

РОЛЬ ТРАНСПУЛЬМОНАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ РЕСПИРАТОРНОЙ ПОДДЕРЖКЕ У БОЛЬНЫХ С СОЧЕТАННОЙ ТРАВМОЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА И ТРАВМОЙ ЛЁГКИХ

А.Л. РОССТАЛЬНАЯ^{1,2}, В.Х. ШАРИПОВА^{1,2}, А.У. ТАХИРОВ²

¹Центр развития профессиональной квалификации медицинских работников,
Ташкент, Узбекистан

²Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи, Ташкент, Узбекистан

THE ROLE OF TRANSPULMONARY PRESSURE IN RESPIRATORY SUPPORT OF PATIENTS WITH COMBINED TRAUMATIC BRAIN INJURY AND LUNG INJURY

A.L. ROSSTALNAYA^{1,2}, V.KH. SHARIPOVA^{1,2}, A.U. TAKHIROV²

¹Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Personnel, Tashkent, Uzbekistan

²Republican Research Centre of Emergency Medicine, Tashkent, Uzbekistan

Выполнен обзор современной литературы, посвящённой стратегии применения положительного давления в конце выдоха (ПДКВ) и мониторинга транспульмонального давления (ТПД) у пациентов с сочетанной черепно-мозговой и торакальной травмой. Сочетанные повреждения головного мозга и грудной клетки остаются одной из ведущих причин летальных исходов при множественной травме, а одновременное наличие дыхательной и церебральной недостаточности требует особо тщательного соблюдения баланса между адекватным альвеолярным рекрутментом и сохранением мозговой перфузии. Применение ПДКВ как инструмента альвеолярного рекрутмента традиционно сопровождается опасениями относительно возможного повышения внутричерепного давления. В последние годы в клинической практике возрастает интерес к мониторингу ТПД с использованием эзофагеального катетера, что позволяет индивидуализировать параметры респираторной поддержки и ограничивать механическое напряжение лёгочной ткани. Проведён систематизированный анализ оригинальных клинических и экспериментальных исследований, протоколов, метаанализов и обзоров, посвящённых индивидуализации ПДКВ и использованию ТПД для титрования параметров вентиляции в условиях нейротравмы и торакальной травмы. Показано, что применение ТПД в качестве целевого параметра при подборе ПДКВ позволяет повысить эффективность вентиляции у больных с сочетанной травмой без неблагоприятного воздействия на внутричерепную динамику. Сделан вывод, что транспульмонально ориентированная вентиляция в настоящее время рассматривается как один из ключевых этапов развития персонализированной респираторной терапии, особенно у пациентов с комбинированными повреждениями, при которых исход заболевания определяется хрупким балансом между интересами головного мозга и лёгких. Методика обладает высоким потенциалом для внедрения в повседневную реанимационную практику.

Ключевые слова: положительное давление в конце выдоха, ПДКВ, транспульмональное давление, черепно-мозговая травма, сочетанная травма, травма грудной клетки, искусственная вентиляция лёгких, внутричерепное давление.

This review summarizes current literature devoted to the strategy of applying positive end-expiratory pressure (PEEP) and monitoring transpulmonary pressure (TPP) in patients with combined traumatic brain injury (TBI) and thoracic trauma. Concomitant brain and chest injuries remain one of the leading causes of mortality in multiple trauma, and the simultaneous presence of respiratory and cerebral failure requires careful balancing between optimal lung recruitment and preservation of cerebral perfusion. The application of PEEP as a tool for alveolar recruitment has traditionally raised concerns about its potential to increase intracranial pressure. In recent years, clinical interest has grown in using TPP

monitoring via esophageal catheters, which enables individualization of respiratory support parameters and limitation of mechanical stress on pulmonary tissue. A systematic analysis of original clinical and experimental studies, protocols, meta-analyses, and reviews was conducted, focusing on individualized PEEP adjustment and the use of TPP for ventilatory titration in neurotrauma combined with chest injury. Evidence suggests that targeting PEEP using TPP improves ventilation efficiency in patients with combined trauma without adverse effects on intracranial dynamics. The study concludes that transpulmonary-guided ventilation is currently regarded as a key step toward personalized respiratory therapy, especially for patients with concurrent brain and thoracic injuries, where outcomes depend on a delicate balance between cerebral and pulmonary needs. This method has high potential for integration into everyday intensive care practice.

Keywords: *positive end-expiratory pressure (PEEP), transpulmonary pressure, traumatic brain injury, combined trauma, chest injury, mechanical ventilation, intracranial pressure.*

https://doi.org/10.54185/TBEM/vol19_iss2/a8

Введение

Современная концепция респираторной поддержки при сочетанных травмах основывается на принципах ограниченного дыхательного объёма, контролируемого давления и защиты паренхимы лёгких от перерастяжения (баро- и/или волюмотравмы) [1]. Однако пациенты с черепно-мозговой травмой (ЧМТ) и торакальными повреждениями представляют собой уникальную группу, у которой необходимо одновременно поддерживать высокий уровень оксигенации и избегать повышения внутричерепного давления (ВЧД). Проблема оптимизации параметров искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ) у пациентов с сочетанными повреждениями головного мозга и грудной клетки остаётся одной из наиболее актуальных в современной анестезиологии и реаниматологии. Смертность при сочетанной черепно-мозговой травме (СЧМТ) и торакальных повреждениях, по данным международных регистров, достигает 35–45%, а при развитии дыхательной недостаточности превышает 60% [2, 3, 4]. Основная причина летальных исходов – дисбаланс между обеспечением адекватной оксигенации и предупреждением вторичных церебральных повреждений.

По данным крупных регистров [3, 5], до 30% пациентов с тяжёлой черепно-мозговой травмой имеют сопутствующие повреждения грудной клетки, приводящие к вентиляционно-перфузионным нарушениям, гипоксемии и вторичному ишемическому повреждению головного мозга. При этом гипоксемия с уровнем PaO_2 ниже 60 мм рт. ст. ассоциируется с более чем двукратным увеличением смертности у больных с тяжёлой ЧМТ [4].

