

# Роль неинвазивной респираторной поддержки на разных этапах лечения гипоксемической острой дыхательной недостаточности. Часть II

А. Г. Корякин<sup>1,2</sup>, А. В. Власенко<sup>1,2</sup>, И. С. Ключев<sup>1,2</sup>, Е. П. Родионов<sup>1,2</sup>, Е. А. Евдокимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы», Москва, Россия

<sup>2</sup> Кафедра анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

## РЕЗЮМЕ

Неинвазивная респираторная поддержка в последние годы заняла ключевое место в лечении гипоксемической острой дыхательной недостаточности. Современные методы респираторной поддержки – неинвазивная вентиляция легких и высокопоточная оксигенотерапия – широко применяются как при развитии гипоксемии, так и на этапе прекращения искусственной вентиляции легких при тяжелых формах дыхательной недостаточности. Наряду с большим количеством неоспоримых преимуществ одним из основных ограничений применения неинвазивной респираторной поддержки является своевременное выявление признаков ее неэффективности, показаний для интубации и риск задержки начала инвазивной респираторной поддержки. Во второй части настоящего обзора литературы мы систематизировали данные о возможностях и ограничениях неинвазивной вентиляции легких и высокопоточной оксигенотерапии, критериях оценки их клинической эффективности на этапах развития гипоксемической острой дыхательной недостаточности и прекращения искусственной вентиляции легких, в том числе у пациентов-канюленосителей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гипоксемическая острая дыхательная недостаточность, респираторная поддержка, неинвазивная вентиляция легких, высокопоточная оксигенотерапия.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## The role of non-invasive respiratory support at different stages of acute hypoxemic respiratory failure treatment. Part II

A. G. Koryakin<sup>1,2</sup>, A. V. Vlasenko<sup>1,2</sup>, I. S. Kluev<sup>1,2</sup>, E. P. Rodionov<sup>1,2</sup>, E. A. Evdokimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Anesthesiology, reanimatology and emergency medicine department of the Russian Medical Academy Continuing Professional Education, Moscow, Russia

## SUMMARY

In recent years, noninvasive respiratory support has taken a key place in the hypoxemic acute respiratory failure treatment. Modern methods of respiratory support – noninvasive ventilation and high-flow oxygen therapy are widely used both in the hypoxemia development and at the stage of mechanical ventilation discontinuation at severe forms of respiratory failure. Along with many undeniable advantages, one of the main limitations of non-invasive respiratory support is the timely detection of signs of its ineffectiveness, indications for intubation, and the risk of delaying the initiation of invasive respiratory support. In the second part of this review, we systematized data on the possibilities and limitations of developing hypoxemic acute respiratory failure and discontinuing mechanical ventilation, including in patients with cannulas.

**KEYWORDS:** hypoxemic acute respiratory failure, respiratory support, noninvasive ventilation, high-flow oxygen therapy.

**CONFLICT OF INTEREST.** The authors declare no conflict of interest.

## Список сокращений

ВВЛ – вспомогательная вентиляция легких

ВПО – высокопоточная оксигенотерапия

ДО – дыхательный объем

ДП – дыхательные пути

ИВЛ – искусственная вентиляция легких

НИВЛ – неинвазивная вентиляция легких

МОД – минутный объем дыхания

ОДН – острая дыхательная недостаточность

ОРДС – острый респираторный дистресс-синдром

ПОН – полиорганная недостаточность

РП – респираторная поддержка

ФОЕ – функциональная остаточная емкость

ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких

ЧДД – частота дыхательных движений

ЧСС – частота сердечных сокращений

ШКГ – шкала ком Глазго

НАCOR – шкала оценки НИВЛ, включающая пять переменных: ЧСС, pH, баллы по ШКГ, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, ЧДД

P-SILI – самоповреждение легких пациентом

P<sub>a</sub>O<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> – индекс оксигенации

pH – отрицательный логарифм концентрации протонов водорода

ROX-HR – модификация индекса ROX, включающая в себя ЧСС

ROX-индекс – соотношение сатурации артериальной крови к фракции вдыхаемого кислорода, помноженное на частоту дыханий

SOFA – шкала оценки полиорганной недостаточности, риска летальности и сепсиса

## Введение

В первой части настоящей работы мы привели основные характеристики методов неинвазивной РП, рассмотрев преимущества и недостатки НИВЛ, особенности применяемых гарнитур, механизмы эффективности ВПО и существующие неопределенности относительно оптимальных настроек их параметров. Одной из важнейших проблем сегодня является выбор оптимального метода неинвазивной РП для лечения гипоксемической ОДН различной этиологии. Масочная НИВЛ и ВПО позволяют улучшить оксигенирующую и вентиляционную функции легких посредством генерации положительного давления в дыхательных путях или высокой скорости потока, снизить вероятность интубации или реинтубации и таким образом избежать осложнений, связанных с ИВЛ [25]. В то же время высокоактивный нейрореспираторный драйв в условиях имеющегося повреждения легких и при сохранении самостоятельного дыхания может провоцировать развитие самоповреждения легких пациентом (Patient self-inflicted lung injury – P-SILI). Оптимальная неинвазивная РП должна быть направлена в том числе и на снижение риска развития самоповреждения легких.

На сегодняшний день отсутствуют данные, позволяющие утверждать о превосходствах того или иного метода неинвазивной РП. Поэтому разработка стратегии респираторной терапии на разных этапах лечения гипоксемической ОДН является принципиально важной прикладной задачей. Во второй части настоящей публикации мы рассмотрим имеющиеся на сегодняшний день методы оценки эффективности НИВЛ и ВПО, а также сравним их клиническую эффективность на разных этапах лечения гипоксемической ОДН.

## Роль индексированных методов оценки эффективности масочной НИВЛ и ВПО

Одной из приоритетных задач при проведении неинвазивной РП является раннее выявление пациентов, у которых респираторная терапия может оказаться неэффективной (нереспондеров), а также прогнозирование вероятности интубации и предотвращение ее задержки [14]. Для этого в разное время был предложен ряд интегральных оценочно-прогностических показателей и индексов, которые применяются как в условиях масочной НИВЛ, так и ВПО.

Традиционно для определения эффективности неинвазивной РП использовался показатель  $P_aO_2/FiO_2$  (индекс оксигенации, P/F-индекс), который интегрально отражает оксигенирующую функцию легких пациента. Гипоксемия, сохраняющаяся несмотря на проведение масочной НИВЛ, является прогностически неблагоприятным фактором [14, 70, 71]. Однако данный показатель имеет ряд недостатков: инвазивность, потенциальные трудности осложнения, связанные с регулярным забором проб артериальной крови, отказ пациента, гематома или отек в месте предполагаемой пункции, тромбоцитопения и т. д. Кроме того, часто возникают вопросы с интерпретацией полученных данных, особенно у коморбидных пациентов со смешанными дыхательными

расстройствами. В условиях ВПО адекватный анализ  $P_aO_2/FiO_2$  невозможен, так как предустановленная  $FiO_2$  всегда ниже, чем  $FiO_2$  в ДП пациента, и разница будет тем больше, чем выше скорость инспираторного потока [56].

Неинвазивный аналог индекса оксигенации, рассчитываемый как соотношение  $SpO_2/FiO_2$ , малоинформативен при использовании ВПО по этой же причине. Кроме этого, имеются данные, что  $SpO_2/FiO_2$  не всегда линейно отражает степень тяжести гипоксемии и может существенно искажать ее в условиях гипоксии [14]. Таким образом, данные показатели представляют ценность при мониторинге эффективности неинвазивной РП только в совокупности с другими методами оценки состояния функции внешнего дыхания.

Среди инструментов мониторинга неинвазивной РП можно выделить так называемые изолированные:

- давление в нижней трети пищевода,
- экспираторный ДО и индексированные:
- ROX,
- POX-HR,
- NACOR и другие показатели.

Изолированные методы оценки целесообразно использовать только в условиях масочной НИВЛ, так как в условиях неинвазивной РП возможности мониторинга дыхания представлены наиболее широко.

Давление, измеряемое баллоном в нижней трети пищевода, может отражать активность нейрореспираторного драйва пациента. В ряде исследований была показана взаимосвязь величины инспираторного усилия (иными словами, активности нейрореспираторного драйва) и эффективности масочной НИВЛ. R. Tonelli и соавт. продемонстрировали, что снижение давления в пищеводе в течение дыхательного цикла (как суррогата инспираторного усилия) на 10 и более см вод. ст. от исходного значения, а также динамика отношения дельты пищеводного давления к дельте динамического транспульмонального давления в течение 2 ч после инициации масочной НИВЛ являются точным предиктором эффективности НИВЛ [72]. Аналогичные результаты были показаны в исследовании D. L. Grieco и соавт., где дельта динамического транспульмонального давления 18 и более см вод. ст. и дельта пищеводного давления более 10 см вод. ст. были ассоциированы с низкой эффективностью НИВЛ [73].

Несмотря на хорошую корреляционную связь и точность данных, предоставляемых при мониторинге пищеводного давления, эта методика на сегодняшний день не выходит за рамки экспериментальной. Это обусловлено рядом причин:

- мониторинг пищеводного давления в условиях НИВЛ требует отдельного измерительного устройства или респиратора, оборудованного дополнительным портом прессометрического мониторинга ( $P_{aux}$ ), и специального катетера, что ограничивает его широкое применение;

- постановка катетера в пищевод и его калибровка занимает время, потеря которого может стать критичной для пациента с тяжелыми дыхательными расстройствами;
- дополнительный катетер в условиях масочной НИВЛ может провоцировать или усугублять утечки, что, в свою очередь, приведет к развитию асинхроний или искажению данных.

Рост активности нейрореспираторного драйва приводит к увеличению МОД. Детерминанты МОД взаимосвязаны с эффективностью масочной НИВЛ. В 2 исследованиях было показано, что экспираторный ДО более 9–9,5 мл/кг идеальной массы тела является значимым критерием эффективности НИВЛ [70, 71]. J. P. Frat и соавт. было показано, что ЧДД более 30 в мин<sup>-1</sup> является фактором, ассоциированным с неэффективностью РП, однако изменения ЧДД в условиях ВПО или масочной НИВЛ не оказывали существенного влияния на успех РП [71]. Однако, по данным O. Rosa и соавт., тахипноэ, которое сохранялось после инициации ВПО, являлось предиктором интубации трахеи [74].

К сожалению, экспираторный дыхательный объем не всегда может быть корректно интерпретирован из-за наличия утечек из-под маски. Тем не менее оценка экспираторного ДО в сочетании с ЧДД и внешними признаками гипервентиляции (такими как включение вспомогательной дыхательной мускулатуры в работу дыхания, раздувание ноздрей, работа грудинно-ключично-сосцевидных мышц и т. д.) и признаки торакоабдоминального асинхронизма могут помочь в раннем распознавании P-SILI.

