

МЕСТО КИСЛОРОДОТЕРАПИИ В МЕДИЦИНЕ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ

А. Варвинский (Архангельск, Россия), С. Хант (Уэльс, Кардифф)

Введение

Со времени введения кислорода в клиническую практику прошло уже более 200 лет. Применение данного газа является, по-видимому, наиболее широко распространенным компонентом интенсивной терапии как на этапе первой, так и квалифицированной врачебной помощи. При надлежащем использовании кислород может спасти жизнь, он служит неотъемлемым условием начального лечения многих критических состояний. Немаловажно, чтобы этот газ не только попадал в легкие, но и доставлялся к тканям. В связи с этим значение сердечного выброса, состояние кровообращения в целом и уровень гемоглобина играют жизненно важную роль и определяют необходимость раннего восстановления гемодинамики во время проведения СЛР. Как и в случае любого другого лекарственного препарата, кислород должен применяться по строгим показаниям, в соответствующей дозировке (концентрации) и в течение правильно выбранного периода времени.

Получение и хранение кислорода

При значительном снижении температуры газы переходят в твердое (углекислый газ) или жидкое (кислород и азот) состояние. Для получения жидкой формы кислород должен быть охлажден ниже -118°C , при этом объем занимаемый газом значительно уменьшается. В случае последующего повышения температуры и переходе в газообразное состояние образуется огромный объем газа. Кислород может храниться в газообразном состоянии в баллонах или в виде жидкости в специальных контейнерах. Благодаря малому объему, свойственному данному газу в сжиженном состоянии, он может без труда подвергаться дли-

тельному хранению и транспортировке. В то же время поддержание необходимой для этого низкой температуры сопряжено с определенными трудностями, которые освещены ниже.

Вакуумно-изолированные испарители (ВИИ, VIE). ВИИ представляют собой специальные, приспособленные для хранения жидкого кислорода, контейнеры. Они обеспечивают сжиженному газу сохранение низкой температуры. Контейнер состоит из двух слоев: наружная оболочка, выполненная из углеродистой стали, и внутренняя - из нержавеющей стали, которая и представляет содержащую кислород емкость, разделены вакуумом (рисунок 1). Температура находящегося внутри кислорода поддерживается на уровне приблизительно -190°C , давление в контейнере составляет 10,5 атм. (10,5 Бар). Находящийся над слоем жидкого газа газообразный кислород проходит через нагревательный теплообменник и достигает температуры окружающей среды. Затем газ поступает в больничную разводящую систему, обеспечивающую постоянный подвод газа к выпускным дозаторам в палатах и операционных блоках. Контейнер постоянно находится под воздействием внешнего тепла, обеспечивающего поступление энергии, необходимой для испарения жидкого газа и поступления кислорода в больничную разводящую систему. Постоянная утечка газа в систему предупреждает чрезмерное повышение давления внутри контейнера. При чрезмерном и опасном нарастании давления (более 17 атм.) происходит срабатывание клапана безопасности, после чего кислород стравливается в окружающую атмосферу.

Таблица 1: Используемые в тексте термины и единицы измерения

PaO_2	Парциальное давление (напряжение) или уровень кислорода артериальной крови
Бар	Единица давления, составляющая приблизительно 1 атмосферу (760 mmHg или 101 кПа)
кПа	1 килоПаскаль = 1000 Паскалей (Па); единица измерения давления (7,5 mmHg = 1 кПа)
МОВ (минутный объем вентиляции)	Объем газа, участвующий в дыхании в течение 1 минуты
Пиковая скорость потока вдоха	Максимальная скорость потока воздуха (газотока) при вдохе
<>	< = менее чем; > = более чем

Таблица 2: Размеры баллонов для кислорода

Размер	C	D	E	F	G	J
Высота (см)	36	46	79	86	124	145
Емкость (л)	170	340	680	1360	3400	6800

Падение давления газа в контейнере может быть вызвано значительным увеличением потребности больницы в его использовании. Для поддержания необходимого давления жидкий кислород может быть выведен из контейнера, пропущен через испаритель и затем возвращен в ВИИ уже в газообразном состоянии. Количество содержащегося в контейнере газа может оцениваться путем взвешивания ВИИ встроенным устройством.

ВИИ используются в крупных лечебных учреждениях, снабженных централизованной системой разводки кислорода. Пополнение запасов жидкого газа в контейнерах осуществляется специально оборудованными автоцистернами, которые развозят сжиженный кислород после заправки на кислородных станциях.

