

## Физиологические эффекты струйной высокочастотной вентиляции легких при внутричерепной гипертензии

Д. В. Почепко, Б. Д. Зислин

Клинический институт мозга и проблемная лаборатория «Высокочастотная вентиляция легких» Средне-Уральского научного центра РАМН, ГКБ №40, ООО фирма «Тритон-ЭлектроникС». Екатеринбург.

### Резюме

У 9 больных в возрасте 34-58 лет с синдромом острой церебральной недостаточности (<8 баллов по шкале Glasgow) в условиях двух видов искусственной вентиляции легких: традиционная с контролем по давлению (ИВЛ) и струйная высокочастотная вентиляция (ВЧ ИВЛ) исследованы параметры церебральной гемодинамики

Установлено, что при использовании ВЧ ИВЛ, в отличие от традиционной вентиляции, наблюдается сдерживание прогрессирования внутричерепной гипертензии.

Отчетливый благоприятный эффект ВЧ ИВЛ при церебральной гипертензии реализуется за счет особенностей ее респираторной механики, обусловленной высокой частотой вентиляции и низкими величинами пикового давления.

**Ключевые слова:** высокочастотная вентиляция легких, внутричерепная гипертензия.

В том, что у больных с острой церебральной недостаточностью, сопровождающейся внутричерепной гипертензией (ВЧГ), необходимо применять искусственную вентиляцию легких (ИВЛ), ни у кого сомнений не вызывает. Считается [1, 2], что целесообразность использования ИВЛ связана не столько с преодолением дыхательных расстройств (они у многих больных отсутствуют), сколько с возможностью, путем использования режима гипервентиляции, воздействовать на тонус пилорно-капиллярных сосудов, добиться повышения периферической вазоконстрикции и, тем самым, уменьшить объем внутричерепной фракции кровотока, что приводит к увеличению краниоспинального комплайнса и снижению внутричерепной гипертензии. Кроме того, интубация трахеи позволяет получить свободный доступ к дыхательным путям и обеспечить полноценную их санацию у больных с нарушенным кашлевым рефлексом, нередко находящихся в бессознательном состоянии.

В настоящее время накоплен весьма обширный материал, посвященный воздействию ИВЛ на системную гемодинамику, которое не ограничивается только влиянием газового состава крови. Имеются исследования, указывающие на зависимость сосудистого тонуса от биомеханических эффектов ИВЛ, в частности, от влияния давления в дыхательных путях и транспульмонального давления на барорецепторы, локализующиеся в легких, легочной артерии и сердце [3, 4]. Что касается работ о цереброваскулярных эффектах высокочастот-

ной струйной вентиляции (ВЧ ИВЛ), то их явно недостаточно для того, чтобы сформировались определенные взгляды на этот аспект. Вот почему вопрос о взаимоотношении вентиляции и мозгового кровотока в нейроаниматологии следует признать весьма актуальным.

Особенно актуальным является исследование вопроса о влиянии ВЧ ИВЛ на уровень внутричерепной гипертензии, поскольку именно она, являясь одним из основных физиологических эквивалентов тяжести поражения мозга, в значительной степени определяет прогноз течения церебральной недостаточности. Имеются веские основания предполагать, что такие особенности физиологических эффектов ВЧ ИВЛ как низкие величины давления в дыхательных путях и транспульмонального давления должны оказать позитивное влияние на ауторегуляцию мозгового кровотока, способствовать повышению краниоспинального комплайнса и, в конечном итоге, привести к снижению уровня внутричерепного давления. Между тем, приходится констатировать, что проблема мозгового кровообращения при ВЧ ИВЛ практически не изучалась. Нам известны лишь единичные работы, так или иначе связанные с изучением церебральной гемодинамики при этом способе вентиляции.

Отмечено снижение кровенаполнения мозга при переходе с традиционной на высокочастотную вентиляцию [5]. Имеются указания, что ВЧ ИВЛ может оказать благоприятное влияние на внутричерепное давление при цереб-

