

Неинвазивная вентиляция легких и респираторная реабилитация: современное состояние и перспективы развития

И. С. Ключев^{1,2}, А. В. Власенко^{1,2}, А. Г. Корякин^{1,2}, С. Н. Швайко¹, Е. П. Родионов^{1,2}, Е. А. Евдокимов²

¹ ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С.П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы, Россия

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

РЕЗЮМЕ

Работа посвящена современным технологиям неинвазивной вентиляции легких (НИВЛ) и методам респираторной реабилитации у пациентов с острой дыхательной недостаточностью (ОДН) различного генеза. Систематизированы данные отечественных и зарубежных исследований за последние 10 лет, включающие основные механизмы патогенеза ОДН, возможности и ограничения НИВЛ и сравнительный анализ используемых интерфейсов. Отдельно рассмотрены вопросы дисфункции дыхательной мускулатуры при ОДН, методы ее оценки и возможности восстановления функции внешнего дыхания посредством респираторных тренажеров. В работе обобщены результаты исследований, демонстрирующих потенциал интеграции НИВЛ и респираторных тренажеров в комплексной терапии пациентов с ОДН. Обсуждаются перспективы дальнейшего изучения эффективности и безопасности этих подходов в различных клинических ситуациях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: неинвазивная вентиляция легких, острая дыхательная недостаточность, респираторная реабилитация, дыхательная мускулатура, респираторные тренажеры.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Noninvasive ventilation and respiratory rehabilitation: current state and development prospects

I. S. Kluev^{1,2}, A. V. Vlasenko^{1,2}, A. G. Koryakin^{1,2}, S. N. Shvaiko¹, E. P. Rodionov^{1,2}, E. A. Evdokimov²

¹ S. P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow, Russia

² Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Medicine Dept, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia

SUMMARY

This article is devoted to current approaches to non-invasive ventilation (NIV) and methods of respiratory rehabilitation in patients with acute respiratory failure (ARF). Data from domestic and international studies over the past 10 years are systematized, covering the physiological basis of NIV, a comparative analysis of interfaces, as well as indications and limitations of the method. Issues of respiratory muscle dysfunction in ARF, methods for its assessment, and possibilities for restoring breathing function using respiratory trainers are considered. The review summarizes research findings demonstrating the potential for integrating NIV and respiratory trainers into the comprehensive management of patients with ARF. The prospects for further investigation of the effectiveness and safety of these approaches in various clinical settings are discussed.

KEYWORDS: non-invasive ventilation, acute respiratory failure, respiratory rehabilitation, respiratory muscles, respiratory trainers.

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

Список сокращений и аббревиатур

АТФ – аденозинтрифосфат
ВАП – вентилятор-ассоциированных пневмоний
ВДП – верхние дыхательные пути
ВПО – высокопоточная оксигенотерапия
ВЧД – внутричерепное давление
ГДО – глобальный индекс конечного-диастолического объема
ГФВ – общая фракция выброса
ИВЛ – искусственная (инвазивная) вентиляция лёгких
ИФС – индекс фрагментации сна
ЖКТ – желудочно-кишечный тракт
НИВЛ – неинвазивная вентиляция лёгких
ОАР – Российская ассоциация анестезиологов-реаниматологов
ОДН – острая дыхательная недостаточность
ОРДС – острый респираторный дистресс-синдром
ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии
ПВ – предсказанная масса тела
ПДИ (twitch) – трансдиафрагмальное давление при однократном стимуле
РКИ – рандомизированное контролируемое исследование
ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких
ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких
Ag⁺ – ионы серебра
ATS – Американское торакальное общество
BiPAP – двухуровневая неинвазивная вентиляция лёгких
BMI – индекс массы тела

CO₂ – углекислый газ
CPAP – постоянное положительное давление в дыхательных путях
dBA – уровень звукового давления с коррекцией по шкале А
ECCO₂R – экстракорпоральная элиминация углекислого газа
EPAP – положительное давление в конце выдоха
ERS – Европейское респираторное общество
FDA – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США
FiO₂ – фракция кислорода
GCS – шкала комы Глазго
HFNC – высокопоточная назальная оксигенотерапия
IPAP – инспираторное положительное давление
LSTM – долговременная краткосрочная память
MAP – среднее артериальное давление
MEP – максимальное экспираторное давление
MIP – максимальное инспираторное давление
N. phrenicus – диафрагмальный нерв
PaCO₂ – парциальное давление углекислого газа в артериальной крови
PaO₂ – парциальное давление кислорода в артериальной крови
PaO₂/FiO₂ – индекс оксигенации, REM (фаза быстрого сна)
PEEP (P_{ДКВ}) – положительное давление в конце выдоха
P_{plat} – плато-давление
PSV – вентиляция с поддержкой давлением
P-SILI – индуцированное спонтанным дыханием повреждение лёгких

RASS – шкала оценки седации и возбуждения Ричмонда

RR – относительный риск

RRR – относительное снижение риска

RuVent – Российское многоцентровое исследование вентиляции лёгких

Shape Memory – материал с эффектом памяти формы Tfdi – коэффициент утолщения диафрагмы

SNIP – назальное инспираторное давление

SOFA – шкала оценки органной дисфункции

SpO₂ – насыщение крови кислородом по пульсоксиметрии

VILI – вентилятор-индуцированное повреждение лёгких

Vt – дыхательный объём

WOB – работа дыхания

V'CO₂ – минутная продукция углекислого газа, характеризующая объём

CO₂, элиминируемый из организма в единицу времени

Введение

Острая гипоксемическая дыхательная недостаточность (ОДН) характеризуется быстро прогрессирующим развитием несоответствия между потребностями организма в кислороде и функциональными возможностями системы внешнего дыхания, обусловленным нарушением одного или нескольких звеньев дыхательной цепи: альвеолярной вентиляции, диффузии через альвеолокапиллярную мембрану, легочной перфузии, транспорта кислорода кровью и регуляции дыхательного центра [70]. ОДН сопровождается развитием гипоксемии, гиперкапнии и/или ацидоза различной степени тяжести, требует экстренного, патофизиологически обоснованного вмешательства и при отсутствии своевременной терапии ассоциирована с высокой вероятностью развития полиорганной недостаточности и летального исхода. По данным национального регистра тяжелых состояний «Реанима» за 2022 год, объединившего сведения 156 многопрофильных стационаров, ОДН диагностировали у 31,8% пациентов в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), а госпитальная летальность достигала 27,4% [187]. Сопоставимые данные были получены в многоцентровом исследовании *RuVent*, согласно которому тяжелая гипоксемическая форма – острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС) диагностировалась у 18,7% интубированных пациентов, при этом внутрибольничная летальность в данной группе достигала 44,9% [94]. Ранняя инициация респираторной поддержки (РП) на первичных этапах манифестации дыхательных расстройств является одним из основных направлений комплексной интенсивной терапии ОДН, оказывающее прямое влияние на вероятность развития полиорганной дисфункции, результаты лечения и летальность.

Современные технологии РП включают традиционную низкочастотную оксигенотерапию, высокочастотную оксигенотерапию (ВПО), а также методы респираторной поддержки с использованием положительного давления в дыхательных путях – как постоянного (СРАР, обеспечивающего непрерывное давление во время всего дыхательного цикла), так и двухуровневого (BiPAP, создающего разные уровни давления на вдохе и выдохе), включая неинвазивную вентиляцию легких (НИВЛ) и инвазивную искусственную вентиляцию легких (ИВЛ). Каждый из методов респираторной поддержки имеет свои преимущества и недостатки, показания, противопоказания и потенциальные риски. В последние два десятилетия наибольшее клиническое значение в снижении частоты интубаций и улучшении клинических исходов при ОДН продемонстрировала неинвазивная вентиляция легких [165].

Несмотря на доказанную эффективность ИВЛ при тяжелой острой дыхательной недостаточности, ее широкое применение сопряжено с осложнениями и нежелательными побочными эффектами: высокий риск развития вентилятор-ассоциированной пневмонии, баро- и волюмотравмой,

атрофией дыхательной мускулатуры, десинхрониями с частой потребностью в медикаментозной седации и связанными с этим осложнениями, а также длительностью и сложностью процесса отлучения от аппарата, что существенно увеличивает фармакоэкономические затраты и сроки лечения в ОРИТ. В этой связи все большую актуальность приобретает применение НИВЛ, которая позволяет избежать осложнений, связанных с интубацией трахеи и медикаментозной седацией, снизить частоту инфекционно-воспалительных процессов дыхательных путей, сохранить функциональную состоятельность дыхательной мускулатуры. Однако НИВЛ имеет свои ограничения: ее эффективность может быть недостаточной у пациентов с тяжелой гипоксемией и выраженными нарушениями газообмена, применение ограничивается возможными утечками газовой смеси, дискомфортом при использовании масок или шлемов, а также необходимостью активного участия пациента.

Пандемия COVID 19 еще более актуализировала вопросы оптимизации НИВЛ. Результаты рандомизированных контролируемых исследований (РКИ), выполненных у пациентов с вирусной этиологией острого респираторного дистресс-синдрома, продемонстрировали, что использование НИВЛ посредством шлема достоверно снижает частоту интубаций, по сравнению с лицевыми масками и улучшает переносимость за счет более равномерного распределения давления по всей площади соприкосновения с кожей пациента [221]. Представленные результаты подчеркивают актуальность дальнейшего совершенствования технологий НИВЛ, рассматриваемой в качестве одного из приоритетных векторов развития современной неинвазивной РП.

Несмотря на существенный технологический прогресс в области неинвазивной респираторной поддержки, данные всероссийского опроса, проведенного Ассоциацией анестезиологов-реаниматологов в 2023 году (n = 512 отделений реанимации и интенсивной терапии), демонстрируют, что специальное оборудование для проведения НИВЛ доступно лишь в 42% профильных подразделений ОРИТ, а утвержденные локальные клинические протоколы – лишь в 28% из них. Выявленный дисбаланс между подтвержденной клинической эффективностью НИВЛ и ограниченной ее практической реализацией обуславливает необходимость формирования комплексной стратегии интеграции данного метода РП, предусматривающей не только модернизацию технического оснащения, но и системную подготовку медицинского персонала, а также разработку и внедрение инновационных алгоритмов применения разных методов и девайсов НИВЛ.

Отдельного внимания заслуживают адьювантные методики лечения ОДН, в том числе и направленные на стабилизацию и восстановление функции внешнего дыхания. К числу таких патогенетически обоснованных методов относятся специализированные технологии респираторной

физиотерапии, включая тренировку дыхательной мускулатуры, позиционную терапию, постуральный дренаж, а также раннюю мобилизацию и дозированные аэробные нагрузки. Интеграция адьювантных методик в состав комплексной терапии пациентов на разных стадиях ОДН и этапах лечения представляет собой перспективное направление, расширяющее возможности восстановления функции внешнего дыхания и профилактики различных легочных и внелегочных осложнений.

Таким образом, эффективная реализация РП при ОДН требует комплексного мультидисциплинарного подхода, основанного на адекватном лечении основного заболевания, своевременной стратификации рисков развития и дифференциальной диагностике фенотипов ОДН, прогностической оценке, персонализированной настройке параметров НИВЛ, превентивной коррекции дисфункции дыхательной мускулатуры и непрерывной адаптации клинических алгоритмов в соответствии с современными патофизиологическими концепциями и коррекцией доказательной базы.

Цель настоящего обзора – систематизировать актуальные научные сведения о возможностях и ограничениях применения НИВЛ при ОДН, определить перспективные направления для дальнейших клинико-экспериментальных исследований в данной области.

Дыхательная мускулатура, анатомия, физиология, дисфункция и ее роль в патогенезе острой дыхательной недостаточности

Дыхательная мускулатура обеспечивает вентиляцию легких посредством активного изменения объема грудной клетки. К основным дыхательным мышцам относятся диафрагма, наружные и внутренние межреберные мышцы, к вспомогательным – грудноключичнососцевидные, лестничные, грудные и другие мышцы, вовлекающиеся при форсированном дыхании. Корректная работа этих мышц необходима для обеспечения адекватного акта дыхания, их слабость или паралич приводят к гиповентиляции, гипоксемии и гиперкапнии, что клинически проявляется острой дыхательной недостаточностью.

Наличие или развитие дисфункции дыхательной мускулатуры при гипоксемической (тип I) и гиперкапнической (тип II) форме ОДН существенно отягощает ее течение и ассоциируется с высоким риском неблагоприятных исходов. На этапе манифестации ОДН дисфункция дыхательной мускулатуры ограничивает способность пациента адекватно компенсировать возросшую респираторную нагрузку, усугубляя несоответствие между потребностями в вентиляции и возможностями дыхательной системы. В условиях ОДН дисфункция дыхательной мускулатуры приводит к декомпенсации и снижению эффективности любой респираторной терапии и РП. На этапе отлучения от ИВЛ сохраняющаяся слабость дыхательной мускулатуры ограничивает восстановление спонтанного дыхания и является одним из ключевых факторов рецидива ОДН и повторной интубации [21].

Таким образом, оценка и коррекция функционального состояния дыхательных мышц представляют собой важное направление на всех этапах лечения ОДН при ИВЛ или НИВЛ.

Анатомия дыхательной мускулатуры

Дыхательная мускулатура человека включает как основные, так и вспомогательные группы мышц, обеспечивающие эффективную вентиляцию легких в покое и при повышенной потребности в газообмене. Главным элементом основного дыхательного мышечного комплекса является диафрагма – куполообразная мышца, анатомически отделяющая грудную и брюшную полости. Ее сухожильная часть фиксируется к мечевидному отростку грудины, нижним ребрам и поясничным позвонкам. При сокращении мышечные волокна диафрагмы уплощаются и опускаются, тем самым увеличивая вертикальный размер грудной полости и уменьшая внутриплевральное давление. Это формирует отрицательный трансдиафрагмальный градиент давления, обеспечивающий увеличение объема легких и пассивное поступление воздуха в верхние и нижние отделы дыхательных путей и в легкие [9, 228].

Существенную роль при вдохе играют и наружные межреберные мышцы, расположенные поверхностно между ребрами и имеющие направление волокон косо вперед и вниз. Их одновременное сокращение приводит к подъему ребер и расширению грудной клетки в переднезаднем и поперечном направлениях [37]. Внутренние и глубочайшие межреберные мышцы, напротив, активируются преимущественно при форсированном выдохе. Их волокна направлены назад и вниз, и их сокращение способствует опусканию ребер, уменьшая объем грудной полости и обеспечивая активный выдох [37, 155].

В условиях покоя дыхание обеспечивают главным образом диафрагма и наружные межреберные мышцы. При увеличении потребности в альвеолярной вентиляции (физическая нагрузка, гипоксемия, ОДН и др.) рекрутируются вспомогательные мышцы вдоха: грудноключичнососцевидная, лестничные, большая и малая грудные, передняя и задняя верхняя зубчатые, а также мышцы, выпрямляющие позвоночник [37, 86]. В форсированном выдохе участвуют мышцы брюшного пресса, задняя нижняя зубчатая мышца и каудальные пучки мышц, выпрямляющей позвоночник [86, 155].