Проведение респираторной поддержки с применением положительного давления в конце выдоха (ПДКВ/РЕЕР) является ключевым инструментом профилактики альвеолярного коллапса и поддержания оптимального газообмена. Однако у больных с ЧМТ любое повышение внутригрудного давления может нарушать венозный отток от головного мозга, увеличивать внутричерепное давление (ВЧД) и снижать церебральное перфузионное давление (ЦПД), что создаёт противоречие между потребностями лёгочной и мозговой защиты [6, 7]. В этом случае респираторная поддержка требует соблюдения баланса между протективной вентиляцией лёгких и контролем церебральной перфузии.

Несмотря на устоявшееся мнение о необходимости использования низких уровней ПДКВ, последние исследования показывают, что умеренный уровень ПДКВ (6–10 см H_2O), направленный на предотвращение альвеолярного коллапса, не увеличивает ВЧД при стабильной гемодинамике [8, 9, 10]. Более того, именно гипоксемия и гиперкапния, возникающие при недостаточном уровне ПДКВ, являются ключевыми факторами развития вторичной ишемии головного мозга.

Современные протоколы, представленные в *Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury* [11], рекомендуют избегать гипоксии любой степени, что обуславливает необходимость применения оптимальных уровней ПДКВ. Однако стандартные значения ПДКВ (5–10 см H_2O), используемые в травматологии и нейрореаниматологии, не всегда обеспечивают адекватный альвеолярный рекрутмент при тяжёлых повреждениях грудной клетки.

Протекция лёгочной ткани («щадящая» ИВЛ) направлена на комплексное предотвращение вентилятор-индуцированного повреждения лёгких (VILI/VALI) за счёт строгого контроля биомеханических параметров во избежание:

- волюмо- и баротравмы – ограничение дыхательного объёма ($V_t \leq 6$ мл/кг идеальной массы тела) и давления плато ($P_{plat} \leq 30$ см H_2O);
- ателектотравмы – подбор оптимального уровня РЕЕР для поддержания альвеол в расправленном состоянии без их циклического спадения;
- сдвигового повреждения паренхимы – контроль движущего давления ($Driving\ Pressure = P_{plat} - PEER \leq 14$ см H_2O);
- биотравмы – минимизация фракции кислорода (FiO_2) до минимально достаточного уровня (SpO_2 92–96 %) для снижения оксидативного стресса.

Стандартные (традиционные) протоколы респираторной поддержки при различных вариантах дыхательной недостаточности часто не учитывают индивидуальные особенности податливости и механики дыхательной системы. Это особенно критично у пациентов с деформацией грудной клетки, флотирующими рёбрами или ушибом лёгких, когда некорректно подобранные параметры ИВЛ приводят к выраженной неоднородности вентиляции, высокому риску VILI/VALI и вторичному развитию острого респираторного дистресс-синдрома (ОРДС) [12]. Особенно ярко данная проблема проявляется при сочетанной и полиорганной травме: повышенная ригидность грудной стенки маскирует истинное механическое напряжение в паренхиме лёгких. В этих условиях рутинный мониторинг давления в дыхательных путях (P_{aw}) становится недостаточно информативным, что требует перехода к персонализированной ИВЛ с обязательным измерением ТПД для точного разделения эластических свойств лёгких и грудной клетки.

При этом необходимо помнить о церебропротекции при проведении искусственной вентиляции лёгких, направленной на поддержание адекватного церебрального перфузионного давления (ЦПД) и предупреждение вторичной ишемии, особенно у пациентов с сочетанной ЧМТ и внутричерепной гипертензией. Необходимы контроль и строгое поддержание нормокапнии ($PaCO_2$ 35–40 мм рт. ст.). Гипокапния вызывает опасный спазм сосудов головного мозга и ишемию, тогда как гиперкапния приводит к вазодилатации и отёку мозга. Следует избегать необоснованно высоких уровней ПДКВ (8–10 см H_2O), поскольку избыточное внутригрудное давление

ухудшает венозный отток из полости черепа и способствует прогрессирующему повышению ВЧД. При необходимости рекрутмента лёгких у пациентов с сочетанной ЧМТ уровень РЕЕР следует титровать исключительно под контролем ТПД и ВЧД. Также важное значение имеет синхронизация пациента с респиратором. Обеспечение глубокой седации и адекватной анальгезии позволяет полностью исключить кашлевой рефлекс и мышечный десинхронизм, которые могут резко повышать ВЧД.

В этой связи в мировой практике всё большее распространение получает мониторинг транспульмонального давления (ТПД, *transpulmonary pressure*, TPP) – показателя, отражающего разницу между давлением в дыхательных путях (P_{aw}) и плевральным давлением (P_{pl}). Измерение ТПД с помощью эзофагеального катетера обеспечивает дифференциацию вклада грудной стенки и лёгочной ткани, позволяя более точно оценивать механическую нагрузку на альвеолы и титровать ПДКВ в индивидуальном диапазоне [13, 14].

Исследования последних лет, выполненные Rittayamai N. et al., Chen Q. et al., Wang J. et al. [9, 15, 16], показали, что ТПД-ориентированная респираторная поддержка позволяет достичь более высокого соотношения PaO_2/FiO_2 при минимальном риске перерастяжения лёгких и без повышения ВЧД. По данным метаанализа Zhao Y. et al. [17], внедрение мониторинга ТПД снижает летальность у травматологических пациентов на 12–15% и уменьшает частоту гипоксемии на 20–25%.

В нашей республике методика измерения транспульмонального давления была внедрена в Республиканском научном центре экстренной медицинской помощи (РНЦЭМП) в 2020 году в отделении нейрореанимации и применялась у больных с сочетанной тяжёлой черепно-мозговой травмой и травмой грудной клетки. Особый интерес также представляют публикации авторов, опубликованные в журнале «Вестник экстренной медицины», продемонстрировавшие эффективность эзофагеального мониторинга в условиях ограниченных ресурсов и высокую воспроизводимость полученных результатов [18].