ральной гипертензии, вызванной мозговым кровоизлиянием [6]. В эксперименте было установлено снижение внутричерепного давления (ВЧД) и увеличение краниоспинального комплайенса при струйной ВЧ ИВЛ [7]. Лишь в одной публикации приводятся данные исследования 11 больных с внутричерепной гипертензией, у которых удалось снизить внутричерепное давление при подключении ВЧ ИВЛ в среднем на 7 мм рт. ст. [8]. В отечественной литературе исследований по этой проблеме нам не известно. Лишь И. В. Молчанов в лекции об интенсивной терапии изолированной черепно-мозговой травмы замечает, что использование ВЧ ИВЛ повышает внутричерепное давление [9]. Мы в 2005 году опубликовали результаты доплерографических исследований 18 больных с внутричерепной гипертензией, у которых при переходе с традиционной вентиляции на ВЧ ИВЛ удалось зарегистрировать снижение сосудистого сопротивления и повышение резерва дилатации в пiallyно-капиллярном бассейне [10]. Однако, поскольку доплерографический метод не позволял получить достоверную информацию об уровне внутричерепного давления, было изучено лишь влияние ВЧ ИВЛ на тонус сосудов пiallyно-капиллярной системы мозга (сосудистый комплайнс) и косвенно увязано с уровнем внутричерепного давления.

## Материал и методы исследования

Исследованы параметры церебральной гемодинамики у 9 больных в возрасте 34–58 лет при острой церебральной недостаточности (<8 баллов по шкале Glasgow) в условиях двух видов искусственной вентиляции легких: традиционная с контролем по давлению (ИВЛ) и струйная высокочастотная вентиляция (ВЧ ИВЛ). Причиной церебральной недостаточности были: субарахноидальное кровоизлияние (3 пациента), субарахноидально-паренхиматозно-вентрикулярное кровоизлияние (3), внутримозговая гематома (2), закрытая черепная травма (1 пациент).

Внутричерепное давление (ICP) регистрировалось интракраниальным субдуральным датчиком «Godman» (Datex, Finland). Параметры церебральной гемодинамики определялись доплерографическим методом аппаратом «Companion» (Nicolet, USA). На основании регистрации линейной скорости мозгового кровотока (V) рассчитывались: пульсационный (Pi) и резистивный (Ri) индексы, отражающие гидродинамическое сопротивление пiallyно-капиллярных сосудов мозга, а также коэффициент овершута (KO), характеризующий способность (резерв) дилатации пiallyно-капиллярных сосудов.

Пульсационный индекс рассчитывался по формуле:

$$Pi=(V_s-V_d)V_m^{-1},$$

где  $V_s$  и  $V_d$  систолическая и диастолическая скорости,  $V_m$  — средняя линейная скорость мозгового кровотока ( $V_m=[V_s+2V_d]\times 3^{-1}$  см/с).

Резистивный индекс рассчитывался по формуле:

$$Ri=(V_s+V_d)V_s^{-1}$$

Коэффициент овершута определялся при проведении каротидного компрессионного теста следующим образом: после регистрации  $V_m$ , на 5–10 сердечных циклов проводилось пережатие ипсилатеральной общей сонной артерии и после восстановления кровотока вновь регистрировалась  $V_m$ . Коэффициент овершута рассчитывался по формуле:

$$KO=V_{m_2}/V_{m_1},$$

где  $V_{m_1}$  — средняя скорость кровотока до компрессии ипсилатеральной общей сонной артерии,  $V_{m_2}$  — средняя скорость первого-второго пиков после прекращения компрессии.

Традиционная вентиляция проводилась аппаратами фирмы Puritan Bennet (США), ВЧ ИВЛ — респиратором JV100 ZisLine® (ООО фирма «Тритон-ЭлектроникС», Екатеринбург). Регистрация параметров осуществлялась последовательно сначала при ИВЛ, затем при ВЧ ИВЛ спустя 2 часа от начала соответствующего способа вентиляции.

## Обсуждение результатов

В табл. 1 представлены материалы, характеризующие различия в параметрах респираторной механики, газообмена и церебральной гемодинамики при двух способах механической вентиляции легких: традиционной ИВЛ с контролем по давлению (PCV) и струйной высокочастотной вентиляции (ВЧ ИВЛ). Прежде всего следует отметить, что средний уровень внутричерепного давления у исследуемых больных превышал 25 мм рт. ст., что следует квалифицировать как выраженную церебральную гипертензию (нормальное ICP составляет  $\leq 15$  мм рт. ст.).

Материалы, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о более благоприятной ситуации, которая создается для процессов ауторегуляции мозгового кровотока при ВЧ ИВЛ. Так, уже спустя 2 часа после подключения ВЧ ИВЛ достоверно снижаются пульсационный (на 16%) и резистивный (на 10%) индексы, на 5% повышается резерв дилатации. Более чем в 1,5 раза снижается внутричерепное давление (ICP).

