



Мониторинг восстановления внешнего дыхания в период постмедикации (обзор литературы)

О. Е. КУТЬИНА^{1*}, А. Ю. ЗАЙЦЕВ^{1,2}, С. Г. ЖУКОВА^{1,2}, Э. Г. УСИКЯН¹, Д. И. НОВИКОВ¹

¹ Российский научный центр хирургии им. акад. Б. В. Петровского, Москва, Российская Федерация

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

Поступила в редакцию 17.12.2024 г.; дата рецензирования 23.01.2025 г.

РЕЗЮМЕ

Введение. Мониторинг внешнего дыхания после общей анестезии представляет интерес для прогнозирования осложнений, связанных именно с замедленным восстановлением компонентов внешнего дыхания из-за остаточного действия лекарственных препаратов. Проблема выбора оптимальных методов мониторинга для снижения рисков в послеоперационном периоде до сих пор не решена.

Цель – проанализировать данные литературы о методах исследования состояния компонентов внешнего дыхания при экстубации трахеи.

Материалы и методы. Проведен поиск источников по базам данных PubMed (MEDLINE), eLibrary, Google Scholar за период с 1971 г. по 2024 г.

Результаты. Анализ литературы показал, что на сегодняшний день существует множество методов мониторинга состояния компонентов внешнего дыхания после общей анестезии, однако не во всех случаях их прогностическая оценка риска осложнений высока. Инструментальные методы зарекомендовали себя в качестве более объективных по сравнению с клиническими. Измерение окклюзионного давления дыхательных путей, ультразвуковые исследования мышечного тонуса диафрагмы, акселерометрические методы оценки восстановления нервно-мышечной проводимости дают представление специалистам о состоянии звеньев внешнего дыхания и обладают высокой специфичностью и чувствительностью.

Заключение. Совокупность разных методов, дающих оценку работы нескольких компонентов дыхательной системы, позволяет исключить остаточное действие лекарственных препаратов, изолированно действующих на разные компоненты дыхательной системы, тем самым предупредить риск осложнений после экстубации трахеи.

Ключевые слова: нервно-мышечная проводимость, миорелаксанты, mechanical ventilator weaning, respiratory muscle assessments, airway extubation, neuromuscular block, neuromuscular monitoring, weaning, diaphragm ultrasound, Rapid shallow breathing index (RSBI), Diaphragm thickening fraction (DTF), diaphragmatic excursion, airway occlusion pressure, индекс P 0.1

Для цитирования: Кутьина О. Е., Зайцев А. Ю., Жукова С. Г., Усикян Э. Г., Новиков Д. И. Мониторинг восстановления внешнего дыхания в период постмедикации (обзор литературы) // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2025. – Т. 22, № 4. – С. 125–135. <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-4-125-135>.

Monitoring of external respiratory recovery during postmedication (literature review)

OLGA E. KUTINA^{1*}, ANDREY YU. ZAITSEV^{1,2}, SVETLANA G. ZHUKOVA^{1,2}, EMIN G. USIKYAN¹, DENIS I. NOVIKOV¹

¹ Petrovsky National Research Center of Surgery, Moscow, Russia

² I. M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Received 17.12.2024; review date 23.01.2025

ABSTRACT

Introduction. Monitoring of external respiration after general anesthesia is of interest for predicting complications associated specifically with delayed recovery of components of external respiration due to the residual effect of drugs. The problem of choosing optimal monitoring methods to reduce risks in the postoperative period has not yet been solved.

The objective was to analyze the literature on the topic of methods for studying the state of components of external respiration during tracheal extubation.

Materials and methods. New sources of literature on the PubMed (MEDLINE), eLibrary, Google Scholar database in the period from 1971 to 2024.

Results. An analysis of the literature has shown that today, there are many methods for monitoring the state of respiratory components after general anesthesia, but not in all cases their prognostic assessment of the risk of complications is high. Instrumental methods have proven to be more objective than clinical ones. Measurement of the occlusive pressure of the respiratory tract, ultrasound examinations of the muscle tone of the diaphragm, accelerometric methods for assessing the restoration of neuromuscular tone give specialists an idea of the state of the links of external respiration and have high specificity and sensitivity.

Conclusion. The combination of different methods that evaluate the work of several components of the respiratory system makes it possible to exclude the residual effect of drugs acting in isolation on different components of the respiratory system, thereby preventing the risk of complications after tracheal extubation.

Keywords: neuromuscular conductivity, muscle relaxants, shutdown of the ventilator, assessment of the condition of the respiratory muscles, extubation of the respiratory tract, neuromuscular blockade, neuromuscular monitoring, shutdown, ultrasound examination of the diaphragm, rapid shallow breathing index (RSBI), diaphragm thickening fraction (DTF), diaphragm excursion, occlusion pressure of the respiratory tract paths, index P 0.1

For citation: Kutina O. E., Zaitsev A. Yu., Zhukova S. G., Usikyan E. G., Novikov D. I. Monitoring of external respiratory recovery during postmedication (literature review). *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2025, Vol. 22, № 4, P. 125–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-4-125-135>.

* Для корреспонденции:
Ольга Евгеньевна Кутьина
E-mail: oljakutina@mail.ru

* Correspondence:
Olga E. Kutyna
E-mail: oljakutina@mail.ru

Введение

Прогнозирование респираторных осложнений в раннем послеоперационном периоде остается актуальным и малоизученным вопросом. Процедура экстубации трахеи может быть сопряжена с развитием ларингоспазма, гипоксемией или гиперкапнией, апноэ, обструкцией дыхательных путей. В исследовании J. Juang et al. (2020) у 40 (13%) из 300 пациентов было по крайней мере одно осложнение в операционной, определяемое как кашель, десатурация ($SpO_2 < 90\%$) в течение более 10 суток, ларингоспазм, стридор, бронхоспазм и повторная интубация трахеи [20]. N. Baftiu et al. (2018) также опубликовали результаты опроса о практике экстубации в раннем послеоперационном периоде: во время экстубации частота кашля составила 45% ($n = 80$) от общего количества осложнений, у 6% ($n = 10$) пациентов был выявлен ларингоспазм, а десатурация после экстубации была зарегистрирована у 15% пациентов ($n = 26$) [6].

Респираторные осложнения в период постмедиации чаще всего связаны с остаточным действием лекарственных препаратов, используемых для обеспечения общей анестезии. Так, опиоиды воздействуют на нейроны дыхательного центра и могут вызывать нарушение паттерна дыхания вплоть до апноэ и угнетать вентиляционную функцию в ответ на гиперкапнию [3, 10, 29]. Такими же эффектами на дыхательный центр обладают препараты бензодиазепинового и барбитуратового рядов [5, 39]. Не стоит забывать и о взаимном потенцировании действия лекарственных препаратов при их совместном применении [2]. Галогенсодержащие анестетики угнетают работу ГАМК-рецепторов дыхательного центра, что приводит к депрессии дыхания [22]. В субанестетических дозах их действие оказывает обратный эффект на респираторную систему – увеличивает частоту дыхательных движений, дыхательный объем и минутную вентиляцию [16].

Мышечный тонус также может угнетаться не только периферическими миорелаксантами, но и другими группами препаратов, имеющими центральное миорелаксирующее действие. Кроме того, описано влияние галогенсодержащих ингаляционных анестетиков на пролонгацию действия периферических миорелаксантов. В 2000 г. группой авторов во главе с T. J. Zhou было проведено исследование, посвященное оценке длительности действия мышечных релаксантов в зависимости от анестетика, использовавшегося для обеспечения общей анестезии [50]. Авторам удалось продемонстрировать потенцирующее действие галогенсодержащих анестетиков на миорелаксанты.

Вместе с тем, кроме измерения различных показателей электронейромиограммы, имеется реальная возможность проведения избирательного мониторинга состояния компонентов внешнего дыхания: активности дыхательного центра, активности и состояния диафрагмы, вспомогательной дыхатель-

ной мускулатуры. Это должно позволить провести как прецизионный анализ компонентов системы внешнего дыхания, так и комплексную оценку готовности пациента к экстубации трахеи, тем самым повысив шансы на успешную экстубацию трахеи, и обеспечить безопасность пациента в раннем послеоперационном периоде.

При анализе литературы установлено, что большинство исследований, посвященных подготовке к экстубации трахеи и переходу на самостоятельное дыхание, проводятся в отделениях интенсивной терапии. В то же время, научных работ, фокусирующихся на раннем послеоперационном периоде, недостаточно для формирования обоснованных выводов о состоянии внешнего дыхания у пациентов после общей анестезии.