Внедрение ВПО в широкую клиническую практику способствовало началу поиска простого и надежного показателя эффективности этой методики. O. Rosa и соавт. в 2016 г. предложили к применению ROX-индекс (Respiratory-Oxygenation index), который представляет собой следующее соотношение [75]:

$$ROX = SpO_2 / FiO_2 \times ЧДД$$

Согласно первоначальным данным, значение ROX-индекса, равное или превышающее 4,88 через 12 ч после инициации ВПО, позволяло выявить пациентов-респондеров (т. е. тех пациентов, у которых неинвазивная РП будет потенциально успешной). Дальнейшие исследования показали, что значения ROX-индекса менее 2,85 через 2 ч, менее 3,47 через 6 ч и менее 3,85 через 12 ч после начала ВПО ассоциируются с низкой эффективностью ВПО и высоким риском интубации трахеи [74]. Предложенные интервальные значения, несомненно, полезны для ежедневной оценки и выявления так называемых пограничных пациентов с высоким риском неудачи в условиях ВПО и снижения риска задержки интубации. Однако, по данным последних метаанализов, надежность ROX-индекса остается невысокой, имеющиеся пороговые значения далеки до оптимальных, а его эффективность доказана только для первых 12–24 ч с момента инициации ВПО [76, 77]. Также стоит отметить, что прогностическая ценность

ROX-индекса на сегодняшний день доказана только для пациентов с гипоксемической ОДН, обусловленной пневмонией [78].

Недавно был предложен модифицированный вариант ROX-индекса, который включает в себя ЧСС (индекс POX-HR). Формулой данный индекс представляет собой следующее соотношение:

$$POX - HR = \frac{PaO_2 / FiO_2}{ЧДД} \times ЧСС$$

A. Kansal и соавт. было предложено оценивать динамический индекс POX-HR, который является частным от величины POX-HR до и после инициации ВПО. Таким образом, в интегральной оценке эффективности ВПО отражено влияние нестабильной гемодинамики, которая является независимым предиктором интубации [79]. Величина динамического индекса POX-HR менее 0,1 является предиктором неэффективности ВПО [80]. Однако прогностическую ценность и эффективность данного индекса только предстоит изучить.

Для комплексной оценки эффективности НИВЛ и раннего выявления пациентов с высоким риском интубации в 2017 г. J. Duan и соавт. была разработана и предложена к использованию шкала HASCOR, которая основана на интегральной оценке (от 0 до 25 баллов) пяти ключевых параметров: ЧСС, pH, уровня сознания по ШКГ, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, ЧДД [81]. Пороговой величиной, которая свидетельствует в пользу ранней неэффективности НИВЛ, являются 6 баллов. В то же время снижение количества баллов при исходно высокой оценке по шкале HASCOR в условиях НИВЛ позволяет выявить пациентов-респондеров. Согласно имеющимся данным, прогностическая точность данной шкалы составляет более 80 % и значима в течение 48 ч после инициации масочной НИВЛ.

Несмотря на простоту применения и точность в прогнозировании неудачи при использовании масочной НИВЛ, шкала HASCOR не учитывает этиологию ОДН, которая, в свою очередь, может влиять на тяжесть состояния и на эффективность масочной НИВЛ. Поэтому в 2022 г. шкала HASCOR была модифицирована с учетом ряда факторов, таких как количество баллов по шкале SOFA, наличие пневмонии, кардиогенного отека легких, ОРДС, иммуносупрессии или септического шока. Каждому фактору соответствует определенное количество баллов, которые суммируются с оценкой согласно оригинальной шкале [82]. Оценка по модифицированной шкале HASCOR выглядит следующим образом: количество баллов по шкале HASCOR + 0,5 × SOFA + 2,5, если диагностирована пневмония; – 4, если диагностирован кардиогенный отек легких; + 3, если диагностирован легочный ОРДС; + 1,5, если имеется иммунодефицит; + 2,5, если имеются признаки септического шока. Риск неудачи при масочной НИВЛ различается в зависимости от количества набранных баллов. Согласно расчетам авторов, низкому риску соответствуют пациенты с 7 и менее баллами, умеренному – с 7,5–10,5 баллами, высокому – 11–14 баллами, очень высокому – более чем 14 баллами соответственно [82].

В последние годы некоторыми исследователями приняты первые шаги в унификации шкал для всех методов неинвазивной РП. J. Duan и соавт. была проведена оценка эффективности ROX-индекса для масочной НИВЛ. Прогностическая ценность, по данным исследователей, была умеренной, как и для ВПО. Авторами также было предложено использовать пороговые значения ROX-индекса, отличные от таковых при ВПО, для верификации риска неудачи масочной НИВЛ: менее 2 – низкий риск, 2–6 – умеренный, 6–10 – высокий, более 10 – очень высокий риск соответственно [83]. Использование стандартной шкалы NACOR для выявления пациентов-респондеров в условиях ВПО показало схожую с масочной НИВЛ эффективность [84].

Тем не менее стандартная и модифицированная шкалы NACOR, скорее, характеризуют и обобщают степень тяжести пациента, чем отвечают на вопрос об эффективности масочной НИВЛ после ее инициации. Закономерно, что чем больше количество баллов будет набрано пациентом по данным шкалам, тем больше вероятность, что имеет место клиническая картина полиорганной недостаточности, которая часто требует полного протезирования функции внешнего дыхания в качестве одного из первых этапов лечения пациента в критическом состоянии. Об этом свидетельствуют крайне высокая частота интубаций (87,1%) и внутригоспитальная летальность (65,2%) среди пациентов с 6 и более баллами по шкале NACOR. Также стоит отметить, что оригинальная шкала NACOR была апробирована у пациентов с изолированной гипоксемической ОДН различного генеза, поэтому ее эффективность среди пациентов, у которых ОДН является следствием какого-либо иного заболевания, может быть сомнительна [81]. Эта проблема была частично решена разработкой модифицированной шкалы NACOR, однако ее эффективность еще только предстоит изучить.

Таким образом, не существует универсального критерия для выявления пациентов-респондеров при проведении неинвазивной РП. Имеющиеся данные подчеркивают важность понимания причин развития ОДН, необходимость пристального внимания к респираторному паттерну пациента для диагностики P-SILI. Поэтому сохраняется необходимость поиска дополнительных специфических критериев и показателей, которые позволят своевременно принять решение об эскалации неинвазивной РП, минимизировать риск задержки интубации и начала принудительной ИВЛ.

### **Применение масочной НИВЛ и ВПО при развитии гипоксемической ОДН**

Манифестация гипоксемической ОДН остается одной из ведущих причин госпитализации и поступления пациентов в ОР. Целью неинвазивной РП при развитии гипоксемической ОДН является снижение частоты интубаций с возможностью избежать ИВЛ, так как это улучшает результаты лечения этих пациентов. Однако на сегодняшний день отсутствуют четкие рекомендации относительно стратегии неинвазивной РП на всех этапах лечения гипоксемической ОДН [85]. Более того, одной

из современных проблем лечения гипоксемической ОДН является минимизация задержки интубации в тех ситуациях, когда неинвазивная РП будет с высокой степенью вероятности неэффективна.

Клиническая эффективность масочной НИВЛ при манифестации гипоксемической ОДН остается предметом дискуссий. По данным M. Ferrer и соавт., применение НИВЛ ассоциировано с меньшей частотой интубаций, в том числе при внебольничной пневмонии, меньшей частотой развития септического шока и летальности. В то же время при развитии ОРДС вероятность интубации стремилась к 100% [86]. При легкой степени ОДН ( $P_aO_2/FiO_2$  200–300 мм рт. ст.) НИВЛ, инициированная в ранние сроки, снижает частоту интубаций по сравнению с НПО [87]. Однако РКИ, в котором сравнивали масочную НИВЛ и НПО у пациентов с внебольничной пневмонией, показало только более высокий  $P_aO_2/FiO_2$  в условиях масочной вентиляции, без влияния на вероятность интубации [88]. По другим данным, вероятность интубации при использовании масочной НИВЛ составляет 46–58% в зависимости от наличия полиорганной недостаточности и степени выраженности дыхательных расстройств [39, 89]. Основной опасностью при проведении НИВЛ является задержка интубации, так как последняя ассоциирована с ростом вероятности летального исхода [90, 91]. Проведенный R. Agarwal и соавт. метаанализ не обнаружил преимуществ НИВЛ у пациентов с ОРДС, в частности, не было выявлено различий в частоте интубаций и летальности по сравнению с НПО [93]. С учетом всех имеющихся данных, на сегодняшний день отсутствуют четкие рекомендации об использовании масочной НИВЛ при манифестации гипоксемической ОДН [85].

Гораздо более эффективна масочная НИВЛ у пациентов с тупой травмой грудной клетки. Последняя, как правило, приводит к развитию тяжелой гипоксемической ОДН вследствие контузии легких, нарушения каркаса грудной клетки и биомеханики дыхания. Более того, у пациентов с политравмой более высок риск развития пневмонии [93]. По данным Ю. Марченкова и соавт., успех масочной НИВЛ имел место у 61% пациентов с тупой травмой грудной клетки. При этом продолжительность лечения в ОР и летальность у них были ниже по сравнению с пациентами, которым сразу была инициирована ИВЛ [94]. Кроме того, инициация масочной НИВЛ, даже в случае неудачи и последующего перевода пациента на ИВЛ, не сопровождалась ухудшением результатов лечения, что свидетельствует о целесообразности ее использования в качестве первого этапа лечения [94]. Данные зарубежных авторов также свидетельствуют о клинической эффективности применения масочной НИВЛ. Было показано, что использование НИВЛ у пациентов с тупой травмой груди и гипоксемической ОДН позволяет снизить частоту интубаций и развития пневмоний по сравнению с НПО [95, 96].

Масочная НИВЛ эффективна у пациентов после обширных хирургических вмешательств на брюшной полости и после резекции легкого. Использование НИВЛ у этих пациентов при развитии ОДН в периоперационном периоде ассоциировано с меньшей частотой интубаций, развитием

НП и сепсиса [97]. У пациентов после кардиохирургических вмешательств влияние масочной НИВЛ также хорошо изучено. В исследованиях у данного контингента пациентов доказано стойкое (как во время сеанса, так и после него) улучшение оксигенирующей и вентиляционной функций легких, снижение частоты интубаций [98, 99].

Ряд исследований на сегодняшний день продемонстрировали значимо более высокую клиническую эффективность ВПО по сравнению с НПО. R. L. Parke и соавт. одними из первых показали, что у пациентов кардиохирургического профиля с развитием среднетяжелого ОРДС выше приверженность к терапии в условиях ВПО, меньше частота десатураций, а частота экстренных сеансов НИВЛ ниже по сравнению с НПО (10 и 30%) [100]. В условиях отделения неотложной помощи и протившоковых палат ВПО зарекомендовала себя в качестве незаменимого средства у пациентов с клинической картиной ОДН. Ряд исследований показал, что у этих пациентов в условиях ВПО снижаются выраженность гипоксемии и степень диспноэ, может снижаться частота немедленных интубаций и потребность в ИВЛ в отсроченном периоде [101–103].

Однолетнее обсервационное исследование J. Messika и соавт. показало возможность использования ВПО в качестве терапии первой линии при развитии гипоксемической ОДН. Ее проводили у трети поступивших пациентов (n=87), из которых 51 был с манифестацией ОДН. У 45 пациентов диагностировали среднетяжелый ОРДС, и в 60% случаев применение ВПО оказалось эффективно. Мультивариантный анализ показал, что предикторами неэффективности ВПО являются полиорганная недостаточность и  $P_aO_2/FiO_2 < 100$  мм рт. ст. [79].

Эффективность ВПО была продемонстрирована у пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией. По данным И. Н. Грачева и соавт., использование ВПО при наличии клинической картины декомпенсации ОДН ( $SpO_2 < 92\%$ , ЧДД  $> 35$ /мин) приводило к снижению частоты интубаций по сравнению с НПО и сеансами экстренной масочной НИВЛ [104].

У пациентов с ожоговой болезнью без термоягационной травмы и ОРДС легкой степени тяжести также были получены положительные результаты применения ВПО. В исследовании А. А. Пономарева и соавт. были продемонстрированы немедленные и отсроченные положительные эффекты ВПО по сравнению с НПО. Частота интубаций значимо различалась: 4 пациента в условиях ВПО и 11 в условиях НПО [105].

Последние отечественные данные свидетельствуют об эффективности ВПО в раннем послеоперационном периоде в качестве профилактической меры для снижения частоты развития внутрибольничных пневмоний [106].

Ряд исследований сравнивал клиническую эффективность масочной НИВЛ и ВПО при развитии гипоксемической ОДН. Так, P. Doshi и соавт. показали, что ВПО и НИВЛ обладают схожей клинической эффективностью. Авторами не было получено различий в частоте интубаций при использовании ВПО (7%) и НИВЛ (13%), остальные показатели в группах также существенно не различались [107].

Крупнейшее на сегодняшний день исследование по сравнению методов неинвазивной РП при манифестации гипоксемической ОДН было проведено J. P. Frat и соавт. в 2015 г. Авторы сравнили клиническую эффективность ВПО, НПО и масочной НИВЛ (между сеансами которой проводилась ВПО). Первичные результаты показали только тенденцию к снижению частоты интубаций при использовании ВПО по сравнению с НПО и НИВЛ (38 и 47%, 50%). Однако 90-дневная летальность среди пациентов, которым проводили ВПО, оказалась значимо ниже. Post hoc анализ продемонстрировал большую эффективность ВПО среди более тяжелых пациентов. В подгруппе пациентов с  $P_aO_2/FiO_2 < 200$  мм рт. ст. и билатеральной инфильтрацией, по данным рентгенографии, различия в частоте интубаций были статистически значимыми: 35% в группе ВПО, 53% в группе НПО и 58% в группе НИВЛ [108]. Эту подгруппу пациентов можно расценивать как среднетяжелый ОРДС. M. Garcia-de-Acila и соавт. показали, что у подобных пациентов с гипоксемией и двусторонней инфильтрацией, которым проводили ВПО, наблюдались те же уровни маркеров эндотелиального повреждения и воспаления, что и у пациентов, которым в итоге потребовалась ИВЛ. Необходимо отметить, что 50% пациентов в условиях ВПО интубация не потребовалась [109].

Таким образом, на сегодняшний день имеются доказательства о большей эффективности ВПО у пациентов с манифестацией гипоксемической ОДН по сравнению с НИВЛ.

Среди иммунокомпрометированных пациентов данные об эффективности разных методов неинвазивной РП неоднозначны. Первые результаты свидетельствовали о снижении частоты интубаций в условиях ВПО [110]. По данным V. Lemiale и соавт., в условиях ВПО нет различий в частоте интубации и летальности по сравнению с НПО, а большей части пациентов требуются экстренные сеансы НИВЛ для коррекции гипоксемии [111]. В РКИ HIGH не было выявлено каких-либо различий в частоте интубаций и летальности между ВПО и НПО [112]. Использование НИВЛ у этих пациентов ассоциировано с большей частотой интубаций и высоким риском летального исхода, а ВПО представляется более эффективным методом РП [113, 114]. Однако крупное обсервационное исследование показало, что вероятность интубации увеличивается при неэффективности любого способа неинвазивной РП, что диктует необходимость крайне скрупулезного выбора метода терапии у данного контингента пациентов [115].

Большинство исследований оценивают клиническую эффективность различных стратегий неинвазивной РП на достаточно крупных, не дифференцированных по этиологии, механизму патогенеза и течения ОДН когортах пациентов. Поэтому накоплено большое количество противоречивых данных об эффективности масочной НИВЛ. Исключение составляют работы, проведенные у пациентов с иммунодефицитом, а также недавнее РКИ OptiТНО, в котором у пациентов с сочетанной травмой, осложненной тупой травмой грудной клетки, сравнивали раннее «профилактическое» применение ВПО в комбинации с масочной НИВЛ и стандартную терапию, включающую

сеансы НИВЛ и НПО при развитии ОДН [116]. Несмотря на то что результаты РКИ не обнаружили каких-либо преимуществ «профилактической» комбинации ВПО и масочной НИВЛ, целесообразно продолжение изучения клинической эффективности неинвазивной РП с учетом особенностей пациента, его основной нозологии и причины развития ОДН, что позволит в последующем выбирать терапию персонализированно.

Кроме того, учитывая имеющиеся данные об ограничении клинической эффективности масочной НИВЛ, целесообразно попытаться увеличить терапевтическую широту ее применения путем комбинации ее с ВПО с целью преодоления недостатков НИВЛ, снижения вероятности интубации, летальности и улучшения результатов лечения пациентов с гипоксемической ОДН. Таким образом, выявление когорт пациентов, для которых сочетание высокоскоростного потока дыхательной смеси и положительного давления в ДП будет наиболее оптимально, является актуальной и современной задачей.

### Применение масочной НИВЛ и ВПО в раннем постэкстубационном периоде

Решение о своевременной экстубации является одним из важнейших при лечении пациента с гипоксемической ОДН. Традиционно экстубацию планируют при соответствии пациента критериям прекращения инвазивной РП. Готовность пациента к экстубации определяют на основании ряда респираторных (восстановление кашлевого рефлекса,  $PaO_2/FiO_2 > 300$  мм рт. ст., индекс Тобина менее 105 и т. д.) и общих (восстановление ясного сознания, отсутствие асинхроний, полное прекращение действия миорелаксантов, отсутствие признаков шока) показателей. При соответствии состояния пациента перечисленным показателям проводится т. н. тест спонтанного дыхания, либо с использованием режимов вспомогательной вентиляции легких с минимальными уровнями ПДКВ и поддержки давлением, либо с использованием Т-образного коннектора для интубационной трубки [117]. После успешного завершения теста спонтанного дыхания пациента считают готовым к плановой экстубации.

Однако даже при соответствии всем критериям в 10–20% случаев и более после запланированной экстубации пациентам требуется повторная интубация и возобновление ИВЛ [118–120]. Причины реинтубации многочисленны. Как правило, основной причиной для повторной интубации и возобновления РП является наличие или рецидив гипоксемической ОДН в раннем постэкстубационном периоде, в том числе вентилятор-ассоциированная пневмония. Помимо респираторных причин, к реинтубации часто приводят манифестация или повторное развитие сепсиса и септического шока, хирургические осложнения, ухудшение неврологического статуса [39]. Кроме того, в 5–15% случаев причиной реинтубации является постинтубационный стридор [121, 122].

Согласно современным литературным данным, повторная интубация ассоциирована с ростом летальности до 25–50%, в то время как летальность пациентов после успешной экстубации составляет 3–12% [123]. Поэтому

выявление пациентов с высоким риском повторной интубации критически важно для оптимизации стратегии прекращения ИВЛ с использованием методов неинвазивной РП и улучшения результатов лечения. Шкалы, повседневно используемые для оценки тяжести состояния пациента в ОР (APACHE-II, SOFA, SAPS), не показали существенной корреляции с вероятностью повторной интубации [120, 124]. На сегодняшний день был проведен ряд крупных исследований, посвященных идентификации факторов риска повторной интубации. На основании их результатов принято выделять следующие ключевые факторы риска реинтубации:

- возраст 65 лет и более;
- сопутствующая кардиальная патология (дисфункция левого желудочка, вне зависимости от причины, или ИБС в анамнезе, или постоянная форма фибрилляции предсердий);
- ослабленный кашлевой толчок, затрудненная самостоятельная эвакуация мокроты;
- APACHE II более 12 баллов в день экстубации;
- продолжительность ИВЛ более 7 сут [120, 125, 126].

Наличие одного и более факторов свидетельствует о высоком риске повторной интубации трахеи.

Использование методов неинвазивной РП у пациентов после прекращения ИВЛ показало свои преимущества в отношении снижения рисков реинтубации как при сохраняющейся клинико-лабораторной картине ОДН, так и для предупреждения ее развития.

Профилактическая масочная НИВЛ проводится сразу после экстубации при отсутствии признаков ОДН. В исследованиях было показано, что это оправдано только у пациентов высокого риска. По данным S. Nava и соавт., при использовании масочной НИВЛ частота повторных интубаций ниже по сравнению со стандартной терапией (8,3 и 24,5%) и, соответственно, меньше риск летального исхода в ОР [37]. В другом исследовании также было показано снижение частоты реинтубаций (16 и 33%) и летальности (0 и 18%) при использовании НИВЛ по сравнению с НПО. Однако скорректированный анализ этих результатов выявил, что НИВЛ наиболее эффективна только у пациентов с ХОБЛ или другими хроническими заболеваниями дыхательной системы [127]. Терапевтическая НИВЛ, проводимая при клинико-лабораторной картине ОДН в ранние сроки после экстубации (до 48 ч) в общей популяции пациентов, не показала каких-либо преимуществ по сравнению с НПО [128]. Более того, A. Esteban и соавт. выявили увеличение риска летальности в условиях терапевтической НИВЛ вследствие задержки реинтубации [129]. Метаанализ, выполненный A. J. Glossop и соавт., также не выявил преимуществ терапевтической НИВЛ в общей популяции пациентов [130].

Применение ВПО в общей популяции пациентов (без стратификации риска реинтубации) продемонстрировало ряд краткосрочных и отсроченных эффектов по сравнению с маской Вентури. По данным S. M. Maggiore и соавт., через 24 ч после запланированной экстубации у пациентов в условиях ВПО существенно выше были

$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  и уровень респираторного комфорта. Через 48 ч только 4 % пациентов в условиях ВПО потребовалось возобновление ИВЛ, тогда как при использовании маски Вентури реинтубация потребовалась 21 % пациентов. Это же касалось и применения экстренной НИВЛ, которая потребовалась 7 % пациентов в условиях ВПО по сравнению с 35 % пациентов с масками Вентури [131]. У пациентов с низким риском повторной интубации ВПО позволила значительно снизить как частоту реинтубаций (4,9 и 12,2 %), так и частоту развития постэкстубационной ОДН (8,3 и 14,4 %) по сравнению с НПО [132]. В РКИ OPERA среди пациентов после обширных хирургических вмешательств ВПО не показала каких-либо преимуществ по сравнению с НПО. Однако следует отметить, что в этом исследовании риск респираторных осложнений у пациентов был низким [133]. Среди пациентов высокого риска повторной интубации использование ВПО не сопровождалось снижением частоты развития ОДН в течение 72 ч от момента экстубации по сравнению с НПО (20 и 27 %) и снижением частоты реинтубации (11 и 16 %). Стоит отметить, что в этом исследовании ВПО использовалась только в течение 24 ч после экстубации, что могло повлиять на итоговые результаты [134]. Результаты недавнего метаанализа тем не менее подтвердили эффективность ВПО для снижения риска развития постэкстубационной гипоксемической ОДН по сравнению с НПО [135].

Можно сделать вывод, что с точки зрения профилактики дыхательных расстройств ВПО и НИВЛ могут быть в равной степени эффективны, однако терапия постэкстубационной гипоксемической ОДН остается неразрешенной проблемой.

Накопление научных данных сменило парадигму исследований в пользу сравнения эффективности ВПО и НИВЛ у пациентов в раннем постэкстубационном периоде. Более того, в последние годы появились работы, которые сравнили сочетанное применение НИВЛ и ВПО с отдельным использованием ВПО.

В исследовании F. Stéphan и соавт. среди кардиохирургических пациентов, которым требовалась продленная ИВЛ вследствие не пройденного теста спонтанного дыхания или неудачной экстубации, при непрерывном проведении ВПО или масочной НИВЛ сеансами по 4 ч в сут реинтубация потребовалась 21 и 21,9 % пациентов, без существенных различий в летальности [136]. Post hoc анализ этого исследования продемонстрировал схожую эффективность масочной НИВЛ и ВПО среди кардиохирургических пациентов с ожирением [137]. Аналогичные данные были продемонстрированы и А. А. Еременко и соавт. у кардиохирургических пациентов с постэкстубационной ОДН. Было отмечено схожее влияние обоих методов РП на оксигенирующую и вентиляционную функции легких, что еще раз продемонстрировало их преимущество по сравнению с НПО [138]. G. Hernández и соавт. также показали сходную клиническую эффективность НИВЛ и ВПО среди пациентов высокого риска повторной интубации. При этом частота реинтубаций была 19,1 и 22,8 % соответственно. В то же время у пациентов в условиях НИВЛ

чаще развивалась постэкстубационная ОДН по сравнению с ВПО (39,8 и 26,9 %), а у 42,9 % пациентов были выявлены отрицательные эффекты масочной вентиляции (авторами не указано, какие конкретно) [132].

Большое количество факторов риска повторной интубации способствовало выделению наиболее уязвимой подгруппы пациентов. Наличие любых 4 и более факторов одновременно свидетельствует об очень высоком риске реинтубации, что говорит в пользу тщательного выбора метода неинвазивной РП. В исследовании G. Hernández и соавт. у данного контингента пациентов было продемонстрировано снижение частоты реинтубации и длительности лечения в ОР при использовании масочной НИВЛ с активным увлажнением по сравнению с ВПО (23,3 и 38,8%; 9,5 и 12,5 сут). Однако толерантность и дискомфорт пациентов в условиях НИВЛ были выше, а время до повторной интубации в условиях НИВЛ существенно отличалось по сравнению с ВПО (27 и 10 ч), что может указывать на задержку реинтубации [139].

Единственным на сегодняшний день исследованием, в котором сравнивали клиническую эффективность сочетанного использования масочной НИВЛ и ВПО с отдельным использованием ВПО, является РКИ, выполненное A. W. Thille и соавт. Сочетание НИВЛ и ВПО продемонстрировало преимущества у пациентов высокого риска реинтубации и имеющимися признаками гиперкапнической дыхательной недостаточности [140]. Первый Post hoc анализ этого исследования, включавший в себя 146 пациентов с гипоксемической ОДН de novo, в ранние сроки после экстубации показал схожие результаты при сравнении методов неинвазивной РП. Частота реинтубаций через 48 ч в условиях ВПО или сочетании ее с НИВЛ среди данного контингента пациентов была схожей (52 %, n=32, и 44 %, n=37). То же самое касается и летальности на 28 сут: 29 % (n=18) погибших пациентов при использовании ВПО и 18 % (n=15) при сочетании ВПО и НИВЛ. Это свидетельствует о возможности терапевтического использования масочной НИВЛ, несмотря на уже имеющиеся данные о ее низкой эффективности в лечении постэкстубационной ОДН [141]. Последующий Post hoc анализ того же РКИ продемонстрировал существенную эффективность сочетания ВПО и НИВЛ по сравнению с ВПО у пациентов с избыточной массой тела и ожирением. Чередование ВПО и НИВЛ значительно снижало частоту повторных реинтубаций на 7-е сут у этого контингента пациентов по сравнению с ВПО (7 и 20 %), а также летальность в ОР (2 и 9 %) [142].

Представленные данные показывают, что единая стратегия использования неинвазивной РП в раннем постэкстубационном периоде отсутствует. Наиболее уязвимой категорией являются пациенты высокого риска повторной интубации, у которых требуется дальнейшее изучение клинической эффективности ВПО и НИВЛ. Несмотря на сохраняющиеся вопросы о возможностях масочной НИВЛ при гипоксемической ОДН, последние данные подтверждают целесообразность ее применения при инцидентах развития дыхательных расстройств после экстубации. Наконец, эффективность сочетанного использования

ВПО и НИВЛ требует дальнейшего изучения у различных групп пациентов для определения наиболее оптимальной тактики реализации неинвазивной РП в раннем постэкстубационном периоде.

### **Применение ВПО у пациентов-канюленосителей на этапе прекращения ИВЛ**

Анализ данных литературы показывает, что трахеостомия выполняется приблизительно у 10–15% пациентов с гипоксемической ОДН, которым требуется пролонгированная ИВЛ [143]. Среди пациентов высокого риска повторной интубации или при развитии постэкстубационной ОДН частота трахеостомий достигает 30% [144]. Как правило, своевременное формирование трахеостомы решает следующие клинические задачи:

- облегчение процесса прекращения ИВЛ («отлучения» от ИВЛ) посредством снижения потребности в седации и возможности более безопасно для пациента проводить сеансы спонтанного дыхания;
- улучшение возможностей ухода за верхними дыхательными путями;
- повышение комфорта и безопасности пациента [145].

С другой стороны, наличие трахеостомической канюли делает этих пациентов одной из наиболее ресурсоемких когорт пациентов в ОР и чревато развитием ряда потенциальных осложнений [145]. Лечение пациентов-канюленосителей подразумевает комплексный и мультидисциплинарный подход:

- реализация индивидуальной стратегии отлучения от респиратора;
- регулярная смена трахеостомических канюль и контроль давления в манжете;
- мониторинг разделительной функции гортани для восстановления глотания и речи;
- оптимизация сроков деканюляции [146].

Особенные трудности при отлучении от респиратора возникают у пациентов-канюленосителей, которым в условиях ИВЛ (как правило, пролонгированной) была выполнена трахеостомия, и они по разным причинам не могут быть деканюлированы в ближайшее время. У этих пациентов значительно увеличивается риск развития вентилятор-ассоциированного трахеобронхита и вентилятор-ассоциированной пневмонии (ВАП), внегочных гнойно-септических и прочих осложнений [147]. Как следствие, растут продолжительность РП и лечения в ОР, экономические затраты и летальность [148, 149].

Общепринятой тактикой отлучения от респиратора пациентов-канюленосителей остается сочетанное применение режимов ВВЛ и сеансов самостоятельного дыхания с использованием НПО и постепенным снижением интенсивности РП (снижение фракции кислорода, уровня поддержки давлением, ПДКВ и т.д.). Альтернативой ему является протокол раннего прекращения вентиляции с поэтапным увеличением времени без ИВЛ. Оба алгоритма отлучения от ИВЛ достаточно продолжительны – в среднем 16 сут при пролонгированной ВВЛ и 11 сут

при раннем прекращении ИВЛ [150]. Оба алгоритма далеко не совершенны, так как не учитывают индивидуальные особенности пациента, состояние его нейрореспираторного драйва, при отсутствии эффективного в таких условиях кондиционирования воздушно-газовой смеси. При раннем прекращении ИВЛ не учитывается рост работы дыхания с увеличением дискомфорта пациента в условиях дыхания через канюлю с ограниченным внутренним диаметром. Кроме того, в условиях НПО увлажнение и согревание вдыхаемой смеси сильно отличается от должного уровня. Наконец, подключение теплообменного фильтра к канюле также может увеличивать работу дыхания и анатомическое мертвое пространство за счет собственного внутреннего объема без адекватного решения проблемы эффективного кондиционирования воздушно-газовой смеси.

С внедрением в рутинную практику метода ВПО появились исследования, посвященные изучению ее клинической эффективности у пациентов-канюленосителей. Однако на сегодняшний день данные в литературе представлены ограниченно и кардинально отличаются друг от друга.

Следует отметить, что в условиях применения ВПО через носовые канюли и трахеостомический коннектор имеются различия в биомеханике дыхания. Основной причиной представляется открытая конфигурация трахеостомической гарнитуры, которая сообщается с окружающей средой и имеет только защитный пластиковый кожух полусферической формы для защиты медицинского персонала от бронхиального секрета пациента. Еще одним фактором в условиях канюленосительства является отсутствие сопротивления носоглотки, которое вносит существенный вклад в создание положительного давления. Поэтому при дыхании через трахеостомическую канюлю положительное давление будет меньше [65]. По причине выключения носоглотки из процесса дыхания, вероятно, будет отсутствовать и эффект увеличения  $FiO_2$  в трахее, хорошо изученный при применении ВПО с носовыми канюлями [56]. Таким образом, наиболее вероятными механизмами эффективности ВПО у пациентов-канюленосителей являются:

- генерация небольшого положительного давления, направленная на преодоление сопротивления канюли и оптимизацию инспираторного усилия;
- возможность поддержания  $FiO_2$  в широком диапазоне значений;
- кондиционирование дыхательной смеси.

На основании этого после разъединения с респиратором у пациентов должна быть компенсирована работа дыхания и оптимизирована активность нейрореспираторного драйва, что в итоге должно обеспечить адекватную оксигенирующую и вентиляционную функции легких в условиях спонтанного дыхания. Однако первые перекрестные исследования не подтвердили эту гипотезу. По данным T. Stripoli и соавт., среди пациентов-канюленосителей с различными нарушениями нейрореспираторного драйва (на фоне декомпенсации ХОБЛ,

субарахноидального кровоизлияния, аноксической комы или политравмы) при использовании ВПО, по сравнению с НПО, не было обнаружено изменений работы дыхания на основании мониторинга электрической активности диафрагмы и контроля внутрипищеводного давления. Влияние на оксигенирующую и вентиляционную функции легких (на основании мониторинга  $P_aO_2/FiO_2$ ,  $P_aCO_2$ , ЧДД) также оказалось незначимым [151]. В другом исследовании был продемонстрирован значимый рост работы дыхания в условиях ВПО и НПО по сравнению с ВВЛ, а существенных различий между ВПО и НПО выявлено не было [152]. Основным недостатком этих исследований являются короткий период наблюдения (от 30 мин до 1 ч) и небольшая выборка, представленная пациентами с неоднородными нозологиями.

Согласно результатам других исследований, были обнаружены различия в эффективности ВПО и НПО в краткосрочном периоде. По данным А. Corley и соавт., уже через 15 мин использования ВПО с трахеостомической гарнитурой среднее давление в дыхательных путях было выше по сравнению с НПО, а соотношение  $SpO_2/FiO_2$  было выше уже спустя 5 мин. Более того, при использовании ВПО было возможно применение более низкого  $FiO_2$  [153]. Среди пациентов, уже отлученных от ИВЛ (продолжительность спонтанного дыхания более 24 последовательных часов), D. Natalini и соавт. установили ряд существенных отличий ВПО и НПО. В первую очередь, в условиях ВПО  $P_aO_2/FiO_2$  был значимо выше по сравнению с НПО. Рост  $P_aO_2/FiO_2$  и снижение ЧДД были прямо пропорциональны скорости потока. Ряд изменений был выявлен и при сравнении результатов прессометрического мониторинга в трахее. При использовании ВПО пиковое и среднее давления были существенно выше при скорости потока 50 л/мин по сравнению с НПО. Наиболее важным открытием было снижение инспираторного усилия в условиях ВПО, которое выражалось в отрицательном пиковом инспираторном давлении, эффект проявлялся уже с минимальных значений скорости потока [65]. Уменьшение инспираторных усилий представляется наиболее важным с точки зрения снижения колебаний плеврального давления в течение дыхательного цикла для минимизации риска P-SILI [15].

Отсроченные эффекты применения ВПО у пациентов-канюленосителей остаются малоизученными. Литературные данные об использовании ВПО в качестве способа отлучения от респиратора практически отсутствуют. В единственном исследовании, посвященном оптимизации сроков деканюляции на основании количества санаций трахеобронхиального дерева, ВПО применялась уже после прекращения ИВЛ [154]. Также в литературе были описаны 2 успешных клинических случая отлучения от респиратора двух пациентов с тяжелой пневмонией (стрептококковой и аспирационной) с ранней инициацией ВПО. РП этим пациентам на этапе отлучения проводилась посредством чередования ВПО и ВВЛ. Прессометрический мониторинг продемонстрировал рост давления в трахее, прямо пропорциональный скорости потока, и снижение инспираторных усилий [155].

Остается неизученным и влияние ВПО и качество кондиционирования дыхательной смеси на развитие легочных гнойно-септических осложнений у пациентов-канюленосителей. Как известно, персистирующие вентилятор-ассоциированные инфекции верхних и нижних дыхательных путей увеличивают продолжительность ИВЛ и напрямую влияют на риск летального исхода [156, 157]. Поэтому представляется крайне важным обеспечить надежное увлажнение и согревание дыхательной смеси у пациентов-канюленосителей для восстановления функционирования локального иммунитета. По данным Р. Twose и соавт., использование ВПО у пациентов-канюленосителей после челюстно-лицевых хирургических вмешательств позволило избежать развития легочных осложнений по сравнению с НПО [158]. Однако роль ВПО в контроле развития легочных гнойно-септических осложнений у пациентов на этапе прекращения ИВЛ требует дальнейшего изучения.

Таким образом, эффективность ВПО у пациентов-канюленосителей остается актуальной проблемой. Противоречивые данные о физиологических механизмах ВПО у данного контингента пациентов, крайне ограниченные научные данные о возможности ее применения в качестве способа прекращения ИВЛ и влияния на развитие легочных осложнений свидетельствуют о необходимости изучения клинической эффективности этого метода РП как на ранних, так и отсроченных этапах прекращения ИВЛ.

## Заключение

На сегодняшний день неинвазивная РП, без сомнений, является ключевым методом лечения гипоксемической ОДН различного генеза. Использование ее вместо традиционной ИВЛ в качестве терапии первой линии во многих клинических ситуациях является оправданным. Вместе с тем применение НИВЛ и ВПО при развитии ОДН и после экстубации ограничено легкими и среднетяжелыми формами дыхательных расстройств, а их эффективность часто зависит от тщательного отбора пациентов, подготовки и опыта медицинского персонала.

Отсутствие убедительных данных о превосходствах одного метода неинвазивной РП над другим, определенные преимущества и ограничения каждого из способов НИВЛ диктуют необходимость продолжать изучение возможности увеличения их клинической эффективности путем разработки алгоритмов персонализированного применения, сочетанного и комбинированного использования в каждой конкретной клинической ситуации. Полученные новые научные данные позволят разработать индивидуальные протоколы реализации технологий НИВЛ в зависимости от этиологии, ведущих механизмов патогенеза и степени тяжести ОДН с учетом персональных особенностей конкретного пациента. Внедрение этих алгоритмов в рутинную практику повысит клиническую эффективность респираторной терапии и улучшит результаты лечения данного контингента пациентов. Поэтому научное обоснование, разработка и внедрение алгоритмов персонализированной респираторной поддержки гипоксемической ОДН на разных этапах лечения представляется наиболее логичным и перспективным направлением эволюции респираторной помощи.

## Список литературы / References

- Ryabov G. A. Синдромы критических состояний / Г. А. Рябов. Москва: Медицина, 1994. 368 с. ISBN 5-225-01123-3.  
Ryabov G. A. Syndromes of critical conditions / G. A. Ryabov. Moscow: Meditsina, 1994. 368 p. (In Russ.). ISBN 5-225-01123-3.
- Зильбер А. П. Клиническая физиология в анестезиологии и реаниматологии / А. П. Зильбер. Москва: Медицина, 1984. 480 с.  
Zil'ber A. P. Clinical physiology in anesthesiology and resuscitation / A. P. Zil'ber. Moscow: Meditsina, 1984. 480 p. (In Russ.).
- Власенко А. В., Евдокимов Е. А., Родионов Е. П. Современные принципы коррекции гипоксии при ОРАС различного генеза. Часть 1. Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2020; 17 (3): 61–78.  
Vlasenko A. V., Evdokimov E. A., Rodionov E. P. Modern principles of hypoxia correction in ARDS of various origins. Part 1. Bulletin of Anesthesiology and Resuscitation. 2020; 17 (3): 61–78. (In Russ.).
- ARDS Definition Task Force, Ranieri V. M., Rubenfeld G. D. et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. JAMA. 2012; 307 (23): 2526–33.
- Grasselli G., Calfe C. S., Camporota L. et al. ESICM guidelines on acute respiratory distress syndrome: definition, phenotyping and respiratory support strategies. Intensive Care Med. 2023; 49 (7): 727–59.
- Brochard L., Slutsky A., Pesenti A. Mechanical Ventilation to Minimize Progression of Lung Injury in Acute Respiratory Failure. Am J Respir Crit Care Med. 2017; 195 (4): 438–42.
- Spinelli E., Mauri T., Beitler J. R. et al. Respiratory drive in the acute respiratory distress syndrome: pathophysiology, monitoring, and therapeutic interventions. Intensive Care Med. 2020; 46 (4): 605–18.
- Jacono F. J., Mayer C. A., Hsieh Y. H. et al. Lung and brainstem cytokine levels are associated with breathing pattern changes in a rodent model of acute lung injury. Respir Physiol Neurobiol. 2011; 178 (3): 429–38.
- Lin S., Walker J., Xu L. et al. Behaviours of pulmonary sensory receptors during development of acute lung injury in the rabbit. Exp Physiol. 2007; 92 (4): 749–55.
- Mulkey D. K., Stornetta R. L., Weston M. C. et al. Respiratory control by ventral surface chemoreceptor neurons in rats. Nat Neurosci. 2004; 7 (12): 1360–9.
- Slutsky A. S., Ranieri V. M. Ventilator-induced lung injury. New England Journal of Medicine. 2013; 369 (22): 2126–36.
- Yoshida T., Torsani V., Gomes S. et al. Spontaneous effort causes occult pendelluft during mechanical ventilation. Am J Respir Crit Care Med. 2013; 188 (12): 1420–7.
- Yoshida T., Roldan R., Beraldo M. A. et al. Spontaneous Effort During Mechanical Ventilation: Maximal Injury With Less Positive End-Expiratory Pressure. Crit Care Med. 2016; 44 (8): e678–688.
- Grieco D. L., Maggiore S. M., Roca O. et al. Non-invasive ventilatory support and high-flow nasal oxygen as first-line treatment of acute hypoxemic respiratory failure and ARDS. Intensive Care Med. 2021; 47 (8): 851–66.
- Yoshida T., Fujino Y., Amato M. B., Kavanagh B. P. Fifty Years of Research in ARDS. Spontaneous Breathing during Mechanical Ventilation. Risks, Mechanisms, and Management. Am J Respir Crit Care Med. 2017; 195 (8): 985–92.
- Респираторная поддержка пациентов в критическом состоянии: руководство для врачей / С. Н. Авдеев [и др.]; под редакцией Е. А. Евдокимова, А. В. Власенко, С. Н. Авдеева. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. 448 с.  
Respiratory Support for Critically Ill Patients: A Guide for Physicians / S. N. Avdeev [et al.]; edited by E. A. Evdokimov, A. V. Vlasenko, S. N. Avdeev. Moscow: GEOTAR-Media, 2021. 448 p. (In Russ.).
- Корякин А. Г., Власенко А. В., Родионов Е. П., Евдокимов Е. А. Асинхрония при респираторной поддержке. Медицинский алфавит. 2022; (17): 50–61.  
Koryakin A. G., Vlasenko A. V., Rodionov E. P., Evdokimov E. A. Asynchronies during respiratory support. Medical Alphabet. 2022; (17): 50–61. (In Russ.).
- Artaud-Macari E., Bubenheim M., le Bouar G. et al. High-flow oxygen therapy versus noninvasive ventilation: a randomised physiological crossover study of alveolar recruitment in acute respiratory failure. ERJ Open Res. 2021; 7 (4): 00373–2021.
- Pérez-Terán P., Marín-Corral J., Dot I. et al. Aeration changes induced by high flow nasal cannula are more homogeneous than those generated by non-invasive ventilation in healthy subjects. J Crit Care. 2019; 53: 186–92.
- Sklienka P., Frellich M., Buřša F. Patient Self-Inflicted Lung Injury—A Narrative Review of Pathophysiology, Early Recognition, and Management Options. J Pers Med. 2023; 13 (4): 593.
- Кассиль В. Л. Механическая вентиляция легких в анестезиологии и интенсивной терапии / В. Л. Кассиль, М. А. Выжигина, Х. Х. Халип. Москва: МЕДпресс-информ, 2009. 608 с. ISBN 5-98322-481-6.  
Kasil' V. L. Mechanical Ventilation in Anesthesiology and Intensive Care / V. L. Kasil', M. A. Vyzhigina, H. H. Khapsi. Moscow: MEDpress-inform, 2009. 608 p. (In Russ.). ISBN 5-98322-481-6.
- Бабак С. Л. Неинвазивная вентиляция легких / С. Л. Бабак, С. Н. Авдеев, А. Г. Мальявин. Москва: Медиа Сфера, 2022. 360 с.  
Babak S. L. Non-invasive Ventilation / S. L. Babak, S. N. Avdeev, A. G. Malyavin. Moscow: Media Sfera, 2022. 360 p. (In Russ.).
- Gibson R. L., Comer P. B., Beckham R. W., McGraw C. P. Actual tracheal oxygen concentrations with commonly used oxygen equipment. Anesthesiology. 1976; 44 (1): 71–3.
- Siemieniuk R. A. C., Chu D. K., Kim L. H. et al. Oxygen therapy for acutely ill medical patients: a clinical practice guideline. BMJ. 2018; 363: k4169.
- Ferreiro B. L., Angimán F., Munshi L. et al. Association of Noninvasive Oxygenation Strategies With All-Cause Mortality in Adults With Acute Hypoxemic Respiratory Failure: A Systematic Review and Meta-analysis. JAMA. 2020; 324 (1): 57–67.
- Nava S., Navales P., Gregoretti C. Interfaces and humidification for noninvasive mechanical ventilation. Respir Care. 2009; 54 (1): 71–84.
- Pisani L., Carlucci A., Nava S. Interfaces for noninvasive mechanical ventilation: technical aspects and efficiency. Minerva Anestesiol. 2012; 78 (10): 1154–61.
- Barach A. L., Martin J., Eckman M. Positive pressure ventilation and its application to the treatment of acute pulmonary edema. Annals of Internal Medicine. 1938; 12: 754–92.
- Motley H. L., Werko L., Courmand A. et al. Observations on the clinical use of positive pressure. Journal of Aviation Medicine. 1947; 18: 417–35.
- Bach J. R., Valenza J. P. The Patient with Paralytic or Restrictive Pulmonary Dysfunction: Standards of Care, Assistive Technology, and Ethics. Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America. 1993; 7 (2): 367–88.
- Meduri G. U., Conoscenti C. C., Menashe P., Nair S. Noninvasive face mask ventilation in patients with acute respiratory failure. 1989; 95 (4): 865–70.
- Bai L., Ding F., Xiong W. et al. Early assessment of the efficacy of noninvasive ventilation tested by HACOR score to avoid delayed intubation in patients with moderate to severe ARDS. Ther Adv Respir Dis. 2022; 16.
- Thille A. W., Contou D., Fragnoli C. et al. Non-invasive ventilation for acute hypoxemic respiratory failure: intubation rate and risk factors. Crit Care. 2013; 17 (6): R269.
- Jaber S., Lescoq T., Futier E. et al. Effect of Noninvasive Ventilation on Tracheal Reintubation Among Patients With Hypoxemic Respiratory Failure Following Abdominal Surgery: A Randomized Clinical Trial. JAMA. 2016; 315 (13): 1345–53.
- Lemiale V., Mokart D., Resche-Rigon M. et al. Effect of Noninvasive Ventilation vs Oxygen Therapy on Mortality Among Immunocompromised Patients With Acute Respiratory Failure: A Randomized Clinical Trial. JAMA. 2015; 314 (16): 1711–9.
- Masip J., Peacock W. F., Price S. et al. Indications and practical approach to non-invasive ventilation in acute heart failure. Eur Heart J. 2018; 39 (1): 17–25.
- Nava S., Gregoretti C., Fanfulla F. et al. Noninvasive ventilation to prevent respiratory failure after extubation in high-risk patients. Crit Care Med. 2005; 33 (11): 2465–70.
- Antonelli M., Confi G., Moro M. L. et al. Predictors of failure of noninvasive positive pressure ventilation in patients with acute hypoxemic respiratory failure: a multi-center study. Intensive Care Med. 2001; 27 (11): 1718–28.
- Antonelli M., Confi G., Esquinas A. et al. A multiple-center survey on the use in clinical practice of noninvasive ventilation as a first-line intervention for acute respiratory distress syndrome. Crit Care Med. 2007; 35 (1): 18–25.
- Nava S., Ceriana P. Causes of failure of noninvasive mechanical ventilation. Respir Care. 2004; 49 (3): 295–303.
- Rana S., Jenad H., Gay P. C. et al. Failure of non-invasive ventilation in patients with acute lung injury: observational cohort study. Crit Care. 2006; 10 (3): R79.
- Gay P. C. Complications of noninvasive ventilation in acute care. Respir Care. 2009; 54 (2): 246–57.
- Roca O. Interfaces in non-invasive ventilation: one mask doesn't fit all. Minerva Anestesiol. 2015; 81 (5): 478–89.
- Pisani L., Carlucci A., Nava S. Interfaces for noninvasive mechanical ventilation: technical aspects and efficiency. Minerva Anestesiol. 2012; 78 (10): 1154–61.
- Бурлаков Р. И. Искусственная вентиляция легких (принципы, методы, аппаратура) / Р. И. Бурлаков, Ю. Ш. Гальперин, В. М. Юревич. Москва: Медицина, 1986. 240 с.  
Burlakov R. I. Artificial ventilation of the lungs (principles, methods, equipment) / R. I. Burlakov, Yu. Sh. Galperin, V. M. Yurevich. Moscow: Medicine, 1986. 240 p. (In Russ.).
- Можаев Г. А., Носов В. В. Влияние искусственной вентиляции легких на мукоцилиарный аппарат и местный иммунитет дыхательной. Анестезиология и реаниматология. 1985; 4: 52–5.  
Mozhaev G. A., Nosov V. V. Effect of artificial ventilation of the lungs on the mucociliary apparatus and local immunity of the respiratory tract. Anesthesiology and resuscitation. 1985; 4: 52–5. (In Russ.).
- Williams R., Rankin N., Smith T. et al. Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of the airway mucosa. Crit Care Med. 1996; 24 (11): 1920–9.
- Ryan S. N., Rankin N., Meyer E., Williams R. Energy balance in the intubated human airway is an indicator of optimal gas conditioning. Crit Care Med. 2002; 30 (2): 355–61.
- American Association for Respiratory Care., Restrepo R. D., Walsh B. K. Humidification during invasive and noninvasive mechanical ventilation: 2012. Respir Care. 2012; 57 (5): 782–8.
- Carleaux G., Lyazidi A., Cordoba-Izquierdo A. et al. Patient-ventilator asynchrony during noninvasive ventilation: a bench and clinical study. Chest. 2012; 142 (2): 367–76.
- Ярошецкий А. И., Власенко А. В., Грицан А. И. и др. Применение неинвазивной вентиляции легких (второй пересмотр). Клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов». Анестезиология и реаниматология. 2019; 6: 5–19.  
Yaroshefsky A. I., Vlasenko A. V., Gritsan A. I. et al. Use of noninvasive ventilation (second revision). Clinical guidelines All-Russian public organization «Federation of Anesthesiologists and Resuscitators». Anesthesiology and Resuscitation. 2019; 6: 5–19. (In Russ.).
- Nishimura M. High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy Devices. Respiratory Care. 2019; 64 (6): 735–42.
- Lenglet H., Sztymf B., Leroy C. et al. Humidified high flow nasal oxygen during respiratory failure in the emergency department: feasibility and efficacy. Respir Care. 2013; 57 (11): 1873–8.
- Dewan N. A., Bell C. W. Effect of low flow and high flow oxygen delivery on exercise tolerance and sensation of dyspnea. A study comparing the transtracheal catheter and nasal prongs. Chest. 1994; 105 (4): 1061–5.
- Roca O., Riera J., Torres F., Masclans J. R. High-flow oxygen therapy in acute respiratory failure. Respir Care. 2010; 55 (4): 408–13.
- Chanques G., Riboulet F., Molinari N. et al. Comparison of three high flow oxygen therapy delivery devices: a clinical physiological cross-over study. Minerva Anestesiol. 2013; 79 (12): 1344–55.
- Miller M. J., DiFiore J. M., Strohl K. P., Martin R. J. Effects of nasal CPAP on supraglottic and total pulmonary resistance in preterm infants. J Appl Physiol (1985). 1990; 68 (1): 141–6.
- Biselli P. J., Kirkness J. P., Grote L. et al. Nasal high-flow therapy reduces work of breathing compared with oxygen during sleep in COPD and smoking controls: a prospective observational study. J Appl Physiol (1985). 2017; 122 (1): 82–8.
- Parke R. L., McGuinness S. P. Pressures delivered by nasal high flow oxygen during all phases of the respiratory cycle. Respir Care. 2013; 58 (10): 1621–4.
- Corley A., Caruana L. R., Barnett A. G. et al. Oxygen delivery through high-flow nasal cannulae increase end-expiratory lung volume and reduce respiratory rate in post-cardiac surgical patients. Br J Anaesth. 2011; 107 (6): 998–1004.
- Mauri T., Alban L., Turini C. et al. Optimum support by high-flow nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure: effects of increasing flow rates. Intensive Care Med. 2017; 43 (10): 1453–63.
- Mauri T., Turini C., Eronia N. et al. Physiologic Effects of High-Flow Nasal Cannula in Acute Hypoxemic Respiratory Failure. Am J Respir Crit Care Med. 2017; 195 (9): 1207–15.
- Sztymf B., Messika J., Bertrand F. et al. Beneficial effects of humidified high flow nasal oxygen in critical care patients: a prospective pilot study. Intensive Care Med. 2011; 37 (11): 1780–6.

64. Itagaki T., Okuda N., Tsunano Y. et al. Effect of high-flow nasal cannula on thoraco-abdominal synchrony in adult critically ill patients. *Respir Care*. 2014; 59 (1): 70–4.
65. Natalini D., Grieco D.L., Santantonio M.T. et al. Physiological effects of high-flow oxygen in tracheostomized patients. *Ann. Intensive Care*. 2019; 9: 114.
66. Möller W., Celik G., Feng S. et al. Nasal high flow clears anatomical dead space in upper airway models. *J Appl Physiol* (1985). 2015; 118 (12): 1525–32.
67. Mauri T., Galazzi A., Binda F., Mascioppo L. et al. Impact of flow and temperature on patient comfort during respiratory support by high-flow nasal cannula. *Crit Care*. 2018; 22 (1): 120.
68. Sztymf B., Messika J., Mayot T. et al. Impact of high-flow nasal cannula oxygen therapy on intensive care unit patients with acute respiratory failure: a prospective observational study. *J Crit Care*. 2012; 27 (3): 324.
69. Austin M.A., Wills K.E., Blizzard L. et al. Effect of high flow oxygen on mortality in chronic obstructive pulmonary disease patients in prehospital setting: randomised controlled trial. *BMJ*. 2010; 341: c5462.
70. Carreaux G., Millán-Guilarte T., De Prost N. et al. Failure of Noninvasive Ventilation for De Novo Acute Hypoxemic Respiratory Failure: Role of Tidal Volume. *Crit Care Med*. 2016; 44 (2): 282–90.
71. Frat J.-P., Ragot S., Coudroy R. et al. Predictors of Intubation in Patients With Acute Hypoxemic Respiratory Failure Treated With a Noninvasive Oxygenation Strategy. *Crit Care Med*. 2018; 46 (2): 208–15.
72. Tonelli R., Fantini R., Tabbi L. et al. Early Inspiratory Effort Assessment by Esophageal Manometry Predicts Noninvasive Ventilation Outcome in De Novo Respiratory Failure. A Pilot Study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020; 202 (4): 558–67.
73. Grieco D.L., Menga L.S., Raggi V. et al. Physiological Comparison of High-Flow Nasal Cannula and Helmet Noninvasive Ventilation in Acute Hypoxemic Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020; 201 (3): 303–12.
74. Roca O., Caralt B., Messika J. et al. An Index Combining Respiratory Rate and Oxygenation to Predict Outcome of Nasal High-Flow Therapy. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019; 199 (11): 1368–76.
75. Roca O., Messika J., Caralt B. et al. Predicting success of high-flow nasal cannula in pneumonia patients with hypoxemic respiratory failure: The utility of the ROX index. *J Crit Care*. 2016; 35: 200–5.
76. Junhai Z., Jing Y., Beibei C., Li L. The value of ROX index in predicting the outcome of high flow nasal cannula: a systematic review and meta-analysis. *Respir Res*. 2022; 23 (1): 33.
77. Zhou X., Liu J., Pan J. et al. The ROX index as a predictor of high-flow nasal cannula outcome in pneumonia patients with acute hypoxemic respiratory failure: a systematic review and meta-analysis. *BMC Pulm Med*. 2022; 22 (1): 121.
78. Ricard J.D., Roca O., Lemiale V. et al. Use of nasal high flow oxygen during acute respiratory failure. *Intensive Care Med*. 2020; 46 (12): 2238–47.
79. Messika J., Ben Ahmed K., Gaudry S. et al. Use of High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy in Subjects With ARDS: A 1-Year Observational Study. *Respir Care*. 2015; 60 (2): 162–9.
80. Kansal A., Ong W.J.D., Dhanvijay S. et al. Comparison of ROX index ( $SpO_2/FiO_2$  ratio/respiratory rate) with a modified dynamic index incorporating  $PaO_2/FiO_2$  ratio and heart rate to predict high flow nasal cannula outcomes among patients with acute respiratory failure: a single centre retrospective study. *BMC Pulm Med*. 2022; 22 (1): 350.
81. Duan J., Han X., Bai L. et al. Assessment of heart rate, acidosis, consciousness, oxygenation, and respiratory rate to predict noninvasive ventilation failure in hypoxemic patients. *Intensive Care Med*. 2017; 43 (2): 192–9.
82. Duan J., Chen L., Liu X. et al. An updated HACOR score for predicting the failure of noninvasive ventilation: a multicenter prospective observational study. *Crit Care*. 2022; 26 (1): 196.
83. Duan J., Yang J., Jiang L. et al. Prediction of noninvasive ventilation failure using the ROX index in patients with de novo acute respiratory failure. *Ann Intensive Care*. 2022; 12 (1): 11.
84. Magdy D.M., Metwally A. The utility of HACOR score in predicting failure of high-flow nasal oxygen in acute hypoxemic respiratory failure. *Adv Respir Med*. 2021; 89 (1): 23–9.
85. Rochweg B., Brochard L., Elliott M.W. et al. Official ERS/ATS clinical practice guidelines: noninvasive ventilation for acute respiratory failure. *Eur Respir J*. 2017; 50 (2): 1602426.
86. Ferrer M., Esquinas A., Leon M. et al. Noninvasive ventilation in severe hypoxemic respiratory failure: a randomized clinical trial. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003; 168 (12): 1438–44.
87. Zhan Q., Su B., Liang L. et al. Early use of noninvasive positive pressure ventilation for acute lung injury: a multicenter randomized controlled trial. *Crit Care Med*. 2012; 40 (2): 455–60.
88. He H., Sun B., Liang L. et al. A multicenter RCT of noninvasive ventilation in pneumonia-induced early mild acute respiratory distress syndrome. *Crit Care*. 2019; 23 (1): 300.
89. Honrubia T., García López F.J., Franco N. et al. Noninvasive vs conventional mechanical ventilation in acute respiratory failure: a multicenter, randomized controlled trial. *Chest*. 2005; 128 (6): 3916–24.
90. Demoule A., Chevret S., Carlucci A. et al. Changing use of noninvasive ventilation in critically ill patients: trends over 15 years in francophone countries. *Intensive Care Med*. 2016; 42 (1): 82–92.
91. Mosier J.M., Sakles J.C., Whitmore S.P. et al. Failed noninvasive positive-pressure ventilation is associated with an increased risk of intubation-related complications. *Ann Intensive Care*. 2015; 5: 4.
92. Agarwal R., Reddy C., Aggarwal A.N., Gupta D. Is there a role for noninvasive ventilation in acute respiratory distress syndrome? A meta-analysis. *Respir Med*. 2006; 100 (12): 2235–8.
93. Koulioti D., Tsigou E., Rello J. Nosocomial pneumonia in 27 ICUs in Europe: perspectives from the EU-VAP/CAP study. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2017; 36 (11): 1999–2006.
94. Марченков Ю.В., Мороз В.В. Неинвазивная вентиляция легких у больных с тяжелой осложненной торакальной травмой. *Пульмонология*. 2011; 2: 54–9. Marchenkov Yu.V., Moroz V.V. Non-invasive ventilation in patients with severe complicated thoracic injury. *Pulmonology*. 2011; 2: 54–9. (In Russ.).
95. Gunduz M., Unlugenc H., Ozalevi M. et al. A comparative study of continuous positive airway pressure (CPAP) and intermittent positive pressure ventilation (IPPV) in patients with flail chest. *Emerg Med J*. 2005; 22 (5): 325–9.
96. Hernandez G., Fernandez R., Lopez-Reina P. et al. Noninvasive ventilation reduces intubation in chest trauma-related hypoxemia: a randomized clinical trial. *Chest*. 2010; 137 (1): 74–80.
97. Squadrone V., Coia M., Cerutti E. et al. Continuous positive airway pressure for treatment of postoperative hypoxemia: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2005; 293 (5): 589–95.
98. Еременко А.А., Левиков Д.И., Егоров В.М. и др. Использование неинвазивной масочной вентиляции легких у кардиохирургических больных с острым респираторным дистресс-синдромом. *Анестезиология и реаниматология*. 2004; 5: 14–17. Eremenko A.A., Levikov D.I., Egorov V.M. et al. Use of noninvasive mask ventilation in cardiac surgery patients with overt respiratory distress syndrome. *Anesthesiology and Resuscitation*. 2004; 5: 14–17. (In Russ.).
99. Еременко А.А., Фомин Д.В., Комнов Р.Д., и др. Сравнение эффективности методов неинвазивной респираторной поддержки в послеоперационном периоде у кардиохирургических больных: пилотное исследование. *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова*. 2023; 3: 97–107. Eremenko A.A., Fomin D.V., Komnov R.D. et al. Comparison of the effectiveness of non-invasive respiratory support methods in the postoperative period in cardiac surgery patients: a pilot study. *A.I. Saltanov Bulletin of Intensive Care*. 2023; 3: 97–107. (In Russ.).
100. Parke R.L., McGuinness S.P., Eccleston M.L. A preliminary randomized controlled trial to assess effectiveness of nasal high-flow oxygen in intensive care patients. *Respir Care*. 2011; 56 (3): 265–70.
101. Bell N., Hutchinson C.L., Green T.C. et al. Randomised control trial of humidified high flow nasal cannulae versus standard oxygen in the emergency department. *Emerg Med Australas*. 2015; 27 (6): 537–41.
102. Jones P.G., Kamona S., Doran O. et al. Randomized Controlled Trial of Humidified High-Flow Nasal Oxygen for Acute Respiratory Distress in the Emergency Department: The HOT-ER Study. *Respir Care*. 2016; 61 (3): 291–9.
103. Rittayamai N., Tscheikuna J., Praphruetkit N., Kijjinyochai S. Use of High-Flow Nasal Cannula for Acute Dyspnea and Hypoxemia in the Emergency Department. *Respir Care*. 2015; 60 (10): 1377–82.
104. Грачев И.Н., Шаталов В.И., Климов А.Г. и др. Сравнительный анализ использования высокопоточной оксигенотерапии у пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией. *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова*. 2020; 3: 95–103. Grachev I.N., Shatalov V.I., Klimov A.G. et al. Comparative analysis of the use of high-flow oxygen therapy in patients with severe community-acquired pneumonia. *A.I. Saltanov Bulletin of Intensive Care Medicine*. 2020; 3: 95–103. (In Russ.).
105. Пономарев А.А., Казеннов В.В., Кудрявцев А.Н. и др. Высокопоточная оксигенотерапия у пациентов с ожоговой травмой. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2021; 18 (3): 46–52. Ponomarev A.A., Kazennov V.V., Kudryavtsev A.N. et al. High-flow oxygen therapy in patients with burn injury. *Bulletin of Anesthesiology and Resuscitation*. 2021; 18 (3): 46–52. (In Russ.).
106. Королева Ю.В. Профилактика и лечение послеоперационных осложнений у пациентов после субтотальной резекции пищевода торакоабдоминальным доступом с внутривидеальным анастомозом: дис. ... канд. мед. наук: Королева Юлия Владимировна. Москва, 2023. 141 с. Koroleva Yu.V. Prevention and Treatment of Postoperative Complications in Patients After Subtotal Esophagectomy Throat/abdominal Access with Intraoperative Anastomosis: Diss. ... Cand. Sci.: Koroleva Yulia Vladimirovna. Moscow, 2023. 141 p. (In Russ.).
107. Doshi P., Whittle J.S., Bublewicz M. et al. High-Velocity Nasal Insufflation in the Treatment of Respiratory Failure: A Randomized Clinical Trial. *Ann Emerg Med*. 2018; 72 (1): 73–83.
108. Frat J.P., Thille A.W., Mercat A. et al. High-flow oxygen through nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *N Engl J Med*. 2015; 372 (23): 2185–96.
109. Garcia-de-Acilu M., Marin-Corral J., Vázquez A. et al. Hypoxemic Patients With Bilateral Infiltrates Treated With High-Flow Nasal Cannula Present a Similar Pattern of Biomarkers of Inflammation and Injury to Acute Respiratory Distress Syndrome Patients. *Crit Care Med*. 2017; 45 (11): 1845–53.
110. Roca O., de Acilu M.G., Caralt B. et al. Humidified high flow nasal cannula supportive therapy improves outcomes in lung transplant recipients readmitted to the intensive care unit because of acute respiratory failure. *Transplantation*. 2015; 99 (5): 1092–8.
111. Lemiale V., Resche-Rigon M., Mokart D., Pène F. et al. High-Flow Nasal Cannula Oxygenation in Immunocompromised Patients With Acute Hypoxemic Respiratory Failure: A Groupe de Recherche Respiratoire en Réanimation Onco-Hématologique Study. *Crit Care Med*. 2017; 45 (3): e274–e280.
112. Azoulay E., Lemiale V., Mokart D. et al. Effect of High-Flow Nasal Oxygen vs Standard Oxygen on 28-Day Mortality in Immunocompromised Patients With Acute Respiratory Failure: The HIGH Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2018; 320 (20): 2099–107.
113. Coudroy R., Jameat A., Petua P. et al. High-flow nasal cannula oxygen therapy versus noninvasive ventilation in immunocompromised patients with acute respiratory failure: an observational cohort study. *Ann Intensive Care*. 2016; 6 (1): 45.
114. Frat J.P., Ragot S., Girault C. et al. Effect of non-invasive oxygenation strategies in immunocompromised patients with severe acute respiratory failure: a post-hoc analysis of a randomised trial. *Lancet Respir Med*. 2016; 4 (8): 646–52.
115. Azoulay E., Pickkers P., Soares M. et al. Acute hypoxemic respiratory failure in immunocompromised patients: the Efraim multinational prospective cohort study. *Intensive Care Med*. 2017; 43 (12): 1808–19.
116. Carrié C., Rieu B., Benard A. et al. Early non-invasive ventilation and high-flow nasal oxygen therapy for preventing endotracheal intubation in hypoxemic blunt chest trauma patients: the OptiHO randomized trial. *Crit Care*. 2023; 27 (1): 163.
117. Ярошевский А.И., Гришан А.И., Авдеев С.Н. и др. Диагностика и интенсивная терапия острого респираторного дистресс-синдрома (Клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов»). *Анестезиология и реаниматология*. 2020; 2: 5–39. Yaroshevsky A.I., Grishan A.I., Avdeev S.N. et al. Diagnosis and intensive care of acute respiratory distress syndrome (Clinical guidelines of the All-Russian public organization (Federation of Anesthesiologists and Resuscitators)). *Anesthesiology and Resuscitation*. 2020; 2: 5–39. (In Russ.).
118. Esteban A., Alía I., Gordo F. et al. Extubation outcome after spontaneous breathing trials with T-tube or pressure support ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997; 156 (2 Pt 1): 459–65.
119. Frutos-Vivar F., Esteban A., Apezteguia C. et al. Outcome of reintubated patients after scheduled extubation. *J Crit Care*. 2011; 26 (5): 502–9.
120. Thille A.W., Harrois A., Schortgen F. et al. Outcomes of extubation failure in medical intensive care unit patients. *Crit Care Med*. 2011; 39 (12): 2612–8.