Все это указывает на активное включение в процесс компенсации внутричерепной гипертензии сосудистого комплайенса, что и приводит к снижению внутричерепного давления.

Таблица 1. Параметры респираторной механики, газового состава крови и церебральной гемодинамики при двух способах механической вентиляции легких

Параметры		Способ вентиляции		P*
		ИВЛ, (M±SD)	ВЧ ИВЛ, M±SD)	
F, /мин	n=9	14,2±2,53	101,2±1,09	<0,02
V <sub>T</sub> , л	n=9	9,3±2,5	19,7±4,2	<0,02
V <sub>E</sub> , л	n=9	0,67±0,12	0,19±0,04	<0,02
PIP, см вод. ст	n=9	19,1±2,98	14,6±2,3	<0,02
PEEP, см вод. ст.	n=9	5,04±0,05	2,9±1,3	<0,02
Ph	n=9	7,4±0,05	7,42±0,05	<0,02
PaO <sub>2</sub> , мм рт ст	n=9	122,6±16,9	146,8±53,3	>0,054
PaCO <sub>2</sub> , мм рт ст	n=9	36,8±1,2	37,4±1,8	>0,054
ICP, мм рт ст	n=14	27,6±16,4	18,15±12,2	<0,022
Pi	n=12	1,23±0,58	1,06±0,49	<0,048
Ri	n=12	0,64±0,16	0,58±0,16	<0,02
KO	n=8	1,1±0,09	1,16±0,09	<0,016

Примечание. \* — Критерий Уилкоксона.

Причины столь благоприятной динамики параметров церебрального кровообращения кроются в особенностях респираторной механики ВЧ ИВЛ. Высокая частота вентиляции сопровождается достоверно более низкими величинами дыхательного объема (V<sub>T</sub>), а также пикового (PIP) и конечного экспираторного (PEEP) давлений при отсутствии каких-либо отклонений в показателях газообменной функции легких.

Более детальные механизмы влияния параметров респираторной механики и газообмена на церебральную гемодинамику вскрываются при корреляционном анализе (табл. 2)

Анализ материала, помещенного в табл. 2, позволяет сформулировать ряд положений.

На величину внутричерепного давления влияют несколько факторов респираторной механики и газового состава крови: частота вентиляции (F) давление в дыхательных путях (PIP, PEEP), Ph, PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>.

Отрицательные корреляционные связи частоты вентиляции (F) с ICP, Pi и Ri, свидетельствуют о том, что при увеличении частоты

вентиляции должны снижаться как периферическое сопротивление в пиально-капиллярном бассейне, так и внутричерепное давление. Причем эта закономерность больше выражена при ВЧ ИВЛ (коэффициенты корреляции выше). Непосредственной корреляционной связи F с КО не проявляется.

Влияние частоты вентиляции на ВЧД при различных способах ИВЛ реализуется по-разному: при ИВЛ — за счет PEEP, при ВЧ ИВЛ — за счет PIP.

При обоих способах ИВЛ имеется положительная корреляционная связь параметров давления в дыхательных путях с показателями Pi и Ri и отрицательная связь с КО, что должно указывать на негативное их влияние на ауторегуляцию мозгового кровотока (с повышением частоты должны увеличиваться пиально-капиллярное сопротивление и снижаться резерв дилатации). Однако анализ данной ситуации позволяет уточнить сущность этого феномена и интерпретировать полученные факты следующим образом.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции параметров респираторной механики и газового состава крови с показателями церебральной гемодинамики

Параметры вентиляции, (n=9)	Параметры церебральной гемодинамики							
	ICP		Pi		Ri		KO	
	ИВЛ	ВЧ ИВЛ	ИВЛ	ВЧ ИВЛ	ИВЛ	ВЧ ИВЛ	ИВЛ	ВЧ ИВЛ
F	-0,6 P=0,05	-0,7 P=0,02	-0,5 P=0,03	-0,7 P=0,05	-0,5 P=0,04	-0,8 P=0,01	-	-
PIP	-	0,5 P=0,02	-	0,6 P=0,01	0,5 P=0,05	0,6 P=0,02	-0,7 P=0,04	-0,8 P=0,01
PEEP	0,5 P=0,03	-	0,5 P=0,05	-	0,5 P=0,05	-	0,5 P=0,05	-
Ph	-	-0,75 P=0,02	-	-0,3 P=0,05	-	-0,4 P=0,05	-	-
PaO <sub>2</sub>	-	0,8 P=0,008	-	-0,5 P=0,05	-	-0,5 P=0,05	-0,7 P=0,04	0,5 P=0,02
PaCO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	0,5 0,04	-