Цель – проанализировать данные литературы о методах исследования состояния компонентов внешнего дыхания при экстубации трахеи.

Материалы и методы

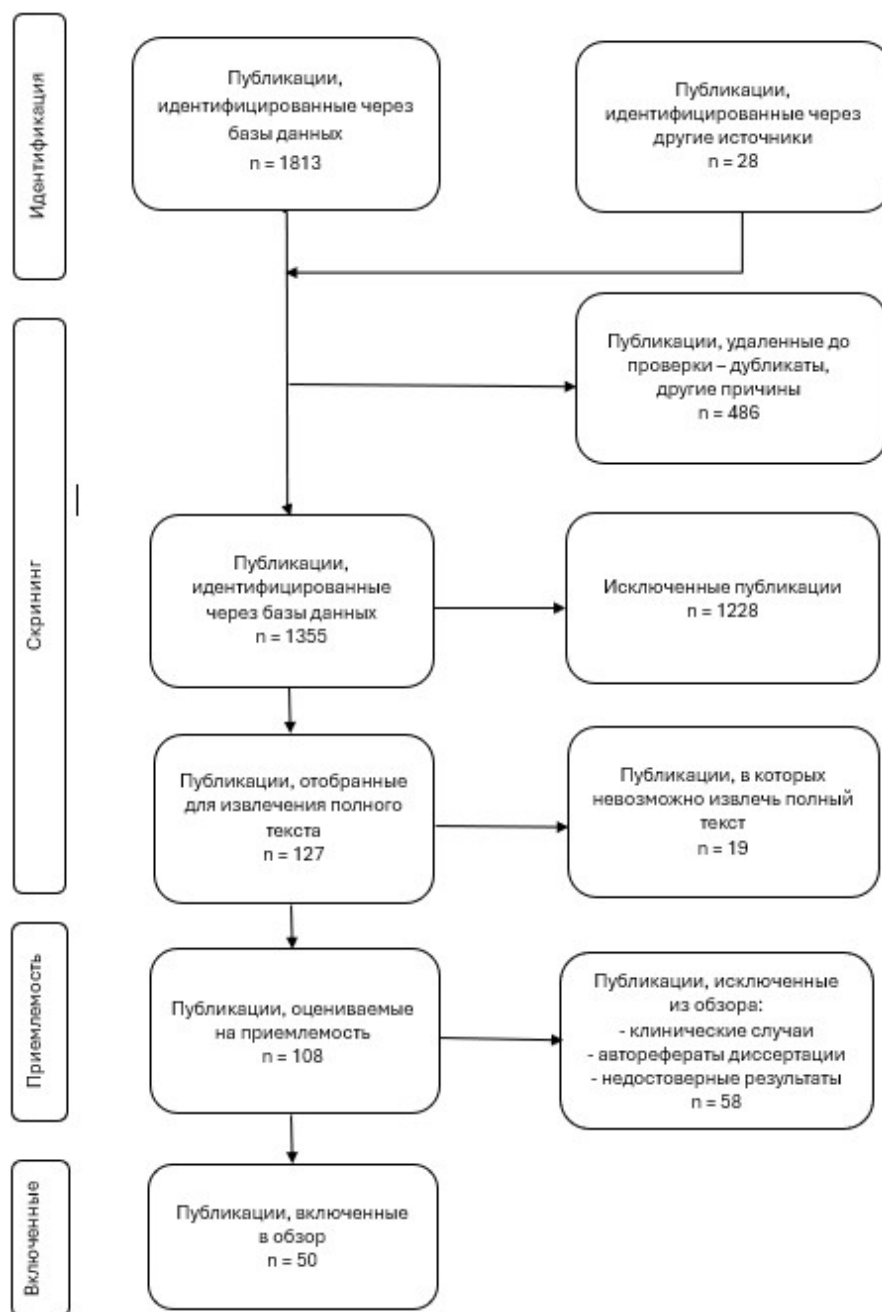
Литературный поиск по базам данных PubMed (MEDLINE), eLibrary, Google Scholar проводили за период с 1971 г. по 2024 г. по ключевым словам: mechanical ventilator weaning, respiratory muscle assessments, airway extubation, neuromuscular block, neuromuscular monitoring, weaning, diaphragm ultrasound, Rapid shallow breathing index (RSBI), Diaphragm thickening fraction (DTF), diaphragmatic excursion, airway occlusion pressure, P 0.1, нервно-мышечная проводимость, миорелаксанты.

Критерии включения: систематические обзоры и метаанализы, рандомизированные и нерандомизированные клинические исследования, оригинальные обзорные статьи, посвященные анализу состояния функции внешнего дыхания после применения искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

Критерии исключения: клинические случаи, комментарии к статьям, авторефераты диссертационных работ. Результаты поиска отражены в блок-схеме PRISMA (рисунок).

Оценка мышечного тонуса

В 1941 г. A. M. Harvey и R. L. Masland впервые описали применение стимуляции нерва в качестве индикатора степени нервно-мышечной проводимости [18]. Для диагностики миастении они использовали электромиографический метод повторяющейся стимуляции нерва. Эта методика заложила основу для дальнейших разработок в области анализа нервно-мышечной проводимости. В 1954 г. вышла публикация результатов исследования H. K. Beecher и D. P. Todd, в котором были предоставлены данные о связи токсичности d-тубокурарина (dTc) и смертности после его применения [8]. В ответ на изданную работу T. H. Christie и H. C. Churchill-Davidson (1958) представили первое устройство для оценки нервно-мышечной проводимости в клинической



Блок-схема PRISMA
PRISMA block diagram

практике [13]. Разработкой методов оценки мышечного тонуса на основе нервной стимуляции стали заниматься многие ученые, и в 1970 г. Н. Н. Ali et al. презентовали модель четырехразрядной стимуляции (TOF – Train-of-Four), которая используется в клинической практике и по сей день [4].

В 2020 г. Н. Carvalho et al. представили результаты метаанализа 53 исследований, в которых проводился анализ эффективности различных методов мониторинга остаточной мышечной релаксации [12]. Неудачи при экстубации наблюдались чаще при значении TOF $\geq 0,7$, чем при TOF $\geq 0,9$. Также большая частота осложнений экстубации трахеи наблюдалась при использовании субъективных методик оценки восстановления мышечного тонуса по сравнению с применением TOF (0,9 и 1,0).

Авторы метаанализа подчеркнули, что включенные исследования гетерогенны по различным показателям (методологическая неоднородность, большой временной разброс фиксации показателей). Также не во всех работах учитывались факторы, замедляющие восстановление мышечного тонуса (температура, антибиотики, электролитный дисбаланс и т. д.). Исследователи рекомендовали включение в последующем дополнительных данных.

Годом позже S. Rezaigui-Delclaux et al. (2021) провели исследование, посвященное оценке влияния TOF-мониторинга во время ИВЛ на выживаемость и длительность применения ИВЛ у пациентов с острым респираторным дистресс синдромом в отделении интенсивной терапии [40]. По его результатам пациентам, у которых использо-

вали мониторинг нервно-мышечной проводимости в режиме TOF-стимуляции, вводили большие дозы миорелаксантов, чем в группе без мониторинга нервно-мышечной проводимости. При этом анализ мышечной активности никак не отразился на смертности данной группы пациентов. Полученный результат может свидетельствовать о более точном анализе нервно-мышечной проводимости при использовании TOF-стимуляции по сравнению с эмпирическим назначением мышечных релаксантов во время ИВЛ.

Группа российских анестезиологов во главе с С. В. Чуприным (2017) провели исследование миорелаксации во время оперативных вмешательств у 4459 пациентов [1]. В результате работы было показано, что использование TOF-мониторинга обеспечивает полное исключение двигательной активности и смыкания голосовой щели при интубации трахеи. Кроме того, данный подход позволил индивидуализировать и оптимизировать дозировки мышечных релаксантов для каждого пациента, а также объективно оценивать реверсию нервно-мышечного блока в конце операции. Это, в свою очередь, обеспечило возможность точного назначения антихолинэстеразных препаратов для устранения моторного блока.

Несмотря на простоту оценки нервно-мышечной передачи, ее корректность возможна только при выполнении ряда условий. К ним относятся правильное размещение электродов, индивидуальная калибровка монитора на этапе индукции анестезии, соблюдение положения рук и контроль температуры тела пациента. Лишь при соблюдении всех перечисленных факторов можно обеспечить точную оценку состояния мышечного тонуса на этапе подготовки к экстубации.

