



Current Anesthesiology Reports (2024) 14:512–524
<https://doi.org/10.1007/s40140-024-00644-x>

PERIOPERATIVE AND CRITICAL CARE VENTILATION (L BALL, SECTION EDITOR)



Perioperative Ventilation in Neurosurgical Patients: Considerations and Challenges

Ida Giorgia Iavarone¹ · Patricia R.M. Rocco² · Pedro Leme Silva² · Shaurya Taran³ · Sarah Wahlster^{4,5,6} · Marcus J. Schultz^{7,8,9} · Nicolò Antonino Patroniti^{1,10} · Chiara Robba^{1,10,11}

Accepted: 6 August 2024 / Published online: 22 August 2024
© The Author(s) 2024

Периоперационная ИВЛ у нейрохирургических пациентов: соображения и проблемы

*Перевод А.А. Науменко
Южно-Сахалинск
2024 год*



АННОТАЦИЯ

Цель обзора

Целью данного обзора является обобщение важнейших соображений, касающихся периоперационного управления дыхательными путями и искусственной вентиляции легких при нейрохирургических операциях.

Последние результаты

Учитывая значительное влияние вентиляции на внутричерепное давление (ВЧД) и мозговой кровоток, необходимо тщательно контролировать настройки аппарата ИВЛ. Например, высокое ПДКВ может повысить ВЧД, в то время как гипервентиляция может снизить его. Ключевым моментом является поиск оптимального баланса. Хотя доказательства, подтверждающие эффективность защитной вентиляции легких у нейрохирургических пациентов, ограничены, предварительные данные свидетельствуют о том, что ее использование может быть полезным, как и у пациентов общехирургического профиля. Обычно это подразумевает использование более низких дыхательных объемов и поддержание оптимальной оксигенации для предотвращения вентилятор-индуцированного повреждения легких. Управление дыхательными путями у нейрохирургических пациентов должно учитывать риск повышения ВЧД во время интубации и потенциальные осложнения со стороны дыхательных путей. Для минимизации этих рисков могут использоваться такие методы, как быстрая последовательная индукция и использование миорелаксантов. Основной целью вентиляции у нейрохирургических пациентов является поддержание адекватной оксигенации и удаления углекислого газа при минимизации вреда для легких и мозга. Однако могут быть исключения, когда необходимы особые корректировки вентиляции, например, в случаях нарушенного газообмена или повышенного ВЧД.

Краткое содержание

Пациентам, которым выполняются нейрохирургические операции, часто требуется инвазивная вентиляция легких из-за сложности операции и необходимости управления дыхательными путями. Это создает уникальные проблемы, поскольку настройки аппарата ИВЛ должны уравнивать необходимость защиты как легких, так и мозга. Необходимы дальнейшие исследования для разработки четких рекомендаций и оптимизации вентиляционной помощи в этой группе пациентов.

ВВЕДЕНИЕ

При остром повреждении головного мозга пациентам, которым проводятся нейрохирургические операции/процедуры, часто требуется седация и инвазивная ИВЛ для защиты дыхательных путей и респираторной поддержки. Однако инвазивная ИВЛ представляет потенциальный риск для нескольких систем органов и, следовательно, требует тщательного рассмотрения при выборе стратегий вентиляции. Баланс между



профилактикой как вентилятор-индуцированного повреждения легких, (VILI), так и повреждения головного мозга требует особого внимания, причем последнее требует мониторинга гемодинамики, церебральной перфузии и внутричерепного давления (ВЧД) [1].

Мало что известно о механической ИВЛ у нейрохирургических пациентов, и большинство данных получены из периоперационных хирургических или реанимационных когорт. Защитная вентиляция легких используется во время различных хирургических процедур [2] для предотвращения послеоперационных легочных осложнений [3], таких как VILI [4]; однако ее часто избегают у пациентов, которым проводятся нейрохирургические операции [5].

Другим важным соображением является двунаправленное перекрестное взаимодействие мозга и легких [6 -8], которое может увеличить риск вторичного повреждения мозга [9]. Перекрестное взаимодействие мозга и легких опосредовано несколькими механизмами [10]. После повреждения мозга воспалительные реакции, гормональная дисрегуляция и выброс катехоламинов приводят к увеличению экспрессии вредных молекулярных паттернов и влияют на лимфатическую систему [11]. Эта иммунная активация может напрямую повреждать пневмоциты II типа, увеличивая гидростатическое давление в легочных сосудах и проницаемость капилляров легких, что в конечном итоге приводит к повреждению легких [6,8,12-14].

Учитывая сложности, связанные с нейрохирургическими операциями, в этом обзоре обобщены современные знания о конкретных методах обеспечения проходимости дыхательных путей, параметрах ИВЛ, пороговых значениях, позволяющих избежать повреждение головного мозга и легких, экстубации и риске послеоперационных легочных осложнений у пациентов, перенесших нейрохирургические операции.

КОНКРЕТНЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ У НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ

Позиционирование, стабильность шейного отдела позвоночника, гемодинамика во время индукции и влияние анестезии на ВЧД являются уникальными условиями, которые могут осложнить управление дыхательными путями у нейрохирургических пациентов [15]. Нейрохирургические подходы, затрагивающие гипофиз, височную долю или затылочно-шейную зону, такие как положение Halo или стереотаксическая рамка для головы, часто требуют вынужденных неестественных положений головы, что приводит к затруднению управления дыхательными путями или неудачной интубации. Длительное неестественное положение головы нарушает церебральный венозный отток, что может привести к интраоперационному отеку мозга, повышению ВЧД, ишемии и церебральному инфаркту [15,16]. Риск ишемии увеличивается у пациентов с окклюзией крупных сосудов [17].