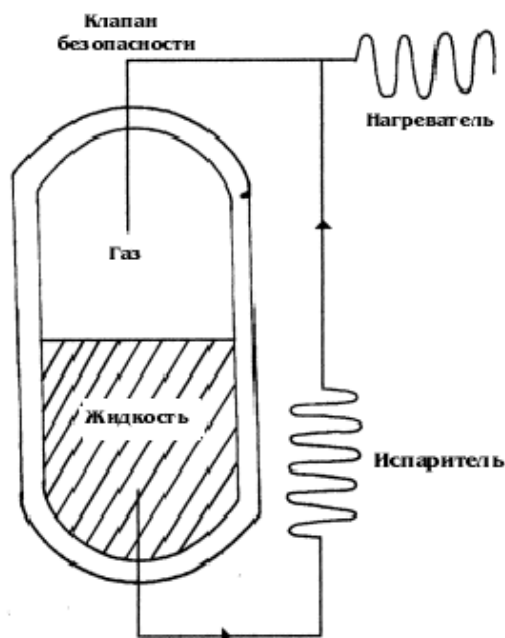


Рис. 1. Вакуумно-изолированный испаритель – обратите внимание на газообразный кислород, находящийся над поверхностью сжиженного. Газ поступает в находящуюся наверху резервуара систему забора. При возникновении необходимости в больших количествах кислорода, жидкий газ забирается со дна емкости и после прохождения через испаритель поступает в разводящую систему

Кислород в баллонах. Газ также может храниться под давлением в специальных баллонах, изготовленных из стали с добавлением молибдена. Баллоны могут объединяться по несколько штук в стояк и присоединяться к разводящей кислородной системе. Преимуществами подобного объединения баллонов являются снижение цены, облегчение транспортировки и возможность постоянной взаимозаменяемости. Существуют баллоны нескольких размеров и емкости. При 15⁰С давление внутри составляет 137 Бар.

Концентраторы кислорода. Концентраторы кислорода представляют собой приборы, извлекающие кислород из атмосферного воздуха при помощи содержащих zeолит коробочных фильтров. После отделения азота выделяется практически чистый кислород. Принцип действия и экономическая целесообразность использования этих устройств детально описаны. При использовании эфира необходимо размещать концентраторы на высоте более 1,5 м от поверхности пола.

Гипоксия

Гипоксемия подтверждается при снижении напряжения кислорода в артериальной крови ниже 80 mm Hg (10,6 кПа). *Гипоксией* называется состояние, при котором недостаток кислорода проявляется на тканевом уровне. Традиционно принято разделять гипоксию на 4 типа:

1. Гипоксическая гипоксия – выражается в снижении парциального давления кислорода в артериальной крови.
2. Гемическая (или анемическая) гипоксия – состояние, при котором напряжение кислорода в крови соответствует нормальному уровню, но снижена концентрация способного к транспорту гемоглобина (анемия) или способность гемоглобина связывать и транспортировать кислород (отравление CO).
3. Стагнантная (застойная) или ишемическая гипоксия – состояние, при котором, несмотря на нормальное содержание гемоглобина и парциальное давление кислорода, кровоснабжение тканей настолько снижено, что кислород практически к ним не доставляется.
4. Гистотоксическая гипоксия – система доставки кислорода к тканям не нарушена, но действие токсических веществ препятствует его утилизации.

Распознавание гипоксии

По причине большого числа признаков и симптомов тканевую гипоксию не всегда легко

распознать. На развитие данного состояния указывают:

- изменение психического состояния (возбуждение, дезориентация, сонливость, развитие комы)
- диспноэ, тахипное или гиповентиляция
- аритмии
- периферическая вазоконстрикция, часто сопровождающаяся повышенной влажностью конечностей
- системная гипо- или гипертензия в зависимости от сопутствующих заболеваний
- тошнота, рвота и прочие желудочно-кишечные нарушения

Цианоз соответствует синеватой окраске кожных покровов и связан с избыточным количеством деоксигенированного гемоглобина в крови периферических кровеносных сосудов. Цианоз возникает при повышении уровня деоксигенированного гемоглобина выше 15 г/л (при нормальном уровне Hb – 150 г/л). При нормальном содержании Hb данное состояние часто развивается при снижении сатурации артериальной крови кислородом ниже 90%. При снижении SaO₂ у пациентов с анемией цианоз нередко отсутствует.

Поскольку клинические признаки неспецифичны, лучшим методом оценки оксигенации является измерение сатурации артериальной крови (SaO₂ не должна быть ниже 95%) и прямое определение в ней же парциального давления кислорода (гипоксии соответствует снижение PaO₂ < 80 mm Hg или 10,6 кПа). Пульсоксиметры и газоанализаторы находят все большее применение в различных сферах медицины. В то же время, даже при неизменных показателях PaO₂ и SaO₂ при снижении сердечного выброса, анемии или потере тканями способности утилизировать кислород (например, при отравлении цианидами) может развиваться тканевая гипоксия. Развивающийся в данной ситуации анаэробный метаболизм сопровождается ростом концентрации лактата.