В 1994 г. L. I. Eriksson опубликовал результаты исследования, в котором было продемонстрировано, что при значении TOF 0.7 восстановление силы дыхательных мышц и объема вдоха не исключает высокой вероятности гипоксических реакций из-за подавления вентиляционного ответа на гиперкапнию [15]. Это свидетельствует о том, что даже частичный паралич дыхательных мышц может привести к нарушению вентиляции легких при гипоксемии.

Мониторинг нервно-мышечной проводимости с использованием стимуляции периферических нервов одной мышцы предоставляет лишь ограниченную информацию о состоянии систем регуляции легочной функции, а также о функциональной активности верхних дыхательных путей.

При всей доступности использования мониторинга нервно-мышечного блока в операционной применяются не всегда рутинно, что влечет за собой осложнения в послеоперационном периоде [11, 21, 31, 32, 37, 47]. В связи с рядом опубликованных данных о недостаточной частоте применения нервно-мышечного мониторинга после использования миорелаксантов и последствиях было опубликовано консенсусное заявление, созданное международной

группой авторов в 2018 г. [33]. Ранее подобные документы создавались группами авторов из одной страны. Авторы рекомендуют использовать мониторинг нервно-мышечной блокады каждый раз, когда применяют миорелаксанты. В идеале стимуляция периферических нервов должна проводиться на мышцах руки (не на мышцах лица) с помощью количественного (объективного) монитора. Специалисты подчеркивают, что клинические тесты, такие как тест Дама, оценка дыхательного объема, сила сжатия руки и т. д., являются ненадежными признаками восстановления мышечного тонуса и больше не должны использоваться для оценки мышечной активности.

Мониторинг восстановления диафрагмы

Визуализация диафрагмы с помощью ультразвуковых методов становится популярным способом верификации причин дыхательной недостаточности врачами различных специальностей – пульмонологами, анестезиологами-реаниматологами, неврологами, хирургами. Нарушения функций или структур диафрагмы могут возникать при ряде патологий, таких как неврологические, нервно-мышечные и мышечные заболевания.

Данный метод исследования широко применяется в отделениях интенсивной терапии. Он позволяет оценить состояние внешней функции как в экстренных ситуациях, так и у пациентов, находящихся на длительной ИВЛ. Методика может обеспечить точную оценку тонуса диафрагмы, однако требует от специалистов базовых навыков ультразвуковой диагностики органов брюшной полости и грудной клетки, и определенного уровня «насмотренности».

Метаанализ, проведенный A. Mahmoodpoor et al. (2022), был посвящен оценке прогностической роли ультразвукового исследования мышечной активности диафрагмы по сравнению с индексом быстрого поверхностного дыхания (RSBI) и пробным отключением от ИВЛ для успешности экстубации трахеи у пациентов отделения интенсивной терапии [28]. В рамках работы измерялись процент утолщения диафрагмы (индекс DTF) и экскурсия диафрагмы (DE). Индекс DTF показал лучшие результаты по сравнению с RSBI и пробой спонтанного движения. DE обладает более низкой диагностической точностью по сравнению с индексом DTF. Однако оба показателя имеют валидность от умеренной до высокой как предикторы успешной экстубации трахеи. Вероятно, на успешный полный переход на самостоятельное дыхание оказывают влияние не только мышечный тонус диафрагмы, но и другие факторы.

Оценкой эффективности использования индекса DTF как предиктора исходов неинвазивной искусственной вентиляции легких (НИВЛ) у пациентов с острой дыхательной недостаточностью занималась научная группа G. Mercurio (2019) [30]. В течение 36 месяцев ученые фиксировали показатели УЗИ-диафрагмы и индекс DTF у пациентов, нуж-

дающихся в НИВЛ. Авторам удалось доказать, что индекс DTF коррелирует с возможными рисками респираторных осложнений и исходом НИВЛ.

Исследованием оптимального времени экстубации у пациентов, которым проводят ИВЛ в отделении интенсивной терапии, занималась научная группа A. Llamas-Álvarez (2017) [27]. В опубликованном метаанализе были представлены данные 19 когортных исследований, посвященных изучению эффективности ультразвуковой диагностики мышечного тонуса диафрагмы и легких. Актуальность представленных методик высока, обусловлена высокой специфичностью (75%) и чувствительностью (75%) таких показателей, как DTF и DE, в качестве прогностических параметров для полного перевода пациентов на самостоятельное дыхание.

С одной стороны, данные целого ряда авторов [9, 14, 19, 36] говорят о том, что индекс DTF показал себя как наиболее чувствительный тест для определения мышечного тонуса диафрагмы по сравнению как с другими тестами, так и с изолированным измерением толщины и экскурсии диафрагмы. Тем не менее, в настоящее время нет достаточного количества работ, посвященных эффективности совместного применения нескольких индексов или методик, что требует последующего, более детального изучения.

С другой стороны, A. Le Neindre et al. (2021) в своем метаанализе указали на переоцененность метода [26]. Это объясняется тем, что большинство исследований проводилось с пациентами, имеющими высокую вероятность успешной экстубации и минимальный риск повторного возобновления ИВЛ. Аналогичные исследования [23, 24] исключали из своих выборок пациентов с заболеваниями легких или нервно-мышечной системы, а также тех, кому перед экстубацией в течение суток вводили препараты, подавляющие мышечный тонус или угнетающие дыхательный центр. Такие ограничения существенно снижали вероятность неудачного перехода на самостоятельное дыхание, что могло искусственно улучшить результаты исследований и ограничить их применимость к более сложным клиническим случаям.

Таким образом, ультразвуковое исследование диафрагмы в настоящее время считается перспективным методом, позволяющим проводить оценку различных параметров дыхательной активности диафрагмы. Этот подход находит применение не только у пациентов с острой дыхательной недостаточностью в отделениях интенсивной терапии, но и на протяжении всего периоперационного периода. УЗИ диафрагмы помогает объективно оценивать состояние мышечной активности в процессе экстубации трахеи и успешно переводить пациента на самостоятельное дыхание после крупных хирургических вмешательств.

Тем не менее, в области анестезиологии проведено ограниченное число исследований, посвященных ультразвуковому исследованию диафрагмы.

Доступные данные пока недостаточны для однозначного вывода о том, может ли УЗИ диафрагмы быть рекомендовано для рутинного применения перед экстубацией трахеи в конце оперативных вмешательств. Необходимы дополнительные исследования с более широкой выборкой пациентов, включая те группы, которые имеют сопутствующие патологии или осложнения, чтобы определить практическую значимость этого метода в стандартной клинической практике.

Оценка нейроинспираторного драйва

Индекс P0.1 представляет собой величину снижения давления в дыхательных путях в первые 100 миллисекунд самостоятельной попытки вдоха пациента при окклюзии дыхательного контура. Показатель низкого уровня P0.1 свидетельствует о слабой попытке вдоха, что может быть обусловлено либо снижением мышечного тонуса, либо недостаточной активностью нейроинспираторного драйва – показателем работы дыхательных центров головного мозга. Такие нарушения можно верифицировать в сочетании с мониторингом мышечного тонуса, который позволяет более точно оценить функциональную активность компонентов внешнего дыхания.

Кратковременность исследования индекса P0.1 обеспечивает высокую чувствительность метода, поскольку минимизируется влияние реакции пациента на окклюзию дыхательного контура. Умеренная слабость дыхательных мышц при этом не оказывает значительного влияния на значение P0.1. Это позволяет расценивать его как отражение работы дыхательного центра, если исключены факторы, связанные с понижением мышечного тонуса.

Для точной оценки нейроинспираторного драйва у пациентов, находящихся на принудительной вентиляции легких, исследователи рекомендуют исключить применение седативных препаратов, анестетиков и миорелаксантов перед началом исследования. Это связано с особенностями проведения исследований и характеристиками выборки пациентов, что позволяет избежать искажений в результатах.

R. Sato et al. (2021) провели метаанализ 12 проспективных наблюдательных исследований, целью которого была оценка прогностической значимости индекса окклюзионного давления для успешной экстубации трахеи и перехода на самостоятельное дыхание [43]. Результаты работы показали высокую эффективность P0.1 как предиктора успешности экстубации. Чувствительность метода составила 86% (95% доверительный интервал (ДИ): 72–94%), а специфичность – 58% (95% ДИ: 37–76%). Однако отмечалась значительная гетерогенность между исследованиями, что может указывать на необходимость стандартизации методики измерения и анализа P0.1 для повышения его точности как клинического инструмента.

Такие данные подчеркивают потенциал индекса P0.1 в клинической практике, особенно при комплексной оценке состояния пациента перед экстубацией. Однако вариабельность специфичности требует дополнительного изучения факторов, влияющих на точность предсказаний.