Острые травмы шейного отдела позвоночника требуют иммобилизации и ношения шейного воротника, что затрудняет разгибание головы во время интубации, осложняя обеспечение проходимости дыхательных путей.

Кроме того, колебания АД могут влиять на церебральную ауторегуляцию, что приводит к плохим послеоперационным результатам, таким как инсульт, острое повреждение почек и делирий. Важно индивидуализировать целевые значения АД для сохранения церебральной перфузии [18]. Недавние исследования, проведенные у пациентов, перенесших плановые нейрохирургические вмешательства, контролировали церебральную ауторегуляцию с использованием корреляции между изменениями среднего артериального давления (САД) и региональной церебральной сатурацией O_2 (rSO₂). Хотя предоперационное значение АД часто является целевым значением, используемым для корректировки интраоперационного АД, оптимальное АД (определяемое как значение выше нижнего предела АД) ниже, чем АД на исходном уровне. Эти данные могут указывать на необходимость мониторинга АД во время операции с целью персонализированного целевого значения АД, сохраняющего церебральную перфузию [18].

Длительная масочная вентиляция из-за трудностей в управлении дыхательными путями может привести к гиперкапнии, гипоксемии и увеличению мозгового кровотока с риском внутричерепной гипертензии. Кроме того, ларингоскопия и интубационные маневры часто приводят к повышению систолического артериального давления в среднем на 20 мм рт. ст. [19] и, как следствие, к повышению среднего артериального давления и, возможно, ВЧД, особенно у пациентов с нарушением церебральной ауторегуляции [20]. На этом этапе важно сбалансировать и поддерживать параметры церебральной гемодинамики, такие как мозговой кровоток, скорость мозгового метаболизма кислорода (CMRO₂) и динамики спинномозговой жидкости, обеспечивая глубокую седацию, избегая повышения ВЧД и церебрального перфузионного давления (ЦПД) вследствие выраженной гипер/гипотонии, а также обеспечивая церебральную и спинальную перфузию [21].

Оптимальная стратегия управления дыхательными путями у нейрохирургических пациентов еще не определена и должна быть индивидуальной. Как правило, в предоперационный период рекомендуется сосредоточить внимание на истории болезни, связанной с потенциально трудными дыхательными путями или признаками и симптомами внутричерепной сосудистой недостаточности, за которыми следует детальное физикальное обследование (подвижность шеи, стабильность шейного отдела позвоночника и т. д.) и консультация по визуализации, чтобы предвидеть и решать возможные трудности. В случае плановых нейрохирургических манипуляций/операций и подозрения на трудные дыхательные пути можно рассмотреть предоперационное эндоскопическое обследование дыхательных путей, чтобы сократить использование ненужной интубации в сознании [22]. Для пациентов с



нестабильностью шейного отдела позвоночника методы, минимизирующие движение головы, поддержание нейтрального положения головы [23] с ручной линейной стабилизацией [24], направлены на предотвращение вторичного церебрального повреждения. Обзор показывает, что традиционная прямая ларингоскопия может быть неподходящей для обеспечения проходимости верхних дыхательных путей при операциях на шейном отделе позвоночника [2]. В случае нестабильности шейного отдела позвоночника можно рассмотреть возможность использования гибкой фиброоптической интубации в сознании, назальной интубации, видеоларингоскопии и иммобилизации шеи [25]. Если во время операции в сознании необходима интраоперационная интубация, показан подход с использованием видеоларингоскопа [21].

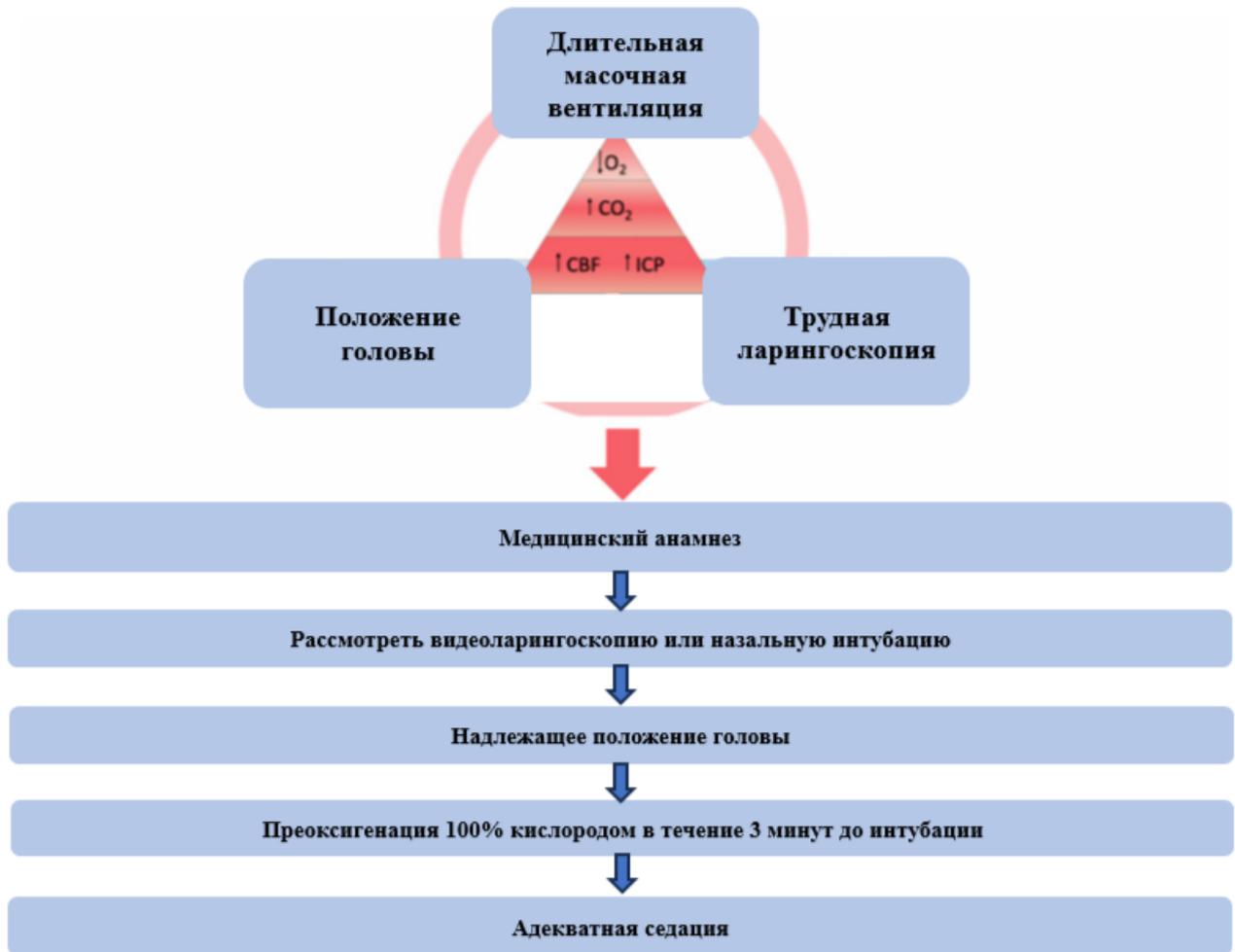
Во время эндотрахеальной интубации крайне важно избегать гипоксии, обеспечивая адекватную преоксигенацию. Настоятельно рекомендуется трехминутная преоксигенация со 100% фракцией вдыхаемого кислорода (FiO_2) или короткий период высокопоточной назальной оксигенации [26]. Риск гиперкапнии и гипертонии можно снизить, используя соответствующий уровень седации для притупления симпатической реакции на интубацию [21]. Кроме того, необходимо соблюдать осторожность, чтобы не допустить вращения шеи, которое может привести к сдавливанию яремных вен и повышению внутригрудного давления и ВЧД [27]. *Weintraub et al.* предполагают, что длительное (>12 мин) переразгибание шеи может предрасполагать к периоперационному инсульту из-за временных изменений кровотока [28]. На модели свиней было показано, что быстрая последовательная интубация с использованием миорелаксантов, по-видимому, приводит к трехкратному увеличению пика ВЧД по сравнению с применением только седации [29].

Кроме того, как рекомендует Руководство Американского общества анестезиологов, во время фазы интубации принципиально важно использовать мониторинг $EtCO_2$ в качестве стандарта анестезиологического мониторинга для обеспечения адекватной вентиляции на протяжении всей хирургической процедуры. Это чрезвычайно полезно для нейрохирургических пациентов, также из-за линейной связи между $PaCO_2$ и мозговым кровотоком. В подтверждение этого, недавнее исследование показало, что $PaCO_2$ может снижаться без существенного изменения значения $EtCO_2$, у пациентов с операциями на шейном отделе позвоночника при изменении положения лежа на спине на положение лежа на животе, что позволяет предположить, что $EtCO_2$ можно использовать в качестве надежного ориентира для оценки $PaCO_2$ также во время процедур на шейном отделе позвоночника в положении лежа на животе [30].

В любом случае, наилучшей стратегией управления дыхательными путями, по-видимому, является та, которая имеет наибольшую вероятность успеха интубации трахеи с первой попытки, учитывая знания оператора, и с наименьшим влиянием на



пациентов [24]. На **Рисунке 1** обобщены вопросы управления дыхательными путями у нейрохирургических пациентов.



CBF – мозговой кровоток; ICP – внутричерепное давление

Рисунок 1. Управление дыхательными путями у нейрохирургических пациентов.

СТРАТЕГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Защитная ИВЛ подразумевает использование низких дыхательных объемов (V_T) (6–8 мл/кг) и умеренного положительного ПДКВ [31]. Хотя было показано, что стратегия защитной ИВЛ снижает частоту послеоперационных легочных осложнений в других хирургических контекстах [3,32-34], ее использование у нейрохирургических пациентов является спорным.

В этом направлении использование низкого V_T во время защитной ИВЛ может привести к гиперкапнии с последующими вредными эффектами, такими как церебральная вазодилатация и повышенное ВЧД [35-37]. Кроме того, ПДКВ может повышать внутригрудное давление с потенциальным риском внутричерепной гипертензии из-за уменьшения оттока из яремных вен [7]. По тем же причинам будущее



исследование допустимой гиперкапнии, названное «*PERMISS*», будет явно исключать нейрореанимационных пациентов.

Оптимальные параметры ИВЛ при нейрохирургической анестезии еще предстоит определить [38]. Апостериорный анализ исследования *LAS VEGAS* показал, что нейрохирургические пациенты обычно вентилировались с низким V_T (медиана 8 мл/кг (межквартильный размах = 7,3–9) и низким ПДКВ (медиана 5 см H_2O (межквартильный размах = 3–5), в то время как рекрутмент-маневры применялись редко (6,9% против 1,4% незапланированных) [39]. В этом анализе аналогичная частота послеоперационных легочных осложнений (незапланированная потребность в оксигенотерапии, дыхательная недостаточность, ОРДС, пневмония, пневмоторакс) была обнаружена как у пациентов, перенесших хирургическое вмешательство на позвоночнике, так и у пациентов, перенесших хирургическое вмешательство на головном мозге, и интраоперационные настройки ИВЛ не были связаны с ними [39].