С учётом растущей потребности в персонализированных стратегиях ИВЛ и ограниченности универсальных алгоритмов изучение и внедрение ПДКВ- и ТПД-ориентированных подходов являются одним из наиболее перспективных направлений развития критической медицины. Эти технологии позволяют объединить принципы лёгочной и церебральной защиты, снизить риск

вторичных повреждений и повысить выживаемость пациентов с тяжёлой сочетанной травмой.

Патофизиология сочетанных повреждений головного мозга и грудной клетки. Механическая травма головного мозга приводит к нарушению ауторегуляции мозгового кровотока и развитию вазоплегии, что делает мозговую перфузию зависимой от системного артериального давления. Одновременно повреждение грудной клетки (ушиб лёгких, переломы рёбер, гемопневмоторакс) вызывает резкое снижение податливости лёгких и грудной стенки, увеличивая эластическую нагрузку при проведении вентиляции.

Повышение внутригрудного давления вследствие применения ПДКВ может снижать венозный возврат и сердечный выброс, что опосредованно влияет на мозговую гемодинамику. Кроме того, повышение давления в грудной полости уменьшает градиент между центральными венами и венозными синусами головного мозга, что приводит к застою крови в полости черепа и повышению внутричерепного давления (ВЧД) [7]. С другой стороны, недостаточный уровень ПДКВ способствует развитию ателектазов и гипоксемии, что усиливает церебральную ишемию. Таким образом, между респираторной и церебральной системами существует тонкий баланс, а индивидуальный подбор уровня ПДКВ становится одним из ключевых компонентов терапии пациентов с сочетанной травмой.

Роль положительного давления в конце выдоха (ПДКВ). Основной задачей ПДКВ является поддержание альвеол в открытом состоянии, предотвращение их коллапса и улучшение вентиляционно-перфузионного соотношения. При адекватном уровне ПДКВ достигаются снижение внутрилёгочного шунтирования и повышение PaO_2 без избыточного увеличения среднего давления в дыхательных путях.

Однако влияние ПДКВ на гемодинамику неоднозначно. Так, в экспериментальных исследованиях Beitler J. et al. и Сафонова А. В. и соавт. [13, 19] показано, что повышение уровня ПДКВ свыше 10–12 см H_2O приводит к снижению венозного возврата и ударного объёма. В нейроинтенсивной терапии при ЧМТ существует традиционное опасение относительно применения ПДКВ из-за риска повышения ВЧД, однако современные данные свидетельствуют о том, что умеренный уровень ПДКВ (до 10 см H_2O) при поддержании стабильной гемодинамики не вызывает клинически значимого повышения внутричерепного давления [6, 10].

Оптимизация уровня ПДКВ на основании объективных показателей растяжимости лёгких и

транспульмонального давления позволяет минимизировать риски и улучшить оксигенацию.

Взаимодействие респираторных и церебральных эффектов ПДКВ. Увеличение уровня ПДКВ изменяет внутригрудную динамику, что отражается на распределении давления в системе «лёгкие – грудная стенка – мозговые сосуды». При избыточных уровнях ПДКВ (более 15 см H_2O) возможно повышение давления в яремных венах и снижение венозного оттока из синусов твёрдой мозговой оболочки, что приводит к увеличению внутричерепного давления (ВЧД).

В исследовании Langenskiöld E. et al. [20] на модели сочетанной травмы у животных было показано, что применение умеренного уровня ПДКВ (8 см H_2O) не оказывало значимого влияния на внутричерепную динамику при сохранении нормоволемии, тогда как высокое ПДКВ (>14 см H_2O) вызывало достоверное повышение ВЧД. Аналогичные результаты получены в работе Zhang K. et al. [21], где показана возможность безопасного применения ПДКВ до 10 см H_2O при условии мониторинга ВЧД.

Таким образом, оптимизация уровня ПДКВ требует комплексной динамической оценки механики дыхания, гемодинамики, газообмена и показателей мозговой перфузии. Наиболее точным инструментом оценки влияния параметров вентиляции на лёгкие является измерение транспульмонального давления (ТПД).

Современные концепции индивидуализации респираторной поддержки. Стандартные подходы к настройке вентиляции при ЧМТ и травмах грудной клетки нередко ориентируются на показатели оксигенации и податливости дыхательной системы в целом. Однако давление в дыхательных путях (Paw) отражает суммарное влияние лёгочной ткани и грудной стенки и не всегда коррелирует с риском вентилятор-индуцированного повреждения лёгких (ВИПЛ) и развитием острого респираторного дистресс-синдрома (ОРДС).

Понятие транспульмонального давления позволяет разделить эти компоненты, определяя фактическое давление, приложенное непосредственно к лёгочной паренхиме. ТПД рассчитывается как разность между давлением в дыхательных путях (Paw) и плевральным давлением (Ppl): $\text{TPP} = \text{Paw} - \text{Ppl}$. Плевральное давление может быть оценено по величине эзофагеального давления с помощью специального катетера.

По данным Beitler J. et al. и Rittayamai N. et al. [9, 13], использование ТПД для титрования ПДКВ позволяет поддерживать альвеолярную стабильность, предотвращая перерастяжение

лёгких и регионарную гиповентиляцию. Это особенно важно при сочетанных повреждениях грудной стенки, когда повышенное сопротивление грудной клетки искажает традиционные показатели комплаенса.

Исследования последних лет показали, что ТПД-ориентированная вентиляция уменьшает риск развития острого респираторного дистресс-синдрома и позволяет достичь более высокого соотношения PaO_2/FiO_2 при меньшем среднем давлении в дыхательных путях (P_{aw}) [15, 22]. Данная концепция легла в основу протективной вентиляции нового поколения – индивидуализированной по транспульмональному давлению, что особенно актуально для нейрохирургических больных, нуждающихся в строгом контроле внутричерепной перфузии.

Измерение транспульмонального давления: принципы, методика и ограничения. Транспульмональное давление (ТПД/TPP) – это градиент давлений, обеспечивающий поддержание лёгких в расправленном состоянии, при котором давление «изнутри» превышает давление «снаружи». Проще говоря, это разность между давлением в альвеолах и давлением в плевральной полости. Сила транспульмонального давления (P_{tp}) действует в одном направлении с эффектом сурфактанта и противодействует эластической тяге лёгких, а также поверхностному натяжению водной плёнки. Взаимодействие этих факторов (эластической тяги, поверхностного натяжения, сурфактанта и ТПД) обеспечивает расправленное состояние лёгких, их способность к растяжению и беспрепятственное поступление воздуха в альвеолярное пространство. При патологических состояниях (например, при ОРДС) данный баланс нарушается, что делает контроль ТПД критически важным (рис. 1) [18, 23–26].

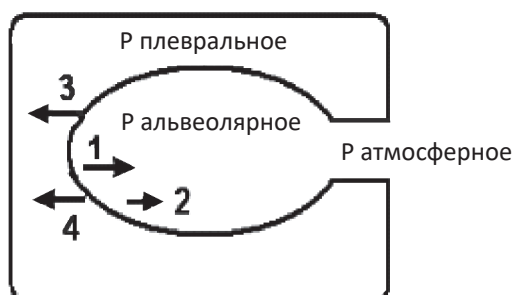


Рис. 1. Схематическое изображение альвеолы и уровней давления в ней:

- 1 – эластическая тяга лёгкого;
- 2 – поверхностное натяжение водной плёнки;
- 3 – транспульмональное давление;
- 4 – сурфактант

Существуют простые и доступные методы оценки эффективности респираторной поддержки: мониторинг индекса оксигенации (PaO_2/FiO_2), динамической податливости лёгких (compliance) и капнография ($EtCO_2$). К сложным высокотехнологичным методам относятся оценка конечно-выдохного объёма лёгких (EELI), ультразвуковая оценка аэрации лёгких (BLUE-протокол) и измерение истинного транспульмонального давления с помощью пищеводного катетера.

Принципы и методика измерения ТПД. Мониторинг транспульмонального давления основан на косвенном определении плеврального давления (P_{pl}) посредством измерения эзофагеального давления (P_{es}). Специальный баллон-катетер вводится в нижнюю треть пищевода, где регистрируемое давление наиболее достоверно отражает внутриплевральное давление.

При проведении ИВЛ измеряют статическое давление в дыхательных путях на вдохе и выдохе, а ТПД (TPP) определяется как разность:

$$TPP = P_{aw} - P_{es},$$

где P_{aw} – давление в дыхательных путях на вдохе и выдохе; P_{es} – эзофагеальное давление. ТПД характеризует механическую нагрузку, действующую непосредственно на лёгочную паренхиму, и отражает риск избыточного растяжения альвеол либо их коллапса [13].

Использование ТПД при титровании ПДКВ позволяет установить положительное давление, при котором экспираторное ТПД остаётся около нуля (от -1 до $+2$ см H_2O), что указывает на полное раскрытие альвеол без перерастяжения тканей [14]. Применение концепции «открытых лёгких» позволяет улучшить оксигенацию крови за счёт раскрытия ателектазированных участков лёгких, стабилизировать газообменную функцию лёгких и уменьшить выраженность гипоксии [27–29].

Методика установки пищеводного зонда имеет свои особенности. Перед началом процедуры необходимо проверить целостность и герметичность баллона, слегка надавив на него пальцами. Баллон должен располагаться на уровне кардиального отдела пищевода. Для контроля правильного положения и определения длины вводимого зонда измеряют расстояние от мечевидного отростка до мочки уха и далее до кончика носа. Измерение начинают от конца баллона (рис. 2).

Алгоритм установки и калибровки пищеводного зонда включает проверку проводника, трансназальное введение зонда на глубину

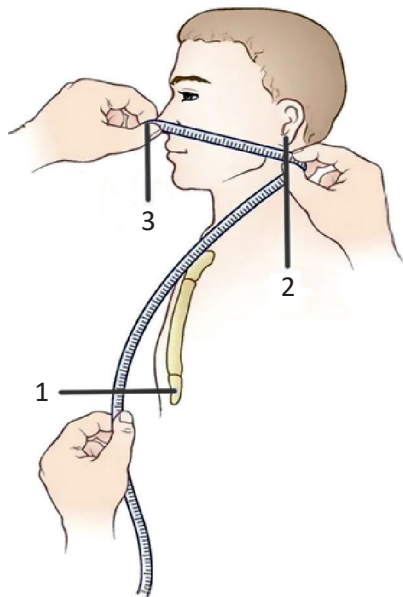


Рис. 2. Техника определения длины введения пищевого зонда 5 Fr для измерения пищевого давления. Анатомические ориентиры:

- 1 – мечевидный отросток; 2 – мочка уха;
3 – кончик носа [18]

50–60 см и его фиксацию. Верификацию правильности положения проводят по наличию кардиоосцилляций на кривой Pes и с помощью окклюзионного теста с соотношением $\Delta\text{Pes}:\Delta\text{Paw}$ в пределах 0,8–1,2 после заполнения баллона 1 мл воздуха.

Методика измерения ТПД требует стандартизации. На точность измерений могут влиять положение тела пациента и глубина введения катетера, объём баллона зонда, наличие медиастинальных заболеваний и ожирения, а также повышенное внутрибрюшное давление.

Несмотря на эти ограничения, многочисленные исследования подтвердили высокую корреляцию между эзофагеальным и истинным плевральным давлением даже в условиях травматического повреждения грудной стенки [15, 30]. Методика безопасна и применима в клинической практике отделений общей и нейрохирургической реанимации.