121. François B., Bellissant E., Gissot V. et al. 12-h pretreatment with methylprednisolone versus placebo for prevention of postextubation laryngeal oedema: a randomised double-blind trial. *Lancet*. 2007; 369 (9567): 1083–9.
122. Jaber S., Chanques G., Matecki S. et al. Post-extubation stridor in intensive care unit patients. Risk factors evaluation and importance of the cuff-leak test. *Intensive Care Med*. 2003; 29 (1): 69–74.
123. Thille A. W., Richard J. C., Brochard L. The decision to extubate in the intensive care unit. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013; 187 (12): 1294–1302.
124. Frutos-Vivar F., Ferguson N. D., Esteban A. et al. Risk factors for extubation failure in patients following a successful spontaneous breathing trial. *Chest*. 2006; 130 (6): 1664–71.
125. Epstein S. K., Ciubotaru R. L., Wong J. B. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest*. 1997; 112 (1): 186–92.
126. Khamiees M., Raju P., DeGirolamo A. et al. Predictors of extubation outcome in patients who have successfully completed a spontaneous breathing trial. *Chest*. 2001; 120 (4): 1262–70.
127. Ferrer M., Valencia M., Nicolas J. M. et al. Early noninvasive ventilation averts extubation failure in patients at risk: a randomized trial. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006; 173 (2): 164–70.
128. Keenan S. P., Powers C., McCormack D. G., Block G. Noninvasive positive-pressure ventilation for postextubation respiratory distress: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2002; 287 (24): 3238–44.
129. Esteban A., Frutos-Vivar F., Ferguson N. D., Arabi Y. et al. Noninvasive positive-pressure ventilation for respiratory failure after extubation. *N Engl J Med*. 2004; 350 (24): 2452–60.
130. Glossop A. J., Shephard N., Bryden D. C., Mills G. H. Non-invasive ventilation for weaning, avoiding reintubation after extubation and in the postoperative period: a meta-analysis. *Br J Anaesth*. 2012; 109 (3): 305–14.
131. Maggioro S. M., Idone F. A., Vaschetto R. et al. Nasal high-flow versus Venturi mask oxygen therapy after extubation. Effects on oxygenation, comfort, and clinical outcome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014; 190 (3): 282–8.
132. Hernández G., Vaquero C., González P. et al. Effect of Postextubation High-Flow Nasal Cannula vs Conventional Oxygen Therapy on Reintubation in Low-Risk Patients: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2016; 315 (13): 1354–61.
133. Futier E., Paugam-Burtz C., Godelet T. et al. Effect of early postextubation high-flow nasal cannula vs conventional oxygen therapy on hypoxaemia in patients after major abdominal surgery: a French multicentre randomised controlled trial (OPERA). *Intensive Care Med*. 2016; 42 (12): 1888–98.
134. Fernandez R., Subira C., Frutos-Vivar F. et al. High-flow nasal cannula to prevent postextubation respiratory failure in high-risk non-hypercapnic patients: a randomized multicenter trial. *Ann Intensive Care*. 2017; 7 (1): 47.
135. Zhu Y., Yin H., Zhang R. et al. High-flow nasal cannula oxygen therapy versus conventional oxygen therapy in patients after planned extubation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2019; 23 (1): 180.
136. Stéphan F., Barrucand B., Petit P. et al. High-Flow Nasal Oxygen vs Noninvasive Positive Airway Pressure in Hypoxic Patients After Cardiothoracic Surgery: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2015; 313 (23): 2331–9.
137. Stéphan F., Bérald L., Rézaiguia-Delclaux S. et al. High-Flow Nasal Cannula Therapy Versus Intermittent Noninvasive Ventilation in Obese Subjects After Cardiothoracic Surgery. *Respir Care*. 2017; 62 (9): 1193–202.
138. Еременко А. А., Полякова П. В., Выжигина М. А. Влияние методов неинвазивной респираторной поддержки на газообмен у кардиохирургических больных с послеоперационной дыхательной недостаточностью. *Общая реаниматология*. 2019; 15 (4): 21–31.
- Еременко А. А., Polyakova P. V., Vyzhigina M. A. Effect of noninvasive respiratory support methods on gas exchange in cardiac surgery patients with postoperative respiratory failure. *General Reanimatology*. 2019; 15 (4): 21–31. (In Russ.).
139. Hernández G., Paredes I., Moran F. et al. Effect of postextubation noninvasive ventilation with active humidification vs high-flow nasal cannula on reintubation in patients at very high risk for extubation failure: a randomized trial. *Intensive Care Med*. 2022; 48 (12): 1751–9.
140. Thille A. W., Muller G., Gacouin A. et al. Effect of Postextubation High-Flow Nasal Oxygen With Noninvasive Ventilation vs High-Flow Nasal Oxygen Alone on Reintubation Among Patients at High Risk of Extubation Failure: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019; 322 (15): 1465–75.
141. Thille A. W., Monseau G., Coudroy R. et al. Non-invasive ventilation versus high-flow nasal oxygen for postextubation respiratory failure in ICU: a post-hoc analysis of a randomized clinical trial. *Crit Care*. 2021; 25 (1): 221.
142. Thille A. W., Coudroy R., Nay M. A. et al. Beneficial Effects of Noninvasive Ventilation after Extubation in Obese or Overweight Patients: A Post Hoc Analysis of a Randomized Clinical Trial. *Am J Respir Crit Care Med*. 2022; 205 (4): 440–9.
143. Abe T., Madotto F., Pham T. et al. Epidemiology and patterns of tracheostomy practice in patients with acute respiratory distress syndrome in ICUs across 50 countries. *Crit Care*. 2018; 22 (1): 195.
144. Perkins G. D., Mistry D., Gates S. et al. Effect of Protocolized Weaning with Early Extubation to Noninvasive Ventilation vs Invasive Weaning on Time to Liberation from Mechanical Ventilation Among Patients with Respiratory Failure: The Breathe Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2018; 320 (18): 1881–8.
145. Freeman B. D. Tracheostomy Update: When and How. *Crit Care Clin*. 2017; 33 (2): 311–22.
146. Whitmore K. A., Townsend S. C., Laupland K. B. Management of tracheostomies in the intensive care unit: a scoping review. *BMJ Open Respir Res*. 2020; 7 (1): e000651.
147. Torres A., Niederman M. S., Chastre J. et al. International ERS/ESICM/ESCMID/ALAT guidelines for the management of hospital-acquired pneumonia and ventilator-associated pneumonia. *Eur Respir J*. 2017; 50 (3): 1700582.
148. Esteban A., Anzueto A., Frutos-Vivar F. et al. Characteristics and Outcomes in Adult Patients Receiving Mechanical Ventilation: A 28-Day International Study. *JAMA*. 2002; 287 (3): 345–55.
149. Jubran A., Grant B. J., Duffner L. A. et al. Long-Term Outcome after Prolonged Mechanical Ventilation. A Long-Term Acute-Care Hospital Study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019; 199 (12): 1508–16.
150. Jubran A., Grant B. J., Duffner L. A. et al. Effect of pressure support vs unassisted breathing through a tracheostomy collar on weaning duration in patients requiring prolonged mechanical ventilation: a randomized trial. *JAMA*. 2013; 309 (7): 671–7.
151. Stripoli T., Spadaro S., Di Mussi R. et al. High-flow oxygen therapy in tracheostomized patients at high risk of weaning failure. *Ann Intensive Care*. 2019; 9 (1): 4.
152. Lersitwimanmaen P., Rittayamai N., Tscheikuna J. J., Brochard L. High-Flow Oxygen Therapy in Tracheostomized Subjects with Prolonged Mechanical Ventilation: A Randomized Crossover Physiologic Study. *Respir Care*. 2021; 66 (5): 806–13.
153. Corley A., Edwards M., Spooner A. J. et al. High-flow oxygen via tracheostomy improves oxygenation in patients weaning from mechanical ventilation: a randomised crossover study. *Intensive Care Med*. 2017; 43: 465–7.
154. Hernández Martínez G., Rodríguez M. L., Vaquero M. C. et al. High-Flow Oxygen with Capping or Suctioning for Tracheostomy Decannulation. *N Engl J Med*. 2020; 383 (11): 1009–17.
155. Mitaka C., Odoh M., Satoh D. et al. High-flow oxygen via tracheostomy facilitates weaning from prolonged mechanical ventilation in patients with restrictive pulmonary dysfunction: two case reports. *J Med Case Rep*. 2018; 12 (1): 292.
156. Martin-Loeches L., Povoa P., Rodríguez A. et al. Incidence and prognosis of ventilator-associated tracheobronchitis (TAVeM): a multicentre, prospective, observational study. *Lancet Respir Med*. 2015; 3 (11): 859–68.
157. Shahin J., Bielinski M., Guichon C. et al. Suspected ventilator-associated respiratory infection in severely ill patients: a prospective observational study. *Crit Care*. 2013; 17 (5): R251.
158. Twose P., Thomas C., Morgan M., Broad M. A. Comparison of high-flow oxygen therapy with standard oxygen therapy for prevention of postoperative pulmonary complications after major head and neck surgery involving insertion of a tracheostomy: a feasibility study. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2019; 57 (10): 1014–8.