Системы доставки кислорода к пациенту

Доставка кислорода пациенту может осуществляться при помощи различных устройств и приспособлений. К двум наиболее распространенным типам подобных устройств отно-

сятся маски с фиксированной (нерегулируемой по FiO₂) и регулируемой пропускной способностью.

Подробности

В основе принципа действия так называемых масок НАFOE лежит эффект Бернулли, заключающийся в поступлении внешнего воздуха через боковые отверстия канала. Согласно принципу Вентури, при протекании газового потока через трубку, имеющую сужение, его скорость в этом месте нарастает, что, в свою очередь, служит источником получения дополнительной кинетической энергии. Общая энергия всей системы должна оставаться стационарной, следовательно, потенциальная энергия должна уменьшиться. Потенциальной энергии газа соответствует значение его давления. Таким образом, в области снижения потенциальной энергии газа происходит относительное падение его давления. При этом благодаря появлению области пониженного давления становится возможным поступление вторичного газа (в данном случае атмосферного воздуха), которое может происходить непосредственно в канал или через боковое отверстие (рис. 3).



Рис. 2. На рисунке представлен а маска постоянного потока (с нерегулируемой фракцией кислорода), снабженная системой подсоса Вентури. Подробности механизма действия этих устройств представлены ниже. Поток кислорода является постоянным, фракция доставляемого газа составляет 24%. Обратите внимание на большой размер маски и отверстия, позволяющие газовой смеси покидать пространство под маской.

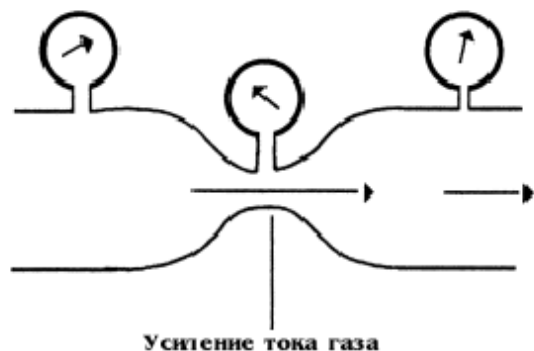


Рис. 3а. Эффект Бернулли возникает при прохождении газа через имеющий сужение канал (трубку). Обратите внимание на происходящее в месте уменьшения диаметра падение давления.

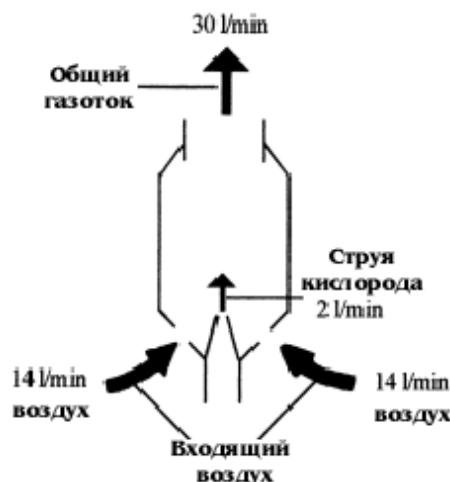


Рис. 3б. Система (клапан) Вентури. Кислород со скоростью 2 л/мин (низкий поток) проходит через узкое выпускное отверстие «увлекает» за собой окружающий воздух (28 л/мин). Точный подбор размера боковых отверстий позволяет обеспечить смешение кислорода и окружающего воздуха в нужной пропорции.

Маски с нерегулируемым составом газовой смеси обеспечивают постоянную концентрацию поступающего к пациенту кислорода (FiO_2) вне зависимости от каких-либо изменений минутной вентиляции. К подобным системам относятся:

- Закрытые или полузакрытые анестезиологические дыхательные системы, соединенные с наркозным аппаратом и снабженные накопительным мешком. Необходимо поступление сжатого газа.
- Головные тенты для новорожденных с постоянным поступлением воздушно-кислородной смеси. Для вымывания накапливающегося в замкнутом пространстве CO_2 необходимо поддержание достаточного газотока под тентом.
- Системы типа НАFOE (High Air Flow Oxygen Enrichment – высокопоточное обогащение кислородом), например, *Ventimask*.