Дыхательный объем

Конкретные данные о порогах V_T у нейрохирургических пациентов ограничены в периоперационном периоде. Знания о влиянии V_T на мозг получены из исследований, проведенных, в частности, на критически больных пациентах с ЧМТ из когорт ОИТ. В недавнем мета-анализе, проведенном у 5639 пациентов с острым повреждением мозга, находящихся на ИВЛ, не было выявлено различий в смертности у пациентов, находящихся на ИВЛ с низким V_T (<8 мл/кг), по сравнению с высоким V_T (≥ 8 мл/кг) [OR 0,88 (95% ДИ 0,74–1,05), p 0,16, $I^2=20\%$] [40], но был показан значительный риск послеоперационных легочных осложнений в группе высокого V_T (>10 мл/кг) [41].

Риск низкого V_T , это потенциальный эффект гиперкапнии, который может быть вредным для церебральной гемодинамики. Как известно, из-за линейной зависимости между $PaCO_2$ и мозговым кровотоком [42] и из-за периваскулярного ацидоза, в случае повышенного CO_2 может возникнуть цереброваскулярная вазодилатация и последующая внутричерепная гипертензия. Учитывая отсутствие конкретных рекомендаций и если низкий V_T не сопровождается гиперкапнией, текущие знания позволяют оценить осуществимость защитной ИВЛ у нейрохирургических пациентов [43], применяя низкий V_T (6–8 мл/кг) [44-47], в идеале регулируя его в соответствии с размером легких [43] с целью уменьшения частоты послеоперационных легочных осложнений [9], минимизации альвеолярного перерастяжения и разрыва, а также повреждения легких, связанного как с системным, так и с альвеолярным воспалением, и устанавливая его для достижения нормальных уровней $PaCO_2$ [42,48].

ПДКВ и маневры рекрутмента



Титрование ПДКВ может предотвратить альвеолярный де-рекрутмент, уменьшить ателектаз и внутрилегочный шунт и тем самым улучшить оксигенацию и механику легких [49]. Применение маневров рекрутирования по-прежнему является спорным у нейрохирургических пациентов из-за опасений по поводу повышения ВЧД, особенно у пациентов с нарушенной церебральной ауторегуляцией [50]. Фактически, риск внутричерепной гипертензии из-за повышения внутригрудного давления и снижения церебрального венозного оттока традиционно считается проблемой у этих пациентов [9], хотя последние данные свидетельствуют о том, что применение ПДКВ может не повышать ВЧД при условии сохранения среднего артериального давления [51,52]. Кроме того, снижение венозного возврата и сердечного выброса может снизить среднее артериальное давление, что ставит под угрозу церебральное перфузионное давление (ЦПД) с риском развития церебральной ишемии [53].

Данные о ПДКВ у нейрохирургических пациентов противоречивы. В прошлом ПДКВ использовалось для профилактики и лечения венозной воздушной эмболии, которая может возникнуть во время краниотомии в положении сидя [54] из-за эффекта увеличения давления в правом предсердии и периферических венах, что препятствует поступлению воздуха в центральный кровоток [54]. Однако более поздние знания не продемонстрировали снижения частоты венозной эмболии у пациентов, вентилируемых с помощью ПДКВ. [55] Кроме того, ПДКВ, по-видимому, связано с повышенным риском парадоксальной воздушной эмболии в специфическом сценарии у пациентов с открытым овальным окном. [56,57].

Исторически врачи были осторожны в отношении титрования ПДКВ из-за опасений по поводу повышения внутригрудного давления и ВЧД. В настоящее время у нейрохирургических пациентов, хотя важно осторожно сосредоточиться на гемодинамическом статусе, респираторной механике и морфологии легких [58] и контролировать ВЧД у тех, кто находится в группе риска, ПДКВ следует использовать с теми же принципами, что и для общей популяции пациентов ОИТ.

Подобно ПДКВ, рекрутмент-маневры увеличивают внутригрудное давление и приводят к пагубному влиянию на ВЧД, хотя стратегия набора с контролем давления может улучшить оксигенацию, уменьшая возрастание ВЧД [59,60]. Рандомизированное клиническое исследование, проведенное на нейрохирургических пациентах с целью понять осуществимость защитной ИВЛ, обнаружило корреляцию между маневрами рекрутирования и гемодинамическими нежелательными явлениями (например, гипотензией) [43].

Короче говоря, высокие уровни ПДКВ и рекрутмент-маневры обычно избегают и используют только в случаях тяжелой гипоксемии под строгим контролем нейромониторинга [36]. Кроме того, следует рассмотреть оптимизацию внутрисосудистого объема перед индукцией анестезии для поддержания стабильной гемодинамики [61].



Плато и движущее давление

Давление плато (P_{plat}), которое отражает давление, прикладываемое в конце вдоха к малым дыхательным путям, и движущее давление (ΔP), определяемое как разница между P_{plat} и ПДКВ, могут привести к вентилятор-индуцированному повреждению легких [62,63]. Вторичный анализ пяти РКИ и постфактум-анализ большого многоцентрового обсервационного исследования, проведенного у пациентов с ОРДС, обнаружили четкую корреляцию между P_{plat} в первый день ИВЛ и смертностью [64,65]. Исследование *ARDSnet*, проведенное у пациентов с ОРДС, показало, что риск смертности был ниже (31% против 39,8%) у пациентов, получавших лечение с более низким V_T (6 мл/кг) и более низким P_{plat} (<30 смН₂О) по сравнению с $V_T=12$ мл/кг [66]. Связь ΔP с ОРДС была обнаружена у пациентов с травмой головного мозга [67,68].

Текущие руководства рекомендуют, чтобы защитная ИВЛ включала низкое P_{plat} с пороговым значением ниже 20 смН₂О [43] с верхним пределом до 30 смН₂О в случае сопутствующего ОРДС [2,45-47] и низкое ΔP (<14 смН₂О), особенно в случае сопутствующих заболеваний ОРДС и ЧМТ, чтобы предотвратить повреждение легких [68]. Потенциальные предостережения для пациентов с церебральными повреждениями могут заключаться в том, что выигрыш от снижения P_{plat} часто достигается за счет снижения V_T , что может привести к гиперкапнии и ее потенциальным вредным эффектам, которые описаны выше [69], поэтому всегда рекомендуется сбалансированный и индивидуальный подход.

Механическая мощность

Механическая мощность (ММ) — это общее количество энергии, передаваемое вентилятором в дыхательную систему во время каждого цикла дыхания. Обсервационные данные показывают, что ММ может быть потенциальным медиатором вентилятор-индуцированного повреждения легких во время инвазивной ИВЛ у пациентов с ОРДС [70]. Сильные связи между ММ и результатами были описаны у различных категорий пациентов на инвазивной ИВЛ в ОИТ [71,72], и даже короткие периоды с высокой ММ связаны с худшими результатами [73]. Однако в настоящее время неясно, можно ли экстраполировать эти результаты на пациентов, находящихся на ИВЛ во время операции, и существуют ли подобные связи у пациентов нейрореанимации как в отделении интенсивной терапии, так и в операционной.

Конкретные данные о ММ у нейрохирургических пациентов отсутствуют. Исследование, оценивающее связь между ММ и частотой послеоперационных легочных осложнений у пациентов, перенесших общую анестезию, показало, что воздействие высоких значений ММ было связано с повышенным риском послеоперационных легочных осложнений (OR 1,34, 95% ДИ, 1,17–1,52); $p < 0,001$) и острой



дыхательной недостаточностью (OR 1,40, 95% ДИ, 1,21–1,61; $P < 0,001$) в первые семь дней после операции [74]. Проспективное наблюдательное исследование, оценивающее эффекты ММ в интраоперационных условиях, сообщило, что высокая ММ ($12,9 \pm 4,5$ Дж/мин) является фактором риска развития послеоперационных легочных осложнений, предлагая 12 Дж/мин в качестве порогового значения ММ для предотвращения осложнений [75]. *Jiang et al.* обнаружили, что высокий уровень ММ увеличивает риск госпитальной смертности, длительного пребывания в ОИТ и снижает количество дней без ИВЛ [76]. Соответственно, вторичный анализ исследования *ENIO*, включающего 1217 пациентов с острыми церебральными повреждениями, которым требовалась ИВЛ, обнаружил, что воздействие высокого уровня ММ связано с плохими клиническими исходами (необходимостью повторной интубации, наложением трахеостомы и развитием ОРДС) [67].

Кроме того, остается неясным, есть ли связь между низкой ММ и улучшением исхода с тем фактом, что менее тяжелые пациенты по своей природе реже имеют поврежденные легкие, или у них легкие повреждены в меньшей степени. Здесь важно отметить, что ММ часто бывает низкой у пациентов нейрореанимации, поскольку их легкие обычно не повреждены [77]. Связь высокой ММ со смертностью сообщается как у пациентов с ОРДС [78], так и у пациентов без ОРДС [79], значение ММ < 17 Дж/мин, связанное с соответствующими значениями газообмена и гемодинамики [80], должно быть целью. Из данных, представленных в пост-анализе исследования *LAS VEGAS* у нейрохирургических пациентов, медианное значение ММ составило 6,2 Дж/мин [39], что предполагает защитный подход, обычно применяемый в этой популяции.

Основной и самый простой способ снизить ММ — это снизить V_T [81]. Однако частота дыхания также играет роль в ММ, и, если снижение V_T приводит к значительному увеличению частоты дыхания, есть вероятность, что ММ может фактически увеличиться. Кроме того, неясно, можно ли допустить повышение уровня $PaCO_2$ для снижения ММ, или, скорее, какой уровень $PaCO_2$ можно принять, чтобы максимально защитить как мозг, так и легкие.

Газообмен

Модуляция уровней кислорода и углекислого газа является главным приоритетом для предотвращения вторичного повреждения мозга [14]. На основании современных знаний точные пороговые значения газообмена у нейрохирургических пациентов остаются спорными, но рекомендуемый целевой диапазон у пациентов с травматическим повреждением мозга, по-видимому, составляет 80–120 мм рт. ст. PaO_2 независимо от повышения ВЧД и 35–45 мм рт. ст. $PaCO_2$ в случае отсутствия повышения ВЧД [82]. В целом, следует стремиться к нормоксемии и нормакапнии, основываясь



на индивидуализации значений PaO_2 и $PaCO_2$ для конкретного пациента и заболевания.

Гипоксемия и гипероксемия могут быть физиологически вредными. Современные знания связывают гипоксемию с прогрессированием ишемии и риском повреждения мозга, а гипероксемию с потенциальным окислительным повреждением из-за активации активных форм кислорода [83], но на самом деле данные неоднозначны. Исследование показало, что высокий FiO_2 может использоваться у пациентов с вторичным повреждением мозга без каких-либо негативных эффектов и без увеличения воспалительных маркеров и частоты легочных осложнений [84], в то время как другие исследования показали повышенный риск смерти в случае повышенного PaO_2 [85]. В этом смысле оксигенация должна строго контролироваться с поддержанием $SpO_2 >94\%$ [86,87].

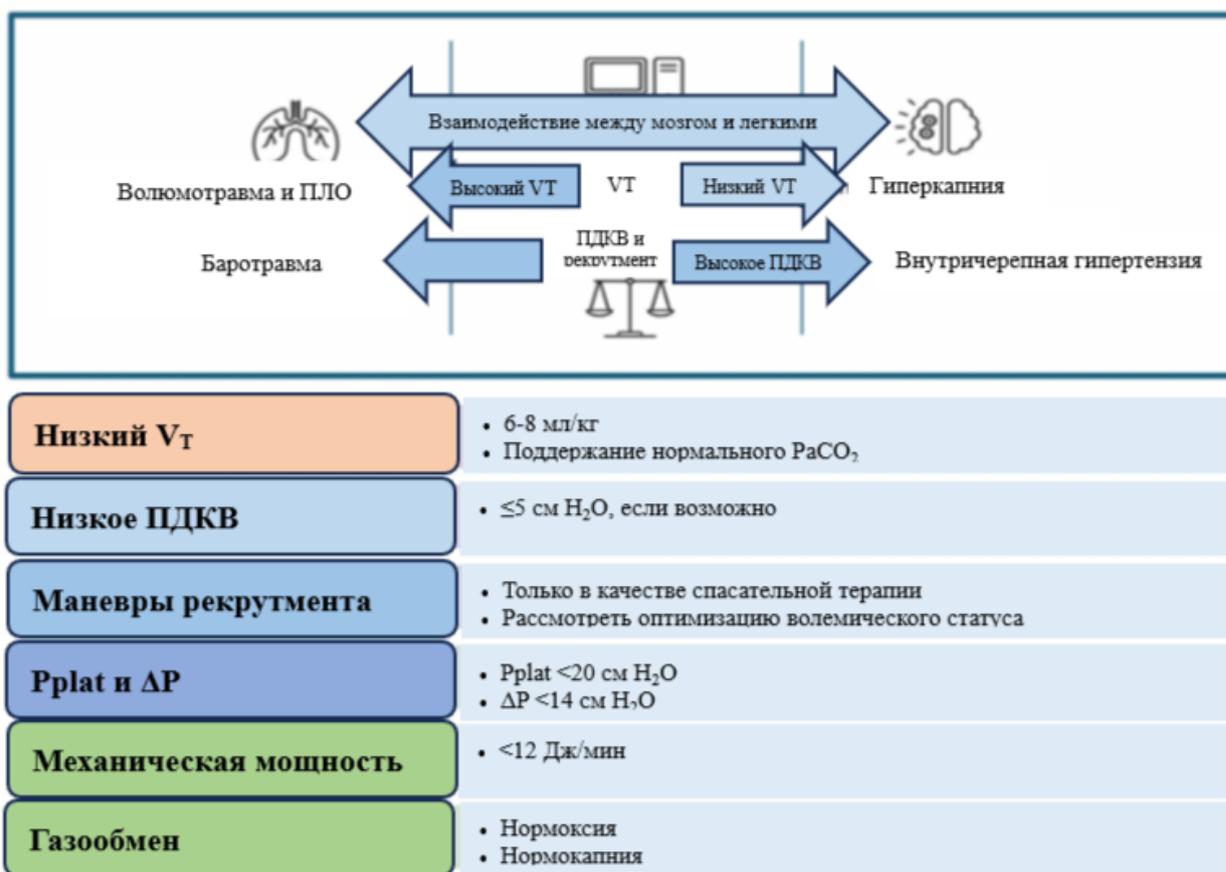
$PaCO_2$ является ключевым медиатором мозгового кровотока [42]. Цереброваскулярная вазодилатация и последующая внутричерепная гипертензия могут возникнуть в случае повышенного $PaCO_2$; этот эффект опосредован снижением периваскулярного pH. И наоборот, низкое значение $PaCO_2$ может привести к церебральной вазоконстрикции через периваскулярный алкалоз, что потенциально приводит к гипоксии мозговой ткани и церебральной гипоперфузии [88]. Гипокапния связана с повреждением нейронов мозга и апоптозом [89]; экстремальная гиперкапния также должна быть предотвращена [88]. Рандомизированное клиническое исследование интраоперационной защитной ИВЛ у пациентов, перенесших нейрохирургические операции/процедуры, проведенное на 60 пациентах, поровну разделенных на контрольную группу (V_T 10 мл/кг, частота 6–8 вдохов/мин, без ПДКВ и без маневров рекрутирования) и группу стратегии защитной ИВЛ ($V_T \leq 6$ мл/кг, частота дыхания 16 вдохов/мин, ПДКВ 5 см H_2O , маневр рекрутирования обычно применялся после интубации), обнаружило более высокие значения $PaCO_2$ в группе стратегии (среднее $PaCO_2$ 35,5 мм рт. ст. против 37,1 мм рт. ст.), хотя разница не была клинически значимой ($p = 0,002$) [43]. Этот результат должен быть подтвержден более крупными исследованиями, но снова предполагает, что следует рекомендовать персонализированный подход к параметрам ИВЛ для каждого пациента.

Недавний вторичный анализ исследования *ENIO* предполагает, что $PaCO_2$ имеет U-образную связь, где экстремальные значения гипокапнии (<25 мм рт. ст.) и гиперкапнии (>45 мм рт. ст.) были связаны с внутрибольничной смертностью у пациентов с острой ЧМТ в ОИТ, что свидетельствует против экстремальных значений $PaCO_2$ [9]. Кроме того, нормальные значения $PaCO_2$ связаны с уменьшением смертности и могут улучшить исход у пациентов с ЧМТ [91]. Вероятно, из-за опасений по поводу потенциального повышения ВЧД, традиционно пациентам с ЧМТ часто проводили гипервентиляцию [92]. Это было подтверждено в постфактум-анализе исследования *LAS VEGAS*, где были обнаружены более низкие уровни $EtCO_2$ (32 мм рт. ст.



против 33 мм рт. ст.) у пациентов, перенесших операцию на головном мозге, по сравнению с теми, кто перенес операцию на позвоночнике [39]. Более низкие значения PaCO_2 могут быть направлены на управление внутричерепной гипертензией, но терапевтическая гипервентиляция может рассматриваться как вариант при угрозе вклинения мозга в качестве спасательной терапии на короткие периоды (15–30 мин), в то время как организуются радикальные методы лечения для управления ВЧД (например, срочная операция) [93]. Текущие знания предполагают, что следует полностью избегать $\text{PaCO}_2 < 25$ мм рт. ст. из-за потенциального риска вазоконстрикции, снижения мозгового кровотока и повышенного риска церебральной ишемии. При отсутствии риска вклинения PaCO_2 следует поддерживать в пределах от 35 до 38 мм рт. ст. или от 32 до 35 мм рт. ст. в случае рефрактерной внутричерепной гипертензии [42].

На **Рисунке 2** обобщены проблемы и параметры ИВЛ, которые можно использовать у нейрохирургических пациентов.



ПЛО – послеоперационные легочные осложнения; **P_{plat}** – давление плато; **ΔP** – движущее давление; **V_T** – дыхательный объем.

Рисунок 2. Параметры искусственной вентиляции легких у нейрохирургических больных.



Продолжающиеся исследования ИВЛ у нейрохирургических пациентов

Недавнее исследование, посвященное искусственной вентиляции легких у нейрохирургических пациентов (NCT02386683) с целью изучения эффективности стратегии защитной ИВЛ во время общей анестезии для нейрохирургических процедур на послеоперационный легочный исход по сравнению с традиционной вентиляцией, было завершено, но результаты до сих пор не опубликованы. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы понять лучшую стратегию интраоперационной вентиляции у нейрохирургических пациентов.

ЛЕЧЕНИЕ ИНТРАОПЕРАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИСКУССТВЕННУЮ ВЕНТИЛЯЦИЮ ЛЕГКИХ

Различные состояния, связанные с нейрохирургическими заболеваниями, могут влиять на проведение ИВЛ, включая интраоперационные судороги, кризы ВЧ и венозную воздушную эмболию.

Во время операции в сознании, например, в случае судорог и эпилептического статуса, холодная вода или холодный искусственный цереброспинальный раствор могут быть использованы на поверхности мозга для прекращения судорог [94]. Однако в случае продолжающихся судорог переход на общую анестезию с защитой дыхательных путей является обязательным [94].

У пациентов, находящихся под общим наркозом, распознавание судорог может быть затруднено, и единственными признаками могут быть тахикардия и гипертония в результате выброса катехоламинов. [21].

Необходимо предотвращать и агрессивно управлять повышением ВЧД. Соответствующая седация и мышечная релаксация обязательны при анестезии, чтобы контролировать ВЧД путем снижения метаболических потребностей, асинхронности вентиляции, венозного застоя и симпатических реакций [21].

Необходим строгий интраоперационный мониторинг ВЧД или косвенных признаков, таких как изменения зрачков и сердечные аритмии [95], направленный на поддержание церебрального перфузионного давления и реализацию мер защиты мозга для снижения потребности мозга в кислороде. Мониторинг EtCO₂ может помочь предотвратить дополнительное повышение ВЧД из-за гиперкапнии [21].

Более того, венозная воздушная эмболия может возникнуть во время нейрохирургических процедур, когда существует открытое сообщение между окружающей средой и венозным сосудом с давлением ниже атмосферного, особенно при сидячем или полусидячем положении пациента (например, краниотомия задней черепной ямки), хотя этот риск был также выявлен во время поясничной ламинэктомии в положении лежа на животе [96,97]. Сатурация, гипотензия [98], одышка, боль в груди и тошнота в виде внезапного падения артериального давления и значения EtCO₂ являются весьма репрезентативными признаками воздушной эмболии, что



предполагает мониторинг EtCO₂ как полезный инструмент для предотвращения этого состояния [99].

ЭКСТУБАЦИЯ И ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫЕ ЛЕГОЧНЫЕ ОСЛОЖНЕНИЯ

Важные соображения при определении готовности к экстубации после нейрохирургических процедур включают потенциальную обструкцию верхних дыхательных путей, связанную с различными состояниями, которые могут развиваться во время операции. Пациенты, перенесшие операцию на шейном отделе позвоночника, крупную операцию на голове и шее, ожирение и синдром обструктивного сонного апноэ, имеют значительно более высокий риск неудачи экстубации [100].

Факторы риска обструкции дыхательных путей включают длительное время операции (>5 ч), кровопотерю >300 мл, манипуляции выше позвонка С4, миелопатию, операции с вовлечением >3 тел позвонков и использование переднезаднего доступа [101]. Кроме того, стеноз глотки, приводящий к обструкции дыхательных путей после экстубации, был описан после переднего доступа при хирургии шейного отдела позвоночника, включающей С0-С2, из-за паралича возвратного гортанного нерва и чрезмерного сгибания во время фиксации шеи, вызывающего выпячивание тела позвонка С2 в стенку глотки [102-104]. Аналогичным образом, отек гортани возможен после операций на позвоночнике в положении лежа на животе [105].