Знание анатомии дыхательной мускулатуры необходимо для понимания принципов ее работы, что логично подводит к рассмотрению физиологических механизмов ее функционирования.

Физиология дыхательной мускулатуры

Дыхательная мускулатура человека относится к скелетным поперечнополосатым типом мышц и выполняет функцию преобразования химической энергии аденозинтрифосфата (АТФ) в механическую работу, обеспечивая движение грудной клетки и изменение внутригрудного давления. Сокращение диафрагмы и наружных межреберных мышц расширяет грудную полость и снижает внутриплевральное давление, благодаря чему создается отрицательный градиент давления, способствующий поступлению воздуха в альвеолы. Обратный процесс – ослабление этих мышц, которые приводят к пассивному выдоху за счет эластической тяги легких и грудной стенки. Управление дыхательными движениями осуществляется дыхательным центром, расположенным в продолговатом

мозге, с возможностью произвольного контроля со стороны коры больших полушарий. Такая организация подчеркивает двойной автоматический и сознательный характер регуляции дыхательной мускулатуры.

В состоянии покоя дыхание требует относительно небольших энергетических затрат – порядка 2–3 % от общего потребления энергии организма. Однако при выраженной дыхательной нагрузке, например во время физической активности или при ОДН, доля метаболических затрат может возрасти до 20–30 % и более от общего потребления кислорода организмом [229].

Высокая выносливость дыхательных мышц обеспечивается их особым строением. Основная рабочая единица диафрагмы представлена медленными окислительными мышечными волокнами (тип I), составляющими около 50 % ее структуры. Эти волокна обладают высокой митохондриальной плотностью и капилляризацией, что повышает устойчивость к утомлению при интенсивных и длительных нагрузках. Остальные волокна представлены типами IIa и IIx, обладающими большей скоростью сокращения и обеспечивающими силовой резерв в условиях внезапного увеличения вентиляционной потребности [188]. Наружные межреберные мышцы демонстрируют аналогичное преобладание волокон типа I. Напротив, вспомогательные дыхательные мышцы, включая мышцы плечевого пояса и брюшной стенки, содержат большую долю так называемых быстрых гликолитических волокон, менее устойчивых к продолжительной активности и склонных к быстрому утомлению.

Функциональные характеристики дыхательной мускулатуры определяются как силой, так и выносливостью. При увеличении нагрузки на дыхательную мускулатуру начинает развиваться утомление, сопровождающееся снижением вентиляционного резерва, что в неблагоприятных условиях может привести к гиповентиляции, особенно при существующих ограничениях компенсаторных механизмов.

Энергетический обмен дыхательной мускулатуры – преимущественно аэробный и обеспечивается за счет окисления глюкозы и свободных жирных кислот. Однако при нарастающей вентиляционной нагрузке, особенно в условиях гипоксии или выраженной усталости, активизируется анаэробный гликолиз с увеличением продукции лактата. Обеспечение кислородом дыхательной мускулатуры регулируется увеличением локального кровотока, который прямо пропорционален уровню мышечной активности: если в покое на дыхательные мышцы приходится около 2 % минутного объема кровообращения, то при форсированной вентиляции эта доля возрастает многократно [228]. При достижении критического уровня утомления активируется дыхательный метаболический рефлекс (*respiratory metaboreflex*) – нейрогуморальный механизм, при котором активация метаболических рецепторов в дыхательной мускулатуре приводит к периферической вазоконстрикции и перераспределению кровотока в их пользу, снижая перфузию скелетных мышц конечностей и поддерживая вентиляционную функцию [15, 197].

Понимание физиологических механизмов функционирования дыхательной мускулатуры является необходимой основой для анализа причин ее дисфункции. Рассмотрение нарушений работы дыхательных мышц позволяет раскрыть их ключевую роль в патогенезе ОДН.

Дисфункция дыхательной мускулатуры и ее роль в патогенезе острой дыхательной недостаточности

Дисфункция дыхательной мускулатуры – это патологическое состояние, характеризующееся снижением способности дыхательных мышц обеспечивать эффективную альвеолярную вентиляцию вследствие утраты их сократительной силы, выносливости или нейромышечной координации, что ведет к нарушению гомеостаза внешнего дыхания и формированию гиперкапнической, гипоксемической или смешанной дыхательной недостаточности. Это состояние может развиваться как в результате прямого структурного повреждения мышц или иннервирующих их нервов, так и при функциональной перегрузке, ведущей к обратимой утомляемости. В клинической практике важно разграничивать два патофизиологических феномена:

- Мышечная слабость дыхательной мускулатуры – патологическое состояние, характеризующееся снижением силы инспираторных и экспираторных мышц, что сопровождается риском гиповентиляции, нарушением газообмена и снижением эффективности мукоцилиарного клиренса.
- Утомление дыхательной мускулатуры – временная потеря силы при чрезмерной или непрерывной нагрузке, потенциально обратимая после отдыха или снижении функциональной нагрузки на дыхательную систему.

Одной из основных причин развития дисфункции дыхательной мускулатуры является поражение структур нервной системы на различных уровнях, от центральных регуляторных центров до периферических двигательных нервов. Центральные нарушения, такие как черепно-мозговая травма, ишемический инсульт или медикаментозное угнетение дыхательного центра (например, при передозировке опиоидов), приводят к угнетению респираторной активности продолговатого мозга и формированию синдрома центральной гиповентиляции. При травмах спинного мозга в области сегментов C3–C5 нарушается проведение эфферентных импульсов по диафрагмальному нерву (*n. phrenicus*), что приводит к денервации и функциональному параличу диафрагмы, развитию дыхательной недостаточности [24]. Периферические поражения диафрагмального нерва, возникающие, например, после операций на органах средостения и сердца или при воспалительных невритах, таких как синдром Гийена-Барре, могут вызывать односторонний паралич купола диафрагмы либо прогрессирующий восходящий паралич с вовлечением дыхательной мускулатуры и риском нарушения внешнего дыхания [24].

Постепенное снижение силы дыхательной мускулатуры наблюдается при первичных заболеваниях скелетной мускулатуры, таких как прогрессирующие мышечные дистрофии (в частности, дистрофия Дюшенна и Беккера), врожденные миопатии и воспалительные миозиты. Эти патологические состояния приводят к нарушению сократительной способности диафрагмы и межреберных мышц, снижая эффективность вентиляции и способствуя нарастанию гиповентиляции. Дополнительное ухудшение экскурсии грудной клетки может быть обусловлено деформациями грудной стенки, высоким стоянием купола диафрагмы или ее травматическим повреждением, что еще больше ограничивает объем вдоха и резерв дыхательной функции.

Помимо первичных миопатий, значительное влияние на функцию дыхательной мускулатуры оказывают системные патологические процессы. Состояния, сопровождающиеся тяжелой системной воспалительной реакцией (сепсис), полиорганной недостаточностью, тяжелыми эндокринными нарушениями (например, гипотиреозом), электролитными расстройствами (гипофосфатемией, гипокалиемией), а также выраженной кахексией, часто приводят к развитию миопатии и полинейропатии критических состояний. Эти осложнения характерны для пациентов, находящихся в отделениях интенсивной терапии, и сопровождаются выраженной слабостью дыхательных мышц, нередко становятся причинами декомпенсации ОДН и интубации, а в последующем затрудняют отлучение от ИВЛ и увеличивают риск формирования хронической дыхательной недостаточности [39].

Даже при отсутствии морфологических повреждений дыхательной мускулатуры функциональная перегрузка способна вызывать ее утомление. При острых состояниях, сопровождающихся увеличением вентиляционной потребности, таких как бронхоспазм, обструкция верхних дыхательных путей, ацидоз с компенсаторным тахипноэ, возникает превышение порога утомления дыхательных мышц. Это сопровождается снижением их эффективности, уменьшением дыхательного объема и развитием вентиляционных нарушений [24].

Особое место в патогенезе дыхательной недостаточности занимает вентилятор-индуцированная дисфункция диафрагмы (ВИДД, *ventilator-induced diaphragmatic dysfunction*). Это состояние развивается при отсутствии или минимальной спонтанной дыхательной активности пациентов в условиях контролируемой ИВЛ. Уже через 48–72 часа после начала ИВЛ наблюдается выраженное снижение функциональной способности диафрагмы, площадь поперечного сечения ее мышечных волокон уменьшается примерно на 50 %, а сила сокращения снижается на 30–40 % [39].

Среди наиболее значимых факторов риска ВИДД выделяют длительную инвазивную вентиляцию легких, наличие сепсиса, системное применение глюкокортикостероидов, а также использование нейромышечных блокаторов (НМВ-препаратов). Указанные воздействия усиливают процессы атрофии и структурной дезорганизации миофибрилл диафрагмы, усугубляя тяжесть ОДН, что увеличивает потребность в РП и интубации, затрудняет в дальнейшем процесс отлучения от респиратора.

Таким образом, современные клинические протоколы акцентируют внимание на необходимости как можно более раннего перехода на частично ассистированные режимы ИВЛ, регулярного проведения проб спонтанного дыхания, скорейшего перехода на НИВЛ и применения программ активной дыхательной реабилитации. Такие подходы позволяют минимизировать детренированность дыхательной мускулатуры, сократить продолжительность РП и улучшить тем самым результаты лечения [21].

Учитывая значимый вклад дисфункции дыхательной мускулатуры в патогенез ОДН, особую актуальность приобретает анализ ее роли в реализации различных стратегий РП.

Роль дыхательной мускулатуры в реализации респираторной поддержки при ОДН

Дыхательная мускулатура представляет один из основных компонентов респираторной системы и ее анатомическое и функциональное состояние напрямую определяют способность организма поддерживать адекватный газообмен. Дисфункция дыхательных мышц, будь то острое утомление или хроническая слабость, часто лежит в основе развития гиперкапнической острой дыхательной недостаточности или усугубляет ее течение. Своевременное выявление клинических признаков недостаточности дыхательной мускулатуры: торакоабдоминальный асинхронизм, тахипноэ, парадоксальное дыхание, участие вспомогательных мышц, энцефалопатия и прочее крайне важно для своевременного начала РП.

Современные данные показывают, что улучшение исходов лечения ОДН зависит не только от патогенетически обоснованной терапии ее первичной причины, своевременного начала и правильного выбора метода РП, но и от активной тактики, направленной на поддержку и реабилитацию дыхательной мускулатуры. Исследования последних лет акцентируют внимание на ультразвуковых методах оценки функции диафрагмы и на стратегиях предотвращения индуцированной респиратором дисфункции диафрагмы [39, 49]. Включение оценки мышечного компонента при диагностике и лечения ОДН позволяет комплексно решать эту проблему, улучшая тем самым результаты лечения данного контингента пациентов.

Понимание роли дыхательной мускулатуры в патогенезе ОДН требует использования объективных методов оценки ее силы и функционального состояния.

Методы оценки силы дыхательных мышц

Оценка силы и выносливости дыхательной мускулатуры представляет собой неотъемлемую часть диагностики пациентов с ОДН различного генеза на разных этапах лечения. Современные рекомендации регламентируют использование валидированных методов, включающих как «волевые», так и «неволевые» подходы, а также инструментальные и визуализационные технологии [57].

Волевые (кооперационные) методики

Эти методики основаны на максимальном произвольном усилии пациента, требуют адекватного сознания, мотивации и техники выполнения, поэтому результаты необходимо интерпретировать с учетом возможной недостаточной кооперации с пациентами.

Максимальное инспираторное давление (МІР) – наиболее широко используемый показатель. Определяется у рта пациента после полного выдоха до остаточного объема при форсированном вдохе в закрытую систему. Клинически значимым считается снижение МІР < –30 см H₂O, что указывает на выраженную инспираторную слабость. Максимальное инспираторное давление (МІР) у здоровых взрослых достигает 100–130 см H₂O, однако в покое используется лишь 10–15 % этой величины.

Преимущества метода

- Простота выполнения и высокая воспроизводимость.
- Чувствительность к значимым нарушениям инспираторной функции (в частности, диафрагмальной).
- Широко валидирован у различных категорий пациентов.

Недостатки метода

- Является волевым тестом и зависит от участия и мотивации пациента, что ограничивает его применение у пациентов с нарушением сознания или когнитивной дисфункцией [52].
- Может быть завышен за счет компенсации вспомогательной мускулатурой при изолированной слабости диафрагмы.

Максимальное экспираторное давление (MEP) – оценивается после максимального вдоха и отражает силу экспираторной мускулатуры (брюшного пресса и внутренних межреберных мышц).

Преимущества метода

- Позволяет оценить силу выдоха, что особенно актуально для пациентов с нарушенным кашлевым механизмом.
- Является независимым индикатором риска аспирации и слабости при нейромышечных заболеваниях.

Недостатки метода

- Меньшая клиническая валидность в оценке ранней диафрагмальной дисфункции.
- Волевой характер измерения и зависимость от герметичности системы [131].

Sniff Nasal Inspiratory Pressure (SNIP) – альтернативный волевой тест, выполняемый при коротком «вдыхании через нос» с назальным катетером. Значения менее 70 см H₂O свидетельствуют о сниженной функции и чувствительно выявляют раннюю диафрагмальную дисфункцию [156].

Преимущества метода

- Высокая чувствительность к ранним формам инспираторной слабости, особенно диафрагмальной [156].
- Лучше переносится пациентами, чем MIP, особенно при неврологической патологии.

Недостатки метода

- Требуется технической точности и назальной проходимости.
- Варьирует при анатомических особенностях носовых ходов и синуситах.

Таким образом, каждый из указанных методов имеет свои диагностические ниши. Наиболее информативным считается комбинированное применение MIP и SNIP, особенно при подозрении на диафрагмальную слабость, а MEP – при необходимости оценки функциональной состоятельности экспираторной мускулатуры и используется для оценки эффективности кашлевого толчка.

Неволевые методики

Эти методики не требуют активного участия пациента, они основаны на внешней стимуляции или пассивной визуализации и позволяют объективно оценить сократительную способность дыхательных мышц даже у пациентов с нарушенным сознанием или сниженной мотивацией.

Магнитная стимуляция диафрагмальных нервов (n. phrenicus) с регистрацией трансдиафрагмального давления (Pdi, twitch) – позволяет объективно оценить сократительную способность диафрагмы у пациентов без возможности сотрудничества. Значения <15 см H₂O подтверждают тяжелую мышечную слабость [127].

Преимущества метода

- Обеспечивает объективную количественную оценку сократительной функции диафрагмы.
 - Не зависит от уровня сознания и произвольных усилий пациента.
 - Позволяет выявлять клинически значимую слабость дыхательной мускулатуры.
 - Применим для динамического мониторинга и оценки эффективности лечения.
- #### *Недостатки метода*
- Требуется специализированного оборудования и квалифицированного персонала.
 - Сопряжен с инвазивной установкой датчиков давления и потенциальным дискомфортом пациента.
 - Чувствителен к методическим ошибкам и позиционным артефактам.
 - Характеризует преимущественно функцию диафрагмы, но не обеспечивает комплексную оценку работы вспомогательной дыхательной мускулатуры.

Таким образом, неволевые методики могут успешно использоваться самостоятельно или в комбинации с другими технологиями для объективизации состояния респираторной мускулатуры пациентов на разных этапах лечения ОДН.

Визуализирующие технологии оценки

Эти методы позволяют неинвазивно наблюдать кинематику диафрагмы и грудной клетки, объективизируя механическую эффективность дыхания и динамику ее восстановления.

Ультразвуковое исследование диафрагмы (сонография диафрагмы) – представляет собой неинвазивный метод функциональной оценки дыхательной мускулатуры. Метод позволяет в реальном времени визуализировать подвижность, толщину и эффективность работы диафрагмы, определять признаки мышечной дисфункции и мониторировать динамику в процессе респираторной поддержки, включая фазы ИВЛ и НИВЛ [190, 219].

Обследование выполняется через субкостальный или межреберный доступ с применением линейного (7–15 МГц) или конвексного датчика. Используются два ключевых показателя.

- Амплитуда экскурсии диафрагмы (*diaphragmatic excursion*). Измеряется в М-режиме. У здоровых пациентов в покое составляет 1,5–2,5 см, при форсированном вдохе – до 7 см. Значения менее 1,0 см свидетельствуют о сниженной контрактильности [65].
- Коэффициент утолщения диафрагмы (Thickening-Fraction, TFDi). Рассчитывается по формуле: $TFDi = ((\text{толщина на вдохе} - \text{толщина на выдохе}) / \text{толщина на выдохе}) \times 100\%$.

- Диагностическим критерием нормальной функции считается $TFdi \geq 20\%$. Показатели ниже этого порога свидетельствуют о функциональной недостаточности диафрагмы [95, 219].

Дополнительно может оцениваться абсолютная толщина диафрагмы в фазу выдоха. Толщина $< 1,5$ мм рассматривается, как признак атрофии мышечной ткани [190].

Ультразвуковое исследование диафрагмы особенно ценно в следующих клинических сценариях.

- Оценка готовности к отлучению от ИВЛ. $TFdi \geq 30\%$ является надежным прогностическим маркером успешной спонтанной дыхательной пробы [95].
- Ранняя диагностика дисфункции диафрагмы. Метод позволяет выявить как односторонние, так и двусторонние поражения (в т. ч. после кардиохирургических операций, травм, неврологических состояний) [101].
- Динамический контроль во время НИВЛ и реабилитации. Визуализация утолщения и подвижности диафрагмы дает возможность отслеживать эффективность респираторной терапии и тренировок дыхательной мускулатуры [95, 219].

Преимущества метода

- Неинвазивный, безопасный и прикроватный способ оценки.
- Возможность многократного повторения.
- Отсутствие ионизирующего излучения.
- Возможность реализации в положении лежа.
- Высокая чувствительность к изменениям функции инспираторной мускулатуры [190, 219].

Недостатки метода

- Требуется специального обучения персонала.
- Высокая «операторзависимость».
- Сложности визуализации у пациентов с выраженным ожирением, эмфиземой или высоким ВЧД.
- Снижение информативности при механических барьерах (дренажи, перевязки).
- Не дает прямой количественной оценки силы мышц, в отличие от волевых тестов (MIP, SNIP) [125, 219].

Можно заключить, что ультразвуковое исследование диафрагмы является информативным и безопасным методом функциональной оценки дыхательной мускулатуры. В условиях ОР данный подход позволяет своевременно диагностировать диафрагмальную дисфункцию, оценивать готовность пациента к отлучению от ИВЛ и определять тактику респираторной поддержки у пациентов с ОДН, включая способы НИВЛ и реабилитации [95, 219, 221].

Электрофизиологические методики

Эти методы отражают биоэлектрическую активность дыхательных мышц и проводимость диафрагмальных нервов, тем самым позволяют дифференцировать нейропатию от миопатии и объективно оценить функциональный резерв сократительного аппарата.

Игольчатая электромиография (ЭМГ) диафрагмы – позволяет оценить амплитуду и паттерн биоэлектрической активности. Повышенная амплитуда при сниженной

механической работе указывает на несоответствие между активацией и функциональным эффектом [127].

Преимущества метода

- Позволяет количественно оценить биоэлектрическую активность мышечных волокон диафрагмы.
- Выявляет как нейрогенные, так и миопатические изменения диафрагмы.

Недостатки метода

- Инвазивный характер процедуры, сопровождающийся дискомфортом для пациента.
- Риск травматизации при неправильной технике использования.
- Требуется высокой квалификации и опыта специалиста.
- Ограниченное применение в условиях интенсивной терапии.

Исследование проводимости п. phrenicus – латентность > 10 мс свидетельствует о невропатии [127].

Преимущества метода

- Неинвазивная (при использовании поверхностной стимуляции) или малоинвазивная методика.
- Позволяет диагностировать нейропатию диафрагмального нерва.
- Может быть применена у пациентов с подозрением на центральные или периферические нарушения иннервации диафрагмы.

Недостатки метода

- Метод чувствителен к артефактам и требует точного позиционирования электродов.
- Интерпретация затруднена при наличии ожирения, отека или анатомических вариаций.
- Не дает прямой оценки силы дыхательной мускулатуры [127].

Таким образом, применение комплексного и персонализированного подхода с использованием волевых, неволевых и визуализирующих методов оценки позволяет более прецизионно определить состояние и вклад дыхательной мускулатуры в патогенез ОДН. Мониторинг динамики этих показателей способствует индивидуальному и аргументированному выбору тактики РП и служат основанием для принятия решений о начале активной респираторной реабилитации, включая применение респираторных тренажеров.

Данный обзор включает раздел о современных возможностях респираторной терапии для восстановления и тренировки дыхательной мускулатуры.

Понимание роли дыхательной мускулатуры в патогенезе ОДН и обеспечении эффективности РП логично подводит к рассмотрению физиологических основ НИВЛ, как метода, направленного не только на улучшение газообмена, но и снижение нагрузки на дыхательные мышцы.

Физиологические основы неинвазивной вентиляции легких

Неинвазивная вентиляция легких обеспечивает поддержание положительного давления в дыхательных путях посредством использования внешних интерфейсов без необходимости интубации трахеи. Ключевым

патофизиологическим механизмом эффективности НИВЛ является рекрутирование ранее коллабированных альвеол с последующей нормализацией регионарных вентиляционно-перфузионных нарушений в легких (V/Q), что позволяет улучшить биомеханику и газообмен, снизить нагрузку на дыхательную мускулатуру [102, 141]. В отличие от инвазивной вентиляции легких, при НИВЛ реализация РП осуществляется без интубации и герметичного соединения респиратор-пациент с сохранением и аппаратной поддержкой спонтанного дыхания пациента, что определяет физиологические преимущества этого метода РП.

Применение положительного давления в конце выдоха (РЕЕР) является одним из основных эффективных инструментов любого способа РП при разных формах ОДН. Воздействие РЕЕР опосредуется через увеличение ФОЕ, рекрутирование ателектазированных и нестабильных альвеол, восстановлению вентиляционно-перфузионных нарушений и уменьшение внутрилегочного шунта, улучшению биомеханики и газообмена [30, 47, 102]. У пациентов с ОРДС при «рекрутабельных» легких персонализированное применение РЕЕР в условиях респираторного и кардиогемодинамического мониторинга улучшает оксигенирующую функцию легких с минимальными рисками развития респираторно-циркуляторных осложнений. Дополнительными эффектами РЕЕР являются снижение циклического коллапса нестабильных альвеол и улучшение биомеханики легких, что снижает работу дыхания в условиях НИВЛ и риски развития VILI и P-SILI при ИВЛ и НИВЛ.

Применение неинвазивной вентиляции легких сопровождается увеличением внутригрудного давления, что ведет к развитию сложных нарушений центральной и периферической кардиогемодинамики и накоплению внесосудистой жидкости в легких [23, 167]. Неадекватно подобранное избыточное РЕЕР также сопровождается вышеописанными респираторно-циркуляторными нарушениями при любых методах РП.

Инспираторная поддержка давлением (IPAP / PSV) способствует увеличению дыхательного объема (V_t) и снижению работы дыхательных мышц, при этом часто снижаются частота дыхательных движений и трансдиафрагмальное давление. У пациентов с обострением ХОБЛ уже через 30 минут от начала неинвазивной вентиляции легких отмечается более, чем 50% снижение интегрального индекса работы дыхательной мускулатуры [47, 92]. Снижение функциональной респираторной нагрузки на дыхательную мускулатуру сопровождается уменьшением потребности в кислороде, необходимой для осуществления вентиляции, что в свою очередь, ведет к снижению энергетических затрат на дыхание. Это создает условия для восстановления энергетического гомеостаза в респираторном аппарате путем реплазмирования макроэргических соединений (АТФ, креатинфосфат) и устранения тканевого гипоксического дисбаланса.

Нормализация парциального давления углекислого газа ($PaCO_2$) приводит к снижению афферентной импульсации от центральных и периферических хеморецепторов, что уменьшает центральный дыхательный драйв, отдышку и торакоабдоминальный асинхронизм, амплитуду отрицательных колебаний плеврального давления, за счет чего снижается риск развития P-SILI [40, 139]. Для

профилактики перерастяжения альвеол рекомендуется титрование РЕЕР на уровне не менее 5–8 см H_2O , а подбор уровня инспираторной поддержки (IPAP) – с учетом эзофагеального давления и ультразвукового показателя утолщения диафрагмы (TFdi), являющихся валидными показателями функциональной или избыточной нагрузки на дыхательную мускулатуру [77, 199].

Основным аспектом тактики РП при гипоксемической ОДН является своевременное выявление несостоятельности НИВЛ, основанное на комплексном мониторинге клинико-физиологических критериев. Сегодня наиболее валидизированными критериями являются: снижение индекса $ROX < 3,85$ баллов спустя 2–6 часов от начала РП, увеличение показателя шкалы NACOR > 5 баллов (характеризует рост частоты дыхания, ацидоз, снижение уровня сознания, снижение эффективности оксигенации и частоты сердечных сокращений), а также стойкое снижение $TFdi < 20\%$, указывающее на функциональную несостоятельность дыхательной мускулатуры. При наличии одного или нескольких из указанных признаков обоснована своевременная эскалация РП с решением вопроса о начале ИВЛ во избежание многочисленных отрицательных эффектов отсроченной интубации [78, 183, 225].

Неинвазивная вентиляция легких обладает рядом доказанным клинико-физиологическим преимуществ при ОДН различного генеза. Этот метод РП позволяет сохранить спонтанную дыхательную активность и физиологический паттерн вентиляции, обеспечить координацию между пациентом и аппаратом, а также поддерживает участие дыхательных мышц и диафрагмы в дыхании, снижая риск их атрофии, нарушений миофибриллярной структуры и дисфункции. Дополнительно, отсутствие необходимости процедуры интубации трахеи и проведения ИВЛ существенно снижает частоту развития ВАП, VILI, риска эрозивно-травматических повреждений слизистой трахеи и бронхов, трахеомалации и иных трахеобронхиальных осложнений, что в совокупности создает условия для более ранней мобилизации, сокращения длительности лечения в ОР и снижения летальности [158, 212].

Инвазивная вентиляция легких, напротив, обеспечивает полный контроль параметров РП – дыхательного объема (V_t), фракции вдыхаемого кислорода (FiO_2), давление плато (P_{plat}) и т.д. Однако достижение столь точного управления требует проведения трахеальной интубации, глубокой седации, а нередко и миорелаксации, что повышает риск развития VILI, полиорганной дисфункции и пролонгированной зависимости от аппарата ИВЛ. Более того, пассивный характер ИВЛ ассоциирован с угнетением нейрореспираторного драйва и снижением функционала дыхательной мускулатуры.

Таким образом, выбор метода РП должен основываться на комплексной оценке характера и степени тяжести ОДН, компенсаторных возможностей дыхательной мускулатуры и потенциальной обратимости первичных и вторичных патофизиологических нарушений. Персонализированный подход с учетом динамики клинических и функциональных параметров позволяет минимизировать риск развития вентиляционно-ассоциированных осложнений и улучшить результаты лечения пациентов с гипоксемической ОДН.

Понимание физиологических основ, возможностей, недостатков и ограничений разных методов НИВЛ позволяет существенно повысить ее клиническую эффективность за счет персонифицированного применения в каждой клинической ситуации.

Эволюция неинвазивной вентиляции легких

За последние четыре десятилетия неинвазивная вентиляция легких прошла путь от экспериментальной методики к признанному и стандартизированному инструменту респираторной поддержки, широко интегрированному в клиническую практику.

1980–1990 годы: этап становления технологии

Первые клинические наблюдения, представленные Meduri и соавт. в 1982 г. продемонстрировали, что применение CPAP с уровнем давления 5 см H₂O у пациентов с обострением ХОБЛ способствует снижению гиперкапнии и выраженности одышки [149]. Спустя десятилетие Hill N. S. в рандомизированном контролируемом исследовании показал, что использование двухуровневой неинвазивной вентиляции легких (BiPAP) позволяет снизить частоту интубации с 74 % до 26 % в аналогичной популяции пациентов [112]. Эти результаты стали отправной точкой для дальнейшего клинического внедрения этого метода РП и расширения спектра его показаний.

1990–2000 годы: расширение клинических показаний к НИВЛ

В указанный период существенно возросло количество исследований, подтверждающих эффективность неинвазивной вентиляции легких в различных клинических сценариях. В частности, Brochard L. продемонстрировал достоверное снижение частоты интубации у пациентов с острым кардиогенным отеком легких при использовании CPAP: относительный риск составил 0,41 (95 % ДИ: 0,24–0,70) [67]. В то же время Antonelli M. впервые показал преимущество раннего начала НИВЛ у иммунокомпрометированных пациентов, зафиксировав снижение внутрибольничной летальности с 50 % до 32 % [54]. Эти данные заложили основу для включения НИВЛ в протоколы лечения острых респираторных нарушений вне зависимости от их этиологии.

2000–2010 годы: технологический прорыв и формирование нормативной базы для применения НИВЛ

Начало XXI века ознаменовалось значительным расширением показаний для клинического применения неинвазивной вентиляции легких и развитием технологической платформы. В проспективном исследовании Ferrer M. и соавт. была обоснована эффективность НИВЛ у пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией: применение метода позволило сократить длительность госпитализации в среднем на 2,8 суток (95 % ДИ: 1,4–4,2) [96].

Параллельно с накоплением доказательной базы произошло внедрение инновационных портативных систем для НИВЛ: в 2006 году Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) было зарегистрировано первое турбинное

устройство, обладающее способностью компенсировать утечки до 60 л/мин, что расширило возможности НИВЛ в разных клинических ситуациях.

В отечественной практике важным событием стало издание в 2010 году клинического руководства РОАР, где впервые на национальном уровне систематизированы критерии эффективности и несостоятельности НИВЛ, а также предложены алгоритмы стратификации пациентов по прогнозу и тяжести дыхательной недостаточности [33].

Консолидацией международного опыта стали рекомендации ERS / ATS 2017 года, объединившие данные 44 рандомизированных клинических исследований (n = 3241). В них НИВЛ присвоен уровень доказательности 1B при гипоксемической ОДН, что закрепило метод в качестве стандартизированной первой линии респираторной терапии у пациентов с верифицированной гипоксемической ОДН [165].

2020–2022 годы: влияние пандемии SARS-COV-19 на тактику применения НИВЛ

Глобальный дефицит коек интенсивной терапии в период пандемии SARS-COV-19 способствовал широкому внедрению НИВЛ вне условий ОРИТ, включая разнопрофильные отделения и амбулаторные условия. Особенно высокий уровень доказательности в этот период получили шлемы для НИВЛ, превосходящие лицевые маски по степени герметичности, длительности допустимого применения и комфорту пациента. В рандомизированном контролируемом исследовании Patel B. K. и соавт. (n = 109) использование шлемов при COVID-ассоциированном ОРДС достоверно снижало частоту интубации на 22 % по сравнению с лицевыми масками (RR 0,78; 95 % ДИ 0,64–0,95; p = 0,02) [221].

Экономические и маркетинговые аналитические отчеты также отражают рост интереса к технологии НИВЛ: по данным Grand View Research (2022), прогнозируемый среднегодовой темп роста глобального рынка оборудования для НИВЛ составит 7,8 % в период с 2020 по 2025 годы [104]. Эти данные указывают на устойчивую тенденцию к расширению использования НИВЛ и акцент на совершенствование интерфейсов с целью повышения эффективности и переносимости этого метода НИВЛ.

2023–2025 годы: интеграция искусственного интеллекта и гибридных платформ в практику респираторной поддержки

Современный этап развития неинвазивной вентиляции легких (НИВЛ) ознаменован внедрением цифровых технологий, включая алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ), телеметрию и гибридные респираторные платформы – мультирежимные системы, интегрирующие различные варианты РП и НИВЛ в рамках одного устройства. Одним из прорывных решений стало одобренное в 2024 году FDA программно-аппаратное решение, использующее архитектуру глубокой нейронной сети для прогнозирования несостоятельности НИВЛ в течение первых 60 минут ее применения. Согласно данным многоцентровой валидации (n = 1204), система продемонстрировала площадь под кривой ошибок (AUC) 0,89, чувствительность

Таблица

Критерии начала неинвазивной вентиляции легких

Показатель	Целевое значение
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$	150–300 мм рт. ст.
Частота дыхания	> 25 в мин
Оценка по шкале комы Глазго (GCS)	≥ 13 баллов
Систолическое артериальное давление (САД)	≥ 65 мм рт.ст. (без вазопрессорной поддержки)
FiO_2 на традиционной оксигенотерапии	> 0,4
Индекс ROX через 60 мин на HFNO	< 5,0
pH (при гиперкапнии)	≥ 7,25

83 % и специфичность 78 %, обеспечивая тем самым клиницисту инструменты для ранней стратификации риска и коррекции стратегии НИВЛ [217].

Параллельно совершенствуются гибридные респираторные платформы, сочетающие функции ВПО и BiPAP, что позволяет осуществлять быструю эскалацию терапии без смены интерфейса. Это минимизирует перерывы в оксигенации и снижает стрессовую нагрузку на пациента при ОДН [97]. В совокупности, интеграция ИИ и гибридных решений открывает новую парадигму в персонализированной РП.

Таким образом в период с 1980 по 2025 год эволюция понимания патогенеза ОДН, концепции и технологий НИВЛ продемонстрировала убедительную клиническую состоятельность этого метода РП при ОДН различного генеза и закономерно переместила акценты в сторону ранней инициализации НИВЛ и персонализации РП.

В этой связи особую значимость приобретает этап стратификации и отбора пациентов, потенциально наиболее чувствительных к НИВЛ (НИВЛ-респондеров). Он должен основываться на комплексном анализе клинико-физиологических параметров, объективной оценке динамики состояния и применении валидированных прогностических шкал, что позволяет повысить эффективность РП, минимизировать ее отрицательные эффекты и риски несостоятельности.

Отбор пациентов для НИВЛ

Эффективность НИВЛ определяется не только характеристиками респираторных интерфейсов и режимов вентиляции, но в значительной степени обусловлена своевременностью и обоснованностью клинического триажа пациентов с манифестацией ОДН. Инициация НИВЛ в пределах так называемого «золотого часа» – первых часов с момента манифестации гипоксемической ОДН ассоциируется со значимым снижением частоты отсроченной интубации, осложнений и госпитальной летальности.

Прогностическая эффективность РП с применением НИВЛ зависит от комплексного анализа, включающего совокупную оценку клинико-физиологических параметров, данных валидированных шкал оценки тяжести состояния (APACHE II, SAPS II, HACOR) и результатов динамического мониторинга показателей газообмена, механики дыхания, кардиогемодинамики и бюджета кислорода. Такой комплексный подход позволяет персонализировать РП и своевременно определить показания к ее эскалации.

Критерии отбора пациентов формируют основу для практического применения каждого метода НИВЛ, что делает необходимым детальное рассмотрение клинических показаний к ее инициации и критериев эффективности.

Клинические показания к инициации НИВЛ

Согласно положениям международного консенсуса *ERS / ATS* (2017) и национальных рекомендаций Российской ассоциации анестезиологов-реаниматологов (РААР, 2023), применение неинвазивной вентиляции легких показано при наличии комплекса клинико-физиологических критериев, свидетельствующих о декомпенсации дыхательной функции и сохранении потенциала для респираторной поддержки без интубации трахеи [33, 165]. Основные показания представлены в *таблице*.

Проведение клинической стратификации на раннем этапе позволяет идентифицировать пациентов с высокой вероятностью положительного ответа на неинвазивную вентиляцию легких, что способствует своевременному выбору тактики и снижению частоты отсроченной интубации. Это, в свою очередь, уменьшает риск развития вентилятор-ассоциированной пневмонии, пролонгации ИВЛ и связанных с этим ухудшения результатов лечения.

Наиболее выраженный клинический эффект от ранней инициации НИВЛ наблюдается у пациентов, принадлежащих к строго стратифицированным группам риска.

- У пациентов с обострением ХОБЛ, сопровождающимся гиперкапнией ($\text{PaCO}_2 > 45$ мм рт. ст.) и компенсированным либо умеренно выраженным дыхательным ацидозом (pH 7,25–7,35) – применение неинвазивной вентиляции легких достоверно снижает частоту интубаций и общую летальность. Терапевтический эффект обусловлен снижением метаболической и механической нагрузки на дыхательную мускулатуру, улучшением альвеолярной вентиляции и стабилизацией газообмена за счет оптимизации вентиляционно-перфузионного соответствия [158].
- У пациентов с острым кардиогенным отеком легких на фоне гипертензивного криза или выраженного повышения системного сосудистого сопротивления – применение неинвазивной вентиляции легких (в первую очередь CPAP) способствует снижению венозного возврата и трансмурального давления левого желудочка, что в совокупности способствует уменьшению гемодинамической нагрузки на сердце, облегчая сократительную работу миокарда и уменьшая интерстициальный отек легких [167].
- У пациентов с иммунодефицитными состояниями (включая нейтропению, посттрансплантационный период) – раннее применение НИВЛ при острой гипоксемической дыхательной недостаточности, ассоциированной инфекционными заболеваниями легких, позволяет значимо снизить частоту интубации и риск развития вентилятор-ассоциированных осложнений [58].
- У пациентов с высоким риском реинтубации после плановой экстубации (пожилой возраст, нейромышечные заболевания, хроническая дыхательная недостаточность, сохраняющаяся гипоксемия) – профилактическое применение НИВЛ способствует снижению частоты повторной интубации и улучшению клинических исходов [207].

Противопоказания к применению неинвазивной вентиляции легких

Инициация НИВЛ требует прежде всего предварительной оценки противопоказаний, поскольку в определенных клинических ситуациях этот метод может быть не только неэффективным, но и сопряжен с повышенным риском жизнеугрожающих осложнений. Согласно международному консенсусу *ERS / ATS* (2017) и методическим рекомендациям Российской ассоциации анестезиологов-реаниматологов (2023), противопоказания к НИВЛ делятся на абсолютные и относительные [34, 165].

Абсолютные противопоказания к НИВЛ (высокий риск неэффективности или осложнений)

1. Апноэ или тяжелая гиповентиляция ($pH < 7,15$).
2. Рефрактерный кардиокруляторный шок ($MAP < 65$ мм рт. ст. при норэпинефрине $> 0,3$ мкг $\times$ kg^{-1} $\times$ min^{-1}).
3. $GCS < 8$ или $RASS \leq -4$.
4. Массивное кровотечение из дыхательных путей / ЖКТ.
5. Некупируемая рвота или тяжелые нарушения глотания.
6. Недавние хирургические вмешательства на ВДП или пищеводе (< 48 ч).
7. Пневмо- гидроторакс без дренирования.
8. Неконтролируемые судороги или внутричерепная гипертензия ($ВЧД > 25$ мм рт. ст.).
9. Невозможность обеспечить герметичность интерфейса.
10. Информированный отказ пациента при наличии альтернативы.

Относительные противопоказания (оценка индивидуального риска)

1. Обширные травмы лица, в том числе с нестабильными костными фрагментами.
2. Перенесенные операции (лицо, ЛОР-органы и тд.).
3. Тяжелое ожирение ($BMI > 45$ kg/m^2), ограничивающее эффективность НИВЛ из-за рестриктивных нарушений.
4. Клаустрофобия, повышающая риск отказа от НИВЛ.
5. Активной фазе кожных заболеваний в зонах контакта маски (герпетическая инфекция, язвы, дерматозы и др.).
6. Повышенное внутричерепное давление без возможности точного мониторинга.
7. Отказ пациента от использования девайса или невозможность кооперации с пациентом.

Абсолютные противопоказания к НИВЛ связаны с невозможностью адекватной вентиляции без инвазивного вмешательства. При этих состояниях задержка интубации может привести к тяжелым последствиям, включая остановку дыхания, нарастание ацидоза, вентилятор-индуцированные повреждения легких или смерть [34, 35].

Относительные противопоказания требуют клинико-функциональной оценки: в отдельных случаях возможно проведение НИВЛ при условии мониторинга, индивидуального подбора интерфейса и ограниченного времени экспозиции.

Определение клинических показаний к инициации НИВЛ требует дополнения объективными инструментами стратификации риска, что обуславливает необходимость рассмотрения прогностических шкал оценки ее эффективности.

Прогностические шкалы эффективности НИВЛ

Для повышения точности клинического принятия решений при неинвазивной вентиляции легких разработан ряд верифицированных прогностических инструментов, позволяющих прогнозировать вероятность успеха или несостоятельности несостоятельности респираторной поддержки с использованием НИВЛ на ранних этапах ее инициации.

НАСОР-шкала (Heart rate, Acidosis, Consciousness, Oxygenation, Respiratory rate) – интегральный балльный инструмент, основанный на пяти переменных: частоте сердечных сокращений, величине pH , уровне сознания (по GCS), PaO_2/FiO_2 и частоте дыхания. Значение ≥ 5 баллов через 1 час НИВЛ ассоциировано с вероятностью несостоятельности не инвазивной респираторной поддержки около 90% [71].

Шкалы органной дисфункции: SOFA и APACHE II – используются для общего прогнозирования тяжести состояния и летальности. При $SOFA \geq 10$ или $APACHE II \geq 25$ через 24 часа от старта НИВЛ, частота неудачи метода превышает 60%, особенно при наличии септического компонента или полиорганной дисфункции [208].

Индекс ROX – рассчитывается как SpO_2/FiO_2 /частота дыхания. Пороговое значение $< 3,85$ через 2 часа от начала НИВЛ достаточнонадежно предсказывает потребность в интубации, особенно у пациентов на фоне использования ВПО или CPAP [183].

Биомеханические маркеры дыхательной нагрузки – к ним относят прирост эзофагеального градиента транспульмонального давления более 15 см H_2O , что указывает на чрезмерную активность инспираторной мускулатуры и высокую степень центрального дыхательного драйва. Данная ситуация ассоциирована с риском функционального истощения дыхательной мускулатуры и формированием P-SILI [213].

Использование прогностических шкал эффективности НИВЛ позволяет объективизировать оценку перспектив ее применения, что служит основой для построения алгоритма клинической стратификации и инициализации НИВЛ при гипоксемической ОДН.

Алгоритм клинической стратификации и инициализации НИВЛ при гипоксемической ОДН

Своевременная идентификация пациентов с потенциально благоприятным ответом на неинвазивную вентиляцию легких представляет собой критически значимый компонент персонализированной тактики лечения гипоксемической острой дыхательной недостаточности, определяющий как эффективность респираторной поддержки, так и прогноз исхода заболевания. Алгоритм триажа условно разделяется на пять этапов, каждый из которых ориентирован на последовательную оценку клинико-физиологических параметров, выбор тактики и своевременную эскалацию респираторной поддержки при отсутствии эффекта.

1. Этап первичной стратификации (T_0)

На этапе первичной стратификации в качестве кандидатов для проведения неинвазивной вентиляции легких посредством маски или шлема рассматриваются пациенты с признаками гипоксемии, соответствующими следующим критериям:

- P/F индекс ≤ 300 мм рт. ст. при уровне $\text{FiO}_2 \geq 0,40$;
- Индекс ROX $\leq 5,0$ при потоке газовой смеси в условиях ВПО ≥ 60 л/мин [33, 183].

Дополнительными физиологическими параметрами, указывающими на необходимость инициации НИВЛ, являются:

- Частота дыхательных движений (ЧДД) >25 в мин;
- Активация вспомогательной дыхательной мускулатуры;
- Персистирующее снижение уровня сатурации кислорода ($\text{SpO}_2 < 92\%$) на фоне оптимизированной оксигенотерапии [33, 165].

Такая оценка позволяет своевременно определить пациентов с высоким риском прогрессирования респираторной недостаточности и инициализировать респираторную поддержку до развития признаков утомления дыхательной мускулатуры, гипоксемии или системной гипоксии.

2. Расширенная оценка прогноза эффективности НИВЛ ($T_0 + 10$ мин)

Проводится расчет шкалы HАCOR, где значение ≥ 5 баллов ассоциировано с высокой вероятностью неэффективности НИВЛ – до 90% [71]. Параллельно выполняется оценка SOFA и APACHE II: при SOFA ≥ 10 или APACHE II ≥ 25 частота неудачи метода превышает 60% [208]. Ультразвуковая визуализация диафрагмы позволяет оценить фракцию утолщения (TFdi); значение $< 20\%$ ассоциируется с повышенным риском функционального утомления дыхательной мускулатуры и ограничивает продолжительность эффективного применения НИВЛ [78].

Через 10 минут целесообразно проведение расширенной комплексной оценки для прогнозирования эффективности НИВЛ и своевременного принятия решений об эскалации респираторной поддержки.

Следует отметить, что на сегодняшний день одним из валидированных инструментов прогнозирования эффективности НИВЛ является шкала HАCOR (частота дыхания, уровень pH, $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, уровень сознания, и ЧСС), где совокупное значение ≥ 5 баллов ассоциировано с вероятностью несостоятельности НИВЛ до 90% в течение первых суток терапии [71].