Статья поступила / Received 13.09.2025  
Получена после рецензирования / Revised 25.09.2025  
Принята в печать / Accepted 28.11.2025

#### Сведения об авторах

**Корякин Альберт Геннадьевич**, зав. отделением анестезиологии-реанимации<sup>1</sup>; ассистент кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины<sup>2</sup>. E-mail: koriakinalbert@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5477-4242

**Власенко Алексей Викторович**, д.м.н., зав. отделением анестезиологии-реанимации<sup>1</sup>; зав. кафедрой анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины<sup>2</sup>. E-mail: dr.vlasenko67@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4535-2563

**Клюев Иван Сергеевич**, врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии-реанимации<sup>1</sup>; ассистент кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины<sup>2</sup>. E-mail: ivan.kluev11@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1050-0415

**Родионов Евгений Петрович**, к.м.н., доцент, зам. главного врача по анестезиологии-реаниматологии<sup>1</sup>; доцент кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины<sup>2</sup>. E-mail: dr.rodionov@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3852-8877

**Евдокимов Евгений Александрович**, д.м.н., проф., проф. кафедры анестезиологии и неотложной медицины<sup>2</sup>. E-mail: ea\_evdokimov@mail.ru. ORCID: 0000-0001-8569-8667

<sup>1</sup> ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С. П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы», Москва, Россия  
<sup>2</sup> Кафедра анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины ФБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

**Автор для переписки:** Корякин Альберт Геннадьевич, koriakinalbert@gmail.com

**Для цитирования:** Корякин А.Г., Власенко А.В., Клюев И.С., Родионов Е.П., Евдокимов Е.А. Роль неинвазивной респираторной поддержки на разных этапах лечения гипоксемической острой дыхательной недостаточности. Часть II. Медицинский алфавит. 2025; (35): 34–45. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-35-34-45>

#### About authors

**Koryakin Albert G.**, head of Intensive Care Unit<sup>1</sup>; assistant at Dept of Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Medicine<sup>2</sup>. E-mail: koriakinalbert@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5477-4242

**Vlasenko Aleksey V.**, DM Sci (habil.), associate professor<sup>1</sup>, head of Dept of Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Medicine<sup>2</sup>. E-mail: dr.vlasenko67@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4535-2563

**Kluev Ivan S.**, anesthesiologist-resuscitator in Intensive Care Unit<sup>1</sup>; assistant at Dept of Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Medicine<sup>2</sup>. E-mail: ivan.kluev11@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1050-0415

**Rodionov Evgeniy P.**, PhD Med, associate professor, deputy chief physician for Anesthesiology and Intensive Care<sup>1</sup>, associate professor at Dept of Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Medicine<sup>2</sup>. E-mail: dr.rodionov@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3852-8877

**Evdokimov Evgeniy A.**, DM Sci (habil.), professor, professor at Dept of Anesthesiology and Emergency Medicine<sup>2</sup>. E-mail: ea\_evdokimov@mail.ru. ORCID: 0000-0001-8569-8667

<sup>1</sup> Botkin Hospital, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Medicine Department of the Russian Medical Academy Continuing Professional Education, Moscow, Russia

**Corresponding author:** Koryakin Albert G. E-mail: koriakinalbert@gmail.com

**For citation:** Koryakin A. G., Vlasenko A. V., Kluev I. S., Rodionov E. P., Evdokimov E. A. The role of non-invasive respiratory support at different stages of acute hypoxemic respiratory failure treatment. *Part II. Medical alphabet*. 2025; (35): 34–45. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-35-34-45>