Увеличение частоты вентиляции при ВЧ ИВЛ всегда сопровождается снижением PIP (на данном материале теснота корреляционной связи F и PIP выражена коэффициентом корреляции равным -0,7;  $P=0,02$ ), что при прямой связи F с Pi и Ri неизбежно приведет к снижению этих параметров и, по правилу обратной связи, к увеличению КО. Таким образом, при увеличении частоты ВЧ ИВЛ включение ауторегуляции церебрального кровотока будет сопровождаться снижением ВЧД, что и подтверждается наличием обратной корреляционной связи F и ICP ( $R=-0,7$ ;  $P=0,02$ ). Повышение же конечного экспираторного давления (РЕЕР), которое всегда сопутствует увеличению частоты ВЧ вентиляции при отсутствии корреляционной связи F с Pi и Ri (табл. 2) не должно оказывать влияния на состояние ауторегуляции церебральной гемодинамики.

Совершенно иная картина наблюдается при традиционной вентиляции. При ней относительно небольшие частоты вентиляции, хотя и коррелируют с параметрами периферического сопротивления мозгового кровотока, однако реализации этой закономерности на практике не происходит. Дело в том, что увеличение частоты вентиляции свыше 20-25 циклов в минуту при традиционной ИВЛ у взрослых пациентов обычно не применяется из-за опасности возникновения гиповентиляции, вследствие неизбежного снижения дыхательного объема и нарушения взаимоотношений его с объемом анатомического мертвого пространства ( $VD/VT$ ). Таким образом, хотя, казалось бы, при традиционной вентиляции имеется возможность влиять на уровень ВЧД путем повышения частоты вентиляции, однако реализация ее не осуществима из-за опасности нарушения адекватности газообмена. Следует подчеркнуть, что значительное уменьшение частоты вентиляции при традиционной ИВЛ также недопустимо, т.к. низкие частоты вентиляции неизбежно сопровождаются увеличением дыхательного объема и PIP, которые по правилу отрицательной корреляционной связи приведут к уменьшению резерва дилатации — КО (табл. 2).

Основной закономерностью корреляционных связей традиционной вентиляции с параметрами ауторегуляции церебральной гемодинамики является прямая связь конечного экспираторного давления (РЕЕР) с ICP, Pi, Ri и обратная связь с КО. Отсюда следует, что повышение РЕЕР, которое в общей реаниматологии используется как весьма эффективный способ коррекции артериальной гипоксемии, будет неизбежно сопровождаться нарушением

ауторегуляции мозгового кровотока, выражающегося в повышении пинально-капиллярного сопротивления и снижением резерва дилатации, что может привести к прогрессированию внутричерепной гипертензии.

При анализе корреляционных связей параметров церебральной гемодинамики с газовым составом артериальной крови обращают на себя внимание несколько интересных фактов.

Газовый состав крови оказывает влияние на церебральную гемодинамику в основном только при ВЧ ИВЛ. Проявляется высокая теснота положительной корреляционной связи  $PaO_2$  с внутричерепным давлением (ICP) и средняя теснота с параметрами периферического сосудистого сопротивления (Pi, Ri). Следовательно, при гипероксии, которая может сопутствовать ВЧ ИВЛ, особенно если она проводится аппаратами старых конструкций, имеется реальная опасность сосудистого спазма и повышения ICP. Избежать этого удастся при постоянном мониторинге  $O_2$  в инспираторной фракции дыхательной смеси ( $FiO_2$ ) и пристальным вниманием к поддержанию хорошей проходимости дыхательных путей (полноценная санация), обеспечивающей относительно умеренные величины  $FiO_2$ .

Также только при ВЧ ИВЛ имеется сильная обратная корреляционная связь ICP с Ph, что является некоторым подтверждением бытующего еще и сегодня в кругах нейрореаниматологов мнения о том, что гипервентиляция может способствовать снижению внутричерепного давления. Однако, отсутствие корреляционных связей ICP и параметров ауторегуляции мозгового кровотока с  $PaCO_2$  заставляет предположить, что высокая теснота корреляционной связи Ph с ICP обусловлена не столько дыхательной, сколько метаболической составляющей кислотно-основного состояния крови и, следовательно, респираторный алкалоз едва ли может привести к снижению ВЧД. Данное предположение находит себе подтверждение в результатах исследований сотрудников нашего института [11], убеждающих, что гипервентиляция не оказывает положительного влияния на уровень внутричерепного давления при церебральной гипертензии. Приведенные в табл. 2 материалы свидетельствуют, что при традиционной вентиляции ни газовый состав крови, ни кислотный ее гомеостаз никак не влияют на церебральный кровоток. Более того, наличие средней тесноты прямой корреляционной связи  $PaCO_2$  с резервом дилатации (КО) указывает на потенциальную опасность снижения резерва дилатации при гипервентиляции и гипоксии.