Международный, отечественный и собственный опыт применения ТПД-ориентированной (TPP-oriented) вентиляции при сочетанной травме. Анализ доступных публикаций свидетельствует о последовательном отходе от жёстко фиксированных режимов вентиляции в пользу персонализированных стратегий, основанных на объективных показателях механики дыхания. В концепцию снижения «механиче-

ской мощности» (*mechanical power reduction*) органично вписывается мониторинг ТПД [13, 20, 31].

Особый интерес представляют работы, посвящённые пациентам с сочетанной ЧМТ и травмой грудной клетки. В рандомизированном исследовании Wang J. и соавт. [22] у 82 больных с тяжёлой ЧМТ и ушибом лёгких титрование ПДКВ по ТПД позволило поддерживать индекс $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 250$ при среднем давлении в дыхательных путях (Paw) < 20 см H_2O без увеличения ВЧД. В метаанализе Zhao Y. et al. [32], включившем 14 исследований ($n=1180$), показано, что ТПД-контролируемые протоколы у пациентов с острой дыхательной недостаточностью и травмой ассоциированы со снижением общей летальности на 12–15% и уменьшением частоты вентилятор-индуцированного повреждения лёгких на 15% без увеличения числа эпизодов ВЧД > 25 мм рт. ст.

Проспективное исследование García Morales E. и соавт. [7] продемонстрировало, что при адекватной волеической поддержке применение умеренного ПДКВ (до 10 см H_2O) у больных с ЧМТ не сопровождалось клинически значимым повышением ВЧД и не нарушало церебральную перфузию.

В отечественной литературе интерес к эзофагеальному мониторингу усилился в период пандемии COVID-19. Работы Сафонова А. и соавт., Минеева И. и др., Яковлева А. и соавт. [5, 10, 19] показали, что включение ТПД в алгоритм настройки ПДКВ у пациентов с ОРДС, политравмой и тяжёлым повреждением лёгких позволяет снизить частоту выраженной гипоксемии ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$), улучшить комплаенс дыхательной системы и сократить продолжительность ИВЛ.

В РНЦЭМП (Республика Узбекистан) методика ТПД внедрена в отделении нейрореанимации с 2020 года и используется у больных с сочетанной тяжёлой ЧМТ и травмой грудной клетки. По результатам серии наблюдений авторами продемонстрирована возможность безопасного применения эзофагеального мониторинга в условиях ограниченных ресурсов, а также воспроизводимость получаемых показателей в повседневной клинической практике [18]. В настоящее время завершается комплексная НИР, посвящённая оценке клинко-физиологических эффектов ТПД-ориентированной вентиляции у критически больных.

Сводная характеристика ключевых исследований, посвящённых ТПД-ориентированной вентиляции, представлена в таблице 1.

Таблица 1. Основные исследования, посвящённые ТПД-ориентированной настройке ПДКВ

Автор, год	Дизайн	n, популяция	Критерии ПДКВ/ТПД	Основные исходы
Beitler J. et al., 2020 [13]	проспективное (ОРДС)	60, ОРДС	ПДКВ по ТПД (экспираторное ТПД ≈ 0 см H ₂ O)	↑ комплаенса, ↓ driving pressure
Rittayamai N. et al., 2021 [9]	проспективное (смешанная ОРИТ)	120, острая дыхательная недостаточность	ПДКВ по ТПД vs традиционная стратегия	↑ PaO ₂ /FiO ₂ , ↓ ВИПЛ, тенденция к сокращению продолжительности ИВЛ
Chen Q. et al., 2022 [15]	проспективное (травма)	90, травма/ОРДС	ПДКВ по ТПД	↓ риска ОРДС, ↑ PaO ₂ /FiO ₂ , без влияния на ВЧД
Wang J. et al., 2024 [22]	РКИ	82, сочетанная ЧМТ и ушиб лёгких	ПДКВ по ТПД vs стандартная стратегия	PaO ₂ /FiO ₂ > 250 при P _{aw} < 20 см H ₂ O; ВЧД без изменений
Zhao Y. et al., 2023 [32]	метаанализ (14 иссл.)	1180, травма/нейро-критические состояния	Различные протоколы ПДКВ по ТПД	–12–15% летальности, –15% ВИПЛ, без ↑ ВЧД > 25 мм рт. ст.
García-Morales E. et al., 2023 [7]	проспективное	54, ЧМТ	ПДКВ до 10 см H ₂ O под контролем ТПД	стабильное ВЧД, сохранённое ЦПД

По сути, формируется единая тенденция: активизация механики дыхания с использованием ТПД позволяет более обоснованно выбирать уровень ПДКВ и снижает риск как коллапса, так и перерастяжения альвеол.

Эффективность и ограничения ТПД-ориентированной вентиляции. В настоящее время можно выделить основные преимущества использования ТПД при титровании ПДКВ.

Во-первых, профилактика как коллапса, так и перерастяжения альвеол. Настройка ПДКВ с учётом экспираторного ТПД, близкого к нулю, снижает вероятность циклического открытия и закрытия альвеол, а также регионального перерастяжения.

Во-вторых, оптимизация газообмена без чрезмерного повышения среднего давления в дыхательных путях (P_{aw}). Это особенно важно у пациентов с политравмой и нарушениями гемодинамики, у которых высокие значения P_{aw} могут ухудшать венозный возврат и снижать сердечный выброс.

В-третьих, снижение частоты вентилятор-ассоциированных повреждений лёгких (ВИПЛ). По данным Rittayamai N. и соавт. [9], применение ТПД-ориентированных стратегий сопровождается уменьшением выраженности ВИПЛ и сокращением продолжительности респираторной поддержки.

В-четвёртых, косвенное улучшение церебральной оксигенации. Более эффективное раскрытие альвеол и уменьшение степени внутрилёгочного шунтирования снижают частоту эпизодов гипоксемии и гиперкапнии, которые являются ключевыми факторами вторичного повреждения головного мозга при ЧМТ.

В-пятых, сокращение продолжительности ИВЛ. В ряде исследований сообщается об уменьшении длительности искусственной вентиляции лёгких на 10–20% при использовании ТПД-ориентированной тактики [9, 33, 34].

Вместе с тем методика имеет и ряд ограничений. Необходимость использования специального оборудования (эзофагеальных катетеров и соответствующих систем мониторинга), а также подготовки персонала ограничивает её широкое внедрение. Кроме того, особенности травматического повреждения грудной клетки (флотирующий сегмент, пневмо- и гемоторакс, массивные гематомы) могут приводить к формированию локальных градиентов давления в плевральной полости, что снижает точность интерпретации эзофагеального давления в качестве суррогатного показателя истинного плеврального давления (P_{pl}).

Одной из ключевых **проблем** является отсутствие унифицированных протоколов адаптации ПДКВ по ТПД именно у нейрохирургических

больных. Большинство современных исследований исключает пациентов с выраженной внутричерепной гипертензией, поэтому остаётся открытым вопрос о допустимых диапазонах ТПД и Raw в условиях необходимости одновременной лёгочной и церебральной протекции. В литературе подчёркивается необходимость разработки алгоритмов, которые одновременно учитывали бы показатели механики лёгких, состояние системной гемодинамики и параметры церебральной перфузии [33, 35].

За последние пять лет опубликован целый ряд рандомизированных и проспективных исследований, подтвердивших эффективность ТПД-ориентированной вентиляции у больных с ОРДС, ожирением и множественной травмой. Тем не менее целенаправленные исследования, посвящённые пациентам с сочетанной ЧМТ и травмой грудной клетки, единичны и характеризуются ограниченным объёмом выборки.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений исследований является комбинированный мониторинг ТПД и инвазивного/неинвазивного ВЧД, позволяющий в режиме реального времени оценивать компромисс между рекрутируемостью лёгких и влиянием вентиляции на внутричерепную динамику, что особенно важно при выраженной внутричерепной гипертензии. Другим перспективным направлением является интеграция ТПД с методами оценки регионарной вентиляции. Использование электрической импедансной томографии (EIT), КТ-перфузии и ультразвуковой оценки диафрагмы может помочь идентифицировать участки гиповентиляции и гипервентиляции, тем самым уточняя оптимальный диапазон ПДКВ для конкретного пациента. Кроме того, перспективным направлением является разработка алгоритмов автоматического подбора ПДКВ.

В совокупности эти направления формируют основу для перехода к действительно персонализированной, физиологически ориентированной вентиляции, способной минимизировать вторичные лёгочные и церебральные повреждения у больных с тяжёлой сочетанной травмой.

Заключение

Настройка ПДКВ у пациентов с одновременным повреждением головного мозга и грудной клетки остаётся сложной клинической задачей, поскольку требует одновременного учёта зачастую противоречивых требований лёгочной и церебральной протекции. Традиционные «фик-

сированные» подходы к выбору ПДКВ недостаточно учитывают вариабельность механики дыхательной системы, особенно при деформации грудной стенки и неоднородном поражении лёгких. Измерение транспульмонального давления является надёжным инструментом индивидуализации респираторной поддержки, позволяющим оптимизировать параметры вентиляции с учётом патофизиологических особенностей сочетанной травмы. ТПД-ориентированная вентиляция на сегодняшний день рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений развития персонализированной респираторной поддержки, особенно у пациентов с комбинированными повреждениями, при которых баланс между лёгочной и церебральной протекцией во многом определяет исход лечения.

Литература

1. ARDS Network. Ventilation strategy guidelines update 2021. *Am J Respir Crit Care Med*. 2021; 203(7):882–894.
2. Росстальная А.Л., Дадаев Х.Х., Махсудов Д.Р., Тахиров А.У. Қўшма оғир бош мия жароҳати бўлган беморларда ўлимга олиб келувчи омилларнинг таҳлили. *Биология ва тиббиёт муаммолари*. 2025; 4(163):168–174 [Rosstalnaya A.L., Dadaev H.H., Mahsudov D.R., Tahirov A.U. Analysis of factors leading to death in patients with combined severe traumatic brain injury. *Problems of Biology and Medicine*. 2025; 4(163):168–174. In Uzbek].
3. Llompарт-Pou J.A., Pérez-Bárcena J., Chico M., Marsé P., Raurich J.M., Ibáñez J. Chest trauma and brain injury: pathophysiology and ventilatory approach. *Intensive Care Med*. 2021; 47(3):373–385.
4. Lee J.H., Kim Y.S., Kwak J., Han S., Lee J., Kim H. et al. Impact of hypoxemia on mortality in traumatic brain injury: multicenter analysis. *J Trauma Acute Care Surg*. 2022; 93(2):198–204.
5. Яковлев А.Н., Белкин А.А., Лейдерман И.Н., Золотухин К.Н., Левит А.Л., Щеголев А.В. и др. Роль индивидуализации параметров вентиляции при черепно-грудных повреждениях. *Анестезиология и реаниматология*. 2023; 68(4):55–62 [Yakovlev A.N., Belkin A.A., Leyderman I.N., Zolotukhin K.N., Levit A.L., Shchegolev A.V. et al. The role of individualized ventilation parameters in craniothoracic injuries. *Anesteziol Reanimatol*. 2023; 68(4):55–62. In Russian].
6. Caricato A., Benedetti M.L., Antonelli M., Sandroni C., De Waure C., Como G. et al. Effects of PEEP on intracranial pressure and cerebral hemodynamics in brain-injured patients. *J Clin Monit Comput*. 2021; 35(1):55–64.