Маски типа НАFOE (рис. 2) имеют цветовую маркировку и указание на необходимый для достижения данной концентрации кислорода минутный поток этого газа (в л/мин). Они снабжены отверстиями, предназначенными для поступления окружающего воздуха (по принципу Вентури). Для использования подобных приспособлений требуется относительно высокий поток кислорода: например, 8 л/мин для образования газовой смеси с FiO_2 40% и 15 л/мин для обеспечения концентрации кислорода на уровне 60%. Объемная скорость кислорода в 2, 4 и 6 л/мин обеспечивает

поступление газовой смеси с FiO_2 24, 28 и 31%, соответственно. Пациент дышит при постоянной концентрации O_2 благодаря тому, что скорость поступления обогащенного воздуха превышает пиковую скорость потока вдоха. Таким образом «разбавления» смеси окружающим воздухом не происходит. Рециркуляция и повторное вдыхание смеси исключается в связи с высокой скоростью потока, позволяющей вытеснить выдыхаемый газ. *Системы (маски) с регулируемой фракцией кислорода.* Второй тип систем для кислородотерапии представлен устройствами с регулируемой подачей кислорода. Концентрация поступающего кислорода зависит от таких факторов, как минутный объем вентиляции пациента, пиковая скорость вдоха и объемная скорость O_2 . Например, в случае, если минутный объем дыхания больного мал, а скорость потока кислорода значительна, FiO_2 становится относительно высокой. Увеличение МОД без соответствующего роста объемной скорости кислорода приводит к падению концентрации O_2 во вдыхаемой газовой смеси. При использовании подобного типа систем значение FiO_2 отличается неустойчивостью и неточностью, однако в большинстве случаев при потоке 2 л/мин FiO_2 составляет 25-30%, при 4 л/мин – 30-40%. К устройствам данного типа относятся:

- *Носовые канюли.* Использование этих приспособлений не сопровождается ростом объема мертвого пространства. FiO_2

Таблица 1

Неконтролируемая кислородотерапия не показана при следующих заболеваниях и патологических состояниях	<ul style="list-style-type: none"> • бронхиальная астма • пневмония • бронхолит • РДСВ • остановка дыхания или кровообращения • ТЭЛА • шоковое состояние, обусловленное сепсисом, гиповолемией, сердечной недостаточностью, инфарктом миокарда • отравление угарным газом
Заболевания и патологические состояния, при которых показана контролируемая кислородотерапия	<ul style="list-style-type: none"> • ХОБЛ на фоне гипоксической регуляции (драйва) дыхания • у недоношенных новорожденных

- зависит от потока кислорода. Повторного вдыхания газовой смеси не происходит.
- *Носовые катетеры* размером 8G могут быть установлены в полость носа и проведены до гортани так, чтобы их было видно позади мягкого неба. У детей младше 2 лет при потоке кислорода 150 мл/кг/мин FiO_2 составляет приблизительно 50%. Повторного вдыхания газовой смеси (рециркуляции) не происходит. Подобные приспособления могут быть использованы и у взрослых. В неотложной ситуации можно изготовить некое подобие носовой канюли из любого тонкого и мягкого катетера (тонкого назогастрального зонда или мочевого катетера). Для исключения возможного смещения в пищевод носовые катетеры необходимо надежно фиксировать.
- *Пластиковые кислородные маски* (рис. 4) незначительно увеличивают объем мертвого пространства. Влияние мертвого пространства на газообмен зависит от минутного объема дыхания пациента и потока кислорода. Повторное вдыхание газовой смеси обычно весьма незначительное.

Кислородотерапия

Американский колледж пульмонологов и Национальный институт сердца, легких и крови опубликовали список рекомендуемых показаний к кислородотерапии:

- остановка кровообращения и дыхания (используется 100% кислород)
- гипоксемия ($PaO_2 < 59$ mmHg (7,8 кПа), $SaO_2 < 90\%$)
- системная гипотензия (систолическое артериальное давление < 100 mmHg)
- низкий сердечный выброс и метаболический ацидоз (бикарбонат плазмы < 18 ммоль/л)

- дыхательная недостаточность (частота дыхания > 24 /мин)
- показания к применению «дополнительной кислородотерапии» во время анестезии уже приводились в одном из предыдущих номеров журнала.



Рис. 4. Наиболее популярная маска переменной производительности. Обратите внимание, что объем маски маленький, а воздух при вдохе входит снаружи.

Применение кислорода с лечебной целью – под контролем или без?

Как и в случае любого другого лекарственного препарата, кислород должен применяться согласно предписанию лечащего врача. Кислородотерапия может быть назначена в кон-

тролированной форме – в это случае для ее проведения необходимо применение систем типа НАФОЕ. Однако более часто рекомендации по применению кислорода включают в себя лишь значение потока газа, которое в свою очередь может быть установлено на различных системах доставки. Данный метод известен как *неконтролируемая* кислородотерапия.

Подробности

Упоминание о случаях, в которых применение кислорода оказывало на пациентов неблагоприятный эффект, относительно редки. У абсолютного большинства больных неконтролируемая кислородотерапия оказывает положительный эффект и должна применяться, в том числе при остановке дыхания и кровообращения, РДСВ, бронхиальной астме и состояниях, сопровождающихся гипотензией.

Небольшое число пациентов с хроническими обструктивными заболеваниями легких (ХОБЛ) имеют постоянно повышенный уровень CO_2 . В подобных случаях регуляция дыