираторной поддержки получил название протективного [Serpa Neto A. et al., 2015] или, как можно встретить в некоторых русскоязычных работах, защитного [Пшеничный Т.А., 2019]. Хотя на взгляд автора настоящей диссертационной работы видится нецелесообразным перевод на русский язык давно устоявшегося в профессиональном сообществе термина, либо следует подобрать наиболее подходящий русскоязычный термин.

Применение малых ДО направлено на уменьшение эффекта перерастяжения альвеол [Güldner, A. et al., 2015]. Маневр мобилизации используется для форсированного открытия спавшихся альвеол [Hartland V.L. et al., 2015], а PEEP применяется для увеличения функциональной остаточной емкости (ФОЕ) легких и предотвращения спадения дыхательных путей и альвеол на выдохе [Barbosa F.T. et al., 2014]. Вышеописанные меры позволяют улучшить вентиляционно-перфузионное отношение и оксигенацию артериальной крови. Преимущества

протективной ИВЛ у пациентов с ОРДС подтверждены во многих исследованиях и активно используются в отделениях интенсивной терапии [Serpa Neto A. et al., 2015; Fan E. et al., 2017]. Рассуждая о пользе проведения респираторной поддержки с малыми ДО, нельзя не упомянуть об исследовании D. Karalpillai с соавторами, которые показали в одноцентровом исследовании, в которое было включено 1200 пациентов, что вентиляция с ДО 6 мл/кг ПМТ в сравнении с ДО 10 мл/кг ПМТ и одинаковым уровнем РЕЕР в обеих группах 5 см вод.ст., не вела к снижению частоты послеоперационных лёгочных осложнений в первые 7 дней после оперативного вмешательства [Karalpillai D. et al., 2020]. А исследователи во главе с A. Suleiman считают, что вред от применения высоких ДО надо соотносить с эластичностью респираторной системы пациента, так как низкая податливость будет, что очевидно, требовать более высокого  $\Delta P$  [Suleiman A. et al., 2022].

Однако, если большинство исследований подтверждает необходимость малых ДО, то величина РЕЕР остаётся дискуссионной до настоящего времени. Основное противоречие заключается в том, что высокие значения РЕЕР привлекательны в отношении оптимизации оксигенирующей функции лёгких, но, по большинству данных, улучшение исходов у пациентов с повышенным РЕЕР связано именно с профилактикой ВИПЛ, благодаря снижению дыхательного объёма [Mekontso Dessap A. et al., 2016]. Значение РЕЕР является одним из наиболее активно обсуждаемых параметров в контексте предотвращения ВИПЛ. Потенциальную пользу от транзиторного улучшения аэрации и артериальной оксигенации после повышения РЕЕР следует соотносить с опасностью статического повреждения легких (в том числе баротравмы), увеличения центрального венозного давления, ухудшения лимфатического оттока от легочной паренхимы, а также с неблагоприятными системными гемодинамическими эффектами [Marini J.J. et al., 2020].

По итогам повторного анализа 9 основных рандомизированных контролируемых исследований (РКИ), посвященных ОРДС, было выполнено сравнение влияния величин ДО, РЕЕР,  $P_{plat}$  (Давление плато – давление во время инспираторной паузы), а также показателя «driving pressure» (движущее давление,  $\Delta P$  – разница между уровнем давления плато во время паузы в конце вдоха и актуальным уровнем РЕЕР (измеренным во время паузы выдоха)), на исходы. В результате, увеличение  $\Delta P$  считается наиболее точным предиктором неблагоприятных исходов у пациентов с ОРДС [Amato M.V. et al., 2015]. В одном из крупнейших современных многоцентровых обзорных исследований LUNG SAFE авторами также выявлена связь повышения  $P_{plat}$  и  $\Delta P$  с увеличением летальности [Bellani J. et al., 2016]. Данная работа подчеркивает, что прежде всего протективная вентиляция сводится к снижению ДО до 6 мл/кг ПМТ, ограничению  $P_{plat}$  и поддержанию уровня  $\Delta P$  менее 15 см вод.ст. Высокие уровни РЕЕР (более 10–15 см вод.ст.) могут иметь эффективность у пациентов с умеренным и тяжелым ОРДС.

В труде, посвящённом развитию респираторной поддержки за 50 лет, N. MacIntyre прямо указывает на уменьшение летальности при применении невысоких величин ДО и ΔP [MacIntyre N. et al., 2021]. Группой экспертов во главе с E.C. Goligher на основании анализа 5 РКИ (1096 пациентов) сделан вывод, что летальность при применении малых ДО зависит от эластичности респираторной системы, следовательно, приоритетнее снижать ΔP, даже при вентиляции с малыми ДО [Goligher.E.C. et al., 2021].

Важным аргументом в пользу применения протективной вентиляции видится тот факт, что к 2020 году мы знали лишь о 27 многоцентровых РКИ, в которых было продемонстрировано улучшение выживаемости пациентов ОРИТ, и пять из них были связаны с протективными параметрами ИВЛ [Santacruz C.A. et. al., 2019].

Интересен и близок автору данной работы взгляд G. Musch и M.F. Vidal Melo, которые считают, что протективная вентиляция — поддержание и коррекция в зависимости от ситуации определенных параметров респираторной поддержки для конкретного пациента, а не следование некоторому набору величин ДО, ΔP [Musch G., Vidal Melo M.F., 2022].

Несмотря на большое количество исследований, показавших преимущества протективной ИВЛ в периоперационном периоде у пациентов с интактными легкими, в практическую деятельность такой подход внедряется достаточно медленно [Patel J.M. et al., 2016; Young C.C. et al., 2019]. Данный факт, можно объяснить, в первую очередь, недооценкой распространенности послеоперационных лёгочных осложнений и заблуждением значимой доли практикующих врачей, что относительно непродолжительная периоперационная ИВЛ не оказывает значимого повреждающего действия на легкие в сравнении с длительной ИВЛ в отделении реанимации [Serpa Neto A., et al., 2015].

### **1.3. Искусственная вентиляция лёгких и ранняя активизация в кардиохирургии**

Ежегодно растет число и сложность выполняемых кардиохирургических вмешательств, а современную хирургию невозможно представить без ИВЛ, как компонента анестезиологического пособия и, практически все пациенты после операций на сердце и восходящем отделе аорте переводятся в специализированное отделение интенсивной терапии на фоне продлённой ИВЛ [Kaplan J.A., 2018].

Несмотря на то, что у большинства пациентов после кардиохирургических вмешательств не возникает значимых проблем с прекращением респираторной поддержки, так как первичной целью является протезирование функции внешнего дыхания в ходе оперативного вмешательства, важно не забывать и о второй цели - профилактике развития осложнений со стороны дыхательной системы в послеоперационном периоде, что крайне важно, когда речь идет о послеоперационном

периоде кардиохирургических больных, нередко осложняющимся развитием ателектазов и гипоксемией.

С середины XX века известны, а с начала XXI века в рутинную практику активно внедряются протоколы ранней активизации [Hollinger I., 2006; Козлов И.А., 2007], подразумевающие раннюю экстубацию трахеи и активизацию пациентов в первые 6 часов после оперативного вмешательства.

Продлённая до 3-6 часов респираторная поддержка даёт врачам время для стабилизации гемодинамики и метаболизма, оптимизации взаимосвязанной функции сердца и лёгких, до согревания и восстановления адекватного сознания пациента.

Пленяла умы концепция прекращения ИВЛ в операционной [Lee T.W., 2000; Козлов И.А., 1995;2010], однако данный подход не лишен своих недостатков в виде увеличения времени, которое пациент проводит на операционном столе, уязвимости пациента при транспортировке, риске развития выраженного болевого синдрома, ведущего к тахикардии, ишемии миокарда [Sullivan B.L., 2012], кроме того было показано, что экстубация трахеи непосредственно в операционной не приводит к снижению длительности пребывания пациентов в ОРИТ и стационаре [Djaiani G.N. et al., 2001].

Протоколы ранней активизации имеют не только экономический эффект (снижение количества койко-дней в ОРИТ, снижение стоимости лечения), но и выраженные клинические преимущества: снижается количество осложнений, связанных с проведением ИВЛ.

Принципиально понимать про реализацию концепцию ранней активизации, что дело не в продолжительности респираторной поддержки после операции 10 минут или 4 часа, а в экстубации трахеи в момент, когда пациент клинически готов к переводу на самостоятельное дыхание и отсутствии «навязывания» пациенту механической вентиляции на ближайшие сутки, ожидая возникновения или отсутствия возможных осложнений.

Действительно продлённая респираторная поддержка (свыше 8 часов) или реинтубация трахеи могут понадобиться в случае развития периоперационных осложнений, острой дыхательной или полиорганной недостаточности, необходимости защиты дыхательных путей, например, в случае периоперационного инсульта с бульбарными нарушениями. Примеры внелегочной органной недостаточности, требующей продлённой вентиляции лёгких, включают тяжёлый кардиогенный шок или выраженную вазоплегию, необходимость, соответственно, высоких доз кардиотонической или вазопрессорной поддержки, тяжёлую почечную недостаточность, сопровождающуюся перегрузкой объёмом [Kaplan J.A., 2018].

Стоит помнить и про нередкое (1,31% [Curtis J.J. et al., 1989]) в кардиохирургии осложнение - повреждение диафрагмального нерва, которое может существенно продлевать механическую вентиляцию лёгких.



По современным представлениям пациент может быть переведен на самостоятельное дыхание после кардиохирургического вмешательства при:

- восстановлении нормальной температуры тела,
- отсутствии кровотечения,
- удовлетворительных показателях артериального газообмена,
- гемодинамической стабильности (отсутствие жизнеугрожающих нарушений ритма сердца, подобранная при необходимости вазоинотропная поддержка),
- нормальном гомеостазе.

Как только эти цели достигнуты, прекращается седация, снижается уровень проводимой респираторной поддержки и после пробуждения пациента выполняется экстубация трахеи [Dabbagh A., 2018].

Вопреки расхожему мнению на настоящий момент нет убедительных доказательств в пользу использования того или иного режима ИВЛ в клинической практике [Dabbagh A., 2018].

Наиболее распространён подход, когда в раннем послеоперационном периоде используются принудительные режимы ИВЛ, такие как Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV), управляемые по объёму (Volume Control (VC)) или давлению (Pressure Control (PC)), часто в зависимости от предпочтений клинициста, с постепенным редуцированием числа принудительных вдохов и последующим переключением во вспомогательные режимы при появлении спонтанной дыхательной активности (Pressure Support Ventilation (PSV)). Постепенное снижение уровня респираторной поддержки приводит к плавному увеличению нагрузки на дыхательную мускулатуру пациента, осуществляя, тем самым, ее тренировку.

Несмотря на то, что многими авторами описаны преимущества использования режима SIMV+PS для кратковременной послеоперационной респираторной поддержки пациентов любого хирургического профиля [Tomlinson J.R. et al., 1989, Кассиль В.Л., 2017], существует и другой взгляд на применение данного подхода. А. Esteban с соавторами в 1995 описал, что использование SIMV + PS может задерживать экстубацию трахеи, ввиду того, что клиницист не может неотрывно находиться около пациента, чтобы реагировать сменой уровня поддержки в ответ на изменения в его состоянии [Esteban A. et al., 1995].

Описывая респираторную поддержку после кардиохирургических операций важно помнить о разнородных повреждающих лёгочную ткань факторах во время оперативных вмешательств с использованием искусственного кровообращения:

- факторы, связанные с общей анестезией и искусственным кровообращением,
- факторы, связанные непосредственно с повреждающим действием проводимой вентиляции,
- факторы, связанные с хирургической тактикой и необходимостью гемотрансфузий.

Длительное положение пациента на спине во время вмешательства и необходимость использования миорелаксантов приводит к нарушению вентиляционно-перфузионных соотношений и увеличению фракции внутрилёгочного шунтирования за счёт снижения податливости грудной стенки и смещения диафрагмы в краниальном направлении, изменения внутригрудного объёма крови [Hedenstierna G., 1985]. Искусственное кровообращение также имеет непосредственное отношение к повреждению легких и к нарушению их функции как в интраоперационном, так и в послеоперационном периоде. Одно из негативных влияний - это количественные и качественные изменения перфузии легких, кроме того часто во время ИК снижается или прекращается объём респираторной поддержки, что влечёт за собой формирование ателектазов и снижение мукоцилиарного клиренса.

Несмотря на кратковременность проведения вентиляционной поддержки в раннем послеоперационном периоде, важно соблюдать основные принципы механической вентиляции лёгких: безопасность и эффективность (минимизация повреждения лёгочной ткани при обеспечении должного артериального газообмена), комфорт (оптимизация отношения работы дыхания, совершаемой пациентом с работой, выполняемой аппаратом ИВЛ), своевременное отлучение [Chatburn R.L., 2011].

Значимое внимание клиницисты должны уделять безопасности проводимой респираторной поддержки, принимая во внимание, что описано вентилятор-ассоциированное повреждение в исходно интактных лёгких при установке повреждающих параметров ИВЛ (ДО больше 6 мл/кг ПМТ), низкий РЕЕР) [Gajic O. et al., 2005; Serpa Neto A., 2015].

Ввиду того, что появляются работы, показывающие риск развития послеоперационных лёгочных осложнений у пациентов с интактной лёгочной тканью при применении  $\Delta P > 13$  см вод.ст. [Caironi P., 2016], не рекомендуется использовать движущее давление, превышающее вышеуказанное значение.

Ещё одним важным показателем безопасности проводимой респираторной поддержки, на который обращается пристальное внимание исследователей в последние годы становится Mechanical Power (MP) - «механическая мощность (сила) или энергия», совокупный оценочный показатель агрессивности проводимой респираторной поддержки, отражающий возможную «повреждающую нагрузку», которая идёт от респиратора к паренхиме лёгких пациента, которая реагирует на эту нагрузку соответствии со своей анатомической структурой и патофизиологическим статусом в данный момент [Gattinoni L. et al., 2017]. Данный показатель учитывает потенциально опасные в плане развития ВИПЛ параметры проводимой респираторной поддержки и отражает их совокупность (частота дыханий, величины дыхательного объёма и движущего давления, максимальный инспираторный поток, величина РЕЕР [Gattinoni L. et al. 2016]. Таким образом у клиницистов появляется удобный интегративный

расчётный показатель вероятности развития ВИПЛ. Безусловно данный показатель, как и все показатели биомеханики дыхания отражает суммарную совокупность «ответа» респираторной системы.

Широкому клиническому применению данного показателя препятствуют трудоёмкие классические формулы, для расчёта данного показателя, однако существует большое количество упрощенных уравнений, которые применимы в ежедневной работе [Becher T. et al., 2019; Giosa L. et al., 2019; Becher T. et al., 2019; Silva P.L. et al., 2020; Trinkle C.A. et al., 2022]

В экспериментальном исследовании на свиньях без заболеваний и повреждений лёгочной ткани, которым проводили ИВЛ с различной комбинацией дыхательного объёма и частоты дыханий было показано, что повреждение лёгких развивается при МР выше 12 Дж/мин [Cressoni M. et al., 2016]. Ретроспективный анализ данных 787 пациентов с ОРДС показал, что выживаемость была статистически значимо выше у пациентов с МР ниже 12 Дж/мин в первый день механической вентиляции [C. Guerin et al., 2016]. Ретроспективный анализ историй болезни 1705 пациентов, поступивших в отделения интенсивной терапии без наличия ОРДС показал, что частота развития вторичного ОРДС была выше в группе пациентов, где величина МР превышала 12 Дж/мин в первый день механической вентиляции лёгких [Fuller V.M. et al., 2018]. Корреляция между значением МР и смертностью была ретроспективно оценена в исследовании, в которое включили 8207 пациентов, находившихся на ИВЛ в ОРИТ не менее 48 часов. Данное исследование показало, что риск смертельного исхода возрастал при значении МР выше 17 Дж/мин [Serpa Neto A. et al., 2018].

Интерпретация получаемых значений МР затруднена, поскольку порог безопасного значения данного параметра пока не определен, однако, приоритеты в профилактике ВИПЛ и улучшении клинических исходов течения ОРДС постепенно начинают смещаться в сторону ограничения МР [Coppola S. et al., 2020; Katira V.H., 2019; Marini J.J., 2019; Costa E. et al., 2021]. Опубликованы работы, показывающие, что уменьшение МР и  $\Delta P$  приводят к снижению количества летальных исходов у пациентов с ОРДС [Urner M. et al., 2020]. Подытоживая обсуждение величины МР и протективных параметров ИВЛ, следует отметить, что наиболее безопасными будут те параметры респираторной поддержки, при которых будет достигнута наименьшая величина данного показателя при адекватных показателях газообмена и отсутствии нарушений гемодинамики [Gattinoni L. et al., 2023].

Так же большое внимание уделяется обеспечению приемлемых значений  $p_aO_2$  и  $p_aCO_2$ , так как на настоящий момент хорошо изучено пагубное воздействие не только гипоксии, но и гипероксии при критических состояниях [Martin D.S. и Grocott M.P., 2013]. Встречается термин тяжелое острое гипероксическое повреждение лёгких (Hyperoxic Acute Lung Injury – HALI), которое вызвано продолжительным вдыханием высоких (80–100%) концентраций кислорода и

его тяжесть коррелирует с продолжительностью воздействия указанных концентраций [Sahni M., 2021]. Кроме развития резорбтивных ателектазов и окислительного повреждения на настоящий момент описано, опосредованное гипероксией, и ухудшение неврологических исходов и выживаемости после остановки сердца, а кардиохирургические операции в большинстве своем выполняются на остановленном сердце [Kilgannon J.H. et al., 2010; Kilgannon J.H. et al., 2011]. Впрочем, стоит отметить, что оптимальная величина целевого значения SpO<sub>2</sub> остаётся и по настоящее время дискуссионной [van den Boom W. et al., 2020]. А в реалиях современной медицины, обращает внимание, что практикующие врачи, порой не признают термин «гипероксия» или описывают плохое понимание данного термина [Curtis B.R. et al., 2021].

Резюмируя, проведение респираторной поддержки у пациентов после кардиохирургических вмешательств должно основываться на общепринятых принципах её проведения, а прекращение быть своевременным и базироваться на ряде объективных признаков.

При этом, важно обратить внимание, что на настоящий момент в Российской Федерации не проводилось крупных и многоцентровых исследований по сравнению различных режимов ИВЛ во время или после кардиохирургических операций. Имеются работы, показывающие положительные стороны применения маневра рекрутирования альвеол, способы профилактики и лечения ОРДС в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов. [Фот Е.В., 2013; Баутин А.Е., 2015].

Результаты имеющихся работ по сравнению даже не режимов, а стратегий респираторной поддержки у кардиохирургических пациентов, порой противоречат друг другу.

В работе, описывающей послеоперационную вентиляцию лёгких, показано, что вентиляция легких с ДО 6 мл/кг и РЕЕР 10 см вод.ст. характеризуется достоверно худшими показателями оксигенации и элиминации СО<sub>2</sub>, а также большей частотой развития и тяжестью ацидоза, чем вентиляция с ДО 10 мл/кг и РЕЕР 5 см вод.ст. Кроме того, респираторная поддержка с ДО 6 мл/кг и РЕЕР 10 см вод.ст. сопровождается менее благоприятным гемодинамическим профилем, увеличением постнагрузки и снижением преднагрузки на правый желудочек [Кашерининов И.Ю., 2018].

Противоположные данные были получены, в работе, посвященной интраоперационной вентиляции лёгких и показавшей, что протективная стратегия респираторной поддержки, основанная на минимизации вентиляционного давления при назначении дыхательного объёма 6 – 8 мл/кг должной массы тела и положительного давления в конце выдоха на уровне 5-10 см вод. ст. улучшает артериальную оксигенацию, снижает фракцию внутрилёгочного шунтирования и поддерживает оптимальные показатели биомеханики дыхания у пациентов с высоким риском периоперационных лёгочных осложнений, а также применение данной стратегии приводит к уменьшению частоты послеоперационных лёгочных осложнений [Пшеничный Т.А., 2019].

#### 1.4. Интеллектуальные режимы респираторной поддержки

В конце 80-х годов XX века сэр Уоррен Сэнборн, размышляя о будущем респираторной поддержки, допускал, что респираторы должны «сообщать о метаболическом статусе и потребностях пациента, управлять доставкой кислорода в зависимости от потребностей и потребления, считать сердечный выброс, синхронизировать каждый вдох с фазами сердечного цикла для оптимизации сердечного выброса и осуществлять всё это в автоматическом режиме или, по крайней мере, выдавать специалисту, проводящему респираторную поддержку консультативные сообщения-советы» [Sanborn W., 1993]. Сегодня, спустя 30 лет уже можно сказать, что некоторые из этих идей не получили коммерческого развития, какие-то были реализованы, но в силу различных причин не нашли дальнейшего развития и остались недоступны широкому кругу пользователей, а какие-то, наоборот, вышли далеко за рамки взглядов в будущее, представленных Сэнборном [Tobin M.J., 2013]

Благодаря прогрессу и разработчикам, учитывающим пожелания и предложения практикующих специалистов, в последние годы в практику отделений интенсивной терапии активно внедряются методы автоматизированного управления респираторной поддержкой – режимы интеллектуальной вентиляции [Mamdani M. et al., 2021]. Данные режимы работают по принципу полной обратной связи и автоматически меняют степень аппаратной поддержки, в зависимости от меняющихся потребностей пациента. Основная цель заключается в снижении количества ручных настроек аппарата, что должно, по мнению разработчиков, уменьшить нагрузку на персонал, риск возникновения ошибок, обусловленных человеческим фактором и повысить эффективность работы в целом [Buiteman-Kruizinga L.A. et al., 2022].

Автоматизированные режимы вентиляции обладают большим потенциалом для улучшения протективной вентиляции лёгких, а вместе с тем и исходов у тяжёлых пациентов. Однако, в условиях растущей нехватки персонала в ОРИТ, исследования должны рассматривать не только безопасность, эффективность, применимость данных режимов, но и, безусловно, нагрузку на персонал, связанную с внедрением автоматизированных систем [Buiteman-Kruizinga L.A. et al., 2022].

Новая коронавирусная инфекция остро выявила проблему чрезмерной нагрузки на персонал отделений интенсивной терапии во время пика пандемии, связанной с увеличением пропускной способности отделений для размещения всех пациентов, нуждающихся в интенсивной терапии [Zhou P. et al., 2020], что существенно затрудняло проведение респираторной поддержки с использованием безопасных параметров. Ни для кого не секрет, что во многих клиниках для проведения респираторной поддержки использовались наркозные аппараты и персонал не подготовленный для проведения ИВЛ у пациентов с тяжёлой

дыхательной недостаточностью, что могло существенно повлиять на исходы лечения. Интеллектуальные же режимы вентиляции, согласно данным исследований, обеспечивали более безопасные параметры респираторной поддержки, нежели традиционные режимы, за счёт снижения агрессивности проводимой вентиляции (более низкие значения  $MP$  и  $\Delta P$ ) [Wendel Garcia P.D., 2021; Buiteman-Kruizinga L.A. et al., 2021].

Наиболее известными примерами интеллектуальных технологий являются опция Smart Care<sup>®</sup> (Draeger) и режимы PAV+<sup>™</sup> (Medtronic), NAVA (Maquet), ASV<sup>®</sup>, Intellivent-ASV<sup>®</sup> (Hamilton Medical).

Опция Smart Care<sup>®</sup> и режимы PAV+<sup>™</sup> и NAVA позволяют облегчать перевод пациента на самостоятельное дыхание.

Smart Care<sup>®</sup> автоматический протокол отлучения от респиратора, представленный в экспертных моделях фирмы Draeger который поддерживает оптимальный уровень PS у пациентов и постепенно снижает его до клинической возможности выполнения экстубации трахеи. Согласно материалам исследований, данная опция позволяет сократить общее время респираторной поддержки на 33%, а продолжительность отлучения на 40% [Lellouche F. et al., 2006].

Во время использования режима PAV+<sup>™</sup> доктора могут менять процент замещения поддержки, а аппарат, основываясь на анализе биомеханики дыхания пациента (Elastance/Resistance) будет менять уровень PS. Алгоритм данной программы настроен на то, чтобы дыхание пациента осуществлялось с оптимальным уровнем PS, меняя процент замещения поддержки, врач распределяет работу дыхания, направленную на преодоление упругих сил и сопротивления респираторной системы между пациентом и респиратором так, чтобы избежать как переутомления пациента, так и атрофии дыхательной мускулатуры от бездействия [Younes M. et al., 2012; Мазурок В.А., 2020].

Конструктивная идея режима PAV заложена и в режим NAVA, который согласует работу респиратора с дыхательной потребностью пациента за счёт сигнала, получаемого с датчика расположенного на уровне диафрагмы в пищеводе пациента, поддержка (PS) каждого вдоха пропорциональна электрической активности диафрагмы [Jonkman A.H. et al., 2020]. За счёт уникальной системы триггирования (по сигналу с диафрагмы) достигается более ранний, по сравнению с триггерами по давлению и потоку, отклик респиратора на попытку вдоха, а также возможность «дозирования» поддержки.

Согласно данным исследований при применении данного режима может снижаться длительность респираторной поддержки [Мазурок В.А., 2020; Kasparek R.M. et al., 2020].

Описанные выше интеллектуальные технологии применимы у пациентов, способных дышать в PSV, то есть с сохраненным (восстановленным) паттерном самостоятельного дыхания.

В обзоре, посвященном применению опций и режимов для автоматизированного отлучения пациентов от респиратора показано их превосходство над традиционным подходом к прекращению ИВЛ, за счёт сокращения длительности респираторной поддержки [Neuschwander A. et al., 2021].

Безусловно, для клиницистов больший интерес представляют интеллектуальные режимы, применение которых возможно на протяжении всего периода респираторной поддержки, речь о них пойдёт ниже.

#### **1.4.1. Режим Adaptive Support Ventilation**

С 1998 года у врачей появилась возможность использовать режим ASV - Adaptive Support Ventilation (адаптивной поддерживающей вентиляции легких), разработанный компанией Hamilton Medical AG и нацеленный на автоматическую адаптацию респиратора к непрерывно меняющемуся состоянию и потребностям пациента. С практической точки зрения он создан для интерактивного поддержания состояния «респираторного комфорта» и ориентирован на скорейшее «отлучение» пациента от респиратора. Данный режим управляется по принципу обратной связи, при его использовании микропроцессор респиратора изменяет давление вдоха для достижения целевого дыхательного объёма, сводя к минимуму работу дыхания, основывая расчёты на уравнении Otis [Otis A.V., 1950]. Число принудительных и спонтанных вдохов регулируется автоматически в зависимости от дыхательной активности пациента, что позволяет в рамках одного режима проводить респираторную поддержку от интубации до экстубации трахеи.

Клиницист же устанавливает лишь некоторые параметры:

- пол и рост пациента, на основании чего автоматически рассчитывается «идеальная масса тела»;

-целевое значение «замещения минутной вентиляции» (за 100% - принимается «физиологическая» минутная вентиляция, равная 100 мл/кг ПМТ/мин у взрослых);

-значение PEEP и уровень FiO<sub>2</sub> для обеспечения должной оксигенации артериальной крови [Arnal J-M., Daoud E., 2021].

Кроме того, врачом устанавливается предел максимального давления в дыхательных путях для профилактики баротравмы, ETS (expiratory trigger sensitivity, пороговое значение потока для переключения с вдоха на выдох), чувствительность триггера вдоха. При этом следует отметить, что большая часть клиницистов отдаёт предпочтение первоначальным настройкам чувствительности триггера вдоха, ETS, предела максимального давления и меняет, проводя респираторную поддержку только FiO<sub>2</sub>, PEEP и процент замещения минутной вентиляции,

увеличивая или уменьшая его в соответствии с вентиляционными потребностями пациента [Ерёменко А.А., 2020].

В основе режима ASV лежит согласование вдохов по принципу PC-IMV (Intermittent Mandatory Ventilation) с регуляцией параметров вентиляции по полной обратной связи (Optimal control) в зависимости от изменений респираторной механики и спонтанной дыхательной активности пациента для максимального снижения работы дыхания пациента [Полупан А.А. и соавт., 2018].

После подключения к дыхательным путям пациента - респиратор выполняет 5 пробных вдохов, в течение которых микропроцессором рассчитывается экспираторная постоянная времени (экспираторная временная константа) –  $\tau$  ( $RC_{exp}$ ). В дальнейшем заданный минутный объем вентиляции обеспечивается путём интерактивного изменения давления вдоха, частоты дыханий, соотношения времени вдоха к времени выдоха, ориентируясь на измерения  $RC_{exp}$  во время каждого дыхательного цикла.