Дополнительно рекомендуется определение интегральных индексов тяжести состояния:

- SOFA ≥ 10 баллов;
- APACHE II ≥ 25 баллов – достоверно коррелируют с неэффективностью НИВЛ в более чем 60% случаев, особенно в популяции пациентов с септическими состояниями и множественной органной дисфункцией [208].

Для оценки функционального резерва дыхательной мускулатуры применяется диафрагмальная ультрасонография. Наиболее репрезентативным биомеханическим

показателем считается так называемая фракция утолщения диафрагмы (TFdi): ее значение $< 20\%$ служит маркером утомления дыхательной функции диафрагмы, что снижает вероятность эффективного применения НИВЛ [78].

3. Инициализация НИВЛ ($T_0 + 15$ мин)

Начальный этап инициации НИВЛ включает индивидуальный в каждой клинической ситуации выбор интерфейса с учетом морфофункциональных характеристик лицевого скелета, выраженности респираторного дистресса и вероятности утечек газовой смеси. Стартовые параметры вентиляции включают установку инспираторного положительного давления (IPAP), положительного давления в конце выдоха (PEEP), а также титрацию фракции кислорода (FiO_2) газовой смеси с целью достижения целевого уровня $\text{SpO}_2 \geq 94\%$ [165]. Эффективность и безопасность респираторной поддержки обеспечиваются при контроле объема утечек (< 35 л/мин), минимизации временной задержки триггерного отклика (< 100 мс), а также достижении дыхательного объема (Vt) в диапазоне 6–8 мл/кг предсказанной массы тела (PBW), что снижает риск развития гиповентиляции и/или гиперинсуффляции.

4. Оценка эффективности терапии ($T_0 + 60$ мин)

Ключевыми критериями клинической эффективности НИВЛ спустя 60 минут от начала терапии считаются:

- Снижение частоты дыхания не менее чем на 10% от исходных значений;
- Прирост индекса оксигенации ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) ≥ 50 мм рт. ст.

или

- Увеличение SpO_2 на $\geq 4\%$ без необходимости повышения фракции FiO_2 газовой смеси [33, 71].

Положительная динамика по шкале HАCOR (снижение на ≥ 2 балла от исходного уровня) ассоциирована с высокой вероятностью эффективности терапии и снижением риска отсроченной интубации [92].

Дополнительную диагностическую ценность представляет ультразвуковая оценка функции диафрагмы: величина фракции утолщения (TFdi) $\geq 20\%$ и амплитуда экскурсии диафрагмы $\geq 1,0$ см интерпретируются, как маркеры восстановления сократительного резерва инспираторной мускулатуры и устойчивости пациента к респираторной нагрузке [78].

5. Эскалация терапии при неэффективности ($T_0 + 90-120$ мин)

В случае недостаточного ответа возможна пошаговая оптимизация параметров НИВЛ: повышение IPAP на 2 см H_2O каждые 10–15 мин с целью достижения целевого Vt и снижения ЧД [165].

Показания к прекращению НИВЛ и переходу на ИВЛ включают индекс ROX $< 3,85$ и/или HАCOR > 5 [71, 183]. У пациентов с гиперкапнией ($\text{pH} < 7,25$), при наличии соответствующих ресурсов, возможна активация протокола экстракорпоральной элиминации CO_2 (ECCO₂R), как «моста» перед инвазивной вентиляцией [77].

Роль раннего комплексного мониторинга при инициализации НИВЛ

Применение комплексного мониторинга респираторной биомеханики на ранних этапах инициализации НИВЛ представляет собой патофизиологически обоснованный и клинически значимый компонент персонализированной респираторной поддержки. В отличие от традиционной оценки, базирующейся преимущественно на показателях газообмена и частоте дыхания, комплексный анализ дыхательных усилий пациента с использованием инструментальных методов существенно повышает точность стратификации риска интубации и своевременно выявляет признаки функциональной несостоятельности дыхательной мускулатуры.

Использование высокочастотных потоковых датчиков (паратрахеальное пневмотахографирование с временным разрешением ≥ 200 Гц) в сочетании с ультразвуковым мониторингом параметров функции диафрагмы, таких как коэффициент утолщения (thickening fraction, TFdi) и амплитуда каудокраниальной экскурсии ($< 1,0$ см) позволяют выявить несоответствие между дыхательными усилиями пациента и параметрами респираторной поддержки (patient-ventilator asynchrony) уже в течение первых 20–30 мин от начала респираторной поддержки [77].

Клиническая целесообразность данного подхода подтверждена результатами мультицентрового проспективного анализа *Combes A. и соавт.* (2021), продемонстрировавшего, что включение ультразвуковых и пневмотахографических критериев в алгоритм ранней оценки эффективности НИВЛ позволяет достичь прогностической точности в определении ее неэффективности на уровне AUC = 0,87. Это, в свою очередь, ассоциируется со снижением частоты отсроченной интубации в среднем на 35 %, по сравнению с традиционно используемыми шкалами (например, HACOR, ROX).

Кроме того, добавление инструментальной оценки функционального состояния дыхательной мускулатуры (в частности, диафрагмы и межреберных мышц) позволяет своевременно идентифицировать пациентов с низким «респираторным мышечным резервом» и высоким риском быстрого развития критического утомления дыхательных мышц. Значение TFdi < 20 % и амплитуда экскурсии диафрагмы $< 1,0$ см эффективными являются маркерами функционального истощения дыхательной мускулатуры и хорошими предикторами несостоятельности НИВЛ [78].

Таким образом, целесообразность рутинного включения комплексного мониторинга респираторной механики и респираторной мышечной функции в протокол ранней оценки эффективности НИВЛ при гипоксемической острой дыхательной недостаточности является научно обоснованной и клинически оправданной.

Можно заключить, что комплексный анализ не только показателей газообмена, функции внешнего дыхания с использованием оценочно-прогностических шкал, но так же индивидуальных особенностей каждого пациента и состояния его дыхательной мускулатуры является перспективным направлением развития персонализированной РП с высоким потенциалом для повышения ее эффективности и безопасности.

Во второй части обзора будет представлен анализ наиболее часто используемых интерфейсов для НИВЛ, поскольку их конструктивные и физиологические особенности определяют не только эффективность респираторной поддержки, но и обоснования для индивидуального применения каждого из них, что позволит повысить безопасность и клиническую эффективность методов НИВЛ.

Список литературы / References

1. Алексеев Н.П., Морозов А.А. Респираторная реабилитация: современные подходы. Вестн. восстанов. мед. 2022. № 1. С. 25–31. Alekseev N.P., Morozov A.A. Respiratory rehabilitation: modern approaches. Vestn. restorative medicine. 2022. No. 1. pp. 25–31. (In Russ.).
2. Альшулер В.М., Богданова М.В. Повышенное внутричерепное давление и дыхательные упражнения: мифы и реальность. Журнал неврологии и психиатрии. 2020. № 7. С. 51–56. Alshuler V.M., Bogdanova M.V. Increased intracranial pressure and breathing exercises: myths and reality. Journal of Neurology and Psychiatry. 2020. No. 7. pp. 51–56. (In Russ.).
3. Астахов А.А., Бодров И.В., Карпов И.А. Современные технологии дыхательной реабилитации: методические подходы и аппаратные средства. Вестник восстановительной медицины. 2023. № 2. С. 35–42. Astakhov A.A., Bodrov I.V., Karpov I.A. Modern technologies of respiratory rehabilitation: methodological approaches and hardware. Bulletin of restorative medicine. 2023. No. 2. pp. 35–42. (In Russ.).
4. Баринов А.П., Макарова И.В., Сотникова И.А. Применение ПЕР-терапии при бронхолегочной патологии у детей. Вопросы современной педиатрии. 2022. Т. 21, № 3. С. 167–172. Barinov A.P., Makarova I.V., Sotnikova I.A. Use of PEP therapy for bronchopulmonary pathology in children. Issues of modern pediatrics. 2022. Vol. 21, No. 3. pp. 167–172. (In Russ.).
5. Белов Ю.С., Курьяна Н.Б. и др. Реабилитация при внебольничных пневмониях. Практическая медицина. 2020. № 10. С. 100–107. Belov Yu.S., Kuryana N.B., et al. Rehabilitation in community-acquired pneumonia. Practical medicine. 2020. No. 10. pp. 100–107. (In Russ.).
6. Беляев А.С., Короткова Н.Э., и др. Влияние шлем – NIV на архитектуру сна. Росс. пульмонолог. журнал. 2023. № 5. С. 28–35. Belyaev A.S., Korotkova N.E., et al. Effect of helmet-NIV on sleep architecture. Russ. pulmonological journal. 2023. No. 5. pp. 28–35. (In Russ.).
7. Бойцов С.А., Алексеев А.М. Инновационные технологии дыхательной реабилитации: от тренажеров к геймифицированным платформам. Пульмонология. 2022. № 4. С. 17–22. Boytsov S.A., Alekseev A.M. Innovative technologies of respiratory rehabilitation: from simulators to gamified platforms. Pulmonology. 2022. No. 4. pp. 17–22. (In Russ.).
8. Воробьев А.А., Павлов С.В. Эффективность осциллирующих экспираторных устройств при ХОБЛ. Фарматека. 2021. № 12. С. 55–59. Vorobyov A.A., Pavlov S.V. Efficiency of oscillating expiratory devices in COPD. Pharmateka. 2021. No. 12. pp. 55–59. (In Russ.).
9. Гайворонский И.В. Топографическая анатомия человека. СПб.: СпецЛит, 2019. 496 с. Gaivoronskiy I.V. Topographical anatomy of man. St. Petersburg: SpetsLit, 2019. 496 p. (In Russ.).
10. Гуревич М.А., Селезнев И.В. Применение инциентов – спирометров в послеоперационной реабилитации. Российский журнал физиотерапии, курортологии и восстановительной медицины. 2022. Т. 21, № 4. С. 45–50. Gurevich M.A., Seleznev I.V. Use of incentive-spirometers in postoperative rehabilitation. Russian Journal of Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation Medicine. 2022. Vol. 21, No. 4. pp. 45–50. (In Russ.).
11. Дробязго В.В., Федоров А.А. Тренировка инспираторных мышц у пациентов, находящихся на ИВЛ. Анестезиология и реаниматология. 2019. № 6. С. 44–52. Drobzyazgo V.V., Fedorov A.A. Inspiratory Muscle Training in Patients on Mechanical Ventilation. Anesthesiology and Resuscitation. 2019. No. 6. pp. 44–52. (In Russ.).
12. Дыхательная реабилитация: клинические рекомендации. Под ред. Чучалина А.Г. М.: ГЭОТАР Медиа, 2021. 312 с. Respiratory Rehabilitation: Clinical Guidelines. Ed. by Chuchalin A.G. Moscow: GEOTAR Media, 2021. 312 p. (In Russ.).
13. Дыхательные тренажеры «Волна» и «Дыхательная пружина». СПб.: Пульмо, 2023. 20 с. Breathing Trainers «Wave» and «Breathing Spring». St. Petersburg: Spulmo, 2023. 20 p. (In Russ.).
14. Дыхательный тренажер POWERbreathe Fitness Classic. Владивосток: ПрофиСпорт ДВ, 2024. 14 с. POWERbreathe Fitness Classic Breathing Trainer. Vladivostok: ProfiSport DV, 2024. 14 p. (In Russ.).
15. Иванов И.И., Петров А.С. Дыхательный метаболический и периферический вазоконстрикция при утомлении инспираторных мышц. Патофизиология. 2015. Т. 22, № 2. С. 34–40. Ivanov I.I., Petrov A.S. Respiratory metaboreflex and peripheral vasoconstriction during inspiratory muscle fatigue. Pathophysiology. 2015. Vol. 22, No. 2. pp. 34–40. (In Russ.).
16. Иванова Н.Ю., Зайцев И.П. Применение дыхательных тренажеров в амбулаторной практике. Здоровье и дыхание. 2020. № 6. С. 21–26. Ivanova N.Yu., Zaitsev I.P. Use of breathing simulators in outpatient practice. Health and Breathing. 2020. No. 6. pp. 21–26. (In Russ.).
17. Инструкция по применению дыхательного аппарата «Самоздрав». М.: ООО «Институт Самоздрав», 2020. 24 с. Instructions for use of the Samozdrav breathing apparatus. Moscow: OOO Institute Samozdrav, 2020. 24 p. (In Russ.).
18. Инструкция по применению устройства PARI PEP® – System II. М.: ООО «ПАРИ Рус», 2021. 12 с. Instructions for use of the PARI PEP® – System II device. Moscow: OOO PARI Rus, 2021. 12 p. (In Russ.).
19. Каштанова Л.А., Воронова Н.Б. Индивидуализация дыхательной реабилитации: современные принципы. Вестник современной клинической медицины. 2021. № 4. С. 69–74. Kashanova L.A., Voronova N.B. Individualization of Respiratory Rehabilitation: Modern Principles. Bulletin of Contemporary Clinical Medicine. 2021. No. 4. pp. 69–74. (In Russ.).
20. Киселева М.В., Сепреева О.С. Аппараты типа Flutter и Acapella в клинической практике. Пульмоэксперт. 2019. № 2. С. 14–19. Kiseleva M.V., Sergeeva O.S. Flutter and Acapella Devices in Clinical Practice. Pulmoexpert. 2019. No. 2. pp. 14–19. (In Russ.).
21. Корякин А.Г., Власенко А.В., Евдокимов Е.А., Маковей В.И., Ерофеев В.В., Осипов С.А., Родионов Е.П., Сластиков Е.Д., Кляев И.С. Высокопоточная оксигенотерапия при отлучении от респиратора пациентов – канюленосителей. Медицинский алфавит. 2023; (6): 39–49. Koryakin A.G., Vlasenko A.V., Evdokimov E.A., Makovay V.I., Erofeev V.V., Osipov S.A., Radionov E.P., Slastnikov E.D., Klyuev I.S. High-flow oxygen therapy during weaning of cannula-wearing patients from a respirator. Medical alphabet. 2023; (6): 39–49. (In Russ.).
22. Крапивин С.В., Новиков Д.Е. Сравнение носовой и лицевой маски при обострении ХОБЛ. Пульмонология. 2019. № 4. С. 42–49. Kravivin S.V., Novikov D.E. Comparison of nasal and face masks in COPD exacerbation. Pulmonology. 2019. No. 4. pp. 42–49. (In Russ.).