В основном у нейрохирургических пациентов во время фазы пробуждения и экстубации важно избегать гипертонии и кашля, чтобы снизить риск кровотечения и утечки цереброспинальной жидкости [106]. Текущие знания не позволяют определить правильное время или процедуру проведения экстубации у нейрохирургических пациентов, но нельзя отрицать, что ранняя и безопасная экстубация может снизить частоту послеоперационных легочных осложнений, уменьшая продолжительность ИВЛ.

В нейрохирургии возникновение послеоперационных легочных осложнений тесно связано с неврологическим дефицитом и оказывает значительное влияние на качество жизни пациентов [107-109]. Интраоперационная ИВЛ играет важную роль в развитии легочных осложнений, таких как ателектаз, пневмония и инфекции [88]. Нейрохирургические процедуры признаны высокорисковыми для возникновения послеоперационных легочных осложнений [110], которые отрицательно влияют на заболеваемость и смертность [111], особенно в течение первой послеоперационной недели [112].

По оценкам, у пациентов, перенесших нейрохирургические операции, послеоперационные легочные осложнения развиваются у 13% пациентов, что существенно влияет на клинические результаты [34,39,43,113].



Нейрохирургические пациенты, перенесшие краниотомию [114], а также пациенты, перенесшие операцию на задней черепной ямке, подвержены более высокому риску развития послеоперационных легочных осложнений из-за потенциальной механической обструкции, центральной дыхательной и нервно-мышечной дисфункции [115]. Кроме того, синдром обструктивного сонного апноэ является часто встречающимся состоянием при поражениях задней черепной ямки [116]. Недавнее исследование проанализировало частоту послеоперационных легочных осложнений у пациентов, перенесших краниотомию по поводу опухолей задней черепной ямки, и обнаружило, что наиболее важными предикторами были послеоперационное переливание крови, длительное пребывание в ОИТ и трахеостомия, а также связь послеоперационных легочных осложнений с более длительным пребыванием в ОИТ и больнице и повышенной смертностью [117].

В этом смысле стратегии защитной ИВЛ, включающие использование низкого V_T , низкого ПДКВ и низкого P_{plat} , по-видимому, снижают риск послеоперационных легочных осложнений [2], но их применение у нейрореанимационных пациентов все еще обсуждается. Недавнее РКИ показало, что защитная ИВЛ осуществима для нейрохирургических пациентов, не сообщая об отсутствии различий в интраоперационных нежелательных явлениях между группами сравнения [43].

Пост-анализ исследования *LAS VEGAS*, сфокусированный на нейрохирургических пациентах, перенесших операцию на головном мозге или позвоночнике, не выявил различий в частоте возникновения послеоперационных легочных осложнений в группах, перенесших операцию на позвоночнике и головном мозге, а также не выявил связи между интраоперационными настройками аппарата ИВЛ и послеоперационными легочными осложнениями [39].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многие вопросы, касающиеся ИВЛ у нейрохирургических пациентов, остаются нерешенными и до сих пор являются предметом дискуссий.

Нейрохирургические пациенты представляют трудности для периоперационного анестезиологического ведения. Основные трудности включают необходимость использования защитной ИВЛ для предотвращения повреждения легких и одновременного избегания вторичного повреждения мозга.

Во-первых, у этих пациентов может быть сложнее управлять дыхательными путями. Некоторым может потребоваться иммобилизация шейного отдела позвоночника, что затрудняет стандартную процедуру во время ларингоскопии. На хрупкую церебральную динамику этой группы пациентов влияет неестественное положение головы, что может нарушить церебральный венозный отток и увеличить риск ишемии. Риск гиперкапнии, связанный с задержкой вентиляции или низким V_T , может привести к увеличению мозгового кровотока с риском высокого ВЧД, что опасно для



динамики пациентов и риска кровотечения. Стратегии защитной ИВЛ, обычно рекомендуемая для пациентов абдоминальной хирургии из-за ее защитного эффекта в отношении послеоперационных легочных осложнений, должна применяться у нейрохирургических пациентов с особым вниманием. Допустимая гиперкапния и более высокий уровень ПДКВ могут иметь пагубные последствия. Строгий мониторинг необходим во время операции, чтобы предотвратить возможные интраоперационные состояния, которые могут повлиять на проведение ИВЛ, судороги или кризы ВЧД.

Большая часть знаний в этой области получена из исследований в отделении нейрореанимации или из исследований, проведенных на пациентах общей хирургии. Необходимо сильное заявление о большем количестве доказательств и специфических для нейрохирургических пациентов, чтобы понять специфический порог вентиляции и риски в этой популяции, возможно, различая пациентов, перенесших хирургическое вмешательство на мозге и позвоночнике. В ожидании новых результатов, поскольку в настоящее время нет окончательных доказательств осуществимости использования стратегий защитной ИВЛ в краниальной и спинальной хирургии, мы подчеркиваем важность использования этой стратегии для снижения риска вторичного церебрального повреждения. Это включает титрование параметров ИВЛ в соответствии с потребностями конкретного пациента и характеристиками заболевания со строгим мониторингом.

**БИБЛИОГРАФИЯ ДОСТУПНА В ОРИГИНАЛЬНОЙ АНГЛОЯЗЫЧНОЙ
ВЕРСИИ ДАННОЙ СТАТЬИ ПО АДРЕСУ:**

Current Anesthesiology Reports (2024) 14:512–524

<https://doi.org/10.1007/s40140-024-00644-x>