В основе алгоритма ASV лежит работа А.В. Otis, в которой было продемонстрировано, что для заданного объема альвеолярной вентиляции существует определенная частота дыхания, при которой работа дыхания пациента минимальна [Otis A.V. et al., 1950]. Данная работа показывает, что для поддержания целевого уровня минутной вентиляции, при низкой частоте дыхания требуется больший дыхательный объём для преодоления эластического сопротивления лёгких, а в случае слишком высокой частоты дыхания, значительная часть работы тратится на вентиляцию мертвого пространства и рестриктивное сопротивление дыхательных путей. Между этими двумя крайними ситуациями и существует та, оптимальная частота дыхания, при которой работа дыхания минимальна [Сатишур О.Е., 2020]. Эта оптимальная частота ( $f$ ) рассчитывается по формуле Отиса:

$$f_w = \frac{\sqrt{1 + 4\pi^2 RC_{exp} \dot{V}_A / V_D} - 1}{2\pi^2 RC_{exp}}, \quad \text{Формула 1}$$

где  $f$  – частота дыханий,

$\pi$  – иррациональная математическая постоянная, равная отношению длины окружности к её диаметру, в числовом эквиваленте при округлении равная 3,1416,

$RC_{exp}$  – экспираторная постоянная времени,

$\dot{V}_A$  – минутная альвеолярная вентиляция,

$V_D$  – анатомическое мертвое пространство, рассчитываемое по номограмме Рэдфорда на основе идеальной массы тела.



Безусловно, следует отдавать отчёт, что формула Otis была рассчитана при относительно «идеальных» условиях – спонтанное дыхание, соответственно «физиологическая» форма потока, но практика и исследования показали возможность использования её в качестве вводной при применении ASV.

С 2016 года алгоритм ASV дополнен подбором частоты дыханий и минимального давления вдоха на основании уравнения Mead для снижения повреждающего действия на лёгкие и повышения безопасности проводимой вентиляции. Данный алгоритм получил наименование ASV 1.1. В уравнении Mead заложен принцип минимального усилия дыхания «minimal force of breathing», который позволяет режиму ASV лучше соответствовать современным протективным стратегиям по ограничению дыхательного объёма и движущего давления [Mead J. et al., 1960].

Резюмируя вышеописанное, в режиме ASV (ASV1.1) микропроцессор респиратора подбирает инспираторное давление, отношение времени вдоха к времени выдоха и частоту принудительных вдохов таким образом, чтобы, во-первых, обеспечить целевой минутный объем, во-вторых, чтобы поддерживать частоту дыхания в диапазоне, позволяющем избегать как частого поверхностного дыхания, так и избыточного перерастяжения лёгочной ткани, в-третьих, чтобы обеспечить при этом минимальное инспираторное давление.

В случае сохранения или восстановления собственной дыхательной активности каждый спонтанный вдох поддерживается давлением поддержки для достижения рассчитанного целевого дыхательного объёма.

Режим ASV широко применяется в клиниках и описан в научных трудах.

Известны две работы [Arnal J-M. et al., 2008, Belliato M. et al., 2004], посвященные особенностям использования данного режима у различных групп пациентов – без лёгочной патологии, либо с наличием обструктивных или рестриктивных нарушений механики дыхания. В указанных работах показаны особенности вентиляционных паттернов, выбранных микропроцессором аппарата у каждой из групп пациентов. При обструктивной патологии удлинялся выдох, увеличивался дыхательный объём и снижалась частота дыхания, у больных с рестриктивной патологией снижалась величина дыхательного объёма. Факт индивидуализации проводимой вентиляции, хорошо коррелирует с современными тенденциями, что при проведении ИВЛ необходимо учитывать факторы риска повреждения легких, сопутствующие заболевания, а также индивидуальные показатели механики дыхания [Кузьков В.В. и соавт., 2020]. Исследователи во главе с E.N. Baedorf Kassis выявили, что использование режима ASV при ОРДС у пациентов с более высокой эластичностью позволяло проводить респираторную поддержку с более низкими значениями ДО и МР [Baedorf Kassis E.N. et al., 2022].

В исследовании C.W. Chen посвящённом трудному отлучению пациентов от респиратора, показано, что применение режима ASV позволило снизить длительность ИВЛ и нахождения в

стационаре при сравнении с обычным протоколом [Chen C.W. et al., 2011]. О значимом снижении длительности респираторной поддержки (67 (43–94) часов против 92 (61–165) часов) у реанимационных пациентов без наличия ОРДС и меньшем количестве ручных настроек говорят и результаты исследования С. Kirakli [Kirakli С., 2015].

Заслуживают внимания две работы [Han L. et al., 2014; Kirakli С. et al., 2011] по ИВЛ при обострении ХОБЛ, в которых продемонстрировано существенное укорочение времени отлучения от респиратора [Kirakli С., 2011] и улучшение клинических исходов [Han L., 2014] при применении ASV.

В работах [Gruber P.C. et al., 2008; Sulzer C.F. et al., 2001; Zhu F. et al., 2015, Moradian S.T. et al., 2017], показана эффективность данного режима у кардиохирургических пациентов. Практически в каждой из указанных работ выявлено снижение длительности респираторной поддержки, а в работе S.T. Moradian показано ещё и снижение количества ателектазов при использовании указанного режима.

В обзоре, выполненном D. Wheatley и К. Young режим ASV признан безопасным при проведении респираторной поддержки и удобным для отлучения у всех категорий пациентов [Wheatley D., Young, K., 2020].

В русскоязычной литературе есть работы [Полупан А.А. и соавт., 2011], посвящённые применению режима ASV у нейрохирургических пациентов, а особенности применения данного режима в кардиохирургии пока не освещены.

Важно отметить, что аналоги режима ASV на сегодняшний день представлены не только на респираторах фирмы Hamilton Medical. Под другим названием данный режим может встречаться на аппаратах Bellavista 950 и Bellavista 1000 (производства imtmmedical ag, Швейцария) (Adaptive Ventilation Mode и Adaptive Ventilation Mode 2), Mindray SV 600 и SV 800 (Adaptive Minute Ventilation), произведенных корпорацией Mindray (Китай), а также в отечественных аппаратах «Авента-М» («Auto - MVG») производства АО «Уральский приборостроительный завод», ЗисЛайн MV200 и MV300 («iSV») производства «Тритон – Электроникс».

Похож на ASV и режим “Adaptive Lung Protection Ventilation” (ALPV) – доступный на респираторах «elisa-600» и «elisa-800» фирмы Löwenstein Medical GmbH & Co. В данном режиме так же задается целевой объём минутной вентиляции по идеальной массе тела и от вдоха к выдоху аппарат подбирает давление вдоха. Отличие от ASV в том, что в ALPV не используются формула Otis; величина дыхательного объёма установлена в соответствии с канонами протективной ИВЛ.

### 1.4.2. Режим Intellivent - ASV®

Дальнейшая эволюция Adaptive Support Ventilation - режим Intellivent-ASV®, обеспечивающий в интерактивном режиме управление минутной вентиляцией пациента и обеспечение целевого насыщения артериальной крови кислородом путём регулировки уровня минутного объёма вентиляции, ДО, РЕЕР и FiO<sub>2</sub>.

Данный алгоритм осуществляется за счёт непрерывного респираторного мониторинга параметров биомеханики дыхания и информации, получаемой с интегрированных в аппарат пульсоксиметрического и капнографического датчиков. Давление вдоха для достижения целевого ДО и оптимальная частота дыханий для сведения к минимуму работы дыхания рассчитываются, как и в базовом режиме ASV, на основании уравнений Otis и Mead. Так же в данном режиме существует опция ранней активации автоматизированного отлучения пациентов от респиратора.

Клиницистом при первичной настройке респиратора устанавливается:

- пол и рост пациента;
- включается один из заложенных в аппарат алгоритмов («нормальные легкие», «хроническая гиперкапния», «ОРДС» и «повреждение мозга»), каждому из данных алгоритмов соответствуют определенные целевые диапазоны границ допустимой SpO<sub>2</sub>, EtCO<sub>2</sub> (end tidal CO<sub>2</sub>);
- при необходимости меняются целевые диапазоны SpO<sub>2</sub>, EtCO<sub>2</sub>;
- устанавливается начальный уровень РЕЕР и FiO<sub>2</sub>, вводятся их допустимые границы при работе респиратора;
- включается разрешение на автоматическое отлучение пациента от респиратора и длительность обсервационного периода перед выполнением теста спонтанного дыхания;
- границы необходимых тревог.

После первоначальных установок респираторная поддержка может осуществляться полностью в автоматическом режиме- поддерживается заданный диапазон EtCO<sub>2</sub> за счет управления минутным объемом вентиляции и целевой уровень SpO<sub>2</sub> за счет автоматического изменения FiO<sub>2</sub> и РЕЕР.

При развитии гиперкапнии (EtCO<sub>2</sub> превышает целевые значения), аппарат увеличивает объем минутной вентиляции, усиливая элиминацию CO<sub>2</sub>, при развитии гипокапнии аппаратом наоборот снижается минутная вентиляция до возвращения EtCO<sub>2</sub> в целевой диапазон.

Поддержание целевого насыщения артериальной крови кислородом так же происходит автоматически: при необходимости увеличения SpO<sub>2</sub> сначала повышается FiO<sub>2</sub>, а следующий шаг – это повышение РЕЕР. Если достигнут высокий уровень SpO<sub>2</sub> снижение происходит в обратном порядке: первый шаг всегда снижение FiO<sub>2</sub>, а второй снижение РЕЕР.

При необходимости, если клинициста не устраивает какой-либо аспект проведения «автоматизированной» респираторной поддержки - любой параметр может быть изменён вручную.

Для проведения вентиляции в целевых границах для каждого отдельно взятого пациента возможна тонкая настройка целевых границ диапазонов SpO<sub>2</sub>, EtCO<sub>2</sub> и PEEP.

Если врачом включается опция ранней активизации автоматизированного отлучения «Quick Wean», то при восстановлении самостоятельного дыхания аппаратом постепенно снижается давление поддержки вплоть до минимального (обсервационный период, длительность которого задана клиницистом, но не менее 10 минут) и проводится автоматический тест спонтанного дыхания в течение времени заданного при настройке аппарата, но не менее 30 минут, в случае же неготовности пациента к переводу на самостоятельное дыхание (развитие тахипноэ, малые значения ДО, снижение SpO<sub>2</sub>) аппарат возвращается к проводимой респираторной поддержке с целевой минутной вентиляцией.

Эффективность отлучения от респиратора с использованием данного режима описана в работе [Belliato M., 2016].

По режиму Intellivent-ASV<sup>®</sup> известно несколько работ J-M. Arnal в первой из которых он показывает, что данный режим эффективен у «пассивных» пациентов с острым лёгочным повреждением и позволяет проводить безопасную вентиляцию с меньшими уровнями давления, ДО и FiO<sub>2</sub>, получая схожие результаты по оксигенации артериальной крови [Arnal J-M. et al., 2012]. В следующей работе J-M. Arnal показывает безопасность применения Intellivent-ASV<sup>®</sup> у пациентов с различным состоянием лёгочной ткани, а автоматический подбор параметров для управления оксигенацией и минутной вентиляцией был различным в зависимости от характера лёгочной патологии (рестриктивная или обструктивная) особенно у «пассивных» пациентов [Arnal J-M. et al., 2013]. В другой работе J.M. Arnal и его соавторами показано, что при использовании данного режима значительно снижается число ручных настроек вентилятора и режим значительно проще для медперсонала [Arnal J-M. et al., 2018].

В работе 2019 года J-M. Arnal демонстрирует, что при применении Intellivent-ASV<sup>®</sup> респиратором подбираются параметры вентиляции, обеспечивающие самые низкие значения ΔP и MP для обеспечения должной оксигенации артериальной крови [Arnal J-M. et al., 2019].

Группой исследователей во главе с E. Vialais также было показано, что использование Intellivent-ASV<sup>®</sup> влечет за собой меньшее количество ручных настроек персоналом с большей вариабельностью автоматических изменений параметров вентиляции при ожидаемой длительности вентиляции свыше 48 часов [Vialais E. et al., 2016].

На настоящий момент существует несколько работ, посвященных эффективному применению данного режима в кардиохирургии [Beijers A.J. et al., 2014; Lellouche F. et al., 2013],

в которых показано снижение количества ручных настроек с обеспечением оптимальных параметров вентиляции при неизменной продолжительности вентиляции у пациентов, респираторная поддержка которых осуществлялась в режиме Intellivent-ASV® после неосложнённых кардиохирургических вмешательств. В работе E. Fot показана эффективность Intellivent-ASV® в виде снижения нагрузки на персонал при отлучении пациентов от респиратора после операций реваскуляризации миокарда без искусственного кровообращения [Fot E. et al., 2017]. Исследователи во главе с J.R. Ashley описали, что при применении данного режима у гемодинамически стабильных пациентов повышается безопасность проводимой вентиляции, снижается частота развития гипоксемии и ускоряется активизация собственного дыхания [Ashley J.R. et al., 2020].

Было описано успешное применение Intellivent-ASV® у пациентов с тяжёлой дыхательной недостаточностью и с индексом Хоровица меньше 150 у пациентов во время пандемии новой коронавирусной инфекции, однако авторы статьи обращают внимание на необходимость более тщательной настройки и коррекции параметров у подобных пациентов [Buiteman-Kruizinga L.A. et al., 2023]. Этой же группой исследователей во главе с L.A Buiteman-Kruizinga было показано, что использование Intellivent-ASV® на ранних стадиях ОРДС средне-тяжелого и тяжелого течения позволяет снизить работу дыхания, транспульмональное  $\Delta P$  и  $MP$  у пациентов на данном режиме [Buiteman-Kruizinga L.A. et al., 2023]

Также описаны преимущества Intellivent-ASV® у нейрохирургических пациентов при использовании опции «повреждение мозга», данный режим позволяет более эффективно поддерживать  $P_aCO_2$  в целевом диапазоне по сравнению с традиционными режимами с использованием меньшего количества ручных настроек параметров вентиляции [Ананьев Е.П. и соавт. 2017].

При этом практически во всех работах сравнивалась какая – либо из интеллектуальных технологий с традиционными режимами, сравнения режимов ASV и Intellivent – ASV® не проводились.

В обзоре, посвящённом применению Intellivent-ASV®, говорится, что данный режим эффективен и безопасен, когда речь идет о подборе дыхательного объёма и оксигенации, но РКИ не показали его преимуществ в эффективности над традиционными режимами по длительности вентиляции и другими пациент-ориентированным точкам [Botta M. et al., 2021].

Таким образом, применение различных интеллектуальных технологий респираторной поддержки представляется перспективным, но не настолько хорошо изученным направлением для применения у послеоперационных кардиохирургических пациентов, что и обусловило цели и задачи данного исследования.

### 1.4.3 Ограничения применения интеллектуальных технологий

Абсолютным противопоказанием к использованию режима ASV и Intellivent-ASV® будет являться наличие у пациента неразрешенного пневмоторакса, относительным – центральные нарушения дыхания.

В исследовании S. Katayama, посвященном возможностям применения Intellivent-ASV® показано, что данный режим может успешно применяться у 71% пациентов, требующих респираторной поддержки [Katayama S. et al., 2020]. Причинами смены режима по данным указанной работы чаще всего были: чрезмерное респираторное усилие пациента (высокий респираторный драйв) или наличие асинхроний у 5% пациентов, тяжелое снижение оксигенирующей функции лёгких или значимый респираторный ацидоз у 2%, проблемы с датчиками у 1% пациентов [Katayama S. et al., 2020].

Недостатки применения интеллектуальных режимов, являются продолжением их достоинств, при длительном опыте использования подобных технологий, нарастает самоуспокоенность персонала, снижается ситуационная осведомленность, персонал тратит меньше времени на процесс наблюдения за респиратором, полагаясь на автоматическую коррекцию параметров [Branson R., 2023].

В работе P. Platen говорится о возможных нарушениях технологии в виде неисправности датчиков, возможных сбоях в программном обеспечении [Platen P. et al., 2020]. Однако за время работы с интеллектуальными режимами, мы ни разу не столкнулись с сбоями в программном обеспечении, при поломках пульсоксиметрического и капнографического датчиков по встроенным алгоритмам респиратор предупреждает пользователя о возникшей проблеме, и продолжает вентиляцию с последними данными  $FiO_2$ , PEEP и процентом замещения минутной вентиляции. Безусловно надо помнить, что у некоторых категорий пациентов с метгемоглобинемией, карбоксигемоглобинемией, выраженными нарушениями периферического кровотока, с измененным цветом кожного покрова могут возникнуть сложности при измерении  $SpO_2$ , что может повлечь трудности с регуляцией  $FiO_2$ . А вот, в случае неисправности датчика потока, или, допустим, попадания в него влаги, следует менять датчик потока в спешном порядке, респиратор в данной ситуации выводит тревогу «датчик потока неисправен».

Важным моментом, с которым столкнулись авторы работы, было нарушение алгоритма работы режимов при скоплении значительного количества воды в тепловлагообменном фильтре, респиратором данная ситуация в силу возрастания сопротивления в дыхательном контуре, рассматривается как удлиненная  $R_{C_{exp}}$  и вентиляция осуществляется с параметрами, характерными для пациентов, имеющих обструктивные нарушения дыхательной системы.

#### 1.4.4. Распространенность интеллектуальных режимов на территории Российской Федерации

Несмотря на то, что различные интеллектуальные технологии респираторной поддержки доступны на практике уже более 20 лет, широта их применения остается неизвестной. Даже европейские клиницисты не всегда осведомлены об их существовании, что затрудняет дальнейшее распространение подобных режимов [Platen P. et al., 2020]. Группа исследователей во главе с E.F.E. Wenstedt в 2017 году указывала, что несмотря на активное развитие подобных технологий их внедрение в практику голландских отделений интенсивной терапии встречает определенные трудности [Wenstedt E.F.E. et al., 2017]. Частота использования интеллектуальных режимов по данным авторов не превысила 51%. Основными причинами отказа от интеллектуальных технологий голландские респонденты указывали: недостаток знаний о данных режимах (41% респондентов), отсутствие значимой доказательной базы о преимуществах подобных режимов (33% опрошенных), недоверие к режимам (26% опрошенных) [Wenstedt E.F.E. et al., 2017].

Несмотря на разнообразие интеллектуальных режимов, значительное количество аппаратов ИВЛ, в которые они интегрированы, остаётся неизвестным насколько доступно применение подобных технологий в российских клиниках. По мнению автора работы и его коллег, важным моментом, ограничивающим эффективность применения интеллектуальных режимов ИВЛ в клинической практике, является совокупность факторов.

Первым фактором, безусловно, является отсутствие технической возможности использования данных технологий в клинике (отсутствие респираторов соответствующего класса), вторым фактором может быть отсутствие необходимых расходных компонентов при наличии соответствующих респираторов, а третьим - уровень подготовки персонала, готовность и способность персонала осваивать и полноценно использовать данные технологии. Часто клиницисты вместо использования новой технологии отдают предпочтение хорошо себя зарекомендовавшим принципам, руководствуясь собственным опытом или опытом старших коллег, устоявшимися шаблонами и «мифологизацией» определённых процессов.

Чтобы оценить готовность и материальную оснащённость отечественных стационаров для использования подобных технологий, выяснить сложности, с которыми может столкнуться медперсонал при использовании интеллектуальных режимов, автором диссертационной работы было проведено анонимное анкетирование. Это первое исследование, проведенное на территории РФ и направленное на оценку частоты использования интеллектуальных технологий респираторной поддержки и проблем, возникающих при использовании подобных режимов.

### 1.5. Особенности проведения респираторной поддержки у пациентов с ожирением

**Ожирение** (лат. *adipositas* букв. «ожирение» и *obesitas* букв. «полнота, тучность, откормленность») – определяется у пациентов с индексом массы тела (ИМТ) выше 30 кг/м<sup>2</sup> – избыточное или ненормальное распределение жировой ткани, которое может наносить вред здоровью [инф. Бюллетень ВОЗ 2018].

Помимо ожирения отдельно выделяют **избыточный вес** - результат формирования аномальных жировых отложений с ИМТ  $\geq 25$  кг/м<sup>2</sup> (у взрослых).

В тех случаях, когда ИМТ составляет 40 кг/м<sup>2</sup> и выше, то даже при отсутствии осложнений ожирения, говорят о морбидном (болезненном) ожирении. При наличии таких осложнений ожирения как сахарный диабет II типа, артериальная гипертония, дислипидемия, и патология суставов нижних конечностей, ожирение классифицируется как морбидное уже при ИМТ 35 кг/м<sup>2</sup> и выше.

Избыточный вес и ожирение становятся эпидемией, распространённость которой увеличивается как в развитых, так и в развивающихся странах. Согласно данным за 2019 год каждый третий житель США страдает ожирением (36% от населения страны) с ожидаемым ростом к 2030 году до 50%, а средний ИМТ у жителей Соединённых Штатов соответствует избыточному весу – 28,8 кг/м<sup>2</sup> [Ward Z.J. et al., 2019]

В Российской Федерации данная проблема стоит не так остро, однако по данным сайта World Population Review [URL:<http://worldpopulationreview.com>] за 2021 год средний индекс массы тела в нашей стране 26,5 кг/м<sup>2</sup>, а каждый четвертый-пятый житель нашей страны (23%) страдает ожирением.

В ближайшие годы можно ожидать рост числа данной категории пациентов в отделениях интенсивной терапии, ввиду того, что доля тучных жителей планеты неуклонно возрастает, а наличие ожирения часто само по себе увеличивает риск более тяжёлого течения заболевания, что часто требует госпитализации в ОРИТ и проведения респираторной поддержки [Schetz M. et al., 2019].

Ожирение, особенно абдоминальное (андроидное распределение жира (типа «яблоко»)), приводит к изменению анатомии и физиологии грудной клетки и дыхательных путей и, следовательно, усложняет проведение респираторной поддержки у данной категории пациентов [De Jong A. et al., 2020].

Влияние ожирения на дыхательную систему было описано как эффект «медвежьих объятий» [Sebastian J.C., 2013]. Накопления жира в грудной клетке и брюшной полости создают дополнительное давление через грудную стенку и диафрагму на плевральную полость и, таким образом, на альвеолы, если плевральное давление выше, чем давление внутри альвеол,



происходит их коллапс, и в зависимых областях лёгких, где давление извне оказывается самым высоким, возникают компрессионные ателектазы. В одном из исследований показано, что у пациентов с ожирением на самостоятельном дыхании в положении на спине функциональная остаточная емкость снижена до 21% [Nestler C. et al., 2017], а также снижены общая легочная и жизненная емкость легких. Накопление жира ограничивает подвижность грудной клетки и уменьшает объемы легких, что приводит к снижению податливости дыхательной системы [Naimark A., 1960; Littleton S.W., 2012; Brazzale D.J. et al., 2015]. Группой исследователей во главе с P. Pelosi описаны значимые нарушения в механике легких и грудной стенки, а также уменьшение объема легких у пациентов с ожирением, перенесших операцию с использованием инвазивной вентиляции легких [Pelosi P. et al., 1996]. Более того, в другой своей работе, они показали, что “эластичность” (величина обратная податливости) легких и грудной стенки у тучных пациентов в два раза выше, чем у худых [Pelosi P. et al., 1999]. С ростом ИМТ резервный объем выдоха (Expired Reserve Volume (ERV)) и ФОЕ снижаются, приближаясь к остаточному объему (RV) у пациентов с морбидным ожирением, особенно в положении лежа на спине, при этом снижение ФОЕ происходит в большей степени за счет снижения податливости легких, нежели податливости грудной стенки [Pelosi P. et al., 1998; Jones R.L., 2006]. Функция дыхательных мышц может напрямую нарушаться из-за избытка жировой ткани в грудной клетке и брюшной полости, что вызывает механическое повреждение грудных мышц и рост внутрибрюшного давления [Mafort T.T. et al., 2016; Manuel A.R. et al., 2016]. При ожирении в положении лежа на спине вес живота заставляет диафрагму подниматься в грудную клетку, что может приводить к развитию ателектазов и к закрытию мелких дыхательных путей что, в свою очередь, еще больше увеличивает работу дыхания [Chlif M. et al., 2009; Arena R., 2014]. Ситуация значительно усугубляется, когда используются седативные средства и мышечные релаксанты (оперативное вмешательство, ситуации требующие введения релаксантов в ОРИТ), так как с потерей дыхательными мышцами тонуса наблюдается дальнейшее снижение ФОЕ лёгких. Также в одной из работ показано, что феномен закрытия дыхательных путей более выражен у пациентов с ожирением на ИВЛ, что требует приложения большего давления для начала вдоха [Hedenstierna G. et al., 2020]. Очевидно, что сохранённая перфузия закрытых или ателектазированных отделов лёгких будет вести к вентиляционно-перфузионным несоответствиям, вызывая патофизиологический феномен шунтирования [Hedenstierna G. et al., 2012].

В заключение описания патофизиологических особенностей пациентов с ожирением, следует отметить, что они не являются однородной группой, многое зависит от распределения жировой ткани и развития на фоне ожирения сопутствующих изменений.

На сегодняшний день не разработано никаких рекомендаций по проведению респираторной поддержки у подобных пациентов, следовательно, существует необходимость в

оптимизации стратегий респираторной поддержки для минимизации риска послеоперационных респираторных осложнений в этой популяции [Imber D.A. et al., 2016; Petrini F. et al., 2016].

Как было сказано выше, на настоящий момент существует много экспериментальных и клинических исследований, которые показали, что использование больших ДО (выше 8 мл/кг ПМТ) при проведении вентиляции может вызывать повреждение исходно здоровой лёгочной ткани [Gajic O. et al., 2005; Jia X., 2008], в то время как даже при проведении периоперационной респираторной поддержки использование малых (6–8 мл/кг ПМТ) ДО связано с меньшим количеством лёгочных осложнений [Chaney M.A. et al., 2000; Futier E. et al., 2013; Severgnini P. et al., 2013]. Соответственно видится разумным и тучным пациентам проводить респираторную поддержку из расчёта малого ДО на идеальную (предсказанную) массу тела, а не фактическую массу тела, ввиду того, что большие грудные клетки этих пациентов связаны с объёмом жировой ткани, а не с большим объёмом собственно лёгочной ткани [Fernandez-Bustamante A. Et al., 2011; 2015; Ortiz V.E. et al., 2015].

На настоящий момент большинство клиницистов стремится не использовать высокое  $\Delta P$ , ввиду того, что есть сообщения, показывающие риск развития послеоперационных лёгочных осложнений у пациентов с интактной лёгочной тканью при применении  $\Delta P > 13$  см вод.ст. [Caironi P., 2016]. Применительно к пациентам с ожирением рекомендуемых границ движущего давления на сегодняшний день не описано.

Принимая во внимание, сниженную ФОЕ, у пациентов с ожирением возрастает риск ограничения выдыхаемого потока, что может приводить к феномену «воздушных ловушек», тем самым увеличивая риск роста внутреннего РЕЕР и динамической гиперинфляции, что в свою очередь, может увеличивать работу дыхания и вызывать асинхронии. Уровень оптимального РЕЕР для пациентов с ожирением остаётся пока неясным [Pirrone M., et al., 2016].

Сведения о применении РЕЕР и манёвров открытия альвеол у пациентов с лишним весом весьма противоречивы [Pelosi P., 1999; Coussa M. et al., 2004; Reinius H., et al., 2009; Pelosi P. Et al., 2010; Futier E. et al., 2011; Defresne A.A., et al., 2014; Bluth T. et al., 2019].

С одной стороны, применение адекватного уровня РЕЕР у пациентов со сниженным ФОЕ и ожирением должно способствовать предотвращению развития ателектазов, улучшению лёгочной биомеханики, с другой стороны применение чрезмерного уровня РЕЕР может приводить к гиперинфляции лёгких и ухудшению вентиляционно – перфузионных соотношений, за счёт возможного перераздувания альвеол и снижения или перераспределения лёгочного кровотока. Очевидно, что, как и в случае с пациентами с ИМТ  $< 30$  кг/м<sup>2</sup>, влияние РЕЕР на оксигенацию зависит от баланса между положительными и отрицательными эффектами у каждого конкретного пациента [Pelosi P., 2010].

Работы P. Pelosi и M. Coussa показали, что при применении уровня РЕЕР 10 см вод.ст. в сравнении с РЕЕР 0 см вод.ст. у тучных пациентов достоверно улучшается лёгочная биомеханика, улучшается податливость дыхательной системы, снижается количество ателектазов [Pelosi P. Et al., 1999, Coussa M. et al., 2004]. Однако, есть работы [Reinius H., et al., 2009; Futier E. et al., 2011] показавшие, что одного только применения уровня РЕЕР недостаточно для улучшения функции дыхательной системы у пациентов с ожирением, необходимо использовать рекрутмент маневр (РМ). Для проведения данного маневра существует множество методик, фактически же это процедура, как правило кратковременного повышения транспульмонального давления для открытия максимально возможного количества альвеол и улучшения распределения альвеолярного газа. Отмечается, что применение различных методик РМ с последующим поддержанием РЕЕР на уровне 10 см вод.ст., снижало количество ателектазов и улучшало оксигенацию [Reinius H., et al., 2009; Futier E. et al., 2011].

В противовес вышеуказанным, известны работы, не показавшие положительных результатов при применении стратегии с использованием высоких уровней РЕЕР и РМ [Defresne A.A., et al., 2014; Bluth T. et al., 2019]. Интересной является работа T. Bluth, включающая большое количество пациентов, в которой сравнили две стратегии – применение во время анестезии РЕЕР 4 см вод.ст., с использованием РЕЕР 12 см вод.ст. в сочетании с применением РМ (увеличение дыхательного объёма вкупе с увеличением РЕЕР). Авторы не получили различий по послеоперационным лёгочным осложнениям в данной работе, однако обращает внимание, что несмотря на отсутствие различий, при равных ДО, в группе низкого РЕЕР использовались более высокие фракции кислорода и уровень  $\Delta P$  выходил за безопасные рамки на всем протяжении анестезиологического пособия.

Представляется целесообразным персонализировать выполнение РМ для предотвращения ВИПЛ, воздерживаясь от данного маневра у пациентов с гиповолемией и риском аритмий, тяжелой сердечной недостаточностью и рефрактерным шоком, а также с высоким риском баротравмы.

Современная дыхательная аппаратура позволяет строить «квазистатические» петли «давление – объём» для оценки биомеханики лёгочной ткани и грудной клетки, что позволяет определить рекрутабельность альвеол (возможность вовлечения невентилируемых альвеол в проводимую респираторную поддержку) без использования инструментальных методов диагностики и выполнить при необходимости маневр рекрутирования альвеол [Chiumello D. et al., 2020].

Оптимальная методология РМ окончательно не определена; как и в случае с РЕЕР, она должна быть ориентирована на снижение как ДО, так и давлений в дыхательных путях. В

противном случае, несмотря на улучшение оксигенации, повышенное давление может способствовать статическому повреждению легких [Marini J.J. et al., 2020].

Таким образом, на настоящий момент, рутинное применение РМ не рекомендуется, и его использование остается персонализированным решением, основанным на индивидуальном соотношении риск/польза, как и рекомендован персонализированный подход к выбору необходимого уровня РЕЕР [De Jong A. et al., 2020].

Так же не доказаны преимущества использования какого-либо одного режима вентиляции у пациентов с ИМТ > 30 кг/м<sup>2</sup>, все сообщения о преимуществах того или иного режима противоречивы [Maia Ld. A. Et al., 2017].

Несмотря на то, что доказанных концепций безопасного проведения респираторной поддержки у пациентов с лишним весом на сегодня нет, эксперты сходятся в оценках, что лучше минимизировать повреждающее действие проводимой вентиляции и снижать используемые ДО, МР, Δ Р, подбирать «адекватный» уровень РЕЕР [Maia Ld. A. et al., 2017; De Jong A. et al., 2020].

Учитывая, что нами не было найдено данных об использовании интеллектуальных режимов ИВЛ у пациентов с ожирением, было принято решение сравнить особенности проведения респираторной поддержки у данной категории пациентов с применением полностью автоматизированной технологии Intellivent - ASV<sup>®</sup> и традиционных режимов, когда все решения применяются врачом.

## Глава 2. Материалы и методы исследования

Настоящее исследование выполнено на базе отделения реанимации и интенсивной терапии II (кардиохирургическая реанимация) ГНЦ ФГБНУ Российского Научного Центра Хирургии имени академика Б.В. Петровского. Исследование носило ретроспективный характер и было одобрено локальным этическим комитетом [выписка из протокола заседания ЛЭК №6 от 18.02.2021]. В данной работе использован материал нескольких проспективных исследований по применению интеллектуальных режимов респираторной поддержки, выполненных в отделении.

### 2.1. Характеристика исследуемых пациентов

Исследование проводилось в два этапа.

На первом этапе проведена сравнительная оценка эффективности и безопасности использования интеллектуальных режимов (Intellivent-ASV и ASV) ИВЛ и традиционного протокола с установкой параметров вентиляции врачом - реаниматологом в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов после неосложненных операций.

На втором - проведена сравнительная оценка эффективности и безопасности использования автоматизированного режима Intellivent-ASV® и обычного протокола с установкой параметров вентиляции врачом ОРИТ в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов с ожирением (ИМТ выше 30 кг/м<sup>2</sup>) после неосложненных операций.

Для первого этапа было отобрано 120 пациентов, которые были оперированы на сердце и магистральных сосудах с октября 2015 года по февраль 2020 года и, которые были разделены на три группы в соответствии с режимом, в котором проводилась вентиляция лёгких в послеоперационном периоде. Численность каждой группы составила 40 пациентов.

На втором этапе было обследовано 80 пациентов, оперированных с сентября 2019 года по май 2021 года, которых разделили на две группы по 40 человек в зависимости от режима вентиляции лёгких соответственно. На втором этапе были проанализированы данные 19 пациентов, исследованных в рамках первого этапа и удовлетворяющих критериям включения второго.

Расчёт необходимого числа обследуемых пациентов был проведен в программе G\*Power 3.1.9.4. (Heinrich Heine University Dusseldorf).

На основании пилотного исследования, где было 3 группы по 15 человек среднее значение показателя «необходимость внесения ручных изменений в настройки респиратора» составило 1, 2, 4 соответственно, стандартное отклонение – 2.

Был произведен расчет стандартизованной разности (effect size), которая составила 0,62. С уровнем значимости 0,05, мощностью исследования 95%, минимально необходимое общее число исследуемых составило 45 в общем или 15 в каждой группе.

Также был произведен расчёт по вторичной конечной точке – показателю «величина дыхательного объёма в мл/кг/ПМТ».

Среднее значение в группах составило 6, 7, 7 соответственно, среднее квадратическое отклонение – 1. Рассчитанная стандартизованная разность составила 0,47. С уровнем значимости 0,05, мощностью исследования 95%, необходимое общее число исследуемых составило 75 в общем или 25 на каждую группу.

Для получения некоторого запаса в случае непредвиденных обстоятельств нами было отобрано по 40 человек в каждую группу или 120 в общем, что превышает минимально необходимое количество.

**Критериями включения** на первом этапе служили:

- поступление в отделение интенсивной терапии после оперативного вмешательства на сердце и восходящем отделе аорты;
- возраст старше 18 лет;
- индекс массы тела от 18 до 35 кг/м<sup>2</sup>.

**Критерии исключения** были разделены на две группы:

1) Предоперационные

– наличие тяжёлой почечной (снижение скорости клубочковой фильтрации менее 30 мл/мин), печёночной (повышение концентрации аспартат и аланин аминотрансфераз выше 80 Е/л) или сердечной недостаточности (фракция выброса левого желудочка менее 30 %).

2) Послеоперационные –

- скорость поступления крови по дренажным трубкам более 3 мл/кг/ч (кровотечение),
- периоперационный инфаркт миокарда,
- нестабильность гемодинамики, потребность в высоких дозах кардиотонических или вазопрессорных препаратов (ВИИ (вазоинотропный индекс) >12) или в внутриаортальной баллонной контрпульсации,
- рефрактерная гипоксемия с коэффициентом  $paO_2/FiO_2$  менее 150 mmHg,
- аллергическая реакция в периоперационном периоде,
- развитие судорог, делирия, ОНМК,
- отсутствие или потеря данных необходимых для анализа (нарушение заполнения протоколов наблюдения за пациентами).

На втором этапе **критерии включения/исключения** практически не отличались, разница была лишь в критериях включения по индексу массы тела, критерием включения являлся индекс массы тела выше 30 кг/м<sup>2</sup>.

Группы пациентов были сопоставимы между собой по таким характеристикам как пол, возраст, идеальная масса тела, индекс массы тела, оценка риска предстоящего вмешательства по шкале EuroSCORE, оценка респираторного риска у хирургических пациентов по шкале ARISCAT.

Характеристика пациентов представлена в Таблице 1 и 2.

**Таблица 1 - Характеристика пациентов 1 –го этапа исследования**

Параметр	Группа применения Intellivent - ASV® (n=40)	Группа применения ASV (n=40)	Группа традиционных режимов (n = 40)	p
Возраст, годы	59 ± 8	59(55–66)	59 ± 11	0,9185
Пол (муж/жен), n	27/13	24/16	30/10	0,1701
Рост, см	171 ± 9	170 ± 9	174 (167–177)	0,8706
Вес, кг	84 (71–95)	84 ± 14	82 ± 12	0,3755
Предсказанная масса тела (идеальный вес), кг	68 (52–75)	65 ± 10	67 ± 8	0,1529
Индекс массы тела (ИМТ), кг/м <sup>2</sup>	27,9 ± 4	28,6 ± 4	27,2 ± 4	0,9185
Шкала EuroSCORE II, %	1,95 (1,22–2,75)	1,99 (0,9–2,54)	1,87 (1,8–2,4)	0,7918
Шкала ARISCAT, баллы	50 (50–58)	52 (50–58)	50 (50–8)	0,3982
SpO <sub>2</sub> перед операцией при дыхании с FiO <sub>2</sub> 21%, %	96 (95–97)	96 (95–96)	96 (95–97)	0,6971
Коэффициент PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> после завершения основного этапа, перед переводом в ОРИТ	310 (290–345)	319 ± 88	336 ± 90	0,4534
Дыхательный объём (V <sub>t</sub> ) после завершения основного этапа, перед переводом в ОРИТ, мл/кг/ПМТ	8 (7–9)	9 (8–10)	9(8–9)	0,0757
PEEP после завершения основного этапа, перед переводом в ОРИТ, см вод.ст.	7(6–8)	7 (5–8)	6 (5–8)	0,2159

Изолированная реваскуляризация миокарда, n (%)	18 (45%)	20 (50 %)	16 (40%)	0,7
Реваскуляризация миокарда + протезирование клапана, n (%)	2 (5%)	5 (12,5 %)	2 (5%)	0,504
Операция на клапанах сердца (протезирование или пластика), n (%)	12 (30%)	9 (22,5%)	12 (30%)	0,716
Операции на восходящем отделе аорты с протезом или пластикой аортального клапана, n (%)	8 (20%)	4 (10%)	10 (25%)	0,210
Септальная миоэктомия	0	2 (5%)	0	0,131

**Таблица 2 - Характеристика пациентов 2 –го этапа исследования (пациенты с ИМТ > 30 кг/м<sup>2</sup>)**

Параметр	Группа применения Intellivent - ASV® (n=40)	Группа традиционных режимов (n = 40)	p
Возраст, годы	60 (58–66)	58 ± 12	0,5119
Пол (муж/жен), n	28/12	21/19	0,1681
Рост, см	169 ± 8	171 ± 9	0,2736
Вес, кг	98 ± 12	96 (91–107)	0,9425
Идеальная масса тела, кг	64 ± 9	65 ± 10	0,5424
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	33,5 (31–40)	33,5 ± 2	0,5006
Шкала EuroSCORE II, %	2,1 (1,4 – 3,2)	1,9 (1,1 – 2,9)	0,4456
Шкала ARISCAT, баллы	56 (50–58)	50 (50–58)	0,0931
Ожирение I (ИМТ 30-35 кг/м <sup>2</sup> ), n (%)	28 (70%)	31 (77,5%)	0,4607
Ожирение II (ИМТ 35-40 кг/м <sup>2</sup> ), n (%)	7 (17,5%)	9 (22,5%)	0,5762
Ожирение III (ИМТ > 40 кг/м <sup>2</sup> ), n (%)	5 (12,5%)	0	0,0274
Длительность анестезии, мин	318 ± 50	303 ± 62	0,2312
Длительность операции, мин	264 ± 51	251 ± 60	0,3006
Исходная SpO <sub>2</sub> перед операцией при дыхании с FiO <sub>2</sub> 21%, %	95 (94–96)	96 (95–96)	0,1237
Изолированная реваскуляризация миокарда, n (%)	15 (37,5%)	13 (32,5%)	0,6352
Операция на клапанах сердца (протезирование или пластика), n (%)	15 (37,5%)	13 (32,5%)	0,6352



Реваскуляризация миокарда + протезирование клапана, n (%)	3 7,5%	5 12,5%	0,3550
Операции на восходящем отделе аорты с протезом или пластикой аортального клапана, n (%)	5 (12,5%)	6 (15%)	0,7589
Септальная миоэктомия, n (%)	2 (5%)	3 (7,5 %)	0,6794
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> после завершения основного этапа, перед переводом в ОРИТ	300 (240–350)	281 ± 50	0,5049
ДО после завершения основного этапа, перед переводом в ОРИТ, мл/кг/ПМТ	9 (8–10)	9 (8–10)	0,7655
РЕЕР после завершения основного этапа, перед переводом в ОРИТ, см вод.ст.	8 (6–9)	8 (6–10)	0,9005

## 2.2. Методы исследования

В предоперационном периоде все пациенты были обследованы по стандартному протоколу, включающему в себя общий клинический и биохимический анализ крови, коагулограмму, рентгенографию или компьютерную томографию органов грудной клетки, электрокардиографию, эхокардиографию, а также части пациентов при наличии показаний коронароангиографию и спирометрию. Риск предстоящего вмешательства оценивался при помощи шкалы EuroSCORE II (European System for Cardiac Operative Risk Evaluation). Риск развития послеоперационных легочных осложнений оценивали, используя шкалу ARISCAT (Assess Respiratory Risk in Surgical Patients in Catalonia ).

Всем пациентам обеспечивалось стандартное анестезиологическое пособие, включающее постоянную внутривенную инфузию пропофола в дозе 3–4 мг/кг/час, ингаляционное введение севофлурана до достижения целевой концентрации 0,7–0,8 Мак, внутривенное непрерывное введение фентанила в дозе 2–4 мкг/кг/час, с дробным добавлением по 100 мкг на травматичных этапах, миорелаксацию пипекурония бромидом или цисатракурия бромидом.

По окончании оперативного вмешательства пациенты транспортировались в ОРИТ на фоне продолжающейся седативной терапии пропофолом (1–2 мг/кг/ч), респираторной поддержки транспортным аппаратом Oxylog 1000.

В первые 60–90 минут продолжалась седация до согревания пациента, стабилизации показателей оксигенирующей функции лёгких, гемодинамических параметров и показателей гемостаза.

Лечение пациентов проводилось в соответствии со стандартными протоколами ведения кардиохирургических послеоперационных больных, и не отличалось в группах сравнения, за исключением режимов респираторной поддержки.

Согласно данным протоколам всем пациентам осуществлялась:

- антибиотикопрофилактика,
- оптимизация гемодинамических показателей - при необходимости коррекции явлений сердечной или сосудистой недостаточности использовался допамин, добутамин или норадrenalин, для коррекции гипертензии (среднее АД выше 100 мм рт. ст.) внутривенные формы альфа-блокаторов (эбрантил), кальциевых блокаторов (адалат) или раствор нитропруссиды натрия.
- инфузионно-трансфузионная терапия, для её проведения использовались – физиологический раствор NaCl 0,9%, сбалансированные растворы (Стерофундин, Плазмалит, Йоностерил), при необходимости коллоидные растворы на основе желатина (Гелофузин, Вbrown) или растворы альбумина с концентрацией 5% или 20%. Концентрация гемоглобина поддерживалась на уровне 9 г/дл или выше.
- профилактика развития тромбэмболических осложнений: антикоагулянтная и, при наличии показаний, дезагрегантная терапия через 12–16 часов после окончания оперативного вмешательства,
- профилактика развития острых язв желудка проводилась введением ингибиторов протонной помпы – омепразол или пантопразол,
- дыхательная терапия с использованием побудительных спирометров после прекращения респираторной поддержки,
- анальгезия у всех пациентов осуществлялась по протоколу мультимодальной анальгезии – комбинация нестероидных противовоспалительных средств и парацетамола с добавлением анальгетиков центрального действия (акупан (нефопам), трамадол),
- при клинической необходимости – высокий темп поступления отделяемого по дренажам, сопровождающийся нарушениями свёртывающей системы крови по данным коагулограммы или ротационной тромбоэластометрии - коррекция показателей гемостаза.

Всем пациентам после поступления в отделение интенсивной терапии проводился непрерывный мониторинг витальных функций, который включал в себя пульсоксиметрию, капнографию, шестиканальную ЭКГ, термометрию, инвазивное измерение артериального давления и центрального венозного давления, контроль темпа мочеотделения и темпа поступления отделяемого по дренажам.

### **2.3. Тактика респираторной поддержки в группах сравнения**

В группе применения традиционных режимов вентиляции осуществляли на респираторах Hamilton G-5 или C-2 фирмы Hamilton, Швейцария и на респираторах Servo-I фирмы Maquet.

Режимы Intellivent-ASV® и ASV применялись на аппарате Hamilton G-5 и C-2 (ASV). Выбор режима вентиляции осуществлялся при поступлении в ОРИТ методом конвертов.

В группе применения полностью автоматизированного режима Intellivent-ASV® при первичной настройке респиратора клиницистом устанавливалось:

- основная вводная – «идеальная масса тела» (указывался пол и рост пациента), на основании которой осуществлялась начальная минутная вентиляция лёгких, равная 100 мл/кг ПМТ в минуту у взрослых;

- разрешение на автоматическое управление респиратором минутной вентиляцией,  $FiO_2$  и уровнем РЕЕР;

- при необходимости изменялись границы целевых значений  $EtCO_2$  и  $SpO_2$ , допустимых изменений уровня РЕЕР и  $FiO_2$ .

- разрешение на автоматическое выполнение ТСД и его основные параметры – продолжительность (не менее 30 минут), длительность обсервационного периода максимальные границы РЕЕР, частоты дыханий, давлений поддержки.

После подключения пациента респираторная поддержка осуществлялась полностью в автоматизированном режиме. Изменялась при необходимости минутная вентиляция в соответствии со значениями  $EtCO_2$ , получаемыми с интегрированного в аппарат капнографа основного потока. Оптимальное соотношение частоты дыханий, уровень PS при инициированных пациентом вдохах или давление вдоха ( $P_i$ ) при принудительных вдохах, ДО рассчитывались микропроцессором аппарата и интерактивно менялись для уменьшения работы дыхания и снижения  $\Delta P$  с учетом состояния легочной биомеханики. Поддержание целевой  $SpO_2$  осуществлялось путем автоматической регулировки РЕЕР и  $FiO_2$  в соответствии с данными пульсоксиметрии.

При восстановлении респираторного драйва и нарастании собственной дыхательной активности пациента постепенно менялось соотношение числа принудительных и спонтанных вдохов. После полного восстановления собственной дыхательной активности пациента, после обсервационного периода (10–30 минут), длительность которого устанавливалась клиницистом при настройке режима, аппарат проводил тест на эффективность спонтанного дыхания.

Обсервационный период - время, когда пациент уже практически готов к выполнению ТСД и респиратором осуществляется оценка соответствия текущего респираторного статуса пациента к прекращению респираторной поддержки. Аппаратом учитывается текущая частота дыханий, уровень РЕЕР и  $FiO_2$ ,  $SpO_2$ , уровень PS, индекс Тобина. В случае неосложненного течения послеоперационного периода продолжительность обсервационного периода ставят 10–30 минут, но, если тяжесть состояния пациента требует удлинения обсервационного периода, то его продолжительность может быть вручную увеличена до 120 минут.

Аппаратный ТСД основан на оценке дыхания пациента в течение 30 минут с минимальной поддержкой вдохов давлением (5–6 см вод.ст., минимально возможных уровнях РЕЕР (5–8 см вод.ст.) и минимальной фракции кислорода, в случае отклонения каких-либо параметров за разрешенные границы ( $SpO_2$ ;  $EtCO_2$ ;  $FiO_2$ ; РЕЕР; ЧД, ДО), тест прекращается, продолжается респираторная поддержка.

В случае удачного прохождения теста пациентом аппарат оповещал медперсонал и ответственным врачом принималось решение о возможности экстубации трахеи.

В группе применения режима ASV при первичной настройке респиратора клиницист устанавливал:

- рост и пол пациента, на основании чего автоматически рассчитывается «идеальная масса тела»;

- целевое значение «замещения минутной вентиляции» (за 100% - принимается «физиологическая» минутная вентиляция, равная 100 мл/кг ПМТ в минуту у взрослых);

- РЕЕР и  $FiO_2$ , которые доктор устанавливал на основании переданных анестезиологом данных о периперационных показателях оксигенирующей функции лёгких.

Кроме того, клиницисты устанавливали предел максимального давления в дыхательных путях для профилактики баротравмы, ETS (expiratory trigger sensitivity - пороговое значение потока для переключения с вдоха на выдох), чувствительность триггера вдоха.

Во время наблюдения за особенностями проведения респираторной поддержки у пациентов в группе применения ASV было отмечено, что большинство врачей оставляет первоначальные настройки чувствительности триггера вдоха, пороговое значение потока для переключения с вдоха на выдох при вспомогательных режимах ETS, предела максимального давления и меняет, проводя респираторную поддержку только  $FiO_2$ , РЕЕР и процент замещения минутной вентиляции, увеличивая или уменьшая его в соответствии с вентиляционными потребностями пациента [Еременко А.А., 2020].

Когда пациент соответствовал критериям готовности к ТСД (восстановленный мышечный тонус, все вдохи инициированы пациентом, нормальные показатели оксигенации артериальной крови, отсутствие тахипноэ или брадипноэ, отсутствие жизнеугрожающих аритмий), устанавливался процент замещения вентиляции 25%, что фактически соответствовало аппаратному ТСД и по истечении 30–45 минут, в случае удачного прохождения теста пациентом, выполнялась экстубация трахеи.

В группе, где все решения принимались врачом, первоначальным режимом вентиляции был SIMV с вдохами, управляемыми либо по объёму (Volume Control), либо по давлению (Pressure Control).

В этой группе врач устанавливал:

- $F_iO_2$ , РЕЕР для обеспечения должной оксигенации артериальной крови,
- величину ДО при SIMV-VC или  $P_i$  при SIMV - PC для достижения целевого по мнению клинициста ДО,
- частоту дыханий для обеспечения необходимой минутной вентиляции, устанавливал вручную отношение длительности вдоха к выдоху.

При пробуждении и восстановлении мышечного тонуса пациента врачи редуцировали число принудительных вдохов, при необходимости увеличивали или уменьшали величину ДО, давление поддержки спонтанных вдохов. После окончательного восстановления респираторного драйва и мышечного тонуса у пациента, респираторная поддержка до выполнения экстубации трахеи осуществлялась в режиме поддержки давлением (Pressure Support Ventilation).

Выбор параметров вентиляции, принятие решения об экстубации трахеи во всех группах целиком лежал на дежурном враче, ведущем пациента. В ходе проведения исследования было задействовано 8 врачей анестезиологов-реаниматологов со стажем работы на начало исследования не менее 5–8 лет, каждый из них участвовал в отлучении четырёх – пяти пациентов в каждой из групп.

Все действия врачей были документированы во внутреннем протоколе отделения наблюдения за пациентами, которым проводится респираторная поддержка.

Данный протокол заполняется врачом, ответственным за мониторинг, на каждого пациента, поступающего в ОРИТ на вентиляции лёгких.

Во время внедрения новых технологий респираторной поддержки, существующие протоколы были дополнены и адаптированы к новым режимам.

Параметры, регистрировавшиеся во время наблюдения за пациентами:

- 1) Связанные непосредственно с настройками вентилятора:
  - изменения режимов ИВЛ и ВВЛ (изменение частоты принудительных и спонтанных вдохов), частота коррекции параметров,
  - необходимость выполнения манёвра рекрутирования альвеол,
  - величина дыхательного объёма, уровень поддержки давлением, driving pressure, уровень положительного давления в конце выдоха и содержание кислорода во вдыхаемой смеси.
- 2) Связанные с присутствием врача рядом с респиратором:
  - количество подходов к респиратору, количество изменённых параметров,
  - суммарное время, потраченное на настройки респиратора,
  - изменения в настройках в случае развития апноэ или брадипноэ.
- 3) Связанные с длительностью проводимой респираторной поддержки:
  - длительность респираторной поддержки в ОРИТ (время от поступления до выполнения экстубации трахеи),

- время искусственной и вспомогательной (без принудительных вдохов) вентиляции,
- время от пробуждения до перевода на самостоятельное дыхание,
- время от восстановления собственной дыхательной активности до перевода на ВВЛ.

Анализ газового состава и кислотно-щелочного состояния артериальной крови осуществляли во время фазы искусственной вентиляции лёгких, через 30 минут после перевода на вспомогательную вентиляцию и за 15 минут до экстубации трахеи на анализаторе газов и электролитов крови (аппарат Gem Premier 4000 (Instrumentation Laboratory, США)).

У всех пациентов готовность к экстубации трахеи оценивали в соответствии с критериями внутреннего протокола отделения, основанного на международном протоколе «Evidence - based guidelines for weaning and discontinuation of ventilator support» [MacIntyre N.R. et al., 2001]:

- восстановление ясного сознания, отсутствие выраженной ажитации (RASS $\leq$ 1), готовность к содружественной работе с персоналом,
- FiO<sub>2</sub> меньше 40%, коэффициент PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> больше 200, PEEP  $\leq$  7 cm H<sub>2</sub>O,
- стабильная гемодинамика,
- 35 < p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> < 45 mmHg,
- температура тела выше 36°C.

В случае соответствия состояния пациента вышеуказанным критериям, ответственный дежурный врач оценивал готовность пациента к переводу на самостоятельное дыхание, после чего выполнялась экстубация трахеи.

После перевода пациентов на самостоятельное дыхание на фоне дыхания палатным воздухом (FiO<sub>2</sub>~21%) оценивали показатели артериального газообмена (SpO<sub>2</sub>; p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>; p<sub>a</sub>O<sub>2</sub>) через 30 минут и через 12 часов после экстубации трахеи.

Критериями для перевода пациента из ОРИТ в профильное кардиохирургическое отделение являлись следующие показатели: ясное сознание, SpO<sub>2</sub> > 93% при FiO<sub>2</sub> < 0,5, отсутствие потребности в кардиотонической и вазопрессорной поддержке, отсутствие признаков ишемии миокарда по ЭКГ, отсутствие желудочковой аритмии, темп поступления отделяемого по дренажам < 50 мл/час, темп мочеотделения > 0,5мл/кг/час [Goepfert M. S. et al., 2007].

Выписка пациентов из стационара осуществлялась при соблюдении следующих критериев: стабильная гемодинамика, скомпенсированная функция дыхания и мочевыделения, способность к самообслуживанию, отсутствие гипертермии и явных признаков инфекции, переносимость физической нагрузки. Врач, занимающийся выпиской пациентов из ОРИТ и стационара, не был осведомлён относительно включения в группы исследования.

Для оценки безопасности проводимой респираторной поддержки автором работы проанализированы:

- величина ДО к ПМТ (идеальному весу);

- движущее («вентиляционное») давление ( $\Delta P$ );
- значение используемого  $FiO_2$ ;
- уровень PEEP;
- расчётная величина MP посредством упрощенных уравнений [Becher T. et al., 2019; Silva P.L. et al., 2020].

Достоверных критериев оценки нагрузки на медицинский персонал при проведении респираторной поддержки на настоящий момент не описано, поэтому в данной работе для оценки нагрузки учитывали частоту подходов доктора к респиратору, необходимость коррекции параметров, длительность присутствия клинициста около респиратора во время проведения респираторной поддержки.

Источниками получения данных для анализа являлись вышеописанные протоколы проведения респираторной поддержки, данные электронных карт анестезии, протоколы передачи пациентов после операции в ОРИТ, данные историй болезни пациентов.

Для проведения анкетирования о распространённости применения интеллектуальных технологий респираторной поддержки автором настоящей работы была организована электронная рассылка 500 анкет в отделения интенсивной терапии, расположенные, преимущественно, в регионах РФ (от Калининграда до Хабаровска). Помимо этого, в рамках лекционных циклов и конференций по интенсивной терапии, проводимых в городах Москва, Рязань, Тверь, Ставрополь, Волгоград, Калининград, было выдано 250 бумажных анкет. Участие в анкетировании было добровольным и анонимным, повторное участие одного и того же респондента было исключено. К участию в анкетировании приглашались лица с высшим медицинским образованием, закончившие ординатуру или интернатуру по специальности «Анестезиология и реаниматология» и работающие по этой специальности в Российской Федерации.

Анкета (представлена к ознакомлению в Приложении А, страница 93) была создана с учетом рекомендаций по дизайну и конструированию анкет для сбора информации среди сотрудников сферы здравоохранения и пациентов [Nikmet N., 2003] и состояла из 9 вопросов, на часть из которых можно было предоставить открытые ответы в свободной форме, чтобы участники могли более подробно осветить свои взгляды, наблюдения и предложения на данную тему.

Полностью на все вопросы анкеты ответили 248 человек. Анкеты, заполненные не полностью - 52 и имеющие явные логические несоответствия (3), не учитывались при анализе данных. К окончательной обработке и учету данных было принято 128 электронных и 120 бумажных анкет (подробная схема рассылки анкеты приведена в приложении Б, страница 95).

## 2.4. Статистический анализ данных

На основании проанализированных протоколов наблюдения за пациентами в раннем послеоперационном периоде сформировали базу данных в виде электронной таблицы Microsoft Office Excel 2016 (разработчик Microsoft). Статистический анализ проводился с использованием программы STATISTICA 10.0 (разработчик - StatSoft.Inc (Dell)).

Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению, используя критерий Шапиро-Уилка. Для нормально распределённых количественных показателей рассчитывали среднее значение (M) с указанием 95% доверительного интервала и стандартное отклонение (SD). Количественные показатели, распределение которых отличалось от нормального, описывали при помощи медианы (Me) и интерквартильной широты (25 и 75 перцентилей).

Качественные переменные представлены в виде абсолютных значений и процентного соотношения.

Для нормально распределённых показателей статистическую значимость различий между группами оценивали на основании дисперсионного анализа (расчет критерия F с поправкой на множественные сравнения Бонферрони). При сравнении нескольких выборок количественных данных, имеющих распределение, отличное от нормального, использовался критерий Краскела-Уоллиса.

Сравнение номинальных данных проводилось при помощи критерия  $\chi^2$  Пирсона и точного критерия Фишера.

Различия считали статистически значимыми при значении p-value менее 0,05.

На втором этапе исследования, когда сравнивались две группы для нормального распределения использовался t – критерий Стьюдента, для отличного от нормального -анализ Манна – Уитни. Различия считали значимыми при p меньшем 0,05.

Данные электронных анкет были собраны через онлайн-приложение Google Forms и вместе с данными бумажных анкет перенесены вручную в Microsoft Office Excel 2016, где осуществлялось накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов.

Описательные характеристики при проведении анкетирования были выражены в виде частот и процентов, ответы на открытые вопросы были сгруппированы по темам по основным качественным параметрам.



## Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1. Сравнение применения интеллектуальных режимов респираторной поддержки и традиционного подхода после неосложненных кардиохирургических операций

Данная часть работы была посвящена изучению особенностей применения полностью автоматизированного управления респираторной поддержкой (режим Intellivent – ASV<sup>®</sup>), полуавтоматического управления (режим ASV) и подхода с использованием традиционных режимов и, соответственно, активным участием врача в её проведении у пациентов после неосложнённых кардиохирургических вмешательств (характеристика пациентов, виды вмешательств представлены в Таблице 1, страница 39).

В проведенном исследовании по всем параметрам, по которым оценивалась безопасность проводимой респираторной поддержки (величины ДО, ΔP, FiO<sub>2</sub>, уровень РЕЕР) были получены статистически значимые различия между группами (Таблица 3, страница 53).

Величина ДО при проведении принудительной вентиляции во время использования режима Intellivent-ASV<sup>®</sup> была ниже на 15% (Рисунок 1), а во время периода вентиляции без навязанных вдохов величины ДО были равнозначны во всех трех группах сравнения, но при более низкой величине PS в группах применения интеллектуальных режимов (Intellivent-ASV<sup>®</sup> и ASV)

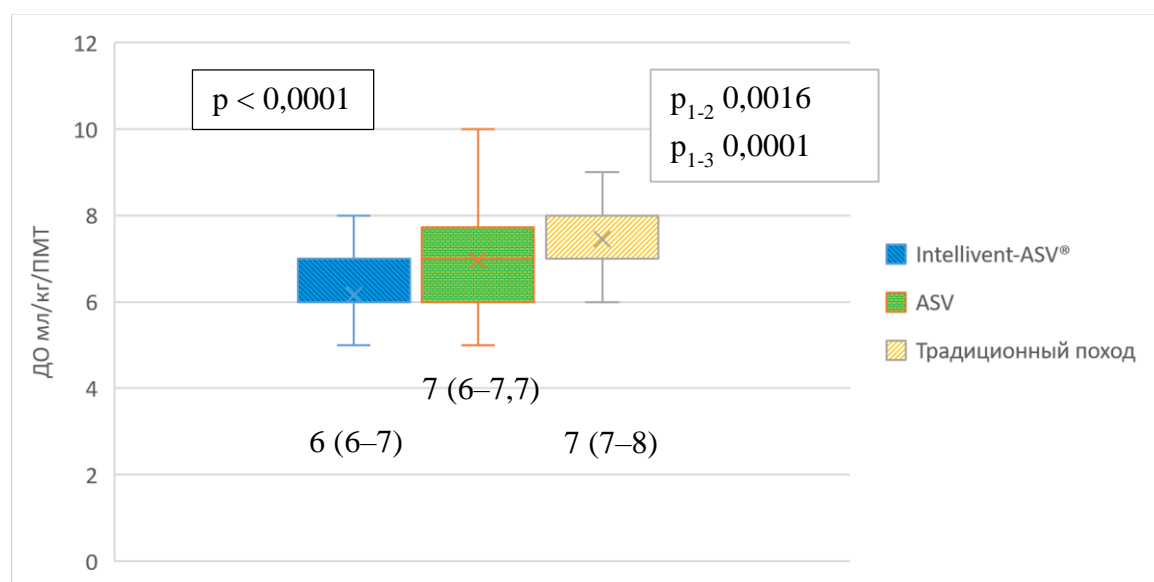


Рисунок 1 – Дыхательный объём при проведении ИВЛ

В группах применения интеллектуальных режимов был статистически значимо ниже уровень движущего давления (ΔP) во время механической вентиляции (на 20%) (Рисунок 2) и уровень используемого PS (на 30%) при проведении вспомогательной. Значимых различий по

величине  $\Delta P$  и PS между группами, где использовались интеллектуальные режимы получено не было.

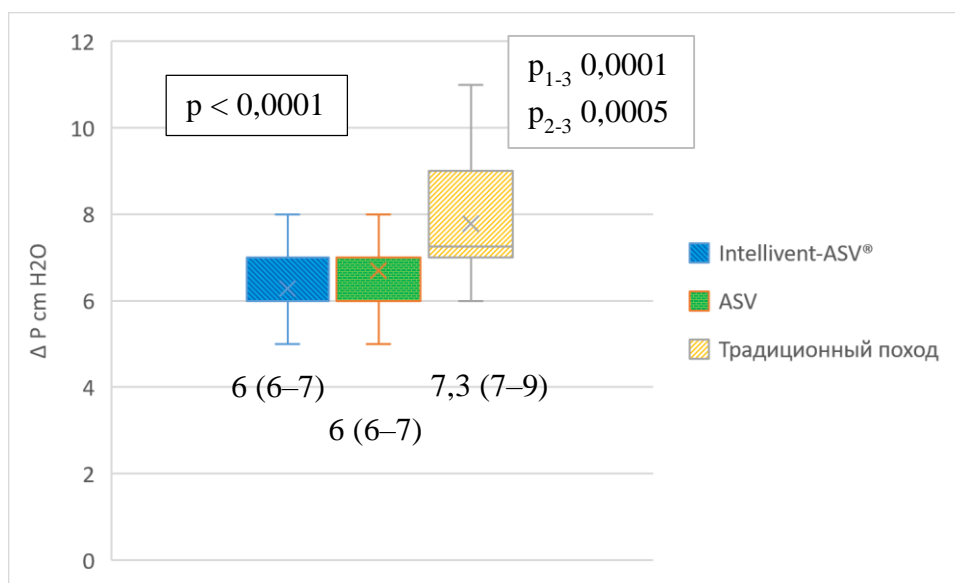


Рисунок 2 – Движущее давление ( $\Delta P$ ) при проведении ИВЛ

Уровень используемого  $FiO_2$  и PEEP во все фазы респираторной поддержки был ниже в группе применения Intellivent-ASV, в группах, где  $FiO_2$  и PEEP устанавливался клиницистами (ASV и группа традиционных режимов), статистически значимых различий по данным показателям получено не было.

При этом различий по величине Mechanical Power при проведении принудительной вентиляции между группами получено не было. Полученные результаты по данному интегральному показателю у большинства пациентов во всех группах вполне укладывались в безопасные рамки для пациентов без повреждения лёгких.

Как оговаривалось выше, учитывая, что достоверных критериев оценки нагрузки на персонал нет, в проведенном исследовании учитывали количество подходов клинициста к респиратору, время, проведенное доктором у респиратора, количество вносимых ручных изменений в настройки режима респираторной поддержки.

Согласно полученным в ходе исследования данным, по мере роста вовлечённости искусственного интеллекта в управление респираторной поддержкой (от врачебного управления к режимам ASV и Intellivent – ASV®) прогрессивно уменьшалась степень участия врача в её проведении.

Время, затраченное клиницистами на проведение вентиляции в группе Intellivent – ASV® было практически в три раза меньше нежели в группе ASV и в четыре раза меньше, чем в группе традиционных режимов (Таблица 3).

При применении Intellivent – ASV® фактически не требовалась ручная коррекция параметров, в группе применения ASV по сравнению с врачом управлением параметры корректировались в два раза реже (Таблица 3).

Анализ полученных данных, показал (Рисунок 3), что в группах сравнения статистически значимо различалось время от поступления пациента в ОРИТ до перевода на самостоятельное дыхание ( $p = 0,0042$ ).

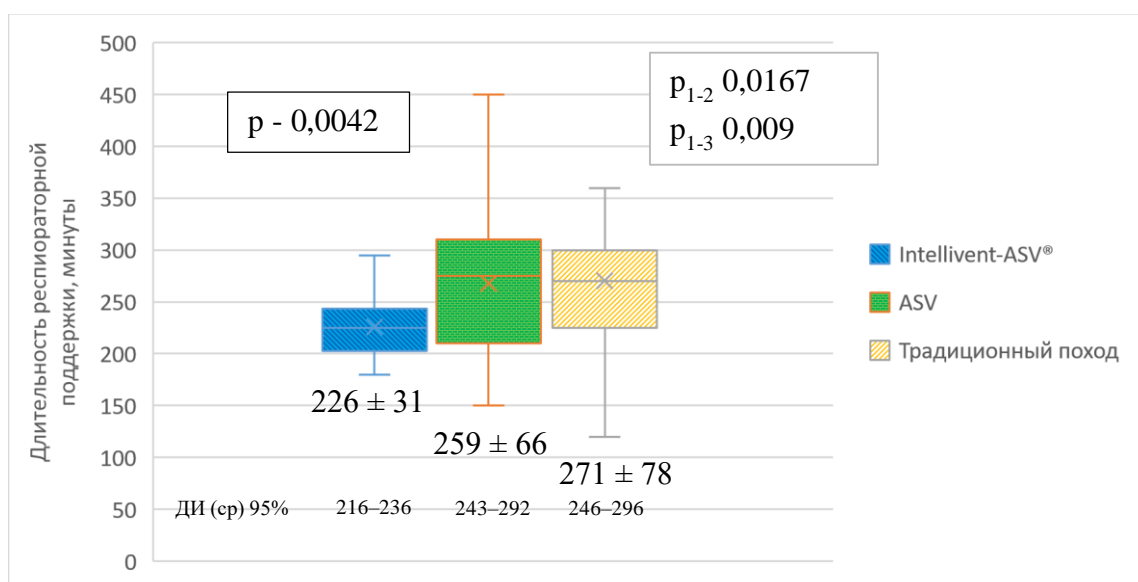


Рисунок 3 – Длительность респираторной поддержки в ОРИТ

В группе полностью автоматического управления параметрами прекращение респираторной поддержки и экстубация трахеи осуществлялась, в целом, на 15 % быстрее, нежели в двух других группах.

Также было отмечено, что при меньшей общей длительности вентиляции, период вспомогательной вентиляции с полным отсутствием принудительных вдохов был дольше в группе применения Intellivent-ASV®: 90 (75–103) ( $p = 0,0462$ ) против 80 (60–110) (ASV) и 60 (60–105) минут в группе традиционных режимов ( $p_{1-3} = 0,0162$ ). При сравнении группы врачского изменения параметров и полуавтоматического управления различий не получено ни по общей продолжительности респираторной поддержки в ОРИТ, ни по продолжительности периода вентиляции с отсутствием навязанных вдохов.

В группах применения интеллектуальных режимов при восстановлении удовлетворительного респираторного драйва аппарат быстро редуцировал число навязанных вдохов, фактически переводил пациента во вспомогательный режим и к пробуждению, как правило, все вдохи уже были спонтанными ( $p < 0,0001$ ).

В группе же врачебного контроля за проведением вентиляции от восстановления собственной дыхательной активности до снижения клиницистом числа аппаратных вдохов или перевода в режим PSV проходило порядка 39 (25–46) минут ( $p_{1-3} < 0,0001$ ;  $p_{2-3} < 0,0001$ ), а пробуждение пациента и восстановление дыхательной активности не всегда совпадало с переводом аппарата в более щадящие режимы и этот период в среднем составил 30 (0-60) мин ( $p_{1-3} < 0,0001$ ;  $p_{2-3} = 0,0087$ ).

Возможно именно с этим фактом связано то, что в группе, управляемой врачами чаще отмечались такие нежелательные явления, как беспокойство при пробуждении (RASS + 1+2), что сопровождалось тахикардией, постукиваниями по кровати, развитием эпизодов тахипноэ. В группе Intellivent – ASV подобные эпизоды наблюдалась у пяти пациентов из 40 (12,5%), в группе ASV у 4 из 40 (10%), в то время как в контрольной группе - у 9 из 40 (22,5%), однако эти различия были статистически незначимы.

При развитии брадипноэ (менее пяти дыханий в минуту) во время перевода на самостоятельное дыхание на фоне Intellivent – ASV (20 (50%) пациентов) и на ASV (12(30%) пациентов) автоматически включались принудительные вдохи, и механическая респираторная поддержка продолжалась вплоть до клинической возможности вновь минимизировать аппаратные дыхания. При этом стоит отметить, что механическая респираторная поддержка продолжалась с исходно заданными целевыми значениями минутной вентиляции, что практически не вызывало никакого дискомфорта для пациента.

В группе применения традиционных режимов эпизоды брадипноэ или апноэ были зафиксированы у 15 (37,5%) пациентов, при этом включалась резервная вентиляция с определенным количеством навязанных вдохов в режиме по давлению (полная ИВЛ), что влекло за собой необходимость коррекции режима вентиляции врачом, а в некоторых случаях к асинхрониям между пациентом и респиратором. Статистически значимых различий между группами по данным эпизодам (развитие апноэ или брадипноэ) не обнаружено ( $p = 0,213$ ).

При этом, важно подчеркнуть, что в группах применения интеллектуальных технологий аппаратные вдохи по возобновлению дыхательной активности пациента редуцировались автоматически, а в группе врачебного протокола необходимость снижения уровня респираторной поддержки вновь влекла за собой необходимость вмешательства клинициста.

**Таблица 3 - Особенности проведения респираторной поддержки, её временных этапов и особенности наблюдения за пациентами при использовании трёх различных подходов к проведению респираторной поддержки**

Параметр	Группа применения Intellivent - ASV® (n=40)	Группа применения ASV (n=40)	Группа врачебного управления (n=40)	p
Количество подходов врача к респиратору, n	2 (1–2)	3 (2–4)	4 (3–5)	<0,0001 p <sub>1-2</sub> = 0,0001 p <sub>1-3</sub> < 0,0001 p <sub>2-3</sub> = 0,0112
Манипуляции доктора с параметрами вентиляции, n	0 (0–0)	2 (2–3)	4 (3–5)	<0,0001 p <sub>1-2</sub> < 0,0001 p <sub>1-3</sub> < 0,0001 p <sub>2-3</sub> = 0,0003
Время, проведённое клиницистом около респиратора, секунды	35 (27–45)	99 ± 35	164 ± 69	<0,0001 p <sub>1-2</sub> < 0,0001 p <sub>1-3</sub> < 0,0001 p <sub>2-3</sub> = 0,0045
<b>Показатели во время проведения механической вентиляции (с навязанными вдохами)</b>				
p <sub>a</sub> O <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	358 (330–380)	373 ± 64	372 ± 50	0,3038
SpO <sub>2</sub> , %	98 (97–99)	100 (99–100)	99 (99–100)	<0,0001 p <sub>1-2</sub> < 0,0001 p <sub>1-3</sub> = 0,0001
FiO <sub>2</sub> , %	26 (24–30)	34 (30–35)	34 (30–38)	<0,0001 p <sub>1-2</sub> < 0,0001 p <sub>1-3</sub> < 0,0001
p <sub>a</sub> O <sub>2</sub> , мм рт.ст.	95 (85–104)	123 (109–133)	125 (107–140)	<0,0001 p <sub>1-2</sub> < 0,0001 p <sub>1-3</sub> < 0,0001
p <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> , мм рт.ст.	42 (40–44)	39 (37–42)	38 (37–41)	0,0002 p <sub>1-2</sub> = 0,005 p <sub>1-3</sub> = 0,0003
EtCO <sub>2</sub> , мм рт.ст.	39 ± 3	37 (35–40)	36 ( 35–38 )	0,0043 p <sub>1-3</sub> = 0,0038
pH	7,39 ± 0,04	7,4 ± 0,04	7,41 ± 0,04	0,0469
PEEP, см вод.ст.	5 (5–7)	8 (7–10)	7 (6–9)	<0,0001 p <sub>1-2</sub> = 0,0001 p <sub>1-3</sub> = 0,0004
Mechanical power, Дж/мин	8 (6–9)	8 (6–9)	9 (7–11)	0,0797
Длительность периода механической вентиляции, мин	132 ± 36	169 ± 68	189 ± 71	0,0002 p <sub>1-2</sub> = 0,0012 p <sub>1-3</sub> = 0,0002
ДИ (cp) 95%	121–144	150–195	166–212	
<b>Показатели в группах применения Intellivent-ASV и ASV во время периода с полным отсутствием принудительных вдохов, а в контрольной группе в режиме PSV</b>				
p <sub>a</sub> O <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> ДИ (cp) 95%	371 ± 45 356–385	364 ± 62 344–383	385 ± 49 369–400	0,19

Прирост индекса $p_aO_2/FiO_2$ с момента поступления	34 (85%)	29 (72,5%)	27 (67,5%)	0,147
$SpO_2$ , %	98 (97–98)	99 (99–100)	99 (98–100)	<0,0001 $p_{1-2} < 0,0001$ $p_{1-3} = 0,0001$
$FiO_2$ , %	$26 \pm 4$	31 (30–35)	30 (30–36)	<0,0001 $p_{1-2} < 0,0001$ $p_{1-3} < 0,0001$
$p_aO_2$ , мм рт.ст.	91 (84–104)	115 (105–130)	120 (109–137)	<0,0001 $p_{1-2} = 0,0001$ $p_{1-3} < 0,0001$
$p_aCO_2$ , мм рт.ст.	$40 \pm 2$	38 (37–41)	38 (36–40)	0,0553
$EtCO_2$ , мм рт.ст.	$37 \pm 2$	36 (35–39)	36 (34–38)	0,4397
pH	$7,39 \pm 0,03$	$7,4 \pm 0,04$	$7,4 \pm 0,03$	0,406
Дыхательный объём, мл/кг/ПМТ	8 (7–8)	7,5 (7–8)	8 (7–9)	0,0573
PS, см вод.ст.	5 (5–5)	5 (5–7)	8 (7–9)	<0,0001 $p_{1-3} < 0,0001$ $p_{2-3} < 0,0001$
PEEP, см вод.ст.	5 (5–5)	7 (5–8)	7 (5–8)	<0,0001 $p_{1-2} < 0,0001$ $p_{1-3} < 0,0001$
Длительность вентиляции без принудительных вдохов, мин	90 (75–103)	80 (60–110)	60 (60–105)	0,0462 $p_{1-3} = 0,0162$
Время от пробуждения до перевода на вспомогательную вентиляцию в мин	0 (0–0)	0 (0–12)	30 (0–60)	<0,0001 $p_{1-3} < 0,0001$ $p_{2-3} = 0,0087$

Данные представлены как Me [25-75] или как среднее  $\pm$  стандартное отклонение  
 - ДИ (ср) 95% - доверительный 95% интервал средних значений

Во время проведения респираторной поддержки нами было отмечено, что величина  $p_aO_2$ , показатель  $SpO_2$  были статистически значимо ниже в группе Intellivent-ASV<sup>®</sup> ( $p_aO_2$  ниже в среднем на 20-23%), но они были абсолютно физиологичны и не было статистически значимых различий по величине индекса Хоровица во всех группах: ни во время проведения вентиляции, ни после перевода на самостоятельное дыхание, ни через 12 часов после экстубации трахеи (см. таблицы 3; 4).

Так же не было получено значимых различий между группами по приросту индекса Хоровица, у большинства пациентов в каждой из групп данный индекс с момента поступления в ОРИТ повысился (таблица 3).

Интересным представляется тот факт, что в группах, где управление уровнем РЕЕР и величиной  $\text{FiO}_2$  осуществлялось врачами, полученные значения  $\text{p}_a\text{O}_2$ ,  $\text{FiO}_2$  практически идентичны.

Несмотря на полученные статистически значимые различия по величинам  $\text{EtCO}_2$  и  $\text{p}_a\text{CO}_2$ , во всех группах показатели оставались в пределах физиологических значений (Таблицы 3 и 4).

**Таблица 4 - Основные показатели респираторного мониторинга после экстубации трахеи**

	Показатель	Группа Intellivent - ASV® (n=40)	Группа ASV (n=40)	Группа врачебного управления (n=40)	p
30 минут после экстубации трахеи	$\text{SpO}_2$	94 (93–95)	$94 \pm 2$	$94 \pm 2$	0,1614
	$\text{p}_a\text{O}_2/\text{FiO}_2$	335 (321–345)	317 (300–352)	337 (302–365)	0,3071
	$\text{p}_a\text{CO}_2$	39 (38–41)	39 (36–41)	38 (37–41)	0,3400
12 часов после экстубации трахеи	$\text{SpO}_2$	95 (94–96)	95 (93–95)	94,5 (93–96)	0,0489
	$\text{p}_a\text{O}_2/\text{FiO}_2$	347 (335–361)	338 (302–397)	332 (300–369)	0,2725
	$\text{p}_a\text{CO}_2$	$39 \pm 2$	39 (38–41)	39 (38–41)	0,7742

Данные представлены как Me [25–75] или как среднее  $\pm$  стандартное отклонение

Возобновление инвазивной респираторной поддержки и реинтубация трахеи у обследованных пациентов не понадобилась.

Четырем пациентам потребовалось проведение неинвазивной масочной вентиляции лёгких (НМВЛ) в первые 8 часов после перевода на самостоятельное дыхание (двоим в группе Intelliventa - ASV® (одному в связи со сниженными показателями  $\text{SpO}_2$  и  $\text{p}_a\text{O}_2$  при дыхании воздухом, одному в связи с высокими значениями  $\text{p}_a\text{CO}_2$ ), и по одному в группах применения ASV (в связи с высокими значениями  $\text{p}_a\text{CO}_2$ ) и традиционных режимов (в связи со сниженными показателями  $\text{SpO}_2$  и  $\text{p}_a\text{O}_2$  при дыхании воздухом)).

Летальных исходов у пациентов из групп сравнения не было.

Течение послеоперационного периода существенно не отличалось после прекращения респираторной поддержки, не было отличий по длительности госпитализации в ОРИТ, частоте развития осложнений (Таблица 5).

**Таблица 5 - Наблюдение за пациентами после перевода на самостоятельное дыхание**

Параметр	Intellivent - ASV®	ASV	Группа врачебного управления	p
Необходимость НМВЛ в первые 12 часов после экстубации трахеи, n (%)	2 (5%)	1 (2,5%)	1 (2,5%)	0,727
Длительность госпитализации в ОРИТ, сутки	1(1–1)	1(1–1)	1(1–1)	0,5908
Ателектазы по данным рентгенографии грудной клетки после экстубации трахеи, n (%)	2 (5%)	3 (7,5 %)	2 (5%)	0,859
Делирий после перевода из ОРИТ, n (%)	0	0	1 (2,5%)	0,365
Кровотечение и рестернотомия после перевода из ОРИТ, n (%)	1 (2,5%)	0	1 (2,5%)	0,359
Диастаз грудины, n (%)	0	1 (2,5%)	1 (2,5%)	0,359
Инфекционные осложнения области хирургического вмешательства, n (%)	1 (2,5%)	1 (2,5%)	2 (5%)	0,772
Длительность госпитализации от операции до выписки из стационара, дни	7 (7–8)	8 (7–10)	8 (8–10)	0,0411

Данные представлены как Me [25-75] или n (%)

### 3.2. Обсуждение результатов, полученных при сравнении применения интеллектуальных режимов и традиционного подхода

Интеллектуальные режимы относятся к автономным роботическим и полуроботическим технологиям, функционирующим в полностью замкнутом цикле, когда на основе данных пульсоксиметрии, капнографии и механики дыхания респиратор автоматически подбирает оптимальные параметры вентиляции для достижения целевых показателей газообмена, по мере стабилизации состояния пациента осуществляет перевод от полной искусственной вентиляции легких через вспомогательные режимы к самостоятельному дыханию, без участия медицинского персонала, который выполняет функции наблюдения и контроля, а в случае полуроботической технологии респиратор выбирает наиболее подходящий и безопасный паттерн респираторной



поддержки для каждого конкретного больного. Таким образом, становится значительно проще персонализировать проводимую респираторную поддержку без неустанный контроля клинициста.

Нами проведено сравнение данных технологий и традиционных режимов, когда вся забота о качестве респираторной поддержки и «комфорте» пациента осуществлялась дежурным врачом.

Проанализировав данные, мы пришли к выводу, что применение интеллектуальных режимов позволяет значительно снизить нагрузку на персонал, повысить безопасность послеоперационной вентиляции лёгких.

Это достигается за счёт уменьшения количества подходов врачей к респиратору, снижения времени, затраченного на внесение изменений в проводимую респираторную поддержку, снижения величины дыхательного объёма,  $\Delta P$ ,  $FiO_2$ .

В группе автоматического регулирования параметров, изменение показателей происходило от вдоха к выдоху, «подстраивая» респиратор под нужды пациента без участия врача, но соблюдая основные принципы современной вентиляции лёгких – безопасность для пациента, минимизация работы дыхания пациента, своевременный перевод на вспомогательные режимы.

Описанный подход хорошо коррелирует с последними тенденциями в области респираторной медицины о тщательном титровании вентиляционных параметров на основе меняющихся биомеханических свойств дыхательной системы пациента [Pelosi P. et al., 2021].

Результаты нашего исследования в целом сопоставимы с результатами исследований, проведенных у кардиохирургических пациентов после неосложнённых вмешательств: в группе Intellivent-ASV® реже требовалось участие персонала в управлении работой аппарата и смена параметров вентиляции, респиратор подбирал оптимальные параметры для проведения протективной респираторной поддержки [Beijers A.J. et al., 2014; Fot E. et al., 2017; Lellouche F. et al., 2013].

В группе ASV участие персонала требовалось чаще, чем в группе полностью автоматического режима, однако и время, проведенное у респиратора и частота коррекции настроек всё равно было статистически значимо ниже, нежели в группе полностью врачебного управления.

Мы получили статистически значимые различия по длительности вентиляции лёгких, использование полностью автоматического режима (Intellivent-ASV®) позволило сократить время респираторной поддержки и уменьшить время полностью принудительной вентиляции лёгких.

В отличие от наших результатов, в работах A.J. Beijers и E.Fot длительность аппаратной поддержки в группах сравнения (в этих исследованиях сравнивали Intellivent-ASV® и

традиционные режимы) не отличалась, что можно объяснить разницей в локальных протоколах проведения ИВЛ.

При этом в случае использования полуавтоматической технологии мы отметили, что время респираторной поддержки при сравнении с зарубежными исследователями (страны Европы, Юго-Восточной Азии) в группе ASV практически не отличается, в то время как за рубежом длительность вентиляции в группе традиционных режимов дольше, что опять-таки можно объяснить разницей локальных протоколов. [Gruber P.C. et al., 2008; Sulzer C.F. et al., 2001; Zhu F. et al., 2015, Moradian S.T. et al., 2017; Ерёменко А.А. и соавт., 2020]

Период вспомогательной вентиляции с полным отсутствием принудительных вдохов был статистически значимо дольше в группе применения Intellivent-ASV<sup>®</sup>. Это соответствует современным рекомендациям, согласно которым большинству пациентов, нуждающимся в респираторной поддержке, рекомендованы режимы вспомогательной вентиляции (без аппаратных вдохов, параметры которых заданы врачом), так как это способствует лучшему расправлению базальных отделов легких, предотвращению атрофии дыхательной мускулатуры, более равномерному распределению газа, сокращению длительности респираторной поддержки и частоты развития вентилятор-ассоциированной пневмонии [Putensen C. et al., 2006]. Во время периода спонтанного (без принудительных вдохов) дыхания дорсальная мышечная часть диафрагмы двигается более активно по сравнению с сухожильной частью, способствуя тем самым улучшению аэрации в зависимых участках легких и предотвращая формирование ателектазов [Valerman D. et al., 2008]. В связи с вышеописанным, очень важным является поддержание паттерна спонтанного дыхания в послеоперационном периоде как после кардиохирургических, так и абдоминальных оперативных вмешательств.

Также не следует забывать и про вентилятор - индуцированную дисфункцию диафрагмы, ведь стремление к максимальному сохранению спонтанной дыхательной активности имеет решающее значение в рамках предотвращения развития диафрагмальной дисфункции. Даже кратковременное использование принудительных режимов ИВЛ может приводить к быстрому развитию атрофии и дистрофии дыхательной мускулатуры [Goligher E.C., et al., 2020]. В экспериментальной работе на животных было показано, что при проведении ИВЛ в режиме CMV в течение 72 часов развивается атрофия диафрагмы (по данным биопсии), чего не происходит при проведении ИВЛ в режиме ASV [Jung B. et al., 2010].

Уровень поддержки давлением (PS) во время проведения вспомогательной вентиляции был статистически значимо ниже при применении интеллектуальных технологий, а современные исследования показывают, что снижение давления поддержки при применении режима PSV необходимо для улучшения биомеханических свойств респираторной системы, для снижения

избыточной работы вентилятора и предотвращения развития вентилятор-индуцированной атрофии диафрагмы [Jaber S. et al., 2011; Goligher E.C., et al., 2020].

Режим Intelivent - ASV<sup>®</sup> обеспечивал наиболее протективную вентиляцию легких, о чем свидетельствуют значимые различия по величине дыхательного объема и  $\Delta P$  во время проведения механической вентиляции лёгких, что может быть связано с установкой наиболее современного программного обеспечения ASV 1.1, при этом следует отметить, что статистически значимые различия по  $\Delta P$  получены только между интеллектуальными режимами и традиционным подходом, различий по этому показателю между интеллектуальными режимами нет.

Говоря о дыхательном объеме следует подчеркнуть, что даже в группе традиционного подхода его медиана составила 7 (7–8) мл/кг/ПМТ, что соответствует современным национальным и зарубежным рекомендациям, но, к сожалению, далеко не всегда выполняется на практике. Согласно исследованию «РуВент» реальный дыхательный объем из расчета на ПМТ, составил для лиц мужского пола 8,13 (6,84–9,35) мл/кг ПМТ, для женского - 9,1 (7,6–10,9) мл/кг ПМТ [Ярошецкий А.И., 2018].

Кроме того, в случае применения режима Intellivent – ASV<sup>®</sup> отмечено использование меньших значений  $FiO_2$  и PEEP во все фазы респираторной поддержки, а экспертами признаётся важным достижением возможность работы при более низких величинах  $FiO_2$ . Ввиду того, что нет никаких доказательств пользы гипероксемии в подавляющем большинстве клинических ситуаций [Barbateskovic M. et al., 2021], а есть все больше доказательств вреда от чрезмерного использования кислорода [Driscoll B.R. et al., 2019], и предотвращение гипероксии является одной из целей протективной вентиляции, а негативные стороны гипероксии (увеличение количества абсорбционных ателектазов, лёгочного повреждения) на настоящий момент хорошо показаны во многих работах [Pannu S.R. et al., 2016; Panvar R. et al., 2016].

Как показано выше, значимых различий по уровню PEEP и  $FiO_2$  в группах, где данные параметры устанавливались вручную (группа традиционного подхода и полуавтоматического режима ASV), получено не было, как не было получено и статистически значимых различий по индексу Хоровица во всех трёх группах. Показатели  $SpO_2$  и  $paO_2$  были незначительно ниже в группе применения Intellivent-ASV<sup>®</sup> (Таблица 3, страница 54), но оставались в абсолютно безопасных («физиологичных») пределах, что свидетельствует о том, что врачами чаще подсознательно устанавливается несколько завышенное значение  $FiO_2$  и PEEP, нежели необходимо пациенту, как отмечалось в предыдущем разделе значения  $paO_2$ ,  $FiO_2$  практически идентичны в этих группах, как во время периода принудительной вентиляции, так и при отсутствии навязанных вдохов.

В нашем исследовании мы не получили отличий по длительности госпитализации в ОРИТ, частоте развития послеоперационных лёгочных осложнений, в зависимости от применяемого режима, что коррелирует с уже известными данными [Li X.F. et al., 2022]. В исследовании, выполненном под руководством X.F. Li показано, что частота развития послеоперационных лёгочных осложнений не отличалась при использовании режимов PCV; VCV и Pressure Regulated Volume Control (PRVC) [Li X.F. et al., 2022].

Также, положительной стороной использования интеллектуальных режимов кроме снижения нагрузки на персонал, персонализации и повышения безопасности проводимой респираторной поддержки, является возможность лучшего освоения современных принципов протективной вентиляции легких, и последующего применения полученных навыков на практике. Нами было отмечено, что после начала применения интеллектуальных технологий нашими коллегами значительно чаще в рутинной практике устанавливаются более низкие значения давлений в фазы вдоха и выдоха, меньшие величины ДО и FiO<sub>2</sub>, активнее и раньше осуществляется перевод на спонтанные режимы пациентов, находящихся на «традиционных» режимах вентиляции [Ерёменко А.А. и соавт., 2020].

В заключение отметим, что, по нашему мнению, с использованием данных режимов становится значительно проще и удобнее персонализировать проводимую респираторную поддержку, ведь у клиницистов появляется надёжный помощник, который, неотрывно и последовательно следит за меняющейся биомеханикой лёгких и при необходимости вносит поправки, оставляя за врачом все основные решения. А согласно мнению экспертов, в целом, парадигма проведения респираторной поддержки на настоящий момент сдвигается от формализованных подходов: «нормализация газообмена», раннее восстановление спонтанного дыхания, концепция «открытых лёгких» к персонализированным решениям, направленным на ограничение лёгочного повреждения у отдельно взятого пациента [Кузьков В.В. и соавт., 2020].

В условиях ограниченных ресурсов, использование интеллектуальных технологий может явиться важным фактором для улучшения лечения пациентов. И, как упомянуто выше, врачи с удовольствием перенимают опыт применения новых технологий для использования полученных знаний при работе с традиционными протоколами.

Резюмируя, сравнение интеллектуальных технологий респираторной поддержки с традиционным протоколом аппаратной вентиляции в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов показало, что их применение даёт возможность интерактивно персонализировать и корректировать проводимую респираторную поддержку, значительно снижая врачебное участие в этом процессе, и обеспечивая наиболее безопасные параметры вентиляции.

### 3.3. Сравнение применения интеллектуальных режимов и традиционного подхода после неосложненных кардиохирургических операций у пациентов с наличием ожирения.

В данном разделе работы проведено сравнение использования полностью автоматизированного подхода к проведению послеоперационной вентиляции (режим Intellivent – ASV<sup>®</sup>) и протокола с применением традиционных режимов ИВЛ, когда вся забота о качестве респираторной поддержки и «комфорте» пациента осуществлялась дежурным врачом у пациентов с высоким риском развития послеоперационных осложнений ввиду наличия ожирения.

Согласно полученным данным, респираторная поддержка в режиме Intellivent-ASV<sup>®</sup> больше соответствовала современным канонам безопасной вентиляции, так как были получены статистически значимые различия по:

-величине ДО, как во время аппаратных, так и во время вспомогательных вдохов, он был значимо ниже в группе применения интеллектуальной технологии (Таблица 6, Рисунок 4).

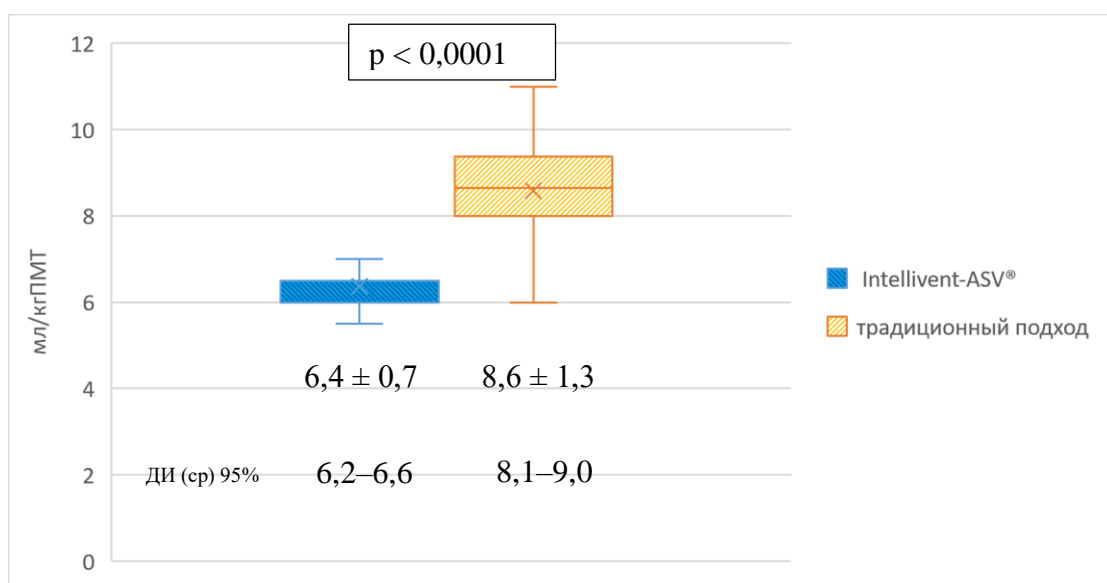


Рисунок 4 – Величина ДО при проведении ИВЛ у пациентов с ожирением

-величине ΔP и MP, которые были ниже во время периода вентиляции с принудительными вдохами в группе применения Intellivent – ASV<sup>®</sup>, что в сочетании с меньшей величиной ДО, позволяет судить о проведении более безопасной для пациента респираторной поддержки (Таблица 6, Рисунок 5).

-величине используемого FiO<sub>2</sub> и уровню PEEP во все фазы респираторной поддержки, которые так же были ниже в группе Intellivent ASV<sup>®</sup> (Таблица 6).

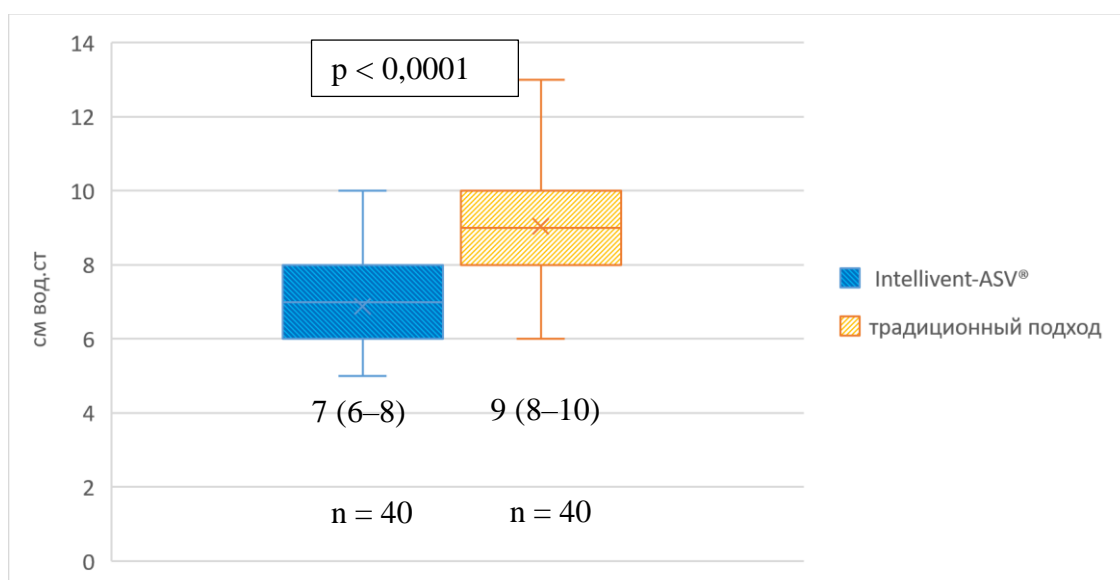


Рисунок 5 – Величина  $\Delta P$  при проведении ИВЛ у пациентов с ожирением

Меньший показатель величины дыхательного объёма при вспомогательных вдохах, вероятнее всего, был связан с меньшим уровнем PS 6 (5–7) против 8 (6–10) см H<sub>2</sub>O;  $p < 0,0001$ ), подбираемым респиратором автоматически, как отмечено выше.

При этом, что важно, не было получено значимых различий по величине индекса Хоровица, как во время проведения респираторной поддержки (принудительная и вспомогательная её фазы), так и после перевода пациентов на самостоятельное дыхание.

Статистически значимо ниже был уровень  $p_aO_2$  в крови и показатели  $SpO_2$  по пульсоксиметру в группе интеллектуального режима, однако они оставались в физиологических пределах, в то время как в группе традиционных режимов, имела место умеренная гипероксия.

Также докторами было затрачено меньше времени на проведение респираторной поддержки и внесение изменений в проводимую вентиляцию ( $40 (30–58)$  против  $183 \pm 60$  секунд ( $p < 0,0001$ )), меньше требовалось внесения самих изменений ( $0 (0–1)$  против  $5 (4–6)$ ,  $p < 0,0001$ ) и подходов доктора к респиратору.

Статистически значимо короче оказалась длительность респираторной поддержки в ОРИТ после оперативного вмешательства в группе интеллектуального режима -  $240 \pm 55$  (95% ДИ (ср) 223–257) против  $283 \pm 79$  (95% ДИ (ср) 258–308) минут ( $p = 0,0059$ ).

Также было отмечено, что при меньшей общей длительности вентиляции, период вспомогательной вентиляции с полным отсутствием принудительных вдохов был в 1,5 раза длительнее в группе использования Intellivent-ASV®.

В группе применения Intellivent – ASV® при восстановлении удовлетворительного респираторного драйва аппарат быстро редуцировал число навязанных вдохов, фактически

переводил пациента во вспомогательный режим и к пробуждению, как правило, все вдохи уже были спонтанными.

**Таблица 6 - Особенности проведения респираторной поддержки в группах пациентов с ожирением**

Параметр	Группа применения Intellivent - ASV® (n=40)	Группа применения традиционных режимов (n=40)	p
Длительность периода механической вентиляции, минуты	150 (75–175)	220 ± 75	<0,0001
Длительность периода вентиляции без принудительных вдохов, мин	100 (73–138)	60 (40–80)	<0,0001
Количество подходов врача к респиратору, n	2(2–3)	4 (3–5)	<0,0001
<b>Показатели во время проведения механической вентиляции</b>			
Коэффициент $p_aO_2/FiO_2$ ДИ (ср) 95%	332 ± 51 316–349	316 ± 58 297–334	0,1746
$FiO_2$ , %	28 (24–30)	35 (30–39)	<0,0001
$p_aO_2$ , мм рт.ст. ДИ (ср) 95%	89 ± 9 86–92	107 ± 18 101–113	<0,0001
$SpO_2$ , %	98 (97–99)	100 (98–100)	<0,0001
$EtCO_2$ мм рт.ст.	39 ± 3	35 ± 4	0,0002
$p_aCO_2$ , мм рт.ст.	42 (40–44)	38 ± 5	0,0005
PEEP, см вод.ст	7 (6–8)	9 (7–10)	0,0001
Mechanical power, Дж/мин	9 ± 3	12 (10–15)	<0,0001
Выполнение манёвра рекрутирования альвеол, n (%)	3 (7,5%)	8 (20%)	0,12
<b>Показатели во время периода в группе применения Intellivent-ASV® с полным отсутствием принудительных вдохов, а в контрольной группе в режиме PSV</b>			
Коэффициент $p_aO_2/FiO_2$ ДИ (ср) 95%	336 ± 39 324–349	335 ± 59 316–354	0,8882
$FiO_2$ , %	27 ± 4	30 (30–35)	<0,0001
$p_aO_2$ , мм рт.ст.	89 ± 10	106 (95–114)	<0,0001
$p_aCO_2$ , мм рт.ст.	40 (37–43)	37 ± 5	0,0094
$EtCO_2$ , мм рт.ст.	37 ± 2	35 ± 4	0,0033
$SpO_2$ , %	98 (97–99)	100(98–100)	<0,0001
Дыхательный объём мл/кг/ПМТ	8 (8–9)	9(8,5–10)	0,0006
PEEP, см вод.ст	5 (5–7)	8(7–8)	<0,0001

Данные представлены как Me [25–75] или как среднее ± стандартное отклонение, доверительный интервал среднего 95%

ДИ (ср) 95% - доверительный 95% интервал средних значений

Возобновление инвазивной респираторной поддержки у обследованных пациентов не понадобилось.

У 13 пациентов потребовалось проведение неинвазивной масочной вентиляции лёгких (НМВЛ) в первые 8 часов после перевода на самостоятельное дыхание (четверым в группе Intellivent - ASV® (трое в связи со сниженными показателями SpO<sub>2</sub> и p<sub>a</sub>O<sub>2</sub> при дыхании воздухом, одному в связи с высокими значениями p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>), и девятерым в группе традиционных режимов (семерым в связи со сниженными показателями SpO<sub>2</sub> и p<sub>a</sub>O<sub>2</sub> при дыхании воздухом, двоим в связи с высокими значениями p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>)).

Течение послеоперационного периода существенно не отличалось после прекращения респираторной поддержки, не было отличий по длительности госпитализации в ОРИТ, частоте развития осложнений. Данные наблюдения за пациентами после перевода на самостоятельное дыхание представлены в Таблице 7.

В группе традиционных режимов была зафиксирована одна смерть, не связанная с проведением ИВЛ, смерть наступила на третьи сутки после оперативного вмешательства, по данным вскрытия от инфаркта миокарда.

**Таблица 7 - Основные показатели послеоперационного мониторинга у пациентов с ожирением**

Параметр	Контрольные точки	Группа применения Intellivent - ASV® (n=40)	Группа применения традиционных режимов (n=40)	P
12 часов после экстубации трахеи	SpO <sub>2</sub> , %	93 (92–94)	93 ± 2	0,5380
	p <sub>a</sub> O <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> ДИ (ср) 95%	322 ± 29 312–331	314 ± 39 301–326	0,3071
	p <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> , мм рт.ст.	39 (38–41)	38 ± 3	0,0044
12 часов после экстубации трахеи	SpO <sub>2</sub> , %	94 (93–95)	93 ± 2	0,1600
	p <sub>a</sub> O <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> ДИ (ср) 95%	329 ± 22 322–336	324 ± 29 312–337	0,4867
	p <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> , мм рт.ст.	39 ± 2	39 ± 3	0,6412
<b>Наблюдение за пациентами после перевода на самостоятельное дыхание</b>				
Необходимость применения НМВЛ, n (%)		4 (10%)	9 (22,5%)	0,2254
Длительность госпитализации в ОРИТ, сутки		1(1–1)	1(1–1)	0,8476
Ателектазы по данным рентгенографии ОГК после экстубации трахеи, n (%)		7 (17,5%)	13 (32,5%)	0,1213
Делирий после перевода из ОРИТ, n (%)		1 (2,5%)	2 (5%)	0,5562
Диастаз грудины, n (%)		1 (2,5%)	0	0,3143



Инфекционные осложнения области хирургического вмешательства, n (%)	3 (7,5%)	2 (5%)	0,6442
Внутригоспитальная летальность, n (%)	0	1 (2,5%)	0,3143

Данные представлены как Me [25–75] или как среднее  $\pm$  стандартное отклонение или n (%)

#### 3.4. Обсуждение применения интеллектуальных режимов и традиционного подхода после неосложненных кардиохирургических операций у пациентов с наличием ожирения

На настоящий момент существуют экспериментальные и клинические исследования, которые показали, что использование больших (больше 8 мл/кг ПМТ) ДО при проведении респираторной поддержки может вызывать повреждение исходно здоровой лёгочной ткани [Gajic O. et al., 2005; Jia X., 2008]. Даже при проведении периоперационной респираторной поддержки использование малых (6-8 мл/кг ПМТ) ДО связано с меньшим количеством лёгочных осложнений [Chaney M.A. et al., 2000; Futier E. et al., 2013; Severgnini P. et al., 2013]. Соответственно видится разумным и пациентам с ожирением проводить респираторную поддержку из расчёта малого ДО на идеальную массу тела, а не фактическую, ввиду того, что большие грудные клетки этих пациентов связаны с объёмом жировой ткани, а не с большим объёмом собственно лёгочной ткани [Fernandez-Bustamante A. et al., 2011; 2015; Ortiz V.E. et al., 2015].

На основании полученных в нашем исследовании данных ДО получается ниже при использовании автоматизированного подбора, нежели при ручной настройке, как во время периода принудительной вентиляции, так и при вентиляции без принудительных вдохов. Врачи порой подсознательно стремятся поставить более высокий ДО, что показано в нашей работе, причём стоит отметить, что ДО во время оперативных вмешательств несколько выше (9 (8–10) мл/кг ПМТ), чем при ручных настройках режима в отделении интенсивной терапии (8,6  $\pm$  1,3 (ДИ ср 95% - 8,1–9,0) мл/кг ПМТ) (Таблица 2, страница 40 и Таблица 6, страница 63). Важно, что при анализе величин ДО всегда есть четкая корреляция между анестезиологом или реаниматологом, проводившим респираторную поддержку и ДО, одним свойственна установка малых (протективных) ДО, другие же предпочитают классические величины.

На настоящий момент большинство клиницистов стремится использовать по возможности максимально низкое  $\Delta P$ , ввиду того, что есть сообщения, показывающие риск развития послеоперационных лёгочных осложнений у пациентов с интактной лёгочной тканью при применении  $\Delta P > 13$  см вод.ст. [Caironi P., 2016]. Применительно к пациентам с ожирением рекомендуемых границ движущего давления на сегодняшний день не описано.

Также ниже в группе автоматизированного подбора параметров была величина  $MP$ , что вкупе с более низким  $\Delta P$  может приводить к лучшим исходам, согласно данным, показанным M. Urner [Urner M. et al., 2020].

Наш анализ показал, что при использовании автоматизированного подбора параметров, статистически значимо ниже было как  $\Delta P$  во время периода принудительной вентиляции, так и уровень поддержки давлением вдохов ( $PS$ ) во время проведения вспомогательной вентиляции, хотя стоит отметить, что и в группе применения традиционных режимов показатели  $\Delta P$  не превышали безопасные пределы в 13 см вод.ст.

Как описано выше в разделе работы про пациентов без наличия ожирения, современные исследования рекомендуют снижать по возможности давление поддержки при применении режима  $PSV$ , что необходимо для улучшения биомеханических свойств респираторной системы для снижения избыточной работы вентилятора и предотвращения развития вентилятор-ассоциированной атрофии диафрагмы [Jaber S. et al., 2011].

Сведения о применении  $PEEP$  и манёвров открытия альвеол у пациентов с ожирением весьма противоречивы.

С одной стороны, применение адекватного уровня  $PEEP$  у пациентов со сниженным  $ФОЕ$  и ожирением должно способствовать предотвращению ателектазов, улучшению лёгочной биомеханики, с другой стороны применение чрезмерного уровня  $PEEP$  может приводить к гиперинфляции лёгких и ухудшению вентиляционно – перфузионных соотношений, за счёт возможного перераздувания альвеол и снижения или перераспределения лёгочного кровотока. Очевидно, что, как и в случае с пациентами с  $ИМТ < 30 \text{ кг/м}^2$ , влияние  $PEEP$  на оксигенацию зависит от баланса между положительными и отрицательными эффектами у каждого конкретного пациента [Pelosi P., 2010].

Уровень оптимального  $PEEP$  для пациентов с ожирением остаётся пока неясным [Pirrone M, et al., 2016]. В работах P. Pelosi и M. Coussa показано, что при применении уровня  $PEEP$  10 см вод.ст. в сравнении с  $PEEP$  0 см вод.ст. у пациентов с ожирением достоверно улучшается лёгочная биомеханика, улучшается податливость дыхательной системы, снижается количество ателектазов [Pelosi P. et. al., 1999; Coussa M. et.al., 2004]. Однако, H. Reinius и E. Futier в своих работах показывают, что одного только применения  $PEEP$  недостаточно, для улучшения функции дыхательной системы у пациентов с ожирением необходимо использовать рекрутмент маневр. Отмечается, что применение различных методик  $PM$  с последующим поддержанием  $PEEP$  на уровне 10 см вод.ст., снижало количество ателектазов и улучшало оксигенацию [Reinius H. et.al., 2009; Futier E. et. al., 2011].

В противовес приведенным выше трудам, есть работы, не показавшие положительных результатов при применении стратегии с использованием высоких уровней РЕЕР и рекрутмент манёвров [Defresne A.A. et al., 2014; Bluth T. et al., 2019].

Интересна для экспертов работа Т. Bluth, в которой сравнили две стратегии – применение во время анестезии РЕЕР 4 см вод.ст. (987 пациентов), с использованием РЕЕР 12 см вод.ст. и применением манёвра рекрутирования альвеол (увеличение ДО вкуче с увеличением РЕЕР) (989 пациентов). Различий по послеоперационным лёгочным осложнениям в данной работе не получили, однако обращает внимание, что несмотря на отсутствие различий, при равных ДО, в группе низкого РЕЕР использовались более высокие фракции кислорода (0,45 против 0,48) и уровень  $\Delta P$  выходил за безопасные рамки на всем протяжении анестезиологического пособия (12,2 против 17,9 см  $H_2O$  в первый час анестезии и 11,8 против 17,4 см  $H_2O$  в последний час анестезии). Для сравнения отметим, что в нашем исследовании фракции кислорода были значимо ниже 0,28 против 0,35 во время периода механической вентиляции и 0,27 против 0,3 во время периода без принудительных вдохов, а  $\Delta P$  составляло 7 против 9 см  $H_2O$  (Таблица 6, Рисунок 5).

Таким образом, на настоящий момент, рутинное применение рекрутирующего альвеолы маневра не рекомендуется, и его использование остается персонализированным решением, основанным на индивидуальном соотношении риск/польза, как и рекомендован персонализированный подход к выбору необходимого уровня РЕЕР [De Jong A. et al., 2020].

В проведенном анализе отмечено (см. Таблицу 6, страница 63), что уровень РЕЕР был в группе интеллектуального подбора параметров ниже, нежели в группе врачебного подбора параметров во время механической вентиляции лёгких, но и выше средне статистических значений 5–6 см вод ст., часто применяемых после оперативных вмешательств. При этом существенных различий по показателям оксигенирующей функции лёгких (индекс Хоровица) у пациентов не отмечалось, РМ в нашем исследовании чаще выполнялся в группе врачебного управления у восьми пациентов, в то время как в группе интеллектуальных режимов у одного пациента рекрутмент был проведен автоматически аппаратом (опция auto-recruitment) и у двоих докторами с использованием опции PV – tool. Данная опция формирует «квазистатическую» петлю «давление – объём» для оценки биомеханики лёгочной ткани и грудной клетки, что позволяет косвенно оценить рекрутабельность альвеол (возможность вовлечения невентилируемых альвеол в проводимую респираторную поддержку) без использования инструментальных методов диагностики, определить наиболее оптимальный уровень РЕЕР и выполнить при необходимости маневр рекрутирования альвеол.

Мы считаем, что полученные нами данные подтверждают общемировой тренд необходимости персонализированного подхода к подбору уровня РЕЕР и выполнению маневров рекрутирования альвеол у пациентов с ожирением.

Как и в случае пациентов без наличия ожирения период вспомогательной вентиляции с полным отсутствием принудительных вдохов оказался длительнее в группе Intellivent-ASV®. Это, как уже указывалось выше, соответствует современным стратегиям вентиляционной поддержки, согласно которым большинству пациентов, рекомендованы режимы вспомогательной вентиляции (без аппаратных вдохов, параметры которых заданы врачом), так как это способствует лучшему расправлению базальных отделов легких, предотвращению атрофии дыхательной мускулатуры, более равномерному распределению газа, предотвращает формирование ателектазов и, конечно, способствует сокращению длительности респираторной поддержки и частоты развития вентилятор-ассоциированной пневмонии [Putensen C. et al., 2006; Valerman D. et al., 2008].

Негативные стороны гипероксии (увеличение количества абсорбционных ателектазов, лёгочного повреждения, выброс провоспалительных пептидов, оксидативный стресс, развитие трахеобронхита и ВИПЛ) хорошо отображены в множестве работ [Pannu S.R. et al., 2016; Aggarwal N.R. et al., 2018; Driscoll B.R. et al., 2019; Pannu S.R. et al., 2022]. Более того некоторые работы показывают корреляцию между гипероксией в первые часы после начала респираторной поддержки и более высокой летальностью у этих пациентов [Mackle D. et al., 2020; Barrot L. et al., 2020]. Поэтому мы считаем очень важным возможность автоматизированного контроля за поддержанием  $FiO_2$  без ущерба безопасности пациента и как показали результаты нашего исследования автоматизированный контроль за фракцией кислорода, позволяет, в целом, поддерживать её ниже, нежели при ручных настройках.

Согласно полученным нами данным в группе применения интеллектуальной технологии статистически значимо меньше длительность проводимой респираторной поддержки, меньше времени тратится врачом на изменения в настройках респиратора и меньше само количество вносимых изменений. Полученные данные позволяют говорить о том, что применение автоматизированной технологии респираторной поддержки позволяет снизить нагрузку на медперсонал, а, учитывая отсутствие статистически значимых различий по показателям  $p_aCO_2$ ;  $p_aO_2$ , длительности госпитализации при статистически значимо более низких значениях  $DO$ ,  $\Delta P$ ,  $MP$ ,  $FiO_2$  позволяет проводить её не только эффективно, но и более безопасно.

Ограничением нашего исследования по изучению особенностей вентиляционной поддержки у пациентов с ожирением, нужно считать то что, пациенты с данной патологией очень разнородны, а большая часть пациентов в нашем исследовании имела ожирение I степени (Таблица 2, страница 40). На наш взгляд группа пациентов с ожирением второй и третьей степени представляет особый исследовательский интерес, так как с ростом индекса массы тела, как правило, растёт и «агрессивность» проводимой респираторной поддержки, выше становятся расчётные показатели  $MP$ , чаще используется более высокий уровень  $PEEP$ .

Мы считаем, что следует пристальнее изучить особенности применения интеллектуальных режимов у пациентов с индексом массы тела выше 35 и в рамках нашего исследования выделили таких пациентов - 12 в группе интеллектуальных и 9 в группе врачебного управления (Таблица 2).

Мы провели поисковый анализ у данных пациентов, который показал, что статистически значимо ниже ( $p < 0,0001$ ) ДО при периоде принудительной вентиляции ( $6,5 \pm 0,6$  (ДИ (ср) 95% 6,1–6,9) против  $9 \pm 1,4$  (ДИ (ср) 95% 7,9–10) мл/кг/ ПМТ в группе интеллектуального режима, ниже  $\Delta P$  (7 (6–9) против  $9,5 \pm 2$  смН<sub>2</sub>O;  $p < 0,0105$ ), ниже значения используемой FiO<sub>2</sub> (29 (26–30) против  $36 \pm 5$ ) ( $p < 0,0018$ ) при отсутствии различий по показателям оксигенирующей функции лёгких. Не было получено статистически значимых различий по уровню РЕЕР, подбираемым аппаратом ( $9 \pm 2$  (ДИ (ср) 95% 7–10)) и настраиваемым врачами ( $10 \pm 2$  (ДИ (ср) 95%–8–11)) смН<sub>2</sub>O ( $p < 0,3522$ ), при этом стоит отметить, что в среднем он был чуть выше чем у пациентов с ожирением I степени. Что интересно, не было получено достоверных различий по величине МР, что можно объяснить часто более высокой частотой дыханий у пациентов в группе Intellivent-ASV® и, возможно, тем что всё-таки в этой группе было ещё пять пациентов с ИМТ за 40 кг/м<sup>2</sup>. В любом случае, нам видится интересным, в будущем, провести сравнение у пациентов только с ожирением II–III степени.

Резюмируя, сравнение режима Intelivent-ASV® с традиционным протоколом аппаратной вентиляции в раннем послеоперационном периоде у пациентов с ожирением показало, что интеллектуальные режимы подходят для респираторной поддержки у данной категории пациентов. Использование полностью автоматизированной технологии позволяет:

- проводить респираторную поддержку с более безопасными для пациента параметрами вентиляции (меньший уровень FiO<sub>2</sub>;  $\Delta P$ , МР; ДО, РЕЕР),
- персонализировать проводимую респираторную поддержку,
- снизить нагрузку на медицинский персонал.

### **3.5. Использование интеллектуальных режимов в отечественной клинической практике – анонимное анкетирование**

В предыдущих частях работы говорится о новых возможностях, появляющихся у клиницистов при проведении респираторной поддержки, в том числе о возможности индивидуализации настроек респиратора, что способствует повышению безопасности проводимой вентиляции и снижения повреждающего действия на лёгочную паренхиму, а также о возможности снижения нагрузки на медицинский персонал за счет уменьшения количества ручных настроек аппарата, что уменьшает риск возникновения ошибок, обусловленных человеческим фактором, и может повысить эффективность работы в целом. В данном разделе

представлены результаты анкетирования, наглядно показавшие распространённость подобных технологий на территории РФ, осведомленность персонала о них и трудности, возникающие при работе.

Приглашение принять участие в анкетировании было отправлено в общей сложности 750 респондентам, среди которых полностью ответили на все вопросы 248 человек (33%). Количество обработанных анкет составляет порядка 0,7% от общего числа анестезиологов-реаниматологов РФ, которых согласно данным Росстата в 2018 году было 35252 [Росстат].

Однако, в виду того, что география респондентов, как описано выше, охватывала практически всю территорию нашей страны, мы допускаем, что ответы отражают ситуацию в стране, в целом.

Врачебный стаж участников представлен на Рисунке 6. Четверть опрошенных работает 1-2 года, остальные участники равномерно распределились от 2 лет до 25 и выше.

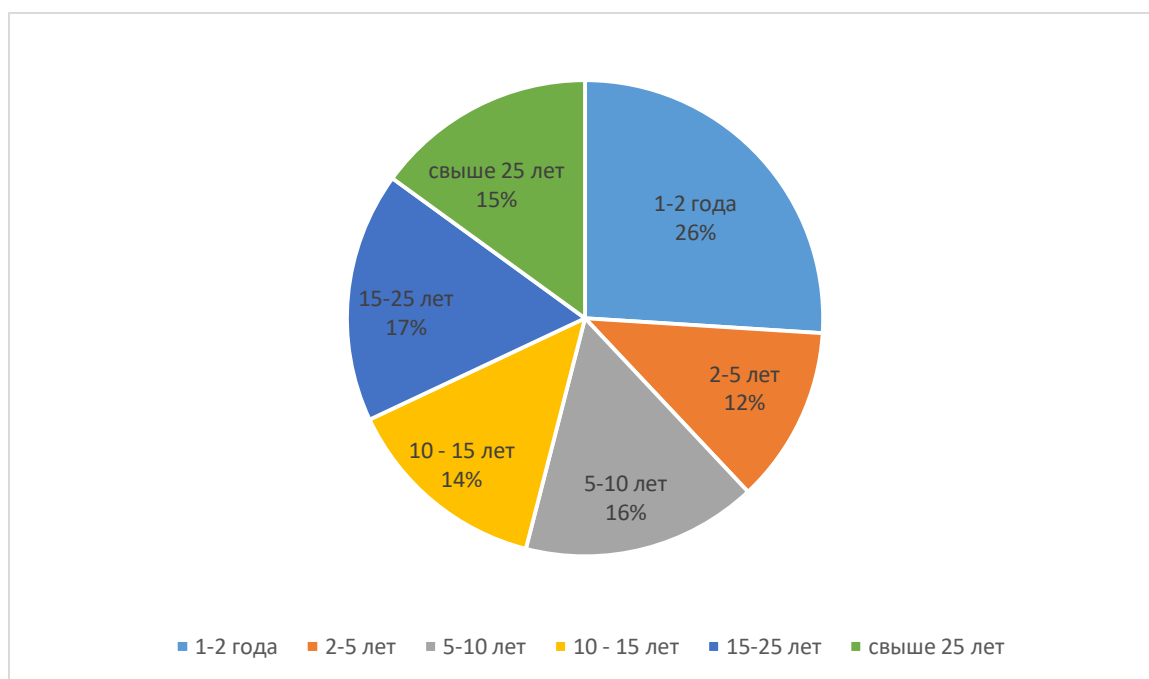


Рисунок 6 - Врачебный стаж участников анкетирования

Подавляющее большинство опрошенных (94%) либо постоянно работает в отделениях интенсивной терапии, либо их рабочее время совмещается с работой анестезиолога.

Основная доля респондентов (до 70%) в ежедневной практике применяет режим SIMV (отдавая предпочтение Pressure Control (70%) перед Volume Control (50%)), треть опрошенных (35%), наряду с указанными, еще используют PRVC, порядка 50% опрошенных при наличии клинической возможности использует PSV (Рисунок 7).

Подчеркнём, что лишь 23% опрошенных указали в анкетах на рутинное использование интеллектуального режима ASV. Интересно отметить, что основная масса респондентов,

рутинно применяющих ASV, имеет стаж порядка 10 лет. Использование режима Intellivent-ASV® было указано в 9% анкет (большинство со стажем свыше 5 лет), режим PAV указало 2 человека (чуть менее 1% опрошенных), режимы NAVA и Smart Care® в рамках рутинного использования не указал никто.

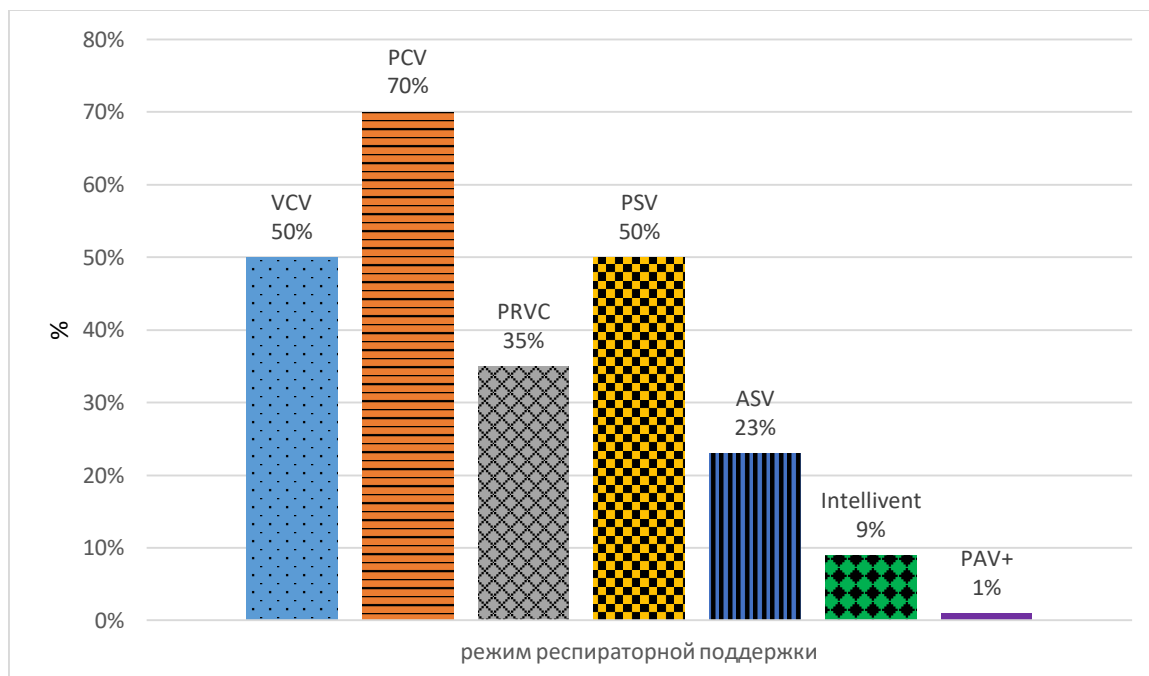


Рисунок - 7 Основные режимы респираторной поддержки, используемые респондентами

Согласно результатам 85% опрошенных знают или слышали об интеллектуальных режимах респираторной поддержки, а у половины (52%) респондентов в отделении есть возможность применения данных режимов.

Источниками получения информации об интеллектуальных режимах для респондентов были:

- данные специальной литературы (книги, статьи) для 74%,
- материалы докладов на конференциях, обучающие материалы в сети интернет – для половины опрошенных 50%,
- посещение специальных тренингов, мастер классов у каждого пятого - 22%.

Как показано выше, большинство врачей знает, и у половины опрошенных есть клиническая возможность применения интеллектуальных режимов, однако не всегда данные режимы используются в ежедневной практике, поэтому первостепенной задачей опроса было узнать мнение коллег о работе с подобными технологиями, о трудностях, с которыми они сталкиваются, либо почему они отдают предпочтение традиционным режимам в рутинной работе.

В этих вопросах учитывались лишь ответы респондентов, которые могут применять данные режимы в своем отделении, либо имеют (имели) опыт работы с ними.

Каковы причины предпочтения традиционных режимов и не применения интеллектуальных технологий, несмотря на наличие соответствующих респираторов?

На отсутствие необходимого расходного материала (капнографы, пульсоксиметры, что делает невозможным использование Intellivent-ASV<sup>®</sup>, датчики потока, что делает невозможным использование и ASV, и Intellivent-ASV<sup>®</sup>) указали 40% опрошенных. То есть в отделении есть респираторы с интеллектуальными режимами и персонал, готовый работать или учиться работать с ними, но отсутствует расходный материал.

Отсутствие необходимых знаний по применению данных режимов отмечает 62% респондентов, а 60% отмечает, что не проводилось обучение работе с данными режимами.

Четверть (25%) опрошенных считает, что применение традиционных режимов надежнее и безопаснее. При этом важно подчеркнуть, что практически все респонденты, отметившие, что применение традиционных режимов надёжнее и безопаснее, указывали на отсутствие обучения, либо отсутствие знаний по использованию интеллектуальных режимов.

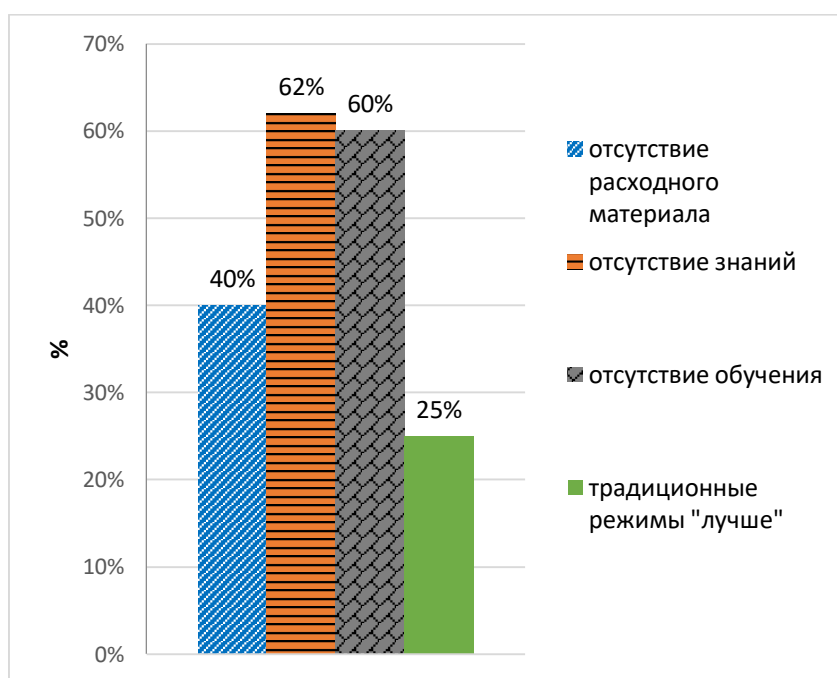


Рисунок - 8 Причины отказа от применения интеллектуальных режимов

Возможность в свободной форме пояснить причины отказа от использования интеллектуальных технологий использовало, к сожалению авторов опросника, всего 12 человек (лишь 5% от общего числа ответивших). Двое указали развитие гиперкапнии, шестеро малые дыхательные объёмы, пять человек указало, что невозможно проводить «жёсткую» вентиляцию,



один респондент посетовал, что на следующий день все равно будет установлен традиционный режим, а двое - на неясность алгоритмов работы данного режима.

Респонденты, которые используют интеллектуальные режимы в своей ежедневной практике указали, что данные технологии удобны для персонала и просты в использовании – 40 % опрошенных.

Чуть менее половины (48%) из респондентов считают, что они безопаснее для пациента и проще для медицинского персонала. Половина опрошенных указали, что наличие этих режимов и возможность работы на них облегчает процесс перевода пациентов на самостоятельное дыхание, помогает лучше подстраивать респиратор под нужды пациентов, некоторые респонденты указали возможность интерактивной коррекции параметров при использовании данных режимов.

У респондентов была возможность в свободной форме изложить свои предложения по интеллектуальным режимам. Большинство из тех, кто внес предложения (18 человек из 248 опрошенных – 7%) отметило, что существует необходимость в повышении уровня знаний среди врачей, обучении медицинского персонала для лучшего понимания возможностей, появляющихся при использовании данных режимов.

Таким образом, становится понятно, что ограничениями использования интеллектуальных технологий, далеко не всегда становится нехватка аппаратуры, а сложности с расходными материалами, недостаток знаний и компетенций по их клиническому применению, а также отсутствие практики по работе с указанными режимами.

Проведенный опрос показал, что данные режимы используются лишь третью опрошенных, хотя возможность применения подобных технологий есть у половины респондентов. Больше половины коллег, которые могли бы применять подобные режимы в работе, отмечают дефицит информации, а у 40% периодически отсутствует необходимый расходный материал. Только четверть опрошенных считает, что традиционные режимы респираторной поддержки надёжнее, отмечая при этом также отсутствие обучения.

Результаты проведенного исследования перекликаются с результатами исследования, проведенного в 2017 году в Голландии [Wenstedt E.F.E., et al., 2017]. Частота использования интеллектуальных режимов по данным авторов не превысила 51%, правда в отличие от РФ голландские интенсивисты чаще всего применяли Intellivent-ASV®. Выбор традиционных режимов 41% опрошенных объясняли отсутствием необходимых знаний об интеллектуальных технологиях, 33% - недостаточностью доказательств, свидетельствующих о положительном эффекте и 26% - отсутствием доверия к режиму. Российские коллеги значительно чаще указывали на отсутствие знаний, но доля приверженных к традиционным режимам практически

не отличалась. При этом, следует подчеркнуть, что наши соотечественники не упоминали доказательства эффективности или её отсутствие, как причину отказа от подобных технологий.

Возможно, что широкое распространение обучающих программ могло бы способствовать лучшей осведомленности специалистов и доля респондентов, отметивших надёжность и безопасность применения традиционных режимов была бы меньше.

На наш взгляд, несомненную пользу могло бы оказать внесение указаний на использование определенных режимов ИВЛ в профессиональный стандарт «Врач анестезиолог-реаниматолог» (утв. приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 27.08.2018 № 554н), в котором указано «осуществлять ИВЛ вручную или с помощью респираторов». На основании этого стандарта часто пишутся должностные инструкции, подробно к примеру, прописывая виды заместительной почечной терапии, но обезличивая, как показано выше ИВЛ и не побуждая практикующих врачей к саморазвитию, оставляя знания о респираторной поддержке на откуп проводимым курсам повышения квалификации или сознательности каждого отдельного врача.

Использование только традиционных режимов на респираторах с интегрированными интеллектуальными технологиями, ставит под сомнение целесообразность наличия данных аппаратов в отделениях и существенных материальных затрат на их приобретение.

Учитывая широкие возможности, которые данные технологии могут приносить в ежедневную практику, видится разумным активнее проводить обучающие мероприятия, имеющие целью заполнять информационное поле по данным режимам.

### **Ограничения проведенного анкетирования**

Данное исследование имеет ряд недостатков. Авторы опросника получили порядка 60% пустых анкет и 7 % либо частично заполненных, либо с внутренними противоречиями. Данный факт может быть связан с тем, что часть респондентов не верит в силу подобных опросов или не видит в них смысла, хотя подобные анкетирования помогают объективнее рассмотреть изучаемые проблемы. Другая же часть опрашиваемых, возможно, опасается гнева начальства, несмотря на то что анкетирование было анонимным. Однако, процент полностью заполненных и принятых анкет был высок для анкет такого рода - 33% от общего числа анкет. Таким образом, мы подошли к первому недостатку - малому охвату респондентов, в силу ряда причин, как разбиралось выше.

Второй недостаток - не учитывалось место работы респондента – университетская клиника или городская больница, не учитывалась материальная база клиники, так как зная

производителей аппаратуры, было бы возможно объективно оценить распространение респираторов с подобными режимами.

Тем не менее, несмотря на упомянутые недостатки, качественных данных для предполагаемой цели этой работы достаточно.

Кроме описанных недостатков у исследования есть сильные стороны.

Во-первых, это процесс создания анкеты с учетом опыта анкетирования в других странах [Wenstedt E.F.E. et al., 2017], мнений опытных реаниматологов-соотечественников и рекомендаций по созданию анкет для такого рода исследований [Hikmet N., 2003].

Во-вторых, это включение в анкету вопросов с открытым ответом, что позволило не только получить фактическую информацию от респондентов, но и добавить актуальный взгляд практикующих специалистов на рассматриваемые аспекты.

В-третьих, несмотря на трудоемкость, к участию в анкетировании удалось привлечь врачей из разных регионов нашей страны, что обеспечило более объективное понимание изучаемой проблемы.

Проведённое анкетирование показало, что 85% из опрошенных российских анестезиологов-реаниматологов знают о существовании интеллектуальных режимов респираторной поддержки, половине респондентов доступна техническая возможность их применения на практике, но лишь треть на регулярной основе использует одну из подобных технологий.

Отсутствие подготовки по работе с интеллектуальными режимами диктует необходимость организации и проведения дополнительных образовательных программ, а отсутствие сервиса аппаратов и отсутствие необходимых расходных материалов значительно затрудняют использование новейших технологий на практике.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Число и сложность выполняемых кардиохирургических вмешательств постоянно растёт, а современную хирургию невозможно представить без ИВЛ, как компонента анестезиологического пособия и, практически все пациенты после операций на сердце и восходящем отделе аорте переводятся в специализированное отделение интенсивной терапии на фоне продлённой ИВЛ [Kaplan J.A., 2018]. Продлённая до 3-6 часов респираторная поддержка даёт врачам время для стабилизации гемодинамики и метаболизма, оптимизации взаимосвязанной функции сердца и лёгких, до согревания и восстановления адекватного сознания пациента. Несмотря на кратковременность проведения вентиляционной поддержки в раннем послеоперационном периоде, важно соблюдать основные принципы механической вентиляции лёгких: безопасность и эффективность (минимизация повреждения лёгочной ткани при обеспечении должного артериального газообмена), комфорт (оптимизация отношения работы дыхания, совершаемой пациентом с работой, выполняемой аппаратом ИВЛ), своевременное отлучение [Chatburn R.L., 2011].

Вопреки расхожему мнению на настоящий момент нет убедительных доказательств в пользу использования того или иного режима ИВЛ в клинической практике [Dabbagh A., 2018].

В последние годы в практику отделений интенсивной терапии активно внедряются методы автоматизированного управления респираторной поддержкой - режимы интеллектуальной вентиляции. Данные режимы работают по принципу полной обратной связи и автоматически меняют степень аппаратной поддержки, в зависимости от меняющихся потребностей пациента. Автоматизированные режимы вентиляции обладают большим потенциалом для улучшения протективной вентиляции лёгких, а вместе с тем - исходов у тяжёлых пациентов. Однако, в условиях растущей нехватки персонала в ОРИТ, исследования должны рассматривать не только безопасность, эффективность, применимость данных режимов, но и, безусловно, нагрузку на персонал, связанную с внедрением автоматизированных систем [Buiteman-Kruizinga L.A. et al., 2022].

Учитывая, что доля тучных жителей планеты неуклонно возрастает, в ближайшие годы можно ожидать рост числа данной категории пациентов в отделениях интенсивной терапии, в виду того, что наличие ожирения само по себе увеличивает риск более тяжёлого течения заболевания, что часто требует госпитализации в ОРИТ и проведения респираторной поддержки [Schetz M. et al., 2019].

Ожирение, особенно абдоминальное ожирение (андроидное распределение жира типа «яблоко»), приводит к изменению анатомии и физиологии грудной клетки и дыхательных путей

и, следовательно, усложняет проведение респираторной поддержки у данной категории пациентов [De Jong A. et al., 2020].

На сегодняшний день не разработано никаких рекомендаций по проведению респираторной поддержки у пациентов с ожирением, следовательно, существует необходимость в оптимизации стратегий респираторной поддержки для минимизации риска послеоперационных респираторных осложнений в этой популяции [Imber D.A. et al., 2016; Petrini F. et al., 2016].

Проделанная научно – исследовательская работа была направлена на изучение применения интеллектуальных режимов респираторной поддержки в раннем послеоперационном периоде после кардиохирургических оперативных вмешательств. Безусловно к полученным результатам следует относиться критически, учитывая небольшой размер проанализированных в работе выборок, однако массив обработанного материала и полученные в ходе данной работы результаты с одной стороны подтверждают уже известные данные, а с другой позволяют использовать данные технологии респираторной поддержки значительно эффективнее.

Работа состоит из трёх разделов. Первый посвящён сравнительной оценке эффективности и безопасности использования интеллектуальных технологий респираторной поддержки в сравнении с традиционным подходом в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов, второй сравнению полностью автоматизированной технологии респираторной поддержки с традиционным подходом у пациентов высокой категории риска (пациентов с ожирением), а третий показывает осведомлённость российских врачей анестезиологов-реаниматологов об интеллектуальных режимах ИВЛ и доступность применения подобных технологий в клинической практике.

Исследование проводилось на клинической базе отделения кардиохирургической реанимации и интенсивной терапии ГНЦ ФГБНУ РНЦХ имени академика Б.В. Петровского. Всего обследован 181 пациент.

Сравнение интеллектуальных технологий респираторной поддержки с традиционным протоколом аппаратной вентиляции в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов показало, что их применение даёт возможность интерактивно персонализировать и корректировать проводимую респираторную поддержку, значительно снижая врачебное участие в этом процессе, и обеспечивая наиболее безопасные параметры вентиляции.

Данное наблюдение коррелирует с последними тенденциями в области респираторной медицины о тщательном титровании респираторных параметров на основе меняющихся биомеханических свойств дыхательной системы пациента [Pelosi P. et al., 2021].

Полученные данные, показавшие возможность динамического контроля за безопасностью проводимой респираторной поддержки, возможность снижения нагрузки на медицинский персонал, могут дать толчок к более широкому практическому применению данных технологий у пациентов не только после кардиохирургических вмешательств. Это особенно важно, учитывая тот факт, что в последние годы появляются аналоги подобных режимов, в том числе и на респираторах отечественного производства.

Впервые в отечественной практике произведена оценка интегрального показателя, отражающего повреждающее действие проводимой вентиляции на легкие пациента – Mechanical Power.

Впервые в практике описаны использование, эффективность и преимущества применения интеллектуальных режимов респираторной поддержки у пациентов с ожирением. Эта часть работы показала, что интеллектуальные режимы подходят для респираторной поддержки у данной категории пациентов. Использование полностью автоматизированной технологии позволяет персонализировать респираторную поддержку и проводить её с более безопасными для пациента параметрами вентиляции (меньший уровень  $FiO_2$ ;  $\Delta P$ , Mechanical Power; дыхательного объёма, уровня РЕЕР), снизить нагрузку на медицинский персонал.

Одним из основных ограничений проведенного исследования можно считать отсутствие неотрывного контроля за параметрами вентиляции, исследователем фиксировались значения параметров ( $DO$ , РЕЕР,  $\Delta P$ ;  $FiO_2$ , ЧД) не каждую секунду, а с интервалами и затем, высчитывались средние значения. Величина МР рассчитывалась по упрощённым формулам, но следует отметить, что любые известные формулы её расчёта на данный момент будут упускать некоторые повреждающие факторы – дискретность во времени, повреждение во время фазы выдоха.

Впервые оценена частота применения интеллектуальных технологий респираторной поддержки на территории РФ, рассмотрены затруднения, возникающие при использовании подобных режимов.