7. García Morales E.J., Llompарт Pou J.A., Pérez Bárcena J. Interaction between respiratory settings and intracranial pressure in traumatic brain injury. *Intensive Care Med.* 2023; 49(1):17–29.
8. Yoshida T., Grieco D.L., Brochard L., Fujino Y. Monitoring transpulmonary pressures for lung protection: current insights. *Crit Care.* 2022; 26(1):58.
9. Rittayamai N., Katip W., Juntasavadsakul D., Piquilloud L., Brochard L., Richard J.C.M. et al. Transpulmonary pressure-based PEEP titration in mixed ICU populations. *Respir Care.* 2021; 66(8):1250–1261.
10. Минеев И.В., Семенов А.Б., Щеголев А.В., Кузнецов А.А., Кондратьев А.Н. Влияние уровней ПДКВ на внутричерепное давление у больных с тяжёлой ЧМТ. *Общая реаниматология.* 2022; 18(2):34–41 [Mineev I.V., Semenov A.B., Shchegolev A.V., Kuznetsov A.A., Kondratiev A.N. Effect of PEEP levels on intracranial pressure in patients with severe TBI. *General Reanimatology.* 2022; 18(2):34–41. In Russian].
11. Guidelines for management of severe traumatic brain injury. *Neurosurgery.* 2023; 92(3):1–12.
12. Rosstalnaya A.L., Dadaev H.H., Takhirov A.U., Makhsudov D.R. Changes in cerebral hemodynamic parameters during respiratory support in patients with combined severe traumatic brain injury. *Am J Med Med Sci.* 2024; 14(2):423–427.
13. Beitler J.R., Sarge T., Banner-Goodspeed V.M., Gong M.N., Cook D., Novack V. et al. Effect of tidal volume and transpulmonary pressure on pulmonary mechanics in ARDS. *Am J Respir Crit Care Med.* 2020; 202(9):1226–1234.
14. Talmor D., Sarge T., O'Donnell C.R., Ritz R., Malhotra A., Lissauer M. et al. Physiologic approach to set positive end-expiratory pressure using esophageal pressure monitoring. *Crit Care Med.* 2021; 49(2):193–204.
15. Chen Q., Zhou S., Li Y. Transpulmonary pressure-guided ventilation in trauma patients: a prospective study. *Crit Care Med.* 2022; 50(11):e987–e995.
16. Wang J., Liu X., Zhang H. PEEP titration guided by transpulmonary pressure in combined TBI and thoracic injury: a randomized trial. *Chest.* 2024; 165(2):412–423.
17. Zhao Y., Huang C., Wang J., Shi Z., Feng J., Li Z. et al. Meta-analysis of PEEP strategies in neurocritical patients with thoracic trauma. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2023; 49(3):1451–1462.
18. Сабиров Д.М., Дадаев Х.Х., Росстальная А.Л., Тахиров А.У., Махсудов Д.Р. Выбор адекватного уровня ПДКВ путём измерения транспульмонального давления с учётом паттерна дыхания у больных с ОРДС. *Вестник экстренной медицины.* 2024; 17(4):43–51 [Sabirov D.M., Dadaev H.H., Rosstalnaya A.L., Takhirov A.U., Makhsudov D.R. Selection of adequate PEEP by measuring transpulmonary pressure with consideration of the breathing pattern in patients with ARDS. *Bull Emerg Med.* 2024; 17(4):43–51. In Russian].
19. Сафонов А.В., Грицан А.И., Газенкамф А.А., Довбыш Н.Ю. Использование эзофагеального давления при титровании ПДКВ у пациентов с множественной травмой. *Анестезиология и реаниматология.* 2021; (5):45–52 [Safonov A.V., Gritsan A.I., Gazenkampf A.A., Dovbysh N.Yu. Use of esophageal pressure in PEEP titration in patients with multiple trauma. *Anesteziol Reanimatol.* 2021; (5):45–52. In Russian].
20. Langenskiöld E., Rehn M., Skrifvars M.B., Backman S., Tanskanen P., Randell T. et al. Effects of PEEP on intracranial pressure and oxygenation in polytrauma. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2021; 65(4):550–558.
21. Zhang K., Ma J., Liang Z., Wu X., Li H., Zheng S. et al. PEEP and brain hemodynamics in combined trauma: experimental study. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2022; 34(4):365–372.
22. Wang J., Liu X., Zhang H. PEEP titration guided by transpulmonary pressure. *Chest.* 2024; 165(2):412–423.
23. Goligher E.C., Fan E., Herridge M.S., Murray A., Vorona S., Brace D. et al. Evolution of diaphragm thickness during mechanical ventilation: impact of inspiratory effort. *Am J Respir Crit Care Med.* 2015; 192(9):1080–1088.
24. Dianti J., Fard S., Wong J., Chan T.C.Y., Del Sorbo L., Fan E. et al. Strategies for lung- and diaphragm-protective ventilation in acute hypoxemic respiratory failure: a physiological trial. *Crit Care.* 2022; 26:259.
25. Yoshida T., Fujino Y., Amato M.B., Kavanagh B.P. Fifty years of research in ARDS: spontaneous breathing during mechanical ventilation: risks, mechanisms, and management. *Am J Respir Crit Care Med.* 2017; 195(8):985–992.
26. Mauri T., Yoshida T., Bellani G., Goligher E.C., Carteaux G., Rittayamai N. et al. Esophageal and transpulmonary pressure in the clinical setting: meaning, usefulness and perspectives. *Intensive Care Med.* 2016; 42(9):1360–1373.
27. Telias I., Junhasavasdikul D., Rittayamai N., Piquilloud L., Chen L., Ferguson N.D. et al. Airway occlusion pressure as an estimate of respiratory drive and inspiratory effort during assisted ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2020; 201(9):1086–1098.
28. de Vries H.J., Jonkman A.H., de Grooth H.J., Haaksma M.E., Agten S.M., Tuinman P.R. et al. Lung- and diaphragm-protective ventilation by titrating inspiratory support to diaphragm effort: a randomized clinical trial. *Crit Care Med.* 2022; 50(2):192–203.

29. Bertoni M., Telias I., Urner M., Long M., Del Sorbo L., Fan E. et al. A novel non-invasive method to detect excessively high respiratory effort and dynamic transpulmonary driving pressure during mechanical ventilation. Crit Care. 2019; 23:346.
30. Pavlov A.A., Ivanov S.A. Esophageal pressure monitoring for personalized PEEP in polytrauma patients. Front Med. 2023; 10:1098–1106.
31. Yoshida T., Grieco D.L., Brochard L., Fujino Y., Caveot A., Bittner E.A. et al. Monitoring transpulmonary pressures for lung protection: current insights. Crit Care. 2022; 26(1):58.
32. Zhao Y., Huang C., Wang J., Shi Z., Feng J., Li Z. et al. Meta-analysis of PEEP strategies in neurocritical patients with thoracic trauma. Eur J Trauma Emerg Surg. 2023; 49(3):1451–1462.
33. Zhou F., Cheng J., Tang N., Hu C., Zhou Y., Jin X. et al. Integrating lung and brain monitoring for personalized mechanical ventilation. Crit Care Res Pract. 2024; 2024:6528571.
34. Pavlov A.A., Ivanov S.A., Belkin A.A., Leyderman I.N., Zolotukhin K.N., Levit A.L. et al. Esophageal pressure monitoring for personalized PEEP in polytrauma. Front Med (Lausanne). 2023; 10:1098–1106.
35. Zhou F., Cheng J., Tang N., Hu C., Zhou Y., Jin X. et al. Integrating lung and brain monitoring for personalized mechanical ventilation. Crit Care Res Pract. 2024; 2024:6528571.

BOSH MIYA VA O'PKADA QO'SHMA JAROXATLANGAN BEMORLARNING RESPIRATOR QO'LLOVIDA TRANSPULMONAR BOSIMNING O'RNI

A.L. ROSSTALNAYA^{1,2}, V.X. SHARIPOVA^{1,2}, A.U. TAXIROV²

¹Tibbiyot xodimlarining kasbiy malakasini rivojlantirish markazi, Toshkent, O'zbekiston

²Respublika shoshilinch tibbiy yordam ilmiy markazi, Toshkent, O'zbekiston

Ushbu maqolada bosh miya va ko'krak qafasi qo'shma jarohati bo'lgan bemorlarda nafas olishni qo'llab-quvvatlashda nafas chiqarish oxiridagi musbat bosim (NCHOMB) qo'llanilishi va transpulmonal bosim (TPB) monitoringiga oid zamonaviy adabiyotlar tahlil qilingan. Bosh miya va ko'krak qafasi shikastlanishlarining birgalikda uchrashi ko'plab travmalar natijasida yuzaga keladigan o'limning asosiy sabablaridan biri hisoblanadi, chunki nafas yetishmovchiligi va miya faoliyati yetishmovchiligining bir vaqtda mavjudligi o'pkalarni rekrutatsiya qilish hamda bosh miyaning perfuziyasini saqlab qolish o'rtasida nozik muvozanatni ta'minlashni talab etadi.

NXOMBni alveolyar rekrutment vositasi sifatida qo'llash an'anaviy ravishda ichki miya bosimi oshishi bo'yicha xavotirlar bilan bog'liq. So'nggi yillarda qizilo'ngach kateteri orqali transpulmonal bosimni monitoring qilishga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda, bu esa sun'iy o'pka ventilyatsiyasi parametrlarini bemorning individual xususiyatlariga mos ravishda tanlash hamda o'pka to'qimasiga ortiqcha mexanik yuklamani cheklash imkonini beradi.

Original klinik va eksperimental ishlarning, protokollar, meta-tahlillar va obzorlarning tizimli tahlili shuni ko'rsatdiki, TPBni maqsadli ko'rsatkich sifatida NCHOMBni tanlashda qo'llash birlashgan jarohati bo'lgan bemorlarda ventilyatsiya samaradorligini oshiradi va miya dinamikasiga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi. Xulosa sifatida, transpulmonal bosimga yo'naltirilgan ventilyatsiya bugungi kunda personallashtirilgan respirator terapiyaning asosiy qadamlaridan biri sifatida qaralmoqda. Ushbu usul ayniqsa miya va ko'krak qafasi bir vaqtda shikastlangan bemorlarda muhim ahamiyatga ega bo'lib, uning amaliy reanimatsiya amaliyotiga joriy etish imkoniyati yuqori.

Kalit so'zlar: nafas chiqarish oxiridagi musbat bosim (NCHOMB), transpulmonal bosim, bosh miya jarohati, birlashgan shikastlanish, ko'krak qafasi shikasti, sun'iy nafas oldirish, ichki miya bosimi.

Сведения об авторах:

Росстальная Алла Леонтьевна – доктор медицинских наук, доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии Центра развития профессиональной квалификации медицинских работников, Ташкент, Узбекистан.

E-mail: allar83@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5949-8315

Шарипова Висолат Хамзаевна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой анестезиологии и реаниматологии Центра развития профессиональной квалификации медицинских работников, Ташкент, Узбекистан; руководитель отдела анестезиологии и реаниматологии Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.

E-mail: visolat_78@mail.ru

ORCID: 0000-0003-2517-1183

Тахиров Анвар Умаржанович – врач – анестезиолог-реаниматолог отделения нейрохирургической реанимации Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.

E-mail: anvar.tahirov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5996-446X

Поступила в редакцию: 21.04.2026

Information about authors:

Alla Leontievna Rosstalnaya – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Anesthesiology and Intensive Care, Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Workers, Tashkent, Uzbekistan.

E-mail: allar83@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5949-8315

Visolat Khamzaevna Sharipova – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Workers, Tashkent, Uzbekistan; Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Republican Research Center of Emergency Medicine.

E-mail: visolat_78@mail.ru

ORCID: 0000-0003-2517-1183

Anvar Umarjanovich Takhirov – Anesthesiologist-Intensivist, Department of Neurosurgical Intensive Care, Republican Research Center of Emergency Medicine.

E-mail: anvar.tahirov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5996-446X

Received: 21.04.2026