J. Le Marec et al. (2024) провели проспективное когортное исследование, направленное на изучение связи между значениями индекса P0.1 и клиническими исходами у пациентов, которым проводили ИВЛ более 24 часов в отделении интенсивной терапии [25]. Результаты исследования показали, что аномально высокие значения P0.1 ассоциированы с увеличением риска летального исхода, удлинением продолжительности ИВЛ, а также могут служить предиктором нарушений дыхания после экстубации.

Эти данные подчеркивают важность мониторинга P0.1 как индикатора состояния системы внешнего дыхания у критически больных пациентов. Учитывая выявленную зависимость, индекс P0.1 может быть полезен для своевременного выявления пациентов с повышенным риском неблагоприятных исходов и определения оптимальной стратегии их лечения. На основании данных исследований [34, 35, 42] можно сделать вывод, что измерение окклюзионного давления обладает высокой чувствительностью и может служить надежным предиктором успешной экстубации трахеи с полным переводом пациента на самостоятельное дыхание.

Также в исследованиях отмечается, что у пациентов с повышенным уровнем P0.1 перед прекращением респираторной поддержки частота повторной интубации была значимо ниже. Это может быть связано с тем, что высокое окклюзионное давление указывает на адекватный нейроинспираторный драйв, обеспечивающий эффективное самостоятельное дыхание.

Однако при высоких значениях P0.1, обусловленных обструктивными или рестриктивными заболеваниями легких, наблюдалась повышенная частота дыхательной недостаточности после экстубации трахеи. Это подчеркивает сложность интерпретации P0.1 и необходимость учета дополнительных клинических факторов при принятии решения о прекращении респираторной поддержки.

В то же время в области анестезиологии исследования, посвященные использованию индекса P0.1 перед экстубацией трахеи, ограничены. Это затрудняет возможность сделать окончательные выводы о его эффективности как предиктора успешного прекращения респираторной поддержки в общехирургической практике. Для утверждения о применимости данного параметра в этой области необходимы дополнительные исследования, включающие более широкий спектр клинических сценариев и групп пациентов. Такая ограниченность данных подчеркивает необходимость дальнейшего изучения индекса P0.1 в анестезиологической практике, чтобы оценить его роль и возможное влияние на улучшение результатов экстубации трахеи.

Максимальное давление на вдохе

Negative inspiratory force (NIF – отрицательное инспираторное давление), также известное как максимальное давление на вдохе, является показателем максимального усилия инспираторных мышц, отражающим состояние нервно-мышечной проводимости и тонуса дыхательной мускулатуры. Этот метод был предложен J. H. Strickland Jr. и J. H. Hasson в 1993 г.

Принцип заключается в измерении отрицательного давления, создаваемого пациентом при попытке вдоха на фоне обтурации дыхательного контура. Уровень давления $NIF < -30$ mbar (или -30 cm H₂O) обычно принимается как эффективный предиктор успешной экстубации и прекращения респираторной поддержки. Этот параметр широко используется в отделениях интенсивной терапии для оценки состояния дыхательных мышц, особенно у пациентов на длительной ИВЛ.

P. H. Vu et al. (2020) исследовали возможность использования показателя NIF для оценки готовности пациентов к экстубации трахеи [48]. Проанализированы данные о 64 пациентах отделения интенсивной терапии. Успешный переход на самостоятельное дыхание без применения вспомогательных воздухопроводов был достигнут в 67,2% случаев ($n = 43$). Авторы выявили, что в группе с показателями $NIF \geq -26$ mbar не было зарегистрировано осложнений, в отличие от группы, где NIF составлял -24 mbar. На основании этих данных исследователи сделали вывод о высокой прогностической значимости показателя NIF как маркера готовности к экстубации. Это подчеркивает его ценность для практического использования в отделениях интенсивной терапии, особенно при планировании прекращения респираторной поддержки.

Q. Qing et al. (2018) изучили пациентов, которым проводили ИВЛ более 48 часов, с целью сравнения прогностической ценности различных методов оценки готовности к экстубации [38]. В исследовании проводили тесты на спонтанное дыхание, где сравнивали измерение давления в дыхательных путях (TwPtr) с NIF. Успешная экстубация была достигнута в 87,1% случаев, однако чувствительность и специфичность метода TwPtr оказались значительно выше по сравнению с NIF.

Отмечено, что в отличие от индекса P0.1 и RSBI, которые в большей степени отражают работу дыхательного центра и нейроинспираторный драйв, NIF преимущественно характеризует мышечный тонус диафрагмы. Это делает его более подходящим для оценки функционального состояния дыхательных мышц, но менее информативным для комплексной оценки механики дыхания.

Такой сравнительный подход подчеркивает необходимость комбинирования методов для точной оценки готовности пациента к прекращению респираторной поддержки.

В настоящее время методика измерения NIF в анестезиологической практике не получила широ-

кого распространения, и данные о ее применении остаются крайне ограниченными. Причиной этого является специфическая природа исследований, которые преимущественно сосредоточены на пациентах отделений интенсивной терапии, находящихся на длительной ИВЛ.

Для адаптации и внедрения этого метода в постоперационную оценку восстановления активности диафрагмы важно избегать некорректного переноса данных, полученных в условиях интенсивной терапии, на послеоперационное состояние респираторной системы. Для этого требуется проведение клинических исследований, учитывающих особенности пациентов хирургического профиля, такие как характер оперативного вмешательства, влияние анестетиков, миорелаксантов и других факторов, специфичных для периоперационного периода.

Такие исследования позволят уточнить диагностическую ценность метода и определить его возможное место в рутинной практике анестезиолога, особенно при оценке состояния дыхательных мышц перед экстубацией трахеи.

Индекс быстрого поверхностного дыхания

K. Yang и M. Tobin в 1991 г. предложили RSBI как ключевой параметр для оценки готовности пациентов к прекращению респираторной поддержки [49]. Этот индекс определяется как отношение частоты дыхания (f) к дыхательному объему (VT) в литрах. Значение $RSBI > 105$ вдохов/мин/л связано с высокой вероятностью неудачи при переводе на самостоятельное дыхание, тогда как $RSBI < 105$ вдохов/мин/л свидетельствует о высокой вероятности успешной экстубации трахеи.

Для измерения RSBI традиционно используется спирометр Райта (Wright), но в современных условиях чаще применяются аппараты ИВЛ, позволяющие рассчитывать RSBI автоматически (RSBIvent). Это делает метод удобным и стандартным инструментом в практике интенсивной терапии.

В 2021 г. N. Rittayamai et al. провели проспективное когортное исследование, в рамках которого сравнили точность традиционного индекса RSBI (RSBIstandard), измеренного с использованием спирометра Райта, с индексом RSBIvent, вычисляемым напрямую через аппарат ИВЛ [41]. Результаты исследования показали, что оба метода являются эффективными для оценки готовности к экстубации. Однако было выявлено, что аппарат ИВЛ, как правило, переоценивает показатели RSBI по сравнению с измерениями, выполненными стандартным спирометром.

Кроме того, исследователи отметили, что на RSBI могут влиять дополнительные факторы, такие как использование постоянного положительного давления в дыхательных путях (CPAP). Это давление способствует снижению порогового значения RSBI, необходимого для успешной экстубации. Таким образом, при интерпретации результатов RSBI важно

учитывать влияние настроек ИВЛ, что особенно актуально для точной оценки готовности пациента к самостоятельному дыханию.

В связи с этим рекомендуется учитывать аспекты и адаптировать пороговые значения RSBI в зависимости от индивидуальных характеристик пациента. Индивидуальный подход, учитывающий влияние внешних факторов на RSBI, позволяет минимизировать риск ошибки и улучшить исходы перевода пациента на самостоятельное дыхание.

Методика за счет своей простоты популярна среди анестезиологов в применении при оценке готовности пациента к экстубации, но отражает в основном паттерн дыхания. В то же время, при этом исследовании необходимо исключать факт остаточной релаксации, так как без учета этих данных анализ RSBI не будет объективным.

Исследования, основанные на анализе RSBI, демонстрируют неоднозначные результаты. В некоторых работах индекс RSBI показал свою надежность как эффективный предиктор успешной экстубации трахеи, подтверждая свою роль в практике оценки готовности пациента к прекращению респираторной поддержки [7, 46].

Некоторые исследования показывают, что RSBI обладает ограниченной предсказательной ценностью для успешного перехода на самостоятельное дыхание [28, 44, 45]. В частности, исследование J. B. Figueroa-Casas et al. (2020) продемонстрировало, что использование индекса RSBI в качестве стандарта для перевода пациентов в отделение интенсивной терапии на спонтанное дыхание не всегда оправдано [17]. Результаты показали, что индекс имеет среднюю чувствительность и низкую специфичность, что ограничивает его использование в стандартных протоколах экстубации. Это может быть связано с тем, что на точность индекса влияют многие факторы, такие как обструктивные заболевания легких, отек головного мозга, повреждения ствола головного мозга и длительное применение ИВЛ.

Использование RSBI в клинической практике, его применение в качестве единственного прогностического инструмента для экстубации может быть ограничено, и для повышения точности требуется учитывать дополнительные клинические факторы.

RSBI может служить полезным дополнительным показателем восстановления функций внешнего дыхания у пациентов, проходящих этап отлучения от ИВЛ. Однако данный индекс не обладает универсальной прогностической ценностью. Исследования указывают на ограниченную специфичность RSBI из-за влияния множества факторов, таких как физиологические и патологические изменения дыхательной системы, особенности ИВЛ и нейроинспираторного драйва.

Таким образом, RSBI не рекомендуется использовать в качестве единственного стандарта в протоколах предсказания успешной экстубации трахеи и перевода пациента на самостоятельное дыхание как у пациентов после длительной ИВЛ, так и у

больных после хирургических вмешательств. Для повышения точности оценки готовности пациента к экстубации требуется комплексный подход с учетом других клинических показателей и инструментальных методов исследования.

Заключение

Анализ существующей литературы позволяет сделать вывод, что поиск оптимальных и надежных методов мониторинга внешнего дыхания остается важной задачей. Эта область активно развивается благодаря растущему количеству операций и увеличению числа пациентов, нуждающихся в тщательном контроле системы внешнего дыхания. С каждым годом актуальность этой проблемы возрастает,

что связано с увеличением количества хирургических манипуляций и ростом числа пациентов, требующих ИВЛ и последующей экстубации трахеи.

Внедрение передовых технологий и методов мониторинга, таких как ультразвуковая диагностика диафрагмы, анализ P0.1, NIF и RSBI, направлено на повышение точности диагностики и прогнозирования исходов. Однако необходимость их дальнейшей стандартизации и проведения дополнительных исследований для повышения специфичности и чувствительности остается насущной.

Обеспечение высокой эффективности этих методов будет способствовать улучшению результатов лечения, сокращению осложнений, связанных с длительной ИВЛ, и успешному переводу пациентов на самостоятельное дыхание.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors state that they have no conflict of interests.

Вклад авторов. Все авторы в равной степени участвовали в разработке концепции статьи, получении и анализе данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

Author contributions. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чуприн С. В., Сушкова О. В., Гиринская Л. Н. и др. Мониторинг мышечной релаксации в рутинной анестезиологической практике: трехлетний опыт применения // Вестник интенсивной терапии имени А. И. Салтанова. – 2017. – Т. 1. – С. 24–28. <http://doi.org/10.21320/1818-474X-2017-1-24-28>.
2. Afzal A., Kiyatkin E. A. Interactions of benzodiazepines with heroin: Respiratory depression, temperature effects, and behavior. // *Neuropharmacology*. – 2019. – Vol. 158. – P. 107677. <http://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2019.107677>.
3. Albert D., Terry S., Leon A. et al. Averting opioid-induced respiratory depression without affecting analgesia // *Anesthesiology*. – 2018. – Vol. 128, № 5. – P. 1027–1037. <http://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002184>.
4. Ali H. H., Utting J. E., Gray C. Stimulus frequency in the detection of neuromuscular block in humans // *Br J Anaesth*. – 1970. – Vol. 42, № 11. – P. 967–978. <http://doi.org/10.1093/bja/42.11.967>. PMID: 5488360.
5. Ammar M. A., Ammar A. A., Rosen J. et al. Phenobarbital monotherapy for the management of alcohol withdrawal syndrome in surgical-trauma patients // *Ann Pharmacother*. – 2021. – Vol. 55, № 3. – P. 294–302. <http://doi.org/10.1177/1060028020949137>.
6. Baftiu N., Krasniqi I., Haxhirexha K. et al. Survey about the extubation practice among anaesthesiologists in Kosovo // *Open Access Maced J Med Sci*. – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 350–354. <http://doi.org/10.3889/oamjms.2018.083>.
7. Baptistella A. R., Sarmento F. J., da Silva K. R. et al. Predictive factors of weaning from mechanical ventilation and extubation outcome: A systematic review // *J Crit Care*. – 2018. – Vol. 48. – P. 56–62. <http://doi.org/10.1016/j.jcrc.2018.08.023>.
8. Beecher H. K., Todd D. P. A study of the deaths associated with anesthesia and surgery: based on a study of 599, 548 anesthetics in ten institutions 1948–1952, inclusive. // *Ann Surg*. – 1954. – Vol. 140, № 1. – P. 2–35. <http://doi.org/10.1097/0000658-195407000-00001>.
9. Blumhof S., Wheeler D., Thomas K. et al. Change in diaphragmatic thickness during the respiratory cycle predicts extubation success at various levels of pressure support ventilation // *Lung*. – 2016. – Vol. 194, № 4. – P. 519–525. <http://doi.org/10.1007/s00408-016-9911-2>.
10. Baldo B. A. Toxicities of opioid analgesics: respiratory depression, histamine release, hemodynamic changes, hypersensitivity, serotonin toxicity // *Arch Toxicol*. – 2021. – Vol. 95, № 8. – P. 2627–2642. <http://doi.org/10.1007/s00204-021-03068-2>.
11. Bulka C. M., Terekhov M. A., Martin B. J. et al. Nondepolarizing neuromuscular blocking agents, reversal, and risk of postoperative pneumo-

REFERENCES

1. Chuprin S. V., Sushkova O. V., Girinskaya L. N. et al. Monitoring of muscle relaxation in routine anesthetic practice: three years of application experience. *Bulletin of intensive care named after A. I. Saltanov*, 2017, vol. 1, pp. 24–28. (In Russ.). <http://doi.org/10.21320/1818-474X-2017-1-24-28>.
2. Afzal A., Kiyatkin E. A. Interactions of benzodiazepines with heroin: Respiratory depression, temperature effects, and behavior. *Neuropharmacology*, 2019, vol. 158, pp. 107677. <http://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2019.107677>.
3. Albert D., Terry S., Leon A. et al. Averting opioid-induced respiratory depression without affecting analgesia. *Anesthesiology*, 2018, vol. 128, no. 5, pp. 1027–1037. <http://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002184>.
4. Ali H. H., Utting J. E., Gray C. Stimulus frequency in the detection of neuromuscular block in humans. *Br J Anaesth*, 1970, vol. 42, no. 11, pp. 967–978. <http://doi.org/10.1093/bja/42.11.967>. PMID: 5488360.
5. Ammar M. A., Ammar A. A., Rosen J. et al. Phenobarbital monotherapy for the management of alcohol withdrawal syndrome in surgical-trauma patients. *Ann Pharmacother*, 2021, vol. 55, no. 3, pp. 294–302. <http://doi.org/10.1177/1060028020949137>.
6. Baftiu N., Krasniqi I., Haxhirexha K. et al. Survey about the extubation practice among anaesthesiologists in Kosovo. *Open Access Maced J Med Sci*, 2018, vol. 6, no. 2, pp. 350–354. <http://doi.org/10.3889/oamjms.2018.083>.
7. Baptistella A. R., Sarmento F. J., da Silva K. R. et al. Predictive factors of weaning from mechanical ventilation and extubation outcome: A systematic review. *J Crit Care*, 2018, vol. 48, pp. 56–62. <http://doi.org/10.1016/j.jcrc.2018.08.023>.
8. Beecher H. K., Todd D. P. A study of the deaths associated with anesthesia and surgery: based on a study of 599, 548 anesthetics in ten institutions 1948–1952, inclusive. *Ann Surg*, 1954, vol. 140, no. 1, pp. 2–35. <http://doi.org/10.1097/0000658-195407000-00001>.
9. Blumhof S., Wheeler D., Thomas K. et al. Change in diaphragmatic thickness during the respiratory cycle predicts extubation success at various levels of pressure support ventilation. *Lung*, 2016, vol. 194, no. 4, pp. 519–525. <http://doi.org/10.1007/s00408-016-9911-2>.
10. Baldo B. A. Toxicities of opioid analgesics: respiratory depression, histamine release, hemodynamic changes, hypersensitivity, serotonin toxicity. *Arch Toxicol*, 2021, vol. 95, no. 8, pp. 2627–2642. <http://doi.org/10.1007/s00204-021-03068-2>.
11. Bulka C. M., Terekhov M. A., Martin B. J. et al. Nondepolarizing neuromuscular blocking agents, reversal, and risk of postoperative pneumo-