## ВЫВОДЫ

1) Использование интеллектуальных режимов респираторной поддержки в послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов позволяет интерактивно подбирать безопасные параметры вентиляции, снижая потенциальную вероятность развития вентилятор-индуцированного повреждения лёгких, без ущерба эффективности проводимой вентиляции.

2) В сравнении с врачебным контролем за проведением респираторной поддержки и полуавтоматическими технологиями, применение полностью автоматизированного подхода позволяет сократить на 15% длительность проводимой вентиляции лёгких, обеспечивает максимально безопасные параметры вентиляции, используя меньшие величины дыхательного объёма, движущего давления, фракции вдыхаемого кислорода и на четверть сокращает длительность периода вентиляции с принудительными вдохами.

3) Применение полностью автоматизированных технологий респираторной поддержки в послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов с ожирением обладает преимуществами перед традиционным подходом: на 15% сокращается продолжительность респираторной поддержки, позволяет проводить её с наиболее безопасными параметрами вентиляции (на четверть снижается движущее давление и Mechanical Power, на 15% величина используемого дыхательного объёма) без ухудшения показателей артериального газообмена.

4) При использовании интеллектуальных технологий у всех категорий пациентов существенно снижается участие врача в процессе проведения респираторной поддержки за счёт минимизации количества ручных настроек респиратора, снижения времени, затраченного на наблюдение и регулировку параметров ИВЛ.

5) Проведение анонимного анкетирования показало, что большинство (85%) опрошенных российских анестезиологов - реаниматологов знают о существовании интеллектуальных технологий респираторной поддержки, половине из них доступна техническая возможность их применения в рутинной работе, но лишь треть на регулярной основе использует подобные технологии, что обусловлено отсутствием специальной подготовки, а в некоторых случаях - отсутствием сервисного обслуживания и необходимых расходных материалов.

## Практические рекомендации

1) У пациентов после кардиохирургических вмешательств рекомендуется использовать интеллектуальные режимы респираторной поддержки, с возможностью автоматической коррекции дыхательного объема, частоты дыханий, уровня РЕЕР и значения  $FiO_2$  во вдыхаемой смеси.

2) Перевод пациентов на самостоятельное дыхание целесообразнее проводить с использованием интеллектуальных режимов респираторной поддержки, чтобы исключать ситуации длительного апноэ, с последующим включением резервной вентиляции, а также асинхронии при восстановлении самостоятельного дыхания.

3) При проведении респираторной поддержки у пациентов с ожирением также рекомендуется применять интеллектуальные режимы с возможностью автоматизированной коррекции параметров

4) У пациентов с ожирением в раннем периоде после кардиохирургических вмешательств рекомендуется индивидуализировать подбор уровня РЕЕР, не все пациенты из данной популяции нуждаются в высоких значениях этого параметра (12-14 см вод.ст.).

5) Организация и проведение дополнительных образовательных программ по применению интеллектуальных технологий респираторной поддержки может способствовать более активному применению данных режимов в клинической практике.



**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

ВВЛ – вспомогательная вентиляция лёгких

ВИПЛ – вентилятор – индуцированное повреждение лёгких

ИМТ – индекс массы тела

ИВЛ – Искусственная вентиляция лёгких

ИК – искусственное кровообращение

НМВЛ – неинвазивная масочная вентиляция лёгких

ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения

ОРДС – острый респираторный дистресс – синдром

ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии

ПМТ – предсказанная (идеальная) масса тела

РКИ – рандомизированное контролируемое исследование

РМ – рекрутмент – маневр, метод

РФ – Российская Федерация

см вод.ст. – сантиметр водного стола (1 см вод. ст.  $\approx$  1 миллибар)

ТСД – тест спонтанного дыхания

ФОЕ – функциональная остаточная ёмкость лёгких

ARISCAT (Assess Respiratory Risk in Surgical Patients in Catalonia) – шкала оценки риска развития послеоперационных лёгочных осложнений у хирургических пациентов, разработанная в Каталонии.

ASV (Adaptive Support Ventilation) – Адаптивная поддерживающая вентиляция

Auto – MVG Поддержка заданного объёма минутной вентиляции с наименьшим давлением P<sub>peak</sub>

CMV (Continuous Mandatory Ventilation) – режим ИВЛ, при котором все вдохи принудительные

$\Delta P$  – (driving pressure) – движущее давление, разница между уровнем давления плато во время паузы в конце вдоха и актуальным уровнем РЕЕР (измеренным во время паузы выдоха)

ERV (Expired reserve volume) – резервный объём выдоха

EtCO<sub>2</sub> (End tidal CO<sub>2</sub>) – выдыхаемая фракция углекислого газа

ETS (expiratory trigger sensitivity) – пороговое значение потока для переключения с вдоха на выдох при вспомогательных режимах

EuroSCORE (European System for Cardiac Operative Risk Evaluation) – шкала EuroSCORE прогнозирует внутригоспитальную летальность при кардиохирургических операциях.

FiO<sub>2</sub> (Inspiratory Oxygen Fraction) – фракция вдыхаемого кислорода

NAVA (Neurally Adjusted Ventilatory Assist) – режим, основанный по триггированию вдохов, на основании сигнала от диафрагмального нерва (режим)

PAV (Proportional assist ventilation) – Пропорциональная вспомогательная вентиляция. Аналог PPS (режим)

PaO<sub>2</sub> (Arterial Partial Oxygen Pressure) – парциальное давление кислорода в артериальной крови

PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> – индекс Хоровица (Horowitz) (индекс PaO<sub>2</sub>/ FiO<sub>2</sub>) – отношение парциального напряжения кислорода в артериальной крови к фракции кислорода во вдыхаемом воздухе (вдыхаемой смеси), отражающий состояние оксигенирующей функции лёгких

PaCO<sub>2</sub> – парциальное давление углекислого газа в артериальной крови

PBW (Predicted Body Weight) – предсказанная (идеальная) масса тела

PCV (Pressure Controlled Ventilation) – режим ИВЛ, контролируемой (управляемой) по давлению

PEEP (Positive End-Expiratory Pressure) – положительное давление в конце выдоха

P<sub>plat</sub> (Plateau Pressure) – давление плато – давление во время инспираторной паузы

PPS (Proportional Pressure Support) – Пропорциональная поддержка давлением, в данном режиме поддержка вдоха пациента прямо пропорциональна к величине инспираторного усилия. Аналог PAV (Proportional Assist Ventilation) – Пропорциональная вспомогательная вентиляция

PRVC (Pressure Regulated Volume Control) – вентиляция с заданным дыхательным объёмом, но управляемая по давлению

PSV (Pressure Support Ventilation) – вентиляция с поддержкой давлением с заданным уровнем PS (режим)

RASS (Richmond Agitation-Sedation Scale) – Ричмондская шкала возбуждения и седации, имеет значения от -5 (невозможность пробуждения) до + 4 (агрессивный, воинственный пациент, представляющий опасность для медицинского персонала)

SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation) – режим синхронизированной перемежающейся принудительной вентиляции

SpO<sub>2</sub> – насыщение артериальной крови кислородом (пульсоксиметрия)

τ – (time constant) – постоянная времени

VCV (Volume Controlled Ventilation) – вентиляция, контролируемая по объёму

Variable PSV - Noisy ventilation – это вариант режима «PSV», в котором аппарат ИВЛ случайным образом меняет давление поддержки в пределах заданного диапазона

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев, Е.П. Использование режима IntelliVent-ASV для поддержания целевого диапазона EtCO<sub>2</sub> у пациентов с тяжелой ЧМТ / Е.П. Ананьев, А.А. Полупан, И.В. Мацковский // Вопросы нейрохирургии. – 2017. – 5. – С. 63–68.
2. Баутин, А.Е. Профилактика и интенсивная терапия острого респираторного дистресс-синдрома после операций на сердце и аорте: дисс. ... докт. мед.наук: 14.00.20/ Баутин Андрей Евгеньевич. – М., – 2015. – С.333.
3. Горячев, А.С. Основы ИВЛ / А.С. Горячев, И.А. Савин. – М.: ООО «Аксиом графикс юнион», 2019. – С. 289.
4. Еременко, А.А. Интеллектуальный режим аппаратной вентиляции легких при ранней активизации кардиохирургических пациентов / А.А. Еременко, Р.Д. Комнов //Общая реаниматология. – 2020. – №16(1). – С. 4–15.
5. Кассиль, В.Л. Интеллектуальные методы ИВЛ и ВВЛ. В кн. Принципы механической вентиляции легких в интенсивной терапии / В. Л. Кассиль, А. А. Еременко, Ю. Ю. Сапичева, М. А. Выжигина: – М.: МЕДпресс-информ, 2017. – С.225–228.
6. Кашерининов, И.Ю. Настройка параметров вентиляции у пациентов без выраженных гемодинамических нарушений в раннем послеоперационном периоде коронарного шунтирования в условиях искусственного кровообращения: дисс. ... канд. мед. наук: 14.01.20/ Кашерининов Игорь Юрьевич. – М., – 2018. – С.119.
7. Козлов, И. А. Факторы риска удлинения интенсивной терапии после ранней активизации кардиохирургических больных / И.А. Козлов, И.В. Иванина, Е.В. Дзыбинская, С.М. Маркин // Анестезиология и реаниматология. – 2007. – № 5. – С. 35–38.
8. Козлов, И. А. Раннее прекращение ИВЛ (экстубация трахеи в операционной) у больных, оперированных с искусственным кровообращением / И.А. Козлов, С.М. Маркин, И.Е. Пиляева, А.В. Алферов// Анестезиология и реаниматология. – 1995. – № 2. – С. 16–19.
9. Козлов, И. А. Ранняя активизация больных после реваскуляризации миокарда как мера оптимизации кардиохирургического лечения / И.А. Козлов, Е.В. Дзыбинская // Анестезиология и реаниматология. – 2010. – № 5. – С. 1014.
10. Кузьков, В.В. Вентилятор-ассоциированное повреждение легких в отделении интенсивной терапии и операционной – что нового? / В.В. Кузьков, К.С. Лапин, Е.В. Фот, М.Ю. Киров // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2020. – Т. 17. – № 5. – С. 47–61.
11. Мазурок, В.А. Пропорциональная вспомогательная вентиляция /В.А. Мазурок // Трансляционная медицина. – 2020. – 7(1). – С.39–52.
12. Полупан, А.А. Первый опыт использования режима Adaptive Support Ventilation у пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой / А.А. Полупан, А.С. Горячев, И.А. Савин, О.Е. Сатишур и др.// Анестезиология и реаниматология. – 2011. – №4. – С. 46–50.
13. Полупан, А.А. Использование режима ASV для прекращения респираторной поддержки у пациентов, оперированных по поводу опухолей задней черепной ямки/ А.А. Полупан, А.С. Горячев, И.А. Савин, О.Е. Сатишур и др. // Анестезиология и реаниматология. – 2011. – №4. – С. 42–46.
14. Полупан, А.А. Асинхронии и графика ИВЛ / А.А. Полупан, А.С. Горячев, И.А. Савин. – М.: ООО «Аксиом графикс юнион», 2018. – С. 370.
15. Профессиональный стандарт "ВРАЧ - АНЕСТЕЗИОЛОГ-РЕАНИМАТОЛОГ", код стандарта 02.040. [загружено на сайт 27 августа 2018 года, дата обращения к ресурсу 29.09.2022 Доступ: <https://profstandart.rosmintrud.ru/>.
16. Пшеничный, Т.А. Выбор режима искусственной вентиляции лёгких у кардиохирургических пациентов, оперируемых в условиях искусственного кровообращения: дисс. ... канд. мед.наук: 14.01.20/ Пшеничный Тимофей Андреевич. – М., – 2019. – С.126.
17. Сатишур, О. Е. Механическая вентиляция легких / О.Е. Сатишур. – М.: Медицинская литература, 2020. – С. 352.
18. Труд и занятость в России. 2018: Стат.сб. / Росстат. – М. – 2018

19. Фот, Е.В. Оптимизация респираторной поддержки после кардиохирургических вмешательств и при остром респираторном дистресс-синдроме: дисс. ... канд. мед.наук: 14.01.20/ Фот Евгения Владимировна. – М., – 2013. – С.110.
20. Храпов, К.Н. Подготовка к анестезии больных с сопутствующей патологией лёгких и высоким риском развития послеоперационных лёгочных осложнений / К.Н. Храпов, М.Г. Ковалёв, С.С. Седов // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2020. – №2. – С. 20–28.
21. Ярошецкий, А.И. Респираторная поддержка при гипоксемической острой дыхательной недостаточности: стратегия и тактика на основе оценки биомеханики дыхания: дисс. д-ра мед.наук:14.01.20/ Ярошецкий Андрей Игоревич. – М., – 2018. – С. 483.
22. Aggarwal, N.R. Oxygen Exposure Resulting in Arterial Oxygen Tensions Above the Protocol Goal Was Associated With Worse Clinical Outcomes in Acute Respiratory Distress Syndrome/ N. R. Aggarwal, R.G. Brower, D.N. Hager et al. // Crit Care Med. NLM (Medline). – 2018. – № 46 (4). – P. 517–524.
23. Amato, M.B.P. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome / M.B.P. Amato, M.O. Meade, A.S. Slutsky et al. // N Engl J Med. – 2015 – V. 372, № 8. – P. 747–755.
24. Arena, R. Evaluation of cardiorespiratory fitness and respiratory muscle function in the obese population /R. Arena, L.P. Cahalin //Prog Cardiovasc Dis.– 2014. – 56(4). – P. 457–464.
25. Arnal, J-M. Automatic selection of breathing pattern using adaptive support ventilation/ J-M. Arnal, M. Wysocki, C. Nafati, et al. //Intensive Care Med. – 2008. – 34. – P. 75–81.
26. Arnal, J-M. Safety and efficacy of fully closed-loop control ventilation (IntelliVent-ASV) in sedated ICU patients with acute respiratory failure: A prospective randomised crossover study / J.M. Arnal, M. Wysocki, D. Novotni et al. // Intensive Care Med. – 2012. – 38(5). – P. 781–787.
27. Arnal, J-M. Feasibility study on full closed-loop control ventilation (IntelliVent-ASV) in ICU patients with acute respiratory failure: a prospective observational comparative study / J.M. Arnal, A. Garnero, D. Novonti et al. // Critical Care. – 2013. – 17. – R196.
28. Arnal, J-M. Closed loop ventilation mode in Intensive Care Unit: a randomized controlled clinical trial comparing the numbers of manual ventilator setting changes /J.M. Arnal, A. Garnero, D. Novotni // Minerva Anestesiologica. – 2018. – January. – 84(1). – P. 58–67.
29. Arnal, J-M. Airway and Transpulmonary Driving Pressures and Mechanical Powers Selected by INTELLiVENT-ASV in Passive, Mechanically Ventilated ICU Patients / J.M. Arnal, M. Saoli, A. Garnero // Heart Lung. – 2019. – Nov. – 14. – S0147-9563. – (19). –P. 30533–3.
30. Arnal, J-M. Guidelines on setting the target minute ventilation in Adaptive Support Ventilation / J-M. Arnal, E.G. Daoud //J Mech Vent. – 2021. – 2(3). – P. 80–85.
31. Baedorf Kassis, E.N. Adaptive support ventilation and lung-protective ventilation in ARDS / E.N. Baedorf Kassis, A.B. Bastos, M.S. Schaefer et al. // Respir Care. – 2022. – 67(12). – P. 1542–1550.
32. Barbateskovic, M. Higher vs Lower Oxygenation Strategies in Acutely Ill Adults / M. Barbateskovic, O.L. Schjørring, S.R. Krauss et al. // Chest. – 2021. – 159. – P. 154–73.
33. Barbosa, F. T. Positive end-expiratory pressure (PEEP) during anaesthesia for prevention of mortality and postoperative pulmonary complications / F.T. Barbosa, A.A. Castro, C.F. de Sousa-Rodrigues // Cochrane Database Syst. Rev. – 2014. – Issue 6. – CD007922.
34. Barrot, L. Liberal or conservative oxygen therapy for acute respiratory distress syndrome / L. Barrot, P. Asfar, F. Mauny // N Engl J Med. – 2020. – 382. –P. 999–1008
35. Becher, T. Calculation of mechanical power for pressure-controlled ventilation / T. Becher, M. van der Staay, D. Schädler, I. Frerichs, N. Weiler // Intensive Care Med. – 2019. – Sep. – 45(9). – P. 1321–1323.
36. Beijers, A.J. Fully automated closed-loop ventilation is safe and effective in post-cardiac surgery patients / A.J. Beijers, A.N. Roos, A.J Bindels // Intensive Care Med. – 2014. – May. – 40(5). – P. 752–3.
37. Beitler, J.R. Ventilator- induced Lung Injury / J.R. Beitler, A. Malhotra, B.T. Thompson // Clin. Chest Med. – 2016. – vol 37. – P. 633–646.
38. Bellani, G. LUNG SAFE Investigators; ESICM Trials Group. Epidemiology, patterns of care, and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units in 50 countries

- / G. Bellani, JG. Laffey, T. Pham et al. // JAMA. – 2016. – Is. 315(8). – P. 788–800.
39. Belliato, M. Evaluation of adaptive support ventilation in paralysed patients and in a physical lung model / M. Belliato, A. Palo, D. Pasero, G.A. Iotti, F. Mojoli, A. Braschi // *Int J Artif Organs*. – Vol. 27. – no. 8. – 2004. – P. 709–716.
  40. Belliato, M. Automated weaning from mechanical ventilation / M. Belliato // *World J Respirol*. – 2016. – July. – 28. – 6(2). – P. 49–53.
  41. Bendixen, H. H. Impaired oxygenation in surgical patients during general anesthesia with controlled ventilation. A concept of atelectasis / H.H. Bendixen, J. Hedley-Whyte, M.B. Laver // *N. Engl. J. Med*. – 1963. – Vol. 269. – P. 991–996.
  42. Bialais, E. Closed-loop ventilation mode (IntelliVent®-ASV) in intensive care unit: a randomized trial / E. Bialais, X. Wittebole, L. Vignaux et al. // *Minerva Anesthesiol*. – 2016. – 82. – P. 657–68.
  43. Bickler, P. The Pulse Oximeter Is Amazing, but Not Perfect / P. Bickler, K.K. Tremper // *Anesthesiology*. – 2022. – T. 136. – №. 5. – P. 670–671.
  44. Bluth, T. Effect of intraoperative high positive end-expiratory pressure (PEEP) with recruitment maneuvers vs low peep on postoperative pulmonary complications in obese patients: a randomized clinical trial / T. Bluth, A. Serpa Neto, M.J. Schultz, P. Pelosi, M. Gama de Abreu // *JAMA*. – 2019. – 321. – P. 2292–2305.
  45. Botta, M. Effectiveness, safety and efficacy of INTELLiVENT-adaptive support ventilation, a closed-loop ventilation mode for use in ICU patients - a systematic review / M. Botta, E. F. E. Wenstedt, A. M. Tsonas et al. // *Expert Rev Respir Med*. – 2021. – 15(11). – P. 1403–1413.
  46. van den Boom, W. The Search for Optimal Oxygen Saturation Targets in Critically Ill Patients: Observational Data From Large ICU Databases / W. van den Boom, M. Hoy, J. Sankaran et. al. // *Chest*. – 2020. – T. 157. – №. 3. – P. 566–573.
  47. Branson, R.D. Advanced Techniques in Mechanical Ventilation in book *Textbook of critical care*, 8 th edition / J-L. Vincent, J.J Marini, R. Bellomo: – 2023: Elsevier. – P. 548
  48. Brazzale, D.J. Optimizing respiratory function assessments to elucidate the impact of obesity on respiratory health / D.J. Brazzale, J.J. Pretto, L.M. Schachter // *Respirology*. – 2015. – 20 (5). – P. 715–21.
  49. Brower, R. G. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome / R.G. Brower, M.A. Matthay, A. Morris A. D. et al. *Acute Respiratory Distress Syndrome Network* // *N. Engl. J. Med*. – 2000. – Vol. 342, No 18. – P. 1301–1308.
  50. Buiteman-Kruizinga, L.A. Effect of INTELLiVENT-ASV versus conventional ventilation on ventilation intensity in patients with COVID-19 ARDS-An observational study / L.A. Buiteman-Kruizinga, A. Serpa Neto, M. Schultz et al. // *J Clin Med*. – 2021. – 10(22). – P. 5409.
  51. Buiteman-Kruizinga, L.A. Automation to improve lung protection / L.A. Buiteman-Kruizinga, A. Serpa Neto, M.J. Schultz // *Intensive Care Med*. – 2022. – Jul;48(7). – P. 943–946.
  52. Buiteman-Kruizinga, L.A. Closed-loop ventilation in COVID-19 patients with acute hypoxemic respiratory failure-A case series / L.A. Buiteman-Kruizinga, P.L.J. van der Heiden, F. Paulus et al. // *Nurs Crit Care*. – 2023. – May 5. – P. 1–7.
  53. Buiteman-Kruizinga, L.A. A closed-loop ventilation mode that targets the lowest work and force of breathing reduces the transpulmonary driving pressure in patients with moderate-to-severe ARDS / L.A. Buiteman-Kruizinga, P.L.J. van der Heiden, F. Paulus et al. // *Intensive Care Medicine Experimental*. – 2023. – 11(1). – 42.
  54. Caironi, P. Driving pressure and intraoperative protective ventilation / P. Caironi // *Lancet Respir Med*. – 2016. – 4(4). – P. 243–5.
  55. Canet, J. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort / J. Canet, L. Gallart, C. Gomar et al. // *Anesthesiology*. – 2010. – Vol. 113, No 6. – P. 1338–1350.
  56. Chaney, MA. Protective ventilation attenuates postoperative pulmonary dysfunction in patients undergoing cardiopulmonary bypass / M.A. Chaney, M.P. Nikolov, B.P. Blakeman, et al. // *J Cardiothorac Vasc Anesth*. – 2000. – 14(5). – P. 514–8.

57. Chatburn, R.L. Closed-Loop Control of Mechanical Ventilation: Description and Classification of Targeting Schemes / R.L. Chatburn, E. Mireles-Cabodevila // *Respiratory Care*. – January 2011. – Vol 56. – №1.
58. Chen, C.W. Effects of Implementing Adaptive Support Ventilation in a Medical Intensive Care Unit / C.W Chen, C.P. Wu, Y.L. Dai et. al.//*Respir care*. – July 2011. – Vol. 56. – N 7. – P. 976–983.
59. Chiumello, D. Hysteresis and Lung Recruitment in Acute Respiratory Distress Syndrome Patients: A CT Scan Study / D. Chiumello, J.M. Arnal, M. Umbrello et al. // *Crit Care Med*. – 2020. –48(10). – P. 1494–1502.
60. Chlif, M. Effects of obesity on breathing pattern, ventilatory neural drive and mechanics / M. Chlif, D. Keochkerian, D. Choquet // *Respir Physiol Neurobiol*. – 2009. – 168(3). – P. 198–202.
61. Coppola S, Caccioppola A, Froio S, Formenti P, De Giorgis V, Galanti V, Consonni D, Chiumello D. Effect of mechanical power on intensive care mortality in ARDS patients / S. Coppola, A. Caccioppola, S. Froio et al. // *Crit Care*. – 2020. – 24(1). – P. 246.
62. Costa, E. Ventilatory variables and mechanical power in patients with acute respiratory distress syndrome / E. Costa, A.S. Slutsky, L.J. Brochard et al. // *Am J Respir Crit Care Med*. – 2021. – 204 (3)/ - P. 303–311.
63. Coussa, M. Prevention of atelectasis formation during the induction of general anesthesia in morbidly obese patients / M. Coussa, S. Proietti, P. Schnyder et al. // *Anesth Analg*. – 2004. – 98(5). – P. 1491–5.
64. Cressoni, M. Mechanical power and development of ventilator-induced lung injury / M. Cressoni, M. Gotti, C. Chiurazzi et al. // *Anesthesiology*. – 2016. – 124(5). – P. 1100–1108.
65. Curtis B.R. Perceptions of Hyperoxemia and Conservative Oxygen Therapy in Management of Acute Respiratory Failure / B.R. Curtis, K.J. Rak, A. Richardson et al. // *Ann Am Thorac Soc*. – 2021.- N18 (8). – P. 1369–9.
66. Curtis, J.J. Elevated hemidiaphragm after cardiac operations: incidence, prognosis and relationship to the use of topical ice slush / J.J. Curtis, W. Nawarawong, J.T.Walls // *Annals Thoracic Surgery*. – 1989. – Vol.48. – P.764–768.
67. Dabbagh, A. Postoperative Critical Care for Adult Cardiac Surgical Patients/A. Dabbagh, F. Esmailian, S. Aranki S.- Second Edition.- Cham.- Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. – 2018. – P. 672.
68. Defresne, A.A. Recruitment of lung volume during surgery neither affects the postoperative spirometry nor the risk of hypoxemia after laparoscopic gastric bypass in morbidly obese patients: a randomized controlled study /A.A. Defresne, G.A. Hans, P.J. Goffin et al. // *Br J Anaesth*. – 2014. – 113(3). – P. 501–507.
69. De Jong, A. How to ventilate obese patients in the ICU / A. De Jong, H. Wrigge, G. Hedenstierna et al. // *Intensive Care Med*. – 2020. – 46. –P. 2423–2435.
70. Djaiani, G.N. Ultra fast-track anesthetic technique facilitates operating room extubation in patients undergoing off-pump coronary revascularization surgery / G.N. Djaiani, M. Ali, L. Heinrich et al. // *J Cardiothorac Vasc Anesth*. – 2001. – Vol.15. – P. 152–159.
71. Drinker, P. The use of new apparatus for the prolong administration of artificial respiration. A fatal case of poliomyelitis / P. Drinker, C. McKhann // *JAMA*. – 1929. – 92. – P. 1658–1660.
72. Driscoll, B.R. Oxygen Use in Critical Illness / B.R. Driscoll, R. Smith // *Respir Care*. – 2019. – 64(10). – P. 1293–1307.
73. Engstrom, C.G. Treatment of severe cases of respiratory paralysis by the Engstrom universal respirator / C.G. Engstrom // *Br Med J*. – 1954. –2. –P. 666–669.
74. Esteban, A. A comparison of four methods of weaning patients from mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group / A. Esteban, F. Frutos, M.J. Tobin et al. // *N Engl J Med*. – 1995. – 332. – P. 345–350.
75. Fan E., Del Sorbo L., Goligher E. C. et al. An official American Thoracic Society/European Society of Intensive Care Medicine/Society of Critical Care Medicine clinical practice guideline: Mechanical ventilation in adult patients with acute respiratory distress syndrome /E. Fan, L. Del