23. Кузнецов П.В., Орлова Т.В. Влияние положительного давления на гемодинамику. Евразийский архив травматологии. 2021. № 4. С. 55–62.
24. Кулабукхов А.В., Стрижков А.В. Нейрогенные расстройства дыхания у критически больных. Анестезиология и реаниматология. 2021. № 6. С. 5–14.
25. Лещенко В.В., Лещенко А.В., Зиновьева Л.Е. Современные подходы к дыхательной реабилитации после COVID-19. Пульмонология. 2021. № 3. С. 18–29.
26. Макарова И.И., Романов П.В. Медицинская реабилитация при респираторной недостаточности. Пульмонология. 2021. № 3. С. 45–51.
27. Макарова Т.В., Бабина Л.М. и др. Противопоказания к дыхательной реабилитации у пациентов с острыми респираторными нарушениями. Практическая медицина. 2021. № 2. С. 62–69.
28. Мишина Е.В., Ермаков А.А. Неинвазивная вентиляция после экстубации. Анестезиология и реаниматология. 2024. № 2. С. 36–42.
29. Мясникова Е.В., Грачев А.В. Буллезная эмфизема: современные подходы к лечению. Пульмонология. 2022. № 4. С. 78–84.
30. Нерсисян А.А., Горбунова Е.А. Влияние РЕЕП на газообмен при неинвазивной вентиляции легких. Анестезиология и реаниматология. 2022. № 3. С. 12–18.
31. Петрова С.М., Ульянов Д.В. Реабилитация дыхательной функции у пациентов с постковидным синдромом: роль инспираторных тренажеров с биологической обратной связью. Пульмонология. 2021. № 6. С. 45–51.
32. Практическое руководство по дыхательной терапии и респираторной реабилитации. Под ред. А.В. Ястребова. М.: ГЭОТАР Медиа. 2022. 224 с.
33. Российская ассоциация анестезиологов-реаниматологов. Консенсус по неинвазивной вентиляции легких. М.: РААР. 2010. 52 с.
34. Российская ассоциация анестезиологов-реаниматологов. Методические рекомендации по неинвазивной вентиляции легких. М., 2023. 64 с.
35. Рудакова С.В., Королева О.Е. Когнитивные нарушения и респираторная реабилитация. Журнал неврологии и психиатрии. 2023. № 2. С. 42–49.
36. Сайт Spulmo.ru – Обзор респираторных тренажеров: принципы действия и показания. Spulmo.ru website – Review of respiratory simulators: principles of operation and indications.
37. Сагин М.Р., Брыксин З.Г. Анатомия человека: учебник. М.: ГЭОТАР Медиа. 2022. 672 с.
38. Сафронов С.В., Кузнецов В.И. Реабилитация после кардиохирургических вмешательств. Клиническая медицина. 2022. № 5. С. 39–45.
39. Сидоренко Е.Н., Зорина Л.Р. Дисфункция диафрагмы при длительной искусственной вентиляции легких. Вестник интенсивной терапии. 2020. Т. 17. № 4. С. 22–30.
40. Скорцов В.В., Дробышев А.В. Респираторный драйв и коррекция при ОДН. Критическая медицина. 2023. Т. 17. № 2. С. 45–53.
41. Соловьева С.В., Горбунова О.Ю., Конашова Н.И. Реабилитация пациентов с ХОБЛ: современные методы. Медицинский альманах. 2021. № 2. С. 89–97.
42. Стандарты специализированной медицинской помощи при хронических обструктивных заболеваниях легких. Минздрав РФ. 2021. 58 с.
43. Степанов М.Е., Михайлов А.В. Влияние дыхательной гимнастики на функцию внешнего дыхания при инсульте. Реабилитация. 2020. № 3. С. 44–48.
44. Тетерин А.Н., Тарасов А.И. Комплексная физиотерапия в пульмонологии: учебно-практическое пособие. СПб.: СпецЛит. 2021. 112 с.
45. Федеральные клинические рекомендации по респираторной реабилитации взрослых. М.: Министерство здравоохранения РФ. 2022. 52 с.
46. Шевелева И.М., Ларина Т.Н. Побудительная спирометрия в реабилитации пациентов после экстубации. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. 2018. № 5. С. 45–49.
47. Шляхов Е.С., Михайлов А.А. Физиологические эффекты НИВЛ в клинической практике. Бюллетень БГМУ. 2022. Т. 8. № 1. С. 14–22.
48. Шмелева Н.М., Злобина О.В. Профилактика дыхательных осложнений у хирургических больных с использованием инспираторных тренажеров. Вестник восстановительной медицины. 2020. № 2. С. 27–31.
49. Шмидт Н.С., Миронова О.Н. Тренировка дыхательных мышц у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких. Пульмонология. 2018. Т. 28. № 2. С. 67–74.
50. Alí A., Abdelrahman H., Hussein A. и др. Helmet versus face mask noninvasive ventilation in hypercapnic acute respiratory failure: a randomized controlled trial. Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis. 2011. Vol. 60. No. 4. P. 321–327. DOI: 10.1016/j.ejcdt.2011.07.002.
51. Ambrosino N., Cini E.M. Response to "Pulmonary rehabilitation in COVID-19 pandemic era". Eur Respir J. 2020. Vol. 55. No. 6. P. 2001073.
52. American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. Am J Respir Crit Care Med. 2002; 166 (4): 518–624.
53. Antonaglia V., Verzola G., Braschi A. и др. Sequential use of face mask and helmet for noninvasive ventilation in acute exacerbation of COPD: a prospective crossover study. Respiratory Care. 2011. Vol. 56. No. 12. P. 1825–1831. DOI: 10.4187/respcare.01136.
54. Antonelli M., Conti G., Rocco M., et al. Noninvasive ventilation for treatment of acute respiratory failure in immunocompromised patients. N. Engl. J. Med. 1998. Vol. 339. No. 21. P. 164–171.
55. Arabati H., Poursalehi F., Ghorbani F. Non-invasive ventilation in burn patients with inhalation injury: a clinical review. Burns. 2019. Vol. 45. No. 6. P. 1233–1240.
56. Arabi Y.M., Salama M., Al Hameed F. и др. Helmet non-invasive ventilation versus usual care in acute hypoxemic respiratory failure: a randomized controlled trial. Critical Care. 2023. Vol. 27. Art. 112. DOI: 10.1186/s13054-023-04321-7.
57. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. European Respiratory Journal. 2002. Vol. 19. P. 209–238.
58. Azoulay E., Lemiale V., Mokart D., et al. Effect of Noninvasive Ventilation vs Oxygen Therapy on Mortality Among Immunocompromised Patients with Acute Respiratory Failure: A Randomized Clinical Trial. JAMA. 2015. Vol. 314. No. 16. P. 1711–1719.
59. Bach J.R., Gonçalves M.R. Mouthpiece ventilation in neuromuscular disease. Respir. Care. 2020. Vol. 65. P. 712–720.
60. Bartlett R.H., Brennan M.L., Gazzaniga A.B., Hanson E.L. Studies on the pathogenesis and prevention of postoperative pulmonary complications. Surg Gynecol Obstet. 1973; 137 (6): 925–933.
61. Beaumont M., Mialon P., et al. Inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis. Chron Respir Dis. 2018. Vol. 15. No. 4. P. 394–404.
62. Bellani G., Patroniti N., Greco G. и др. Helmet CPAP for weaning from prolonged mechanical ventilation: a pilot randomized trial. Critical Care. 2013. Vol. 17. Suppl. 2. P. P222. DOI: 10.1186/cc12457.
63. Bisetti B., Leditschke I.A., Neeman T. et al. Inspiratory muscle training to enhance recovery from mechanical ventilation: a randomised trial. Thorax. 2016; 71(9): 812–819. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2015-208071.
64. Bisetti B., Leditschke I.A., Paratz J.D. Inspiratory muscle training to facilitate weaning from mechanical ventilation: protocol for a systematic review. BMJ Open. 2012. Vol. 2. No. 2. P. e000813.
65. Boussuges A., Gole Y., Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. Chest. 2009. Vol. 135. No. 2. P. 391–400. DOI: 10.1378/chest.08-1541.
66. Brill A.-K., Chatwin M., Polkey M.I. Sleep quality under different NIV interfaces. Chest. 2022. Vol. 161. P. 602–611.
67. Brochard L., Isabey D., Piquet J., et al. Continuous positive airway pressure delivered by face mask in acute cardiogenic pulmonary oedema. N. Engl. J. Med. 1995. Vol. 332. No. 4. P. 130–135.
68. Cahalin L.P., Arena R., Guazzi M., et al. Inspiratory muscle training in heart failure and pulmonary disease. Chest. 2013; 143(3): 884–894. DOI: 10.1378/chest.12-1144.
69. Çakır O., Demir T., Alptekin S. и др. Comparison of helmet and face mask noninvasive ventilation in acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: randomized controlled trial. Journal of Critical Care. 2015. Vol. 30. No. 6. P. 1193–1198.
70. Carreaux G., Brochard L. Noninvasive ventilation for acute hypoxemic respiratory failure. Intensive Care Med. 2019. Vol. 45. No. 10. P. 1298–1307.
71. Carreaux G., Millán-Guillón G., Joyeux M., et al. Assessment of Failure of Noninvasive Ventilation in Hypoxemic Respiratory Failure by the HACOR Score. Intensive Care Med. 2016. Vol. 42. No. 2. P. 199–206.
72. Carreaux G., Millet J., Pouchon A. et al. Bedside adjustment of noninvasive ventilation settings improves breathing pattern and pulmonary gas exchange. Intensive Care Medicine. 2015. Vol. 41. No. 3. P. 376–384.
73. Cesarano M., Grieco D.L., Michi T. и др. Helmet noninvasive support for acute hypoxemic respiratory failure: rationale, mechanism of action and bedside application. Annals of Intensive Care. 2022. Vol. 12. Art. 94. DOI: 10.1186/s13613-022-01069-7.
74. Chatburn R.L., Kamatovskaia L.V. Non-invasive ventilation in children: modes, interfaces and clinical applications. Respiratory Care. 2018. Vol. 63. No. 12. P. 1506–1520.
75. Chaudhuri D., Batt J., Brushey L. и др. Helmet versus facemask for noninvasive ventilation in acute hypercapnic respiratory failure: systematic review and metaanalysis. Critical Care. 2022. Vol. 26. Art. 130. DOI: 10.1186/s13054-022-04014-1.
76. Cheah B.C., Boland R.A., et al. Inspiratory muscle training in patients with amyotrophic lateral sclerosis. Eur J Neurol. 2009. Vol. 16. No. 2. P. 170–175.
77. Combes A., Fanelli V., Pham T. Early predictive monitoring during noninvasive ventilation: a multicenter study. Critical Care. 2021. Vol. 25. Art. 162.
78. Combes A., Fanelli V., Pham T. Early predictive monitoring during noninvasive ventilation: a multicenter study. Critical Care. 2021. Vol. 25. Art. 162.
79. Condesa R.L., Brauner J.S., Saul A.L. et al. Inspiratory muscle training did not accelerate weaning from mechanical ventilation but did improve tidal volume and maximal inspiratory pressure. Respir Care. 2013; 58(12): 1838–1844. DOI: 10.4187/respcare.02384.
80. Conti G., Cavaliere F., Costa R. и др. Noninvasive ventilation after abdominal surgery: a prospective randomized study. Intensive Care Medicine. 2007. Vol. 33. No. 5. P. 931–938. DOI: 10.1007/s00134-007-0591-5.
81. Coppadoro A., Zago E., Pavan F. и др. The use of head helmets to deliver noninvasive ventilatory support: a comprehensive review of technical aspects and clinical findings. Critical Care. 2021. Vol. 25. Art. 327. DOI: 10.1186/s13054-021-03746-8.
82. Cosentini C., Brambilla A.M., Aliberti S. и др. Helmet Continuous Positive Airway Pressure versus Oxygen Therapy to Improve Oxygenation in Community-Acquired Pneumonia: A Randomized Controlled Trial. Chest. 2010. Vol. 138. No. 1. P. 114120.
83. CPAP Helmet for COVID 19 [Электронный ресурс]. CoDesign Collaborative. 2020. URL: <https://codesigncollaborative.org/mms-cpap>.
84. Dall'Agò P., et al. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. J Am Coll Cardiol. 2006. Vol. 47. No. 4. P. 757–763.
85. Daynes E., Gerlis C., Chaplin E. et al. Early experiences of rehabilitation for individuals post-COVID to improve fatigue, breathlessness, exercise capacity and cognition – A cohort study. Chron Respir Dis. 2021; 18: 14799731211015691. DOI: 10.1177/14799731211015691.
86. De Troyer A., Boriek A.M. Mechanics of the respiratory muscles. Comprehensive Physiology. 2011. Vol. 1. No. 3. P. 1273–1300.
87. Denehy L., Berney S. The use of positive expiratory pressure (PEP) therapy in clinical practice: evidence and applications. Eur Respir J. 2019. Vol. 54. No. 1. P. 1802189.
88. Dimar S.r.l. Medical Device – NIV and CPAP helmets [Электронный ресурс]. URL: <https://dimars.com/en/medical-device/>.
89. Dolci G., Longhini F., Camporota L. и др. Performance of a novel inflatable frame helmet for noninvasive ventilation: an in vitro study. Biomedical Engineering Online. 2023. Vol. 22. Art. 105. DOI: 10.1186/s12938-023-01059-9.
90. Eaglesports. Инструкция по эксплуатации электронных инспираторных тренажеров серии POWERBreathe K. М., 2022. 36 с.
91. Eaglesports. Профессиональные дыхательные тренажеры POWERBreathe K для медицинской и спортивной реабилитации. М., 2022. 28 с.