- nia // Anesthesiology. – 2016. – Vol. 125, № 4. – P. 647–655. <http://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001279>.
12. Carvalho H., Verdonck M., Cools W. et al. Forty years of neuromuscular monitoring and postoperative residual curarisation: a meta-analysis and evaluation of confidence in network meta-analysis // *British Journal of Anaesthesia*. – 2020. – Vol. 4. – P. 466–482. <http://doi.org/10.1016/j.bja.2020.05.063>.
13. Christie Th., Churchill-Davidson Hc. The St. Thomas's Hospital nerve stimulator in the diagnosis of prolonged apnoea // *Lancet*. – 1958. – Vol. 1, № 7024. – P. 776. [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(58\)91583-6](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(58)91583-6).
14. DiNino E., Gartman E. J., Sethi J. M. et al. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation // *Thorax*. – 2014. – Vol. 69, № 5. – P. 423–427. <http://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204111>.
15. Eriksson L. I. Ventilation and neuromuscular blocking drugs // *Acta Anaesthesiol Scand Suppl*. – 1994. – Vol. 102. – P. 11–15. <http://doi.org/10.1111/j.1399-6576.1994.tb04031.x>.
16. Fee J. P., Thompson G. H. Comparative tolerability profiles of the inhaled anaesthetics // *Drug-Safety*. – 1997. – Vol. 16. – P. 157–170. <http://doi.org/10.2165/00002018-199716030-00002>.
17. Figueroa-Casas J. B., Montoya R., Garcia-Blanco J. et al. Effect of using the rapid shallow breathing index as readiness criterion for spontaneous breathing trials in a weaning protocol // *The American Journal of the Medical Sciences*. – 2020. – Vol. 359, № 2. – P. 117–122. <http://doi.org/10.1016/j.amjms.2019.11.002>.
18. Harvey A. M., Masland R. L. A method for study of neuromuscular transmission in humans subjects // *Bull Johns Hopk Hosp*. – 1941. – Vol. 68. – P. 81–93.
19. Helmy M. A., Magdy Milad L., Osman S. H. et al. Diaphragmatic excursion: A possible key player for predicting successful weaning in patients with severe COVID-19 // *Anaesth Crit Care Pain Med*. – 2021. – Vol. 40, № 3. – P. 100875. <http://doi.org/10.1016/j.accpm.2021.100875>.
20. Juang J., Cordoba M., Ciaramella A. et al. Incidence of airway complications associated with deep extubation in adults // *BMC Anesthesiol*. – 2020. – Vol. 20. – P. 274. <http://doi.org/10.1186/s12871-020-01191-8>.
21. Kumar G. V., Nair A. P., Murthy H. S. et al. Residual neuromuscular blockade affects postoperative pulmonary function // *Anesthesiology*. – 2012. – Vol. 117, № 6. – P. 1234–1244. <http://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3182715b80>.
22. Kuribayashi J., Sakuraba S., Kashiwagi M. et al. Neural mechanisms of sevoflurane-induced respiratory depression in newborn rats // *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*. – 2008. – Vol. 109, № 2. – P. 233–242. <http://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31817f5baf>.
23. Lang J., Liu Y., Zhang Y. et al. Peri-operative diaphragm ultrasound as a new method of recognizing post-operative residual curarization // *BMC Anesthesiol*. – 2021. – Vol. 21. – P. 287. <http://doi.org/10.1186/s12871-021-01506-3>.
24. Lang J. X., Yi J. Feasibility of Perioperative Diaphragmatic Ultrasound in Assessment of Residual Neuromuscular Blockade // *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao*. – 2021. – Vol. 43, № 2. – P. 205–210. <http://doi.org/10.3881/j.issn.1000-503X.12766>.
25. Le Marec J., Hajage D., Decavèle M. et al. High Airway Occlusion Pressure Is Associated with Dyspnea and Increased Mortality in Critically Ill Mechanically Ventilated Patients // *Am J Respir Crit Care Med*. – 2024. – Vol. 210, № 2. – P. 201–210. <http://doi.org/10.1164/rccm.202308-1358OC>.
26. Le Neindre A., Philippart F., Luperto M. et al. Diagnostic accuracy of diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: A systematic review and meta-analysis // *Int J Nurs Stud*. – 2021. – Vol. 117. – P. 103890. <http://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103890>.
27. Llamas-Álvarez A. M., Tenza-Lozano E. M., Latour-Pérez J. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis // *Chest*. – 2017. – Vol. 152, № 6. – P. 1140–1150. <http://doi.org/10.1016/j.chest.2017.08.028>.
28. Mahmoodpoor A., Fouladi S., Ramouz A. et al. Diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis // *Anaesthesiol Intensive Ther*. – 2022. – Vol. 54, № 2. – P. 164–174. <http://doi.org/10.5114/ait.2022.117273>.
29. Marijke H. A., Jasper K., Rutger van der S. et al. Opioid-induced respiratory depression in humans: a review of pharmacokinetic-pharmacodynamic modelling of reversal // *Br J Anaesth*. – 2019. – Vol. 122, № 6. – P. 168–179. <http://doi.org/10.1016/j.bja.2018.12.023>.
30. Mercurio G., D'Arrigo S., Moroni R. et al. Diaphragm thickening fraction predicts noninvasive ventilation outcome: a preliminary physiological study // *Crit Care*. – 2021. – Vol. 25. – P. 219. <http://doi.org/10.1186/s13054-021-03638-x>.
31. Murphy G. S., Szokol J. W., Marymont J. H. et al. Residual neuromuscular blockade and critical respiratory events in the postanesthesia care unit // *Anesthesia & Analgesia*. – 2008. – Vol. 107, № 1. – P. 130–137. <http://doi.org/10.1213/ane.0b013e31816d1268>.
- monia. *Anesthesiology*, 2016, vol. 125, no. 4, pp. 647–655. <http://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001279>.
12. Carvalho H., Verdonck M., Cools W. et al. Forty years of neuromuscular monitoring and postoperative residual curarisation: a meta-analysis and evaluation of confidence in network meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 2020, vol. 4, pp. 466–482. <http://doi.org/10.1016/j.bja.2020.05.063>.
13. Christie Th., Churchill-Davidson Hc. The St. Thomas's Hospital nerve stimulator in the diagnosis of prolonged apnoea. *Lancet*, 1958, vol. 1, no. 7024, pp. 776. [http://doi.org/10.1016/s0140-6736\(58\)91583-6](http://doi.org/10.1016/s0140-6736(58)91583-6).
14. DiNino E., Gartman E. J., Sethi J. M. et al. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*, 2014, vol. 69, no. 5, pp. 423–427. <http://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204111>.
15. Eriksson L. I. Ventilation and neuromuscular blocking drugs. *Acta Anaesthesiol Scand Suppl*, 1994, vol. 102, pp. 11–15. <http://doi.org/10.1111/j.1399-6576.1994.tb04031.x>.
16. Fee J. P., Thompson G. H. Comparative tolerability profiles of the inhaled anaesthetics. *Drug-Safety*, 1997, vol. 16, pp. 157–170. <http://doi.org/10.2165/00002018-199716030-00002>.
17. Figueroa-Casas J. B., Montoya R., Garcia-Blanco J. et al. Effect of using the rapid shallow breathing index as readiness criterion for spontaneous breathing trials in a weaning protocol. *The American Journal of the Medical Sciences*, 2020, vol. 359, no. 2, pp. 117–122. <http://doi.org/10.1016/j.amjms.2019.11.002>.
18. Harvey A. M., Masland R. L. A method for study of neuromuscular transmission in humans subjects. *Bull Johns Hopk Hosp*, 1941, vol. 68, pp. 81–93.
19. Helmy M. A., Magdy Milad L., Osman S. H. et al. Diaphragmatic excursion: A possible key player for predicting successful weaning in patients with severe COVID-19. *Anaesth Crit Care Pain Med*, 2021, vol. 40, no. 3, pp. 100875. <http://doi.org/10.1016/j.accpm.2021.100875>.
20. Juang J., Cordoba M., Ciaramella A. et al. Incidence of airway complications associated with deep extubation in adults. *BMC Anesthesiol*, 2020, vol. 20, pp. 274. <http://doi.org/10.1186/s12871-020-01191-8>.
21. Kumar G. V., Nair A. P., Murthy H. S. et al. Residual neuromuscular blockade affects postoperative pulmonary function. *Anesthesiology*, 2012, vol. 117, no. 6, pp. 1234–1244. <http://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3182715b80>.
22. Kuribayashi J., Sakuraba S., Kashiwagi M. et al. Neural mechanisms of sevoflurane-induced respiratory depression in newborn rats. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 2008, vol. 109, no. 2, pp. 233–242. <http://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31817f5baf>.
23. Lang J., Liu Y., Zhang Y. et al. Peri-operative diaphragm ultrasound as a new method of recognizing post-operative residual curarization. *BMC Anesthesiol*, 2021, vol. 21, pp. 287. <http://doi.org/10.1186/s12871-021-01506-3>.
24. Lang J. X., Yi J. Feasibility of Perioperative Diaphragmatic Ultrasound in Assessment of Residual Neuromuscular Blockade. *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao*, 2021, vol. 43, no. 2, pp. 205–210. <http://doi.org/10.3881/j.issn.1000-503X.12766>.
25. Le Marec J., Hajage D., Decavèle M. et al. High Airway Occlusion Pressure Is Associated with Dyspnea and Increased Mortality in Critically Ill Mechanically Ventilated Patients. *Am J Respir Crit Care Med*, 2024, vol. 210, no. 2, pp. 201–210. <http://doi.org/10.1164/rccm.202308-1358OC>.
26. Le Neindre A., Philippart F., Luperto M. et al. Diagnostic accuracy of diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: A systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud*, 2021, vol. 117, pp. 103890. <http://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103890>.
27. Llamas-Álvarez A. M., Tenza-Lozano E. M., Latour-Pérez J. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. *Chest*, 2017, vol. 152, no. 6, pp. 1140–1150. <http://doi.org/10.1016/j.chest.2017.08.028>.
28. Mahmoodpoor A., Fouladi S., Ramouz A. et al. Diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. *Anaesthesiol Intensive Ther*, 2022, vol. 54, no. 2, pp. 164–174. <http://doi.org/10.5114/ait.2022.117273>.
29. Marijke H. A., Jasper K., Rutger van der S. et al. Opioid-induced respiratory depression in humans: a review of pharmacokinetic-pharmacodynamic modelling of reversal. *Br J Anaesth*, 2019, vol. 122, no. 6, pp. 168–179. <http://doi.org/10.1016/j.bja.2018.12.023>.
30. Mercurio G., D'Arrigo S., Moroni R. et al. Diaphragm thickening fraction predicts noninvasive ventilation outcome: a preliminary physiological study. *Crit Care*, 2021, vol. 25, pp. 219. <http://doi.org/10.1186/s13054-021-03638-x>.
31. Murphy G. S., Szokol J. W., Marymont J. H. et al. Residual neuromuscular blockade and critical respiratory events in the postanesthesia care unit. *Anesthesia & Analgesia*, 2008, vol. 107, no. 1, pp. 130–137. <http://doi.org/10.1213/ane.0b013e31816d1268>.