- Sorbo, E.C. Goligher et al. // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2017. – Vol. 195. – P. 1253–1263
76. Fernandez-Bustamante, A. Intraoperative ventilation: incidence and risk factors for receiving large tidal volumes during general anesthesia / A. Fernandez-Bustamante, C.L. Wood, Z.V. Tran et al. // *BMC Anesthesiol.* – 2011. – P. 11–22.
  77. Fernandez-Bustamante, A. Perioperative lung protective ventilation in obese patients / A. Fernandez-Bustamante, S Hashimoto, A. Serpa Neto et al. // *BMC Anesthesiol.* – 2015. – P. 15–56.
  78. Fot, E.V. Automated weaning from mechanical ventilation after off-pump coronary artery bypass grafting / E.V. Fot, N.N. Izotova, A.S. Yudina et. al. // *Front Med (Lausanne).* – 2017. – Mar 21. – 4. – P. 31–36.
  79. Fuller, B.M. Pulmonary mechanics and mortality in mechanically ventilated patients without acute respiratory distress syndrome: a cohort study / B.M. Fuller, D. Page, R.J. Stephens et al. // *Shock.* – 2018. – 49(3). – P. 311–316.
  80. Futier, E. Noninvasive ventilation and alveolar recruitment maneuver improve respiratory function during and after intubation of morbidly obese patients: a randomized controlled study / E. Futier, J-M. Constantin, P. Pelosi, et al. // *Anesthesiology.* – 2011. – 114(6). – P. 1354–63.
  81. Futier, E. A trial of intraoperative low tidal-volume ventilation in abdominal surgery/E. Futier, J-M. Constantin, C. Paugam-Burtz, et al.// *N Engl J Med.* – 2013. – 369(5). – P. 428–37.
  82. Gajic, O. Ventilator settings as a risk factor for acute respiratory distress syndrome in mechanically ventilated patients / O. Gajic, F. Frutos-Vivar, A. Esteban et al. // *Intensive Care Med.* – 2005. – 31(7). – P. 922–6.
  83. Gattinoni, L. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power / L. Gattinoni, T. Tonetti, M. Cressoni et al. // *Intensive Care Med.* – 2016. – 42(10). – P. 1567–575.
  84. Gattinoni, L. The future of mechanical ventilation: lessons from the present and the past / L. Gattinoni, J.J. Marini, F. Collino et al. // *Crit Care.* – 2017. – 21(1). – P. 183.
  85. Gattinoni, L. Mechanical power: meaning, uses and limitations. / L. Gattinoni, F. Collino, L. Camporota // *Intensive Care Med.* – 2023. – 49 (4). – P.465–467.
  86. Giosa, L. Mechanical power at a glance: a simple surrogate for volume-controlled ventilation. / L. Giosa, M. Busana, I. Pasticci et al. // *Intensive Care Med Exp.* – 2019. – 27. – 7(1). – P. 61.
  87. Goepfert, M.S. Goal-directed fluid management reduces vasopressor and catecholamine use in cardiac surgery patients / M.S. Goepfert, D.A. Reuter, D. Akyol // *Intensive care Med.*– 2007. – Vol.33. – C. 96–103.
  88. Goligher, E.C. Clinical strategies for implementing lung and diaphragm-protective ventilation: Avoiding insufficient and excessive effort / E.C. Goligher, A.H. Jonkman, J. Dianti et al. // *Intensive Care Med.*– 2020. – 46(12). – P. 2314–2326.
  89. Goligher, E.C. Lung- and Diaphragm-Protective Ventilation / E.C. Goligher, M. Dres, B.K. Patel // *Am J Respir Crit Care Med.* – 2020. – 202(7). – P. 950–961.
  90. Goligher, E.C. Effect of lowering Vt on mortality in acute respiratory distress syndrome varies with respiratory system elastance / E.C. Goligher, E.L.V. Costa, C.J. Yarnell et al. // *Am J Respir Crit Care Med.* –2021. – 203(11). – P.1378–1385.
  91. Gregory, A.J. Cardiac Surgery ERAS A.J. Gregory, D.T. Engelman, J.B. Williams et al. In book *Urman Enhanced Recovery After Surgery A Complete Guide to Optimizing Outcomes/ O. Ljungqvist, N.K. Francis, R. D., Cham.* – Springer Nature Switzerland AG. – 2020. – P. 488.
  92. Gruber, P.C. Randomized controlled trial comparing adaptive-support ventilation with pressure-regulated volume-controlled ventilation with automode in weaning patients after cardiac surgery / P.C. Gruber, C.D. Gomersall, P. Leung, G.M. Joynt, S.K. Ng, K.M. Ho, M.J. Underwood // *Anesthesiology.* – 2008. – 109 (1). – P. 81–87
  93. Guerin, C. Investigators of the acurasy and proseva trials. effect of driving pressure on mortality in ards patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized controlled trials / C. Guerin, L. Papazian, J. Reignier et al. // *Crit Care.* – 2016. – 20 (1). – P. 384.
  94. Güldner, A. Intraoperative protective mechanical ventilation for prevention of postoperative pulmonary complications: a comprehensive review of the role of tidal volume, positive end-

- expiratory pressure, and lung recruitment maneuvers / A. Güldner, T. Kiss, A. Serpa Neto, S.N.T. Hemmes, J. Canet, P.M. Spieth, P.R.M. Rocco, M.J. Schultz, P. Pelosi, M. G. de Abreu // *Anesthesiology*. – 2015. – Vol. 123, No 3. – P. 692–713.
95. Han, L. Effects of Adaptive Support Ventilation and Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation on Peripheral Circulation and Blood Gas Markers of COPD Patients with Respiratory Failure / L. Han, Y. Wang, Y. Gan, L. Xu // *Cell Biochem Biophys*. – September 2014. – Volume 70. – Issue 1. – P. 481–484.
  96. Hartland, B. L. Alveolar recruitment maneuvers under general anesthesia: a systematic review of the literature / B.L. Hartland, T.J. Newell, N Damico // *Respir. Care*. – 2015. – Vol. 60, № 4. – P. 609–620.
  97. Hedenstierna, G. Functional residual capacity, thoracoabdominal dimensions, and central blood volume during general anesthesia with muscle paralysis and mechanical ventilation / G. Hedenstierna, B. Strandberg, H. Brismar et al. // *Anesthesiology*. – 1985. – Vol. 62(3) – P.247–254.
  98. Hedenstierna, G. Respiratory function during anesthesia: effects on gas exchange. / G. Hedenstierna, H.U. Rothen // *Compr Physiol*. – 2012. – 2. – P. 69–96
  99. Hedenstierna, G. Airway closure, more harmful than atelectasis in intensive care? / G. Hedenstierna, L. Chen, L. Brochard // *Intensive Care Med*. – 2020. – 46. – P. 2373–2376.
  100. Henry, M. Exposition of the Old and New Testaments / M. Henry. – 1st American ed. – Philadelphia, Ed. Barrington & Geo. D. Haswell. – 1828.
  101. Hikmet, N. An investigation into low mail survey response rates of information technology users in health care organizations / N. Hikmet, S.K. Chen // *Int J Med Inform*. – 2003. – Dec;72(1-3). – P. 29–34.
  102. Hollinger, I. Fast track in New York / J. Hollinger // *Applied Cardiopulmonary Pathophysiology*. – 2006. – vol. 10. – P. 38–39.
  103. Imber, D.A. Respiratory Management of perioperative Obese Patients: A Literature Review / D.A. Imber, M. Pirrone, C. Zhang, et al. // *Respir Care*. – 2016. – 61(12). – P. 1681–1692.
  104. Jaber, S. Clinical review: Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction - human studies confirm animal model findings! / S. Jaber, B. Jung, S. Matecki et al. // *Crit. Care. BioMed Central*. – 2011. – P. 206.
  105. Jia, X. Risk factors for ARDS in patients receiving mechanical ventilation for > 48 h / X. Jia, A. Malhotra, M. Saeed, et al. // *Chest*. – 2008. – 133(4). – P. 853–861.
  106. Jones, R.L. The effects of body mass index on lung volumes / R.L. Jones, M-M. U. Nzekwu // *Chest*. – 2006. – 130(3). – P. 827–833.
  107. Jonkman, A.H. Proportional modes of ventilation: Technology to assist physiology / A.H. Jonkman, M. Rausedo, G. Carteaux et al. // *Intensive Care Med*. – 2020. – 46(12). – P. 2301–2313.
  108. Jung, B. Adaptive support ventilation prevents ventilator-induced diaphragmatic dysfunction in piglet: an in vivo and in vitro study / B. Jung, J.M. Constantin, N. Rossel et al. // *Anesthesiology*. – 2010. – №6. – P. 1435–43.
  109. Kacmarek, R.M. NAVa In Acute respiraTORy failure (NAVIATOR) Network. Neurally adjusted ventilatory assist in acute respiratory failure: a randomized controlled trial / R.M. Kacmarek, J. Villar, D. Parrilla et. al. // *Intensive Care Med*. – 2020. – 46(12). – P. 2327–2337.
  110. Kaplan, J.A. Essentials of cardiac anesthesia for cardiac surgery / J.A. Kaplan, B. Cronin, M. Timothy.- Second edition.- Philadelphia, PA.-Elsevier, 2018. – 891 p.
  111. Karalapillai, D. Effect of Intraoperative Low Tidal Volume vs Conventional Tidal Volume on Postoperative Pulmonary Complications in Patients Undergoing Major Surgery: A Randomized Clinical Trial / D. Karalapillai, L. Weinberg, P. Peyton et al. // *JAMA*. – 2020. – 324(9). – P. 848–858.
  112. Katayama, S. Predictive factors for successful INTELLiVENT-ASV® use: a retrospective observational study / S. Katayama, K. Tonai, J. Shima et al. // *BMC Anesthesiol*. – 2020. – 20(1). – P. 94.
  113. Katira, B. H. Ventilator-Induced Lung Injury: classic and novel concepts / B.H. Katira // *Respir*.



- Care. – 2019. – Vol. 64. – P. 629–637.
114. Kilgannon, J.H. Emergency Medicine Shock Research Network (EMShockNet) Investigators. Relationship between supranormal oxygen tension and outcome after resuscitation from cardiac arrest / J.H. Kilgannon, A.E. Jones, J.E. Parrillo, R.P. Dellinger, B. Milcarek, K. Hunter, N.I. Shapiro, S. Trzeciak // *Circulation*. – 2011. – 123. – P. 2717–2122.
  115. Kilgannon, J.H. Emergency Medicine Shock Research Network (EMShockNet) Investigators. Association between arterial hyperoxia following resuscitation from cardiac arrest and in-hospital mortality / J.H. Kilgannon, A.E. Jones, N.I. Shapiro, M.G. Angelos, B. Milcarek, K. Hunter, J.E. Parrillo, S. Trzeciak // *JAMA*. – 2010. – 303. – P. 2165–2171.
  116. Kirakli, C. Adaptive Support Ventilation for Faster Weaning in COPD: A Randomized Controlled Trial / C. Kirakli, I. Ozdemir, Z.Z. Ucar et al. // *Eur Respir J*. – 2011. – Oct;38 (4). – P. 774–780.
  117. Kirakli, C. A randomized controlled trial comparing the ventilation duration between Adaptive Support Ventilation and Pressure Assist/Control Ventilation in medical patients in the ICU / C. Kirakli, I. Naz, O. Ediboglu, D. Tatar, A. Budak, E. Tellioglu // *Chest*. – 2015. – Jun. – 147(6). – P. 1503–1509.
  118. Lee, T. W. Pro: Tracheal extubation should occur routinely in the operating room after cardiac surgery / T.W. Lee, E.J. Jacobsohn // *Cardiothor. Vasc. Anesth*. – 2000. – 14 (5). – P. 603–610.
  119. Lellouche, F. A multicenter randomized trial of computer-driven protocolized weaning from mechanical ventilation / F. Lellouche, L. Brochard, J. Mancebo et. al. // *Am J Respir Crit Care Med*. – 2006. – Oct. – 174(8). – P. 894–900.
  120. Lellouche, F. Evaluation of fully automated ventilation: a randomized controlled study in post-cardiac surgery patients / F. Lellouche, P.A. Bouchard, S. Simard et. al. // *Intensive Care Medicine*. – 2013. – 3. – P. 463–471.
  121. Li, X. F. Effect of ventilation mode on postoperative pulmonary complications following lung resection surgery: a randomised controlled trial / X.F. Li, L. Jin, J.M. Jang et al. // *Anaesthesia*. – 2022. – T. 77. – №. 11. – C. 1219–1227.
  122. Littleton, S.W. Impact of obesity on respiratory function / S.W. Littleton // *Respirology*. – 2012. – 17(1). – P. 43–49.
  123. MacIntyre, N.R. Evidence-Based Guide-lines for Weaning and Discontinuing Ventilatory Support: A Collective Task Force Facilitated by the American College of Chest Physicians, the American Association for Respiratory Care, and the American College of Critical Care Medicine / N.R. MacIntyre, D.J. Cook, E.W.Jr. Ely et.al. // *Chest*. – 2001. – 120(6 Suppl). – P.375–95.
  124. MacIntyre, N. Fifty Years of Mechanical Ventilation-1970s to 2020 / N. MacIntyre, C. Rackley, F. Khusid // *Crit Care Med*. – 2021. – 49(4). – P. 558–574.
  125. Mackle, D. Conservative Oxygen Therapy during Mechanical Ventilation in the ICU / D. Mackle, R. Bellomo M. Bailey et. al. // *N Engl J Med*. – 2020. – 382(11). – P. 989–998.
  126. Mafort, T.T. Obesity: systemic and pulmonary complications, biochemical abnormalities, and impairment of lung function / T.T. Mafort, R. Rufino, C.H.H. Costa et. al. // *Multidiscip Respir Med*. – 2016. – 11(1). – P. 28–49.
  127. Magnusson, L. New concepts of atelectasis during general anaesthesia / L. Magnusson, D. R. Spahn // *Br. J. Anaesth*. – 2003. – Vol. 91, No 1. – P. 61–72
  128. Maia, L de A. Controlled invasive mechanical ventilation strategies in obese patients undergoing surgery / L de A. Maia, P. L. Silva, P. Pelosi, P. Rieken, P.R.M. Rocco // *Expert Review of Respiratory Medicine*. – 2017. – Jun. – 11(6). – P.443–452.
  129. Mamdani M, Slutsky AS. Artificial intelligence in intensive care medicine/ M. Mamdani, A.S. Slutsky // *Intensive Care Med*. – 2021. – Feb.– 47(2). – P. 147–149
  130. Manuel, A.R. Correlates of obesity-related chronic ventilatory failure / A.R. Manuel, N. Hart. J.R. Stradling // *BMJ Open Respir Res*. – 2016. – 3(1). – P. 1–6.
  131. Marini, J. J. Evolving concepts for safer ventilation / J.J. Marini // *Crit. Care*. – 2019. – Vol. 23 (Suppl. 1). – P. 114.
  132. Marini, J. J. Static and dynamic contributors to VILI in clinical practice: pressure, energy, and

- power / J.J. Marini, P.R.M. Rocco, L. Gattinoni // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2020. – Vol. 201. – P. 767–774.
133. Martin, D.S. Oxygen therapy in critical illness: precise control of arterial oxygenation and permissive hypoxemia / D.S. Martin, M.P. Grocott // *Crit Care Med.* – 2013. – 41. – P. 423–426.
  134. Matas, R. Intralaryngeal insufflation for the relief of acute surgical pneumothorax. Its history and methods with a description of the latest devices for this purpose / R.Matas // *JAMA.* – 1900. – 34. – P. 1468–1473.
  135. Mead, J. Significance of the relationship between lung recoil and maximum expiratory flow / J. Mead, J.M. Turner, P.T. Macklem, J.B. Little // *Journal of Applied Physiology.* – 1967. – 22(1). – P. 95–108.
  136. Mekontso Dessap, A. Acute cor pulmonale during protective ventilation for acute respiratory distress syndrome: prevalence, predictors, and clinical impact / A. Mekontso Dessap, F. Boissier, C. Charron et al. // *Intensive Care Med.* – 2016. – Is. 42(5). – P. 862–870.
  137. Moradian, S.T. Adaptive Support Ventilation Reduces the Incidence of Atelectasis in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting: A Randomized Clinical Trial / S.T. Moradian, Y. Saeid, A. Ebadi, A. Hemmat, M.S. Ghiasi // *Anesth. Pain Med.* – 2017. – Apr 22. – 7(3). – P. 1–7.
  138. Musch, G. Intraoperative Protective Mechanical Ventilation: Fact or Fiction? / G. Musch, M.F. Vidal Melo // *Anesthesiology.* – 2022. – 1. – 137(4). – P. 381–383.
  139. Naimark, A. Compliance of the respiratory system and its components in health and obesity / A. Naimark, R.M. Cherniack // *nJ. Appl. Physiol.* – 1960. – 15. – P. 377–382.
  140. Nestler, C. Individualized positive end-expiratory pressure in obese patients during general anaesthesia: a randomized controlled clinical trial using electrical impedance tomography / C. Nestler, P. Simon, D. Petroff, S. Hammermuller et.al. // *Br J Anaesth.* – 2017. – 119. – P. 1194–1205.
  141. Neuschwander, A. Automated weaning from mechanical ventilation: Results of a Bayesian network meta-analysis / A. Neuschwander, V. Chhor, A. Yavchitz, M. et. al. // *J Crit Care.* – 2021. – Feb (61). – P. 191–198.
  142. Ortiz, V.E. Strategies for managing oxygenation in obese patients undergoing laparoscopic surgery / V.E. Ortiz, M.F. Vidal-Melo, J.L. Walsh // *Surg Obes Relat Dis.* – 2015. – 11(3). – P. 721–728.
  143. Otis, A.B. Mechanics of breathing in man / A.B. Otis, W.O. Fenn, H. Rahn // *J Appl Physiol.* – 1950. – No2. – P. 592–607.
  144. Pannu, S.R. How much oxygen? Oxygen titration goals during mechanical ventilation / S.R. Pannu, M.A. Dziadzko, O. Gajic // *Am J Respir Crit Care Med.* – 2016. – 193. – P. 4–5.
  145. Pannu, S.R. Early Titration of Oxygen During Mechanical Ventilation Reduces Hyperoxemia in a Pilot, Feasibility, Randomized Control Trial for Automated Titration of Oxygen Levels / S.R. Pannu, M. Exline, B. Clamer et. al. // *Crit Care Explor.* – 2022. – 9. – 4(6). – 0704.
  146. Panwar, R. Conservative versus liberal oxygenation targets for mechanically ventilated patients. A pilot multicenter randomized controlled trial / R. Panwar, M. Hardie, R. Bellomo et al. // *Am J Respir Crit Care Med.* – 2016. – 193. – P. 43–51.
  147. Patel, J. M. Intra-operative adherence to lung-protective ventilation: a prospective observational study / J.M. Patel, R. Baker, J. Yeung // *Perioper. Med.* – 2016. – Vol. 5. – P. 8.
  148. Pelosi, P. Total respiratory system, lung, and chest wall mechanics in sedated-paralyzed postoperative morbidly obese patients / P. Pelosi, M. Croci, I. Ravagnan, P. Vicardi, L. Gattinoni // *Chest.* – 1996. – 109(1). – P. 144–151.
  149. Pelosi, P. The effects of body mass on lung volumes, respiratory mechanics, and gas exchange during general anesthesia / P. Pelosi, M. Croci, I. Ravagnan et al. // *Anesth. Analg.* – 1998. – 87(3). – P. 654–660.
  150. Pelosi, P. Positive end-expiratory pressure improves respiratory function in obese but not in normal subjects during anesthesia and paralysis / P. Pelosi, I. Ravagnan, G. Giurati et al. // *Anesthesiology.* – 1999. – 91(5). – P.1221–1231.
  151. Pelosi, P. Perioperative management of obese patients / P. Pelosi, C. Gregoretti // *Best Pract Res*

- Clin Anaesthesiol. – 2010. – 24(2). – P. 211–225.
152. Pelosi, P. Personalized mechanical ventilation in acute respiratory distress syndrome / P. Pelosi, L. Ball, C.S.V. Barbas et al. // *Crit Care*. – 2021. – 25(1). – P. 250.
  153. Pirrone, M. Recruitment Maneuvers and Positive End-Expiratory Pressure Titration in Morbidly Obese ICU Patients / M. Pirrone, D. Fisher, D. Chipman et al. // *Crit Care Med*. – 2016. – 44(2). – P. 300–307.
  154. Petrini, F. Perioperative and periprocedural airway management and respiratory safety for the obese patient: 2016 SIAARTI Consensus / F. Petrini, Di. I. Giacinto, R. Cataldo et. al. // *Minerva Anesthesiol*. – 2016. – 82(12). – P. 1314–1335.
  155. Platen, P.V. The dawn of physiological closed-loop ventilation-a review/ P.V. Platen, A. Pomprapa, B. Lachmann // *Crit Care*. – 2020. – 24. –P. 121
  156. Putensen, C. The impact of spontaneous breathing during mechanical ventilation / C. Putensen, T. Muders, D. Varelmann et al. // *Current Opinion in Critical Care*. – 2006. – № 12 (1). – P. 13–18.
  157. Reinius, H. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: a computerized tomography study / H. Reinius, L. Jonsson, S. Gustafsson et. al. // *Anesthesiology*. – 2009. – 111(5). – P. 979–987.
  158. Rosenberg, H. Ernst Trier Mørch: inventor, medical pioneer, heroic freedom fighter / H. Rosenberg, J.K. Axelrod // *Anesth Analg*. – 2000. – 90(1). – P. 218–21.
  159. Sanborn, WG. Microprocessor-based mechanical ventilation / W.G. Sanborn // *Respir Care*. – 1993. – 38(1). – P. 72–109.
  160. Santacruz, C.A. Which Multicenter Randomized Controlled Trials in Critical Care Medicine Have Shown Reduced Mortality? A Systematic Review / C.A. Santacruz, A.J. Pereira, E. Celis, J.L. Vincent // *Crit Care Med*. – 2019. – 47(12). – P. 1680–1691.
  161. Sahni, M. Patho mechanisms of the origins of broncho-pulmonary dysplasia / M. Sahni, V. Blandari // *Mol Cell Pediatr*. – 2021. – 8(1). – P.21.
  162. Sebastian, J.C. Respiratory physiology and pulmonary complications in obesity / J.C. Sebastian // *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. – 2013. – 27(2). – P. 157–161.
  163. Serpa Neto, A. Protective versus conventional ventilation for surgery: a systematic review and individual patient data meta-analysis / A. Serpa Neto, S. Hemmes, C. Barbas // *Anesthesiology*. – 2015. – Vol. 123, № 1. – P. 66–78
  164. Serpa Neto, A. How to ventilate patients without acute respiratory distress syndrome? / A. Serpa Neto, F.D. Simonis, M.J. Schultz // *Curr Opin Crit Care*. – 2015. – 21. – P. 65–73.
  165. Serpa Neto, A. PROVE Network Investigators. Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients: an analysis of patients in two observational cohorts / A. Serpa Neto, R.O. Deliberato, A.E.W. Johnson et al. // *Intensive Care Med*. – 2018. – 44(11). – P. 1914–1922.
  166. Severgnini, P. Protective mechanical ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery improves postoperative pulmonary function / P. Severgnini, G. Selmo, C. Lanza, et al. // *Anesthesiology*. – 2013. – 118(6). – P. 1307–21.
  167. Schetz, M. Obesity in the critically ill: a narrative review / M. Schetz, A. De Jong, A.M. Deane, et al. // *Intensive Care Med*. – 2019. – 45. – P. 757–769.
  168. Silva, P.L. Ten Reasons to Use Mechanical Power to Guide Ventilator Settings in Patients Without ARDS / P.L. Silva, P.R. Macedo Rocco, P. Pelosi // In book: *Annual Update in Intensive Care and Emergency Medicine*; editor Jean-Louis Vincent. – Springer. – 2020. – P. 37–53.
  169. Suleiman, A. Association between intraoperative tidal volume and postoperative respiratory complications is dependent on respiratory elastance: a retrospective, multicentre cohort study / A. Suleiman, E. Costa, P. Santer et al. // *British Journal of Anaesthesia*. – 2022. – T. 129. – №. 2. – C. 263–272.
  170. Sullivan, B.L. Con: early extubation in the operating room following cardiac surgery / B.L. Sullivan // *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. – 2012. – Vol. 16. – P. 187–196.

171. Sulzer, C.F. Adaptive support ventilation for fast tracheal extubation after cardiac surgery: A randomized controlled study / C.F. Sulzer, R. Chioloro, P.G. Chassot et al. // *Anesthesiology*. – 2001. – 95 (6). – P. 1339–1345.
172. Sutherasan, Y. Protective mechanical ventilation in the non-injured lung: review and meta-analysis / Y. Sutherasan, M. Vargas, P. Pelosi // *Crit. Care*. – 2014. – Vol. 18, No 2. – P. 211.
173. Tobin, M.J. Principles and Practice of Mechanical Ventilation, 3 rd Edition / Martin J. Tobin / The McGraw-Hill Companies,inc. – 2013. – P. 1585.
174. Tomlinson, J.R. A prospective comparison of IMV and T piece weaning from mechanical ventilation / J.R. Tomlinson, K.S. Miller, D.G. Lorch et al. // *Chest*. – 1989. – № 2. – P. 348–52.
175. Trinkle, C.A. Simple, accurate calculation of mechanical power in pressure controlled ventilation (PCV) / C.A. Trinkle, R.N. Broaddus, J.L. Sturgill et al. // *Intensive Care Med Exp*. – 2022. –10(1). – P. 22.
176. Urner, M. Time-varying intensity of mechanical ventilation and mortality in patients with acute respiratory failure: a registry-based, prospective cohort study/ M. Urner, P. Jüni, B. Hansen, et al. // *Lancet Respir Med*. – 2020. – 8(9). – P. 905–913.
177. Vaporidi, K. NAVA and PAV+ for lung and diaphragm protection / K. Vaporidi // *Current Opinion in Critical Care*. – 2020. – 26(1). – P. 41–46.
178. Varelman, D. Cardiorespiratory effects of spontaneous breathing in two different models of experimental lung injury: a randomized controlled trial / D. Varelman, T. Muders, J. Zinserling // *Crit Care*. – 2008. – № 12. – R 135.
179. Ward, Z.J. Projected US state-level prevalence of adult obesity and severe obesity / Z.J. Ward, S.N. Bleich, A.L. Craddock et al. // *N Engl J Med*. – 2019. – 381. – P. 2440–2450.
180. Wendel Garcia, P.D. Closed-Loop Versus Conventional Mechanical Ventilation in COVID-19 ARDS / P.D. Wendel Garcia, D.A. Hofmaenner, S.D. Brugger et al. // *J Intensive Care Med*. – 2021. – 36(10). – P. 1184–1193.
181. Wenstedt, E.F.E. Current practice of closed-loop mechanical ventilation modes on intensive care units – a nationwide survey in the Netherlands / E.F.E. Wenstedt, A.J.R. De Bie Dekker, A.N. Roos et al. // *Neth J Med*. – 2017. – 75(4). – P. 145–150.
182. Wheatley, D. Adaptive support ventilation. What is it? Beneficial or not? / D. Wheatley, K. Young // *J Mech Vent*. – 2020. – 2(1). – P. 34–44.
183. Younes, M. Proportional Assist Ventilation. In book: Principles And Practice of Mechanical Ventilation, 3-rd edition / M.J. Tobin. – McGraw Hill Professional. – 2012. – P. 315–346.
184. Young, C.C. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations / C.C. Young, E.M. Harris, C. Vacchiano et al. // *Br. J. Anaesth*. – 2019. – Vol. 123. – P. 898–913.
185. Zhou, P. Bacterial and fungal infections in COVID-19 patients: A matter of concern / P. Zhou, Z. Liu, Y. Chen, et al. // *Infect Control Hosp Epidemiol*. – 2020. – 41(9). – P. 1124–1125.
186. Zhu, F. A Randomized Controlled Trial of Adaptive Support Ventilation Mode to Wean Patients after Fast-track Cardiac Valvular Surgery / F. Zhu, C.D. Gomersall, S.K. Ng et al. // *Anesthesiology*. – 2015. – 122 (4). – P. 832–840.

## Приложения

### Приложение А. Анкета о клиническом использовании интеллектуальных режимов ИВЛ в клинической практике

*Данный опрос проводится анонимно. В вопросах 3,6,8,9 возможно несколько вариантов ответов.*

Уважаемый респондент!

1. Согласны ли Вы принять участие в опросе об использовании новых интеллектуальных технологий респираторной поддержки в клинической практике?

да  нет

2. Работаете ли Вы в отделении интенсивной терапии?

да  нет

Укажите, пожалуйста СТАЖ Вашей работы \_\_\_\_\_ лет

3. Какие режимы респираторной поддержки Вы чаще всего используете в ежедневной работе?

- SIMV (Volume Control)
- SIMV (Pressure Control)
- SIMV (Pressure Regulated Volume Control)
- Pressure Support Ventilation
- Volume Support Ventilation

другие режимы \_\_\_\_\_

4. Знаете ли Вы о существовании интеллектуальных режимов ИВЛ (с автоматическим управлением настройками аппарата для поддержания заданных врачом целей по оксигенации, минутной вентиляции, например, intellivent-ASV)?

да  нет

5. Есть ли возможность использования данных режимов в Вашем отделении?

да  нет

6. Откуда Вы узнали про существование данных режимов?

- публикации (книги или научные статьи по специальности)
- материалы конференций

- посещение мастер-классов, тренингов

7. Есть ли у Вас возможность использования данных технологий в своей ежедневной клинической практике?

- да  нет

8. Если Вы имеете возможность использовать данные режимы, но НЕ ИСПОЛЬЗУЕТЕ их, то по какой причине?

- нет расходного материала в отделении (капнографы, пульсоксиметры, датчики потока)
- привычные режимы на основе SIMV (Volume Control или Pressure Control) или PSV значительно надёжнее и безопаснее
- нет достаточных знаний по клиническому применению режима
- не проводилось обучение по использованию данных технологий
- Ваш личный опыт использования данных режимов был неудачным *(Если Вас не затруднит, опишите кратко негативный опыт использования на обратной стороне опросного листа)*

9. Если Вы ИСПОЛЬЗУЕТЕ данные режимы, опишите свои впечатления от их использования:

- удобны и просты в использовании
  - безопаснее для пациентов и проще для медперсонала
  - есть ситуации, когда лучше использовать данные режимы (кратко перечислите некоторые)
- 

**БОЛЬШОЕ СПАСИБО ЗА УЧАСТИЕ В ОПРОСЕ!**

## Приложение Б. Блок-схема результатов по заполнению анкет