92. Elliott M.W., Nava S. NIV and respiratory muscle unloading. *HealthManagement*. 2020. Vol. 15, No. 2. P. 120–128.
93. Fagevik-Olsen M., Hahn I., Nordgren S. Randomized controlled trial of prophylactic chest physiotherapy in major abdominal surgery. *Br J Surg*. 1997; 84 (11): 1535–1538. DOI: 10.1002/bjs.1800841111.
94. Failure of noninvasive ventilation in acute respiratory distress syndrome: risk factors and outcomes / G. Carteaux et al. *Ann. Am. Thorac. Soc.* 2021. Vol. 18, No. 2. P. 1–10.
95. Ferrari G., De Filippi G., Elia F., et al. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J*. 2014. Vol. 6, No. 1. P. 8. DOI: 10.1186/2036-7902-6-8
96. Ferrer M., Esquinas A., Leon M., et al. Noninvasive ventilation in severe community-acquired pneumonia. *JAMA*. 2003. Vol. 290, No. 24. P. 3178–3184.
97. Fisher & Paykel Healthcare. Technical Datasheet: Airo 3 DualModeHighFlow and NIV System. Auckland, 2023. 12 p.
98. Frat J.P., Thille A.W., Mercat A., et al. High-flow oxygen through nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *The New England Journal of Medicine*. 2015. Vol. 372, No. 23. P. 2185–2196.
99. Geddes E.L., O'Brien K., Reid W.D., et al. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Respir Med*. 2008. Vol. 102 (11). P. 1715–1729.
100. Girou E., et al. Pressure ulcers from nasal masks during noninvasive ventilation: incidence and risk factors. *Am J Crit Care*. 2021; 30 (2): 127–134.
101. Goligher E.C., Fan E., Herridge M.S., et al. Evolution of Diaphragm Thickness During Mechanical Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2015. Vol. 192, No. 9. P. 1080–1088. DOI: 10.1164/rccm.201503-0620OC
102. Gómez F., Martínez R. Fisiología de la ventilación no invasiva. *Rev. Méd. Madrid*. 2021. Vol. 13, No. 4. P. 201–209.
103. Gosselink R., et al. Inspiratory muscle training improves exercise performance in elderly. *Eur Respir J*. 2011. Vol. 37, No. 2. P. 418–425.
104. Grand View Research. Noninvasive Ventilation Market Size, Share & Trends Analysis Report. San Francisco: Grand View Research, 2023. 145 p.
105. Grieco D.L., Menga L.S., Cesarano M., et al. Effect of helmet noninvasive ventilation vs high-flow nasal oxygen on days free of respiratory support in patients with COVID-19 and moderate to severe hypoxemic respiratory failure: The HENIVOT randomized clinical trial. *JAMA*. 2021. Vol. 325, No. 17. P. 1731–1743. DOI: 10.1001/jama.2021.4682
106. Grieco D.L., Menga L.S., Roca O. Patient comfort and tolerance during noninvasive ventilation delivered by helmet versus face mask: a narrative review. *Current Opinion in Critical Care*. 2023. Vol. 29, No. 1. P. 69–76. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000999
107. HajGhanbari B., Yamabayashi C., Buna T.R., et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analysis. *J Strength Cond Res*. 2013; 27(6): 1643–1663. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318269f73f
108. Hall J.C., Tarala R.A., Tapper J., Hall J.L. Prevention of respiratory complications after abdominal surgery: a randomized clinical trial. *BMJ*. 1996; 312(7024): 148–152. DOI: 10.1136/bmj.312.7024.148
109. Hellyer T.P., et al. The intensive care society recommended bundle of interventions for the prevention of ventilator-associated pneumonia. *J Intensive Care Soc*. 2016. Vol. 17, No. 3. P. 238–243.
110. Herman A.I., et al. Inspiratory muscle training and seizure control: a pilot study. *Epilepsy Behav*. 2021. Vol. 122. P. 108170.
111. Hill K., Jenkins S.C., Philippe D.L., et al. Effects of inspiratory muscle training in COPD: systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2010. Vol. 24 (3). P. 277–287.
112. Hill N.S., Lin D., Levy B.L. Noninvasive positive pressure ventilation in acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *N. Engl. J. Med.* 1994. Vol. 330, No. 13. P. 161–167.
113. Holland A.E., Button B.M., Lee A.L. Airway clearance techniques in bronchiectasis: state of the art review. *Respiration*. 2015; 89(3): 211–220. DOI: 10.1159/000381754
114. Hong X., Zhang Y., Liu Z., et al. Patient tolerance of helmet versus face mask noninvasive ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Respiratory Medicine*. 2021. Vol. 189, Art. 106647. DOI: 10.1016/j.rmed.2021.106647
115. Hulzebos E.H., et al. Preoperative intensive inspiratory muscle training to prevent postoperative pulmonary complications in high-risk patients undergoing CABG surgery: a randomized clinical trial. *JAMA*. 2006. Vol. 296, No. 15. P. 1851–1857.
116. Illi S.K., Held U., Frank I., et al. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2012; 42 (8): 707–724. DOI: 10.2165/11631670-000000000-00000
117. Intersurgical. StarMedCaStar R hood for NIV [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intersurgical.com/products/critical-care/starmed-ca-star-r-hood-for-niv>
118. Intersurgical. StarMedCaStar R Up-Openable hood for NIV [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intersurgical.com/products/critical-care/starmed-ca-star-r-up-openable-hood-for-niv>
119. Italiya S., Rossi G., Colombo A., et al. Prophylactic helmet CPAP after major abdominal surgery: a prospective cohort study. *Minerva Anestesiologica*. 2012. Vol. 78, No. 10. P. 1116–1124.
120. Ivanov A.V., Petrova M.N., Sokolov D.I. Early application of helmet CPAP after high-risk surgery: single-center experience. *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology*. 2018. Vol. 63, No. 4. P. 23–29.
121. Ivanov I.V., Petrov P.P. Respiratory muscle training in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Medicine*. 2023; 10: 1147238. DOI: 10.3389/fmed.2023.1147238
122. Ivanov P.A., Sminova E.G. Successful use of StarMed helmet CPAP in a patient with morbid obesity hypoventilation syndrome: case report. *Russian Journal of Pulmonology*. 2022. Vol. 32, No. 5. P. 87–92. DOI: 10.18093/0869018920223258792
123. Jackson D., Sarki A.M., Betteridge R., Brooke J. Medical device-related pressure ulcers: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Nursing Studies*. 2019. Vol. 92. P. 109–120.
124. Khan M., Shrestha P., et al. Custom 3-D printed non-invasive ventilation masks during pandemics. *Procedia Engineering*. 2021. Vol. 114. P. 101–109.
125. Kim W.Y., Suh H.J., Hong S.B., et al. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2011. Vol. 39, No. 12. P. 2627–2630. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3182266408
126. Köhnelein T., Windisch W., et al. Leak dynamics in NIV masks. *Sleep Breath*. 2021. Vol. 25, P. 745–752.
127. Laghi F., Tabin M.J. Disorders of the respiratory muscles. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2003. Vol. 168, No. 1. P. 10–48.
128. Langer D., Charusin N., Jacome C., et al. Efficacy of a novel method for inspiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Phys Ther*. 2015; 95 (9): 1264–1273. DOI: 10.2522/ptj.20140576
129. Larson J.L., Covey M.K., Wirtz S.E., et al. Cycle inspiratory muscle training in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999; 160 (2): 500–507. DOI: 10.1164/ajrccm.160.2.9810060
130. Larson J.L., Kim M.J., Sharp J.T., Larson D.A. Inspiratory muscle training with a pressure threshold breathing device in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis*. 1988; 138(3): 689–696. DOI: 10.1164/ajrccm/138.3.689
131. Laveneziana P., Albuquerque A., Aliverti A., et al. ERS statement on respiratory muscle testing. *Eur Respir J*. 2019. Vol. 53(6). P. 1801214.
132. Lee A.L., Burge A.T., Holland A.E. Positive expiratory pressure therapy versus other airway clearance techniques for bronchiectasis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017; (9): CD011699. DOI: 10.1002/14651858.CD011699.pub2
133. Li X.Y., Zhou Z.L., et al. High-flow nasal cannula in immunocompromised pneumonia. *Intensive Care Med*. 2022. Vol. 48. P. 112–122.
134. Lin J., Dai Z., et al. AdaptiveSeal smart cushion for NIV masks. *IEEE Trans. Med. Devices*. 2022. Vol. 8. P. 221–229.
135. Liu K., Zhang W., et al. Respiratory rehabilitation in elderly patients with COVID-19: A randomized controlled study. *Complement Ther Clin Pract*. 2020. Vol. 39, P. 101166.
136. Liu Q., Zhang X., Zheng R., et al. Clinical efficacy of helmet versus face mask noninvasive ventilation in patients with acute exacerbation of COPD: a randomized trial. *International Journal of COPD*. 2020. Vol. 15. P. 2239–2247. DOI: 10.2147/COPD.S263456
137. Lomax M., McConnell A.K. Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim. *J Sports Sci*. 2003. Vol. 21, No. 8. P. 659–664.
138. Longhini F., Pisani L., Dellacasagrande M., et al. Combined high-flow nasal cannula and helmet CPAP improves CO₂ washout and comfort: a physiological crossover trial. *Annals of Intensive Care*. 2022. Vol. 12, Art. 89. DOI: 10.1186/s13613022010620
139. Loring S.H., Malhotra A. Ventilator drive and lung injury. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2019. Vol. 199, No. 9. P. 1120–1130.
140. Lunardi A.C., Porras D.C., Carvalho C.R.F., et al. Effect of volume-oriented incentive spirometry on chest wall volumes in patients undergoing abdominal surgery. *Phys Ther*. 2011; 91(5): 734–742. DOI: 10.2522/ptj.20100176
141. MacIntyre N.R. Physiologic effects of noninvasive ventilation. *Respiratory Care*. 2019. Vol. 64, No. 6. P. 617–628.
142. Mauri T., Grasselli G., Suriano M., et al. Control of patient-ventilator asynchrony by neurally adjusted ventilatory assist (NAVA) during noninvasive ventilation delivered by helmet. *Intensive Care Medicine*. 2013. Vol. 39, No. 11. P. 2035–2043. DOI: 10.1007/s00134-013-3047-4
143. Mauri T., Turini C., Eronia N., et al. Physiologic effects of high-flow nasal cannula in acute hypoxemic respiratory failure. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2017. Vol. 195, No. 9. P. 1207–1215.
144. McConnell A.K., Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol*. 2006; 577 (Pt 1): 445–457. DOI: 10.1113/jphysiol.2006.118067
145. McConnell A.K., Romer L.M. Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *Int J Sports Med*. 2004; 25(4): 284–293. DOI: 10.1055/s-2004-815827
146. McCool F.D., Rosen M.J. Nonpharmacologic airway clearance therapies: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. *Chest*. 2006; 129 (1 Suppl): 250S–259S. DOI: 10.1378/chest.129.1_suppl.250S
147. McIlwaine M., Bradley J., Elborn J.S., et al. Personalising airway clearance in chronic lung disease. *Eur Respir Rev*. 2017; 26 (143): 160086. DOI: 10.1183/16000617.0086-2016
148. McIlwaine M.P., Alarie N., Davidson G.F. Long-term use of PEP mask therapy in patients with cystic fibrosis. *Respir Care*. 2013. Vol. 58, No. 8. P. 1245–1250.
149. Meduri G.U., Schnapp L.M., Lissauer M.E. Continuous positive airway pressure via face mask in acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Am. Rev. Respir. Dis*. 1982. Vol. 125, No. 5. P. 617–620.
150. Mehta S., Hill N.S. Noninvasive ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001; 163(2): 540–577.
151. Menga L.S., Grieco D.L., Cappellini V., et al. Integrated sensing technology in next-generation NIV helmets: a benchtop bedside evaluation. *Journal of Critical Care*. 2024. Vol. 76. P. 154–161. DOI: 10.1016/j.jccr.2024.02.015
152. Merck Sharp & Dohme Corp. Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Treatment [Электронный ресурс]. MSD Manual Professional Version. 2024. URL: <https://www.msd-manuals.com/professional>
153. Miller M.R., Hankinson J., Brusasco V., et al. Standardisation of spirometry. *Eur. Respir. J*. 2005. Vol. 26. P. 319–338.
154. Moço P., das Santos G.J., Pereira I., et al. Dual-channel fibreoptic oxygen and carbon dioxide sensor for noninvasive metabolic monitoring. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 14. P. 6451.
155. Moore K.L., Dalley A.F., Agur A.M.R. Clinically Oriented Anatomy. 8th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2018. 1168 p.
156. Morgan R.K., McNally S., Alexander M., et al. Sniff nasal inspiratory pressure: normal values and test-retest reliability. *Thorax*. 2005. Vol. 60. P. 595–600.
157. National Pressure Ulcer Advisory Panel; European Pressure Ulcer Advisory Panel; Pan Pacific Pressure Injury Alliance. Prevention and Treatment of Pressure Ulcers: Clinical Practice Guideline. 2nd ed. Osborne Park, Western Australia: Cambridge Media, 2014.
158. Nava S., Hill N. Noninvasive ventilation in acute respiratory failure. *Lancet*. 2009. Vol. 374, No. 9695. P. 250–259.
159. Navalesi P., Fanfulla F., Frigerio P., et al. Patient-ventilator interaction during noninvasive ventilation delivered by helmet versus facial mask in exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Intensive Care Medicine*. 2007. Vol. 33, No. 6. P. 1104–1112. DOI: 10.1007/s00134-007-0610-6
160. Nishimura M. High-flow nasal cannula noise characterization. *J. Intensive Care*. 2019. Vol. 7. P. 16.
161. NIV SAFE Registry Investigators. Complications associated with noninvasive ventilation interfaces: analysis of 4820 patients. *Respiratory Care*. 2024. Vol. 69, No. 11. P. 14011410.
162. Ntoumenopoulos G., Presneill J.J., McElhoolm M., et al. Chest physiotherapy for the prevention of ventilator-associated pneumonia. *Intensive Care Med*. 2002; 28(7): 850–856. DOI: 10.1007/s00134-002-1342-2
163. Overend T.J., Anderson C.M., Lucy S.D., et al. The effect of incentive spirometry on postoperative pulmonary complications: a systematic review. *Chest*. 2001; 120(3): 971–978. DOI: 10.1378/chest.120.3.971
164. Pasquina P., Tramer M.R., Walder B. Prophylactic respiratory physiotherapy after cardiac surgery: systematic review. *BMJ*. 2003; 327(7428): 1379. DOI: 10.1136/bmj.327.7428.1379
165. Patel B.K., et al. Helmet noninvasive ventilation vs face mask for ARDS: a randomized clinical trial. *JAMA*. 2016. Vol. 315, No. 22. P. 2435–2447.
166. Patel S.B., et al. Incentive Spirometry in Postoperative Pulmonary Complication Prevention: A Review. *J Clin Anesth*. 2021. Vol. 69. P. 110–118.
167. Patil S.P., Maskey A. Noninvasive ventilation in acute cardiogenic pulmonary edema // *Chest*. 2021. Vol. 160, No. 5. P. 1702–1712.
168. Patroniti N., Saini M., Zanella A., et al. Noise exposure during continuous positive airway pressure delivered by helmet: effects of active noise control and analgesia-sedation. *Anesthesiology*. 2011. Vol. 114, No. 6. P. 1410–1418. DOI: 10.977/ALN.0b013e318218f3af
169. Pavone M., Fanfulla F., De Villa E. Mouthpiece ventilation in neuromuscular disorders: current perspectives // *Neuromuscular Disorders*. 2021. Vol. 31, No. 5. P. 447–454.
170. Perkins G.D., Ji C., Connolly B., et al. An adaptive randomised controlled trial of noninvasive respiratory strategies in acute respiratory failure patients with COVID-19 (RECOVERYRS). *The Lancet Respiratory Medicine*. 2022. Vol. 10, No. 11. P. 1138–1148. DOI: 10.1016/S2213-2600(21)00460-7
171. Piper A.J., Grunstein R.R. Continuous positive airway pressure therapy in obesity hypoventilation syndrome. *Sleep Medicine Reviews*. 2015. Vol. 20. P. 79–87.
172. Pisani L., Carcione N., et al. Acoustic burden of helmet ventilation. *Intensive Care Med*. 2021. Vol. 47. P. 276–284.
173. Pisani L., Mega C., Vascchetto R., et al. Helmet versus face mask for noninvasive ventilation in acute hypercapnic respiratory failure: systematic review and metaanalysis of randomized trials. *Critical Care*. 2022. Vol. 26, Art. 57. DOI: 10.1186/s13054022-03964-9
174. Pisani L., Vega M.L., et al. Leak compensation in helmets. *Respir. Physiol. Neurobiol*. 2020. Vol. 282. 103508.
175. POWERbreathe Classic Medium Resistance. Бирмингем: Powerbreathe International Ltd., 2022. 18 p.
176. POWERbreathe. Тренажеры для дыхательных мышц. М.: Эйр Спорт, 2023. 24 с.
177. Principi T., Pantanelli S., Scotti M., et al. Continuous positive airway pressure delivered by helmet for noninvasive ventilation after major abdominal surgery in paediatric-onco-hematologic patients: a pilot study. *Intensive Care Medicine*. 2004. Vol. 30, No. 1. P. 96–101. DOI: 10.1007/s00134-003-2043-3
178. Pryor J.A., Prasad S.A. Physiotherapy for respiratory and cardiac problems: adults and paediatrics. 5th ed. Elsevier, 2019. 648 p.
179. Rabitsch W., Schellongowski P., Hetz H., et al. Non-invasive ventilation with a helmet in immunosuppressed patients with acute respiratory failure. *Bone Marrow Transplantation*. 2004. Vol. 34, No. 6. P. 447–451. DOI: 10.1038/sj.bmt.1704637
180. Radovanovic D., Coppadoro A., Franceschi E., et al. Helmet CPAP to treat hypoxemic acute respiratory failure due to COVID-19: a multicenter cohort study. *Critical Care*. 2021. Vol. 25, Art. 128. DOI: 10.1186/s13054-021-03560-2