32. Naguib M., Kopman A. F., Lien C. A. et al. A survey of current management of neuromuscular block in the United States and Europe // *Anesth Analg.* – 2010. – Vol. 111. – P. 110–119. <http://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181c07428>.
33. Naguib M., Brull S. J., Kopman A. F. et al. Consensus Statement on Perioperative Use of Neuromuscular Monitoring // *Anesth Analg.* – 2018. – Vol. 127, № 1. – P. 71–80. <http://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002670>.
34. Nemer S. N., Barbas C. S., Caldeira J. B. et al. Evaluation of maximal inspiratory pressure, tracheal airway occlusion pressure, and its ratio in the weaning outcome // *J Crit Care.* – 2009. – Vol. 24, № 3. – P. 441–446. <http://doi.org/10.1016/j.jcrc.2009.01.007>.
35. Okamoto K., Sato T., Morioka T. Airway occlusion pressure (P0.1)-a useful predictor for the weaning outcome in patients with acute respiratory failure // *J Anesth.* – 1990. – Vol. 4, № 2. – P. 95–101. <http://doi.org/10.1007/s0054000040095>.
36. Parada-Gereda H. M., Tibaduiza A. L., Rico-Mendoza A. et al. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis // *Crit Care.* – 2023. – Vol. 27, № 1. – P. 174. <http://doi.org/10.1186/s13054-023-04430-9>.
37. Phillips S., Stewart P. A., Bilgin A. B. A survey of the management of neuromuscular blockade monitoring in Australia and New Zealand // *Anaesth Intensive Care.* – 2013. – Vol. 41, № 3. – P. 374–379. <http://doi.org/10.1177/0310057X1304100316>.
38. Qing Q., Liang M., Sun Q. et al. Using twitch tracheal airway pressure, negative inhale forced pressure, and Medical Research Council score to guide weaning from mechanical ventilation // *J Thorac Dis.* – 2018. – Vol. 10, № 7. – P. 4424–4432. <http://doi.org/10.21037/jtd.2018.06.23>.
39. Riker R. R., Shehabi Y., Bokesch P. M. et al. Dexmedetomidine vs midazolam for sedation of critically ill patients: a randomized trial // *JAMA.* – 2009. – Vol. 301, № 5. – P. 489–499. <http://doi.org/10.1001/jama.2009.56>.
40. Rezaiguia-Delclaux S., Laverdure F., Genty T. et al. Neuromuscular blockade monitoring in acute respiratory distress syndrome: randomized controlled trial of clinical assessment alone or with peripheral nerve stimulation // *Anesthesia & Analgesia.* – 2021. – Vol. 132, № 4. – P. 1051–1059. <http://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005174>.
41. Rittayamai N., Ratchaneewong N., Tanomsina P. et al. Validation of rapid shallow breathing index displayed by the ventilator compared to the standard technique in patients with readiness for weaning // *BMC Pulm Med.* – 2021. – Vol. 21, № 1. – P. 310. <http://doi.org/10.1186/s12890-021-01680-7>.
42. Sassoon C. S., Mahutte C. K. Airway occlusion pressure and breathing pattern as predictors of weaning outcome // *Am Rev Respir Dis.* – 1993. – Vol. 148, № 4. – P. 860–866. http://doi.org/10.1164/ajrccm/148.4_Pt_1.860.
43. Sato R., Hasegawa D., Hamahata N. T. et al. The predictive value of airway occlusion pressure at 100 msec (P0.1) on successful weaning from mechanical ventilation: A systematic review and meta-analysis // *J Crit Care.* – 2021. – Vol. 63. – P. 124–132. <http://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.09.030>.
44. Song J., Qian Z., Zhang H. et al. Diaphragmatic ultrasonography-based rapid shallow breathing index for predicting weaning outcome during a pressure support ventilation spontaneous breathing trial // *BMC Pulm Med.* – 2022. – Vol. 22, № 1. – P. 337. <http://doi.org/10.1186/s12890-022-02133-5>.
45. Trivedi V., Chaudhuri D., Jinah R. et al. The Usefulness of the Rapid Shallow Breathing Index in Predicting Successful Extubation: A Systematic Review and Meta-analysis // *Chest.* – 2022. – 161, № 1. – P. 97–111. <http://doi.org/10.1016/j.chest.2021.06.030>.
46. Turhan S., Tutan D., Şahiner Y. et al. Predictive value of serial rapid shallow breathing index measurements for extubation success in intensive care unit patients // *Medicina (Kaunas).* – 2024. – Vol. 60, № 8. – P.1329. <http://doi.org/10.3390/medicina60081329>.
47. Videira R. L., Vieira J. E. What rules of thumb do clinicians use to decide whether to antagonize nondepolarizing neuromuscular blocking drugs? // *Anesth Analg.* – 2011. – Vol. 113. – P. 1192–1196. <http://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31822c986e>.
48. Vu P. H., Tran V. D., Duong M. C. et al. Predictive value of the negative inspiratory force index as a predictor of weaning success: a cross-sectional study // *Acute Crit Care.* – 2020. – Vol. 35, № 4. – P. 279–285. <http://doi.org/10.4266/acc.2020.00598>.
49. Yang K. L., Tobin M. J. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation // *N Engl J Med.* – 1991. – Vol. 324, № 21. – P. 1445–1450. <http://doi.org/10.1056/NEJM199105233242101>.
50. Zhou T. J., Coloma M., White P. F. et al. Spontaneous recovery profile of rapacurionium during desflurane, sevoflurane, or propofol anesthesia for outpatient laparoscopy // *Anesth Analg.* – 2000. – Vol. 91, № 3. – P. 596–600. <http://doi.org/10.1097/0000539-200009000-00018>.
32. Naguib M., Kopman A. F., Lien C. A. et al. A survey of current management of neuromuscular block in the United States and Europe. *Anesth Analg.* 2010, vol. 111, pp. 110–119. <http://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181c07428>.
33. Naguib M., Brull S. J., Kopman A. F. et al. Consensus Statement on Perioperative Use of Neuromuscular Monitoring. *Anesth Analg.* 2018, vol. 127, no. 1, pp. 71–80. <http://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002670>.
34. Nemer S. N., Barbas C. S., Caldeira J. B. et al. Evaluation of maximal inspiratory pressure, tracheal airway occlusion pressure, and its ratio in the weaning outcome. *J Crit Care.* 2009, vol. 24, no. 3, pp. 441–446. <http://doi.org/10.1016/j.jcrc.2009.01.007>.
35. Okamoto K., Sato T., Morioka T. Airway occlusion pressure (P0.1)-a useful predictor for the weaning outcome in patients with acute respiratory failure. *J Anesth.* 1990, vol. 4, no. 2, pp. 95–101. <http://doi.org/10.1007/s0054000040095>.
36. Parada-Gereda H. M., Tibaduiza A. L., Rico-Mendoza A. et al. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2023, vol. 27, no. 1, pp. 174. <http://doi.org/10.1186/s13054-023-04430-9>.
37. Phillips S., Stewart P. A., Bilgin A. B. A survey of the management of neuromuscular blockade monitoring in Australia and New Zealand. *Anaesth Intensive Care.* 2013, vol. 41, no. 3, pp. 374–379. <http://doi.org/10.1177/0310057X1304100316>.
38. Qing Q., Liang M., Sun Q. et al. Using twitch tracheal airway pressure, negative inhale forced pressure, and Medical Research Council score to guide weaning from mechanical ventilation. *J Thorac Dis.* 2018, vol. 10, no. 7, pp. 4424–4432. <http://doi.org/10.21037/jtd.2018.06.23>.
39. Riker R. R., Shehabi Y., Bokesch P. M. et al. Dexmedetomidine vs midazolam for sedation of critically ill patients: a randomized trial. *JAMA.* 2009, vol. 301, no. 5, pp. 489–499. <http://doi.org/10.1001/jama.2009.56>.
40. Rezaiguia-Delclaux S., Laverdure F., Genty T. et al. Neuromuscular blockade monitoring in acute respiratory distress syndrome: randomized controlled trial of clinical assessment alone or with peripheral nerve stimulation. *Anesthesia & Analgesia.* 2021, vol. 132, no. 4, pp. 1051–1059. <http://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005174>.
41. Rittayamai N., Ratchaneewong N., Tanomsina P. et al. Validation of rapid shallow breathing index displayed by the ventilator compared to the standard technique in patients with readiness for weaning. *BMC Pulm Med.* 2021, vol. 21, no. 1, pp. 310. <http://doi.org/10.1186/s12890-021-01680-7>.
42. Sassoon C. S., Mahutte C. K. Airway occlusion pressure and breathing pattern as predictors of weaning outcome. *Am Rev Respir Dis.* 1993, vol. 148, no. 4, pp. 860–866. http://doi.org/10.1164/ajrccm/148.4_Pt_1.860.
43. Sato R., Hasegawa D., Hamahata N. T. et al. The predictive value of airway occlusion pressure at 100 msec (P0.1) on successful weaning from mechanical ventilation: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care.* 2021, vol. 63, pp. 124–132. <http://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.09.030>.
44. Song J., Qian Z., Zhang H. et al. Diaphragmatic ultrasonography-based rapid shallow breathing index for predicting weaning outcome during a pressure support ventilation spontaneous breathing trial. *BMC Pulm Med.* 2022, vol. 22, no. 1, pp. 337. <http://doi.org/10.1186/s12890-022-02133-5>.
45. Trivedi V., Chaudhuri D., Jinah R. et al. The Usefulness of the Rapid Shallow Breathing Index in Predicting Successful Extubation: A Systematic Review and Meta-analysis. *Chest.* 2022, 161, no. 1, pp. 97–111. <http://doi.org/10.1016/j.chest.2021.06.030>.
46. Turhan S., Tutan D., Şahiner Y. et al. Predictive value of serial rapid shallow breathing index measurements for extubation success in intensive care unit patients. *Medicina (Kaunas).* 2024, vol. 60, no. 8, P.1329. <http://doi.org/10.3390/medicina60081329>.
47. Videira R. L., Vieira J. E. What rules of thumb do clinicians use to decide whether to antagonize nondepolarizing neuromuscular blocking drugs? *Anesth Analg.* 2011, vol. 113, pp. 1192–1196. <http://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31822c986e>.
48. Vu P. H., Tran V. D., Duong M. C. et al. Predictive value of the negative inspiratory force index as a predictor of weaning success: a cross-sectional study. *Acute Crit Care.* 2020, vol. 35, no. 4, pp. 279–285. <http://doi.org/10.4266/acc.2020.00598>.
49. Yang K. L., Tobin M. J. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med.* 1991, vol. 324, no. 21, pp. 1445–1450. <http://doi.org/10.1056/NEJM199105233242101>.
50. Zhou T. J., Coloma M., White P. F. et al. Spontaneous recovery profile of rapacurionium during desflurane, sevoflurane, or propofol anesthesia for outpatient laparoscopy. *Anesth Analg.* 2000, vol. 91, no. 3, pp. 596–600. <http://doi.org/10.1097/0000539-200009000-00018>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика им. акад. Б. В. Петровского»,
119991, Россия, Москва, Абрикосовский пер., д. 2