**Выводы**

1. В распоряжении нейрореаниматологов появился новый эффективный метод, сдерживающий прогрессирование внутричерепной гипертензии при острой церебральной недостаточности.

2. В отличие от традиционной вентиляции, отчетливый благоприятный эффект ВЧ ИВЛ при церебральной гипертензии реализуется за счет особенностей ее респираторной механики, обусловленной высокой частотой вентиляции и низкими величинами пикового давления.

**Литература**

1. Белкин А. А. Коматозное состояние (алгоритмы диагностики, тактики, лечения и реабилитации бессознательного состояния). Екатеринбург-1998. 111.
2. Asgeirsson B., Grande P.O., Nordstrom C.H. A new therapy of post-traumatic brain oedema based on hemodynamic principles for brain volume regulation. *Intensive Care Med.*, 1994. 20: 260-267.
3. Зислин Б. Д. Высоочастотная вентиляция легких. Екатеринбург. 2001. 153.
4. Ringelstein E. B., Sievers C., Ecker S. et al. Noninvasive assessment of CO<sub>2</sub>-induced cerebral vasomotor response in normal individual and patients with internal carotid artery occlusions. *Stroke*. 1988. 19: 963-969.

Полный список литературы см. на сайте [urmj.ru](http://urmj.ru)

## Влияние симпатомиметиков на системную и церебральную гемодинамику у больных с острой церебральной недостаточностью при разной степени выраженности внутричерепной гипертензии

В. С. Громов, А. Л. Левит, А. А. Белкин

Клинический Институт Мозга СУНЦ РАМН, МУ ГКБ№40, г. Екатеринбург.  
Свердловская областная клиническая больница №1(СОКБ №1).

**Резюме**

Целью работы является изучение связи изменений показателей, отражающих системную гемодинамику и мозговой кровотоков при использовании различных симпатомиметиков у больных с синдромом острой церебральной недостаточности и внутричерепной гипертензии. Работа выполнена на основании исследований, проведенных у 49-ти больных с различными этиопатогенетическими вариантами острой церебральной недостаточности. Показано, что при выборе симпатомиметиков надо учитывать то, что при одинаковом гипертензионном эффекте, влияние симпатомиметиков на системную гемодинамику и мозговой кровотоков различаются у больных с разным уровнем ВЧД и зависит от адренорецепторной активности препарата. Определены основные взаимосвязи изменения показателей, отражающих системную гемодинамику и мозговой кровотоков в зависимости от уровня внутричерепной гипертензии. Предложены практические рекомендации для оптимального выбора симпатомиметических препаратов у больных с острой церебральной недостаточностью и внутричерепной гипертензией.

**Ключевые слова:** внутричерепная гипертензия, симпатомиметики, системная гемодинамика, мозговой кровотоков.

**Введение**

Симпатомиметические препараты широко используются в интенсивной терапии для поддержания на достаточном уровне минутного объема кровообращения (МОК) и транспорта кислорода в организме у пациентов, имеющих

нарушения церебральной циркуляции вследствие травмы [1], сепсиса [2], субарахноидального кровоизлияния (САК) [3]. С одной стороны, у больных с острой нейрохирургической патологией, сопровождающейся подъемом внутричерепного давления (ВЧД), неадекватное кровоснабжение головного мозга является ведущим фактором, провоцирующим повторные ишемические повреждения [4, 5, 6]. С другой стороны, у этих больных нередко возникают нарушения сердечно-сосудистой деятельности как в результате первичного повреждения отдельных участков мозга, его ме-

В. С. Громов — врач анестезиолог-реаниматолог РАО 3 ГКБ№40;

А. Л. Левит — д. м. н., зав. ОАР ГУЗ «СОКБ №1», проф. кафедры хирургии ФПК и ПП УГМА, гл. анестезиолог-реаниматолог минздрава Свердловской обл.;

А. А. Белкин — д. м. н., проф., директор КИМ СУНЦ РАМН.