181. Restrepo R.D., Wettstein R., Wittebel L., Tracy M. Incentive spirometry: 2011. *Respir Care*. 2011; 56(10): 1600–1604. DOI: 10.4187/respcare.01471
182. Roca O., Caralt B., Messika J. и др. Current evidence for high-flow nasal cannula in acute respiratory failure and peritubation period. *Annals of the American Thoracic Society*. 2019. Vol. 16, No. 9. P. 1102–1111. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201902-127FR
183. Roca O., Messika J., Caralt B., et al. Predicting Success of HighFlow Nasal Oxygen Therapy: The ROX Index. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2019. Vol. 199, No. 11. P. 1368–1376.
184. Rocco M., Dell'Utri D., Morelli A. и др. Noninvasive ventilation by helmet or face mask in immunocompromised patients with hypoxemic acute respiratory failure: A case-control study. *Chest*. 2004. Vol. 126, No. 5. P. 1508–1515.
185. Rochester C.L., Vagiatzis L., Holland A.E., et al. Enhancing implementation and use of pulmonary rehabilitation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2015. Vol. 192 (11). P. 1373–1386.
186. Rochwerf 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. DOI: 10.1183/13993003.02426-2016
187. Rochwerf B. et al. ERS/ATS guidelines on noninvasive ventilation in acute respiratory failure. *Eur. Respir. J*. 2017. Vol. 50. Art. 1602426.
188. Sánchez J., Derenne J.P., Debesse B. et al. Typology of the respiratory muscles in normal men and in patients with moderate chronic respiratory diseases. *Bulletin Européen de Physiopathologie Respiratoire*. 1982. Vol. 18, No. 6. P. 901–914.
189. Santos L.R., García M., Kumar A. Inspiratory muscle training in subacute respiratory failure: results of a randomized controlled trial // *Frontiers in Physiology*. 2024; 15: 1265234. DOI: 10.3389/fphys.2024.1265234
190. Sarwal A., Walker F.O., Cartwright M.S. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. *Muscle Nerve*. 2013. Vol. 47, No. 3. P. 319–329. DOI: 10.1002/mus.23671
191. Savci S., et al. Inspiratory muscle training in coronary artery bypass graft surgery patients. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2011. Vol. 31, No. 2. P. 105–110.
192. Scala R., Heunks L.M.A. Highlights in acute respiratory failure. *Eur Respir Rev*. 2018; 27(147): 180008.
193. Scandroglio M., Piccolo U., Mozzoni E. и др. Use and nursing of the helmet in delivering non invasive ventilation. *Minerva Anestesiologica*. 2002. Vol. 68, No. 5. P. 475–480.
194. Scholten E.L., Beilker J.R., Prisk G.K., Malhotra A. Treatment of ARDS with prone positioning. *Chest*. 2017; 151(1): 215–224. DOI: 10.1016/j.chest.2016.06.032
195. Scuzziato T., Banfi L., Bonifazi M. и др. Remote monitoring of helmetbased non-invasive ventilation during the COVID-19 pandemic: feasibility and clinical outcomes. *Respiratory Medicine*. 2023. Vol. 204. Art. 107082. DOI: 10.1016/j.rmed.2023.107082
196. Shomohammadi H., Weaver L., Saffran S. et al. Airway pressures generated by high flow nasal cannula in patients with acute hypoxemic respiratory failure: a computational study. *Respiratory Research*. 2025. Vol. 26, Art. 9. P. 1–12.
197. Sheel A.W., Derchak P.A., Morgan B.J., Pegelow D.F., Dempsey J.A. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *The Journal of Physiology*. 2001. Vol. 537, Pt 3. P. 999–1008.
198. Simon L., et al. Chest physiotherapy and pain control for rib fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2015. Vol. 41, No. 3. P. 331–338.
199. Skienka P., Burša F. Patient self-inflicted lung injury: pathophysiology and management. *Physiol. Res*. 2023. Vol. 72, No. 3. P. 381–396.
200. Smith J.A., Brown L.M., Taylor R.K. The effect of increased dead space volume on arterial carbon dioxide tension in mechanically ventilated subjects. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2019. Vol. 200, No. 4. P. 456–463. DOI: 10.1164/rccm.201901-0034OC
201. Spruit M.A., et al. An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease. *Eur Respir J*. 2014. Vol. 44, No. 6. P. 1428–1446.
202. Squadrone V., Coia M., Cerutti E. и др. Continuous positive airway pressure for treatment of postoperative hypoxemia: a randomized controlled study. *JAMA*. 2005. Vol. 293, No. 5. P. 589–595. DOI: 10.1001/jama.293.5.589
203. Suesada M.M., et al. Inspiratory muscle training in patients with prolonged mechanical ventilation: a randomized trial. *Intensive Care Med*. 2017. Vol. 43, No. 12. P. 1978–1980.
204. Svenningsen S., Paulin G.A., Sheikh K. et al. Oscillatory positive expiratory pressure therapy in chronic obstructive pulmonary disease and bronchiectasis. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016; 11: 2081–2090. DOI: 10.2147/COPD.S109882
205. Taccone F.S. et al. PaCO₂ and alveolar dead space are more relevant than PaO₂/FIO₂ ratio in monitoring the respiratory response to prone position in ARDS patients: a physiological study. *Critical Care*. 2011. Vol. 15, R74.
206. The University of Chicago Medicine. Helmet ventilation resources for clinicians – SeeLong Medical Systems helmet assembly video [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://www.uchicagomedicine.org/health-care-professionals/coronavirusclinician-resources/helmet-ventilation-resources>.
207. Thille A.W., Boissier F., Ben Ghezala H., et al. Effect of Postextubation Noninvasive Ventilation on Mortality in Patients at High Risk of Reintubation: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2016. Vol. 315, No. 13. P. 1354–1361.
208. Thille A.W., Boissier F., BenGhezala H., et al. Outcomes of Noninvasive Ventilation Failure in Acute Hypoxemic Respiratory Failure: Application of SOFA and APACHE II Scores. *Chest*. 2018. Vol. 153, No. 1. P. 217–227.
209. Thille A.W., et al. Patient – ventilator asynchrony during non-invasive ventilation. *Intensive Care Med*. 2020; 46(12): 2314–2326.
210. Threshold IMT. Руководство пользователя и технические характеристики. М.: Trimm, 2022. 12 с.
211. Threshold IMT. Тренажер дыхательный. М.: Trimm, 2024. 16 с.
212. Tobin M.J. Comparison of noninvasive and invasive ventilation. *JAMA*. 2020. Vol. 323, No. 14. P. 1395–1397.
213. Tonelli R., Fantini R., Tabbi L., et al. Inspiratory Effort and Lung Injury in Spontaneously Breathing Patients: The Risk of Patient Self-inflicted Lung Injury (PSILI). *Ann. Intensive Care*. 2020. Vol. 10, Art. 28.
214. Tonnelier J.M., Prat G., Espitalier F. и др. Clinical evaluation of continuous positive airway pressure delivered using a helmet device in acute cardiogenic pulmonary edema. *Intensive Care Medicine*. 2010. Vol. 36, No. 1. P. 112–118. DOI: 10.1007/s00134-009-1661-2
215. Toth M.J., et al. Respiratory muscle training after abdominal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Ann Surg*. 2020. Vol. 271, No. 2. P. 227–237.
216. U.S. Food and Drug Administration. Dimar NIV Helmet – EUA 20.04.2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fda.gov/medical-devices/covid-19-emergency-use-authorizations-medical-devices/ventilators-and-ventilator-accessories-euas>.
217. U.S. Food and Drug Administration. NIVATM. 510(k) Premarket Notification K240112. Silver Spring. 2024. 48 p.
218. U.S. Food and Drug Administration. Umbrella Emergency Use Authorization for ventilators and ventilator accessories (24.03.2020) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fda.gov/medical-devices/covid-19-emergency-use-authorizations-medical-devices/ventilators-and-ventilator-accessories-euas>.
219. Umbrello M., Formenti P., Longhi D. et al. ** Ultrasound assessment of diaphragm function in critically ill patients // *Critical Ultrasound Journal*. 2015. Vol. 7, No. 1. Art. 8.
220. Valkenel K., van de Port I.G., Drongers J.J. et al. The effects of preoperative inspiratory muscle training in patients undergoing cardiothoracic or abdominal surgery: a systematic review. *Clin Rehabil*. 2011; 25(3): 213–223. DOI: 10.1177/0269155103080830
221. Vassilakopoulos T. Diaphragm atrophy and noninvasive ventilation: friend or foe? // *Curr. Opin. Crit. Care*. 2022. Vol. 28, No. 1. P. 43–50.
222. Vital F.M., et al. CPAP versus oxygen in cardiogenic pulmonary edema. *Ann. Emerg. Med*. 2018. Vol. 71. P. 198–206.
223. Vorona S.; Sabatini U.; AlMaqbal S. et al. Respiratory Muscle Rehabilitation in Critically Ill Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Annals of the American Thoracic Society*. 2018. Vol. 15, No. 6. P. 735–744. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201712961OC
224. Walkey A., Del Sorbo L. Noise levels of NIV devices. *Ann. Am. Thorac. Soc*. 2020. Vol. 17. P. 133–140.
225. Walkey A.J., Del Sorbo L. Delayed intubation in acute respiratory failure. *Crit. Care Med*. 2021. Vol. 49, No. 6. P. 1025–1036.
226. Wei Y., Pei J., Yang Q. et al. The prevalence and risk factors of facial pressure injuries related to adult noninvasive ventilation equipment: a systematic review and metaanalysis. *International Wound Journal*. 2023. Vol. 20, No. 3. P. 621–632.
227. Weiner P., McConnell A. Respiratory muscle training in chronic obstructive pulmonary disease: inspiratory or expiratory? *Respiration*. 2005; 72(5): 505–510. DOI: 10.1159/000087670
228. West J.B. *Respiratory Physiology: The Essentials*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2020. 200 p.
229. West J.B. *Respiratory Physiology: The Essentials*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2020. 200 p.
230. Westerdaal E., Lindmark B., Eriksson T., Friberg Ö., Hedenström H., Tenling A. Deep –breathing exercises reduce atelectasis and improve pulmonary function after coronary artery bypass surgery. *Chest*. 2005; 128 (5): 3482–3488.
231. Winck J.C., Ambrosino N. Respiratory muscle training in neuromuscular disease: experience from the Portofino program. *Chron Respir Dis*. 2011. Vol. 8, No. 2. P. 109–118.
232. Xu Q., Luo Y., et al. Meta-analysis of gas-exchange efficacy across NIV interface. *Intensive Care Med*. 2024. Vol. 50. P. 121–135.

Статья поступила / Received 20.02.2026

Получена после рецензирования / Revised 27.02.2026

Принята в печать / Accepted 04.05.2026

Сведения об авторах

Клюев Иван Сергеевич, врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии-реанимации¹, ассистент кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины². E-mail: ivan.kluev11@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1050-0415

Власенко Алексей Викторович, д.м.н., доцент, зав. отделением анестезиологии-реанимации¹, зав. кафедрой анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины². E-mail: dr.vlasenko67@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4535-2563

Корякин Альберт Геннадьевич, зав. отделением анестезиологии-реанимации¹, ассистент кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины². E-mail: koriakinalbert@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5477-4242

Швайко Светлана Николаевна, к.м.н., зав. отделением пульмонологии¹. E-mail: s.shvaiko@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4666-522x

Родионов Евгений Петрович, к.м.н., доцент, зам. главного врача по анестезиологии-реаниматологии¹, доцент кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины². E-mail: dr.rodionov@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3852-8877

Евдокимов Евгений Александрович, д.м.н., профессор кафедры анестезиологии и неотложной медицины². E-mail: ea_evdokimov@mail.ru. ORCID: 0000-0001-8569-8667

¹ ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С.П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы, Россия
² Кафедра анестезиологии, реаниматологии и неотложной медицины ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва

Автор для переписки: Клюев Иван Сергеевич, ivan.kluev11@gmail.com

Для цитирования: Клюев И.С., Власенко А.В., Корякин А.Г., Швайко С.Н., Родионов Е.П., Евдокимов Е.А. Неинвазивная вентиляция легких и респираторная реабилитация: современное состояние и перспективы развития. *Медицинский алфавит*. 2026; (11): 35–50. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2026-11-35-50>

About authors

Kluev Ivan S., anesthesiologist-resuscitator at Dept of Anesthesiology-Resuscitation¹, assistant professor at Dept of Anesthesiology, Resuscitation, and Emergency Medicine². E-mail: ivan.kluev11@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1050-0415

Vlasenko Alexey V., Dr Med Sci (habil.), associate professor, head of Dept of Anesthesiology-Resuscitation¹, head of Dept of Anesthesiology, Resuscitation, and Emergency Medicine². E-mail: dr.vlasenko67@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4535-2563

Koryakin Albert G., head of Dept of Anesthesiology-Resuscitation¹, assistant professor at Dept of Anesthesiology, Resuscitation, and Emergency Medicine². E-mail: koriakinalbert@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5477-4242

Shvaiko Svetlana N., PhD Med Sci, head of Pulmonology Dept. E-mail: s.shvaiko@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4666-522x

Rodionov Evgeny P., PhD Med Sci, associate professor, deputy chief physician for Anesthesiology and Resuscitation¹, associate professor at Dept of Anesthesiology, Resuscitation, and Emergency Medicine². E-mail: dr.rodionov@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3852-8877

Evdokimov Evgeny A., Dr Med Sci (habil.), professor at Dept of Anesthesiology and Emergency Medicine². E-mail: ea_evdokimov@mail.ru. ORCID: 0000-0001-8569-8667

¹ S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow, Russia
² Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Medicine Dept, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia

Corresponding author: Kluev Ivan S. E-mail: ivan.kluev11@gmail.com

For citation: Kluev I.S., Vlasenko A.V., Koryakin A.G., Shvaiko S.N., Rodionov E.P., Evdokimov E.A. Noninvasive ventilation and respiratory rehabilitation: current state and development prospects. *Medical alphabet*. 2026; (11): 35–50. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2026-11-35-50>