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный
медицинский университет имени И. М. Сеченова» МЗ РФ
(Сеченовский университет),
119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

Кутына Ольга Евгеньевна

врач – анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии-реанимации I НКЦ 1 ГНЦ РФ ФГБНУ РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского.
E-mail: oljakutina@mail.ru, ORCID: 0009-0000-6045-8660, SPIN: 8371-5584

Зайцев Андрей Юрьевич

д-р мед. наук, заведующий, главный научный сотрудник отделением анестезиологии и реанимации I НКЦ 1 ГНЦ РФ ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского», профессор кафедры анестезиологии и реаниматологии ФГАОУ ВО ИКМ Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).
E-mail: rabotaz1@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9425-202X, SPIN: 3013-9774

Жукова Светлана Григорьевна

канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения анестезиологии-реанимации I НКЦ 1 ГНЦ РФ ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского», доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии ИКМ им. Н. В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова.
E-mail: svzhuk@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5468-3183, SPIN: 9534-2844

Усикян Эмин Грачович

канд. мед. наук, врач – анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии-реанимации I НКЦ 1 ГНЦ РФ ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского».
E-mail: eminhus@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2158-1284, SPIN: 6115-6001

Новиков Денис Игоревич

канд. мед. наук, врач – анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации I НКЦ 1 ГНЦ РФ ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского».
E-mail: rastapyzik@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9685-768X, SPIN: 9963-8303

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Petrovsky National Research Center of Surgery,
2, Abrikosovsky per., Moscow, Russia, 119991

I. M. Sechenov First Moscow State Medical University
(Sechenov University),
8, Trubetskaya str., Moscow, Russia, 119991

Kutina Olga E.

Anesthesiologist and Intensivist of the Department of Anesthesiology and Intensive Care I, Petrovsky National Research Center of Surgery.
E-mail: ojakutina@mail.ru, ORCID: 0009-0000-6045-8660

Zaitsev Andrey Yu.

Dr. of Sci. (Med.), Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care I, Petrovsky National Research Center of Surgery, Professor of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).
E-mail: rabotaz1@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9425-202X, SPIN: 3013-9774

Zhukova Svetlana G.

Cand. of Sci. (Med.), Senior Research Fellow of the Department of Anesthesiology and Intensive Care I, Petrovsky National Research Center of Surgery, Associate Professor of the Department of Anesthesiology and Intensive Care of the N. V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).
E-mail: svzhuk@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5468-3183, SPIN: 9534-2844

Usikyan Emin G.

Cand. of Sci. (Med.), Anesthesiologist and Intensivist of the Department of Anesthesiology and Intensive Care I, Petrovsky National Research Center of Surgery.
E-mail: eminhus@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2158-1284, SPIN: 6115-6001

Novikov Denis I.

Cand. of Sci. (Med.), Anesthesiologist and Intensivist of the Department of Anesthesiology and Intensive Care I, Petrovsky National Research Center of Surgery.
E-mail: rastapyzik@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9685-768X, SPIN: 9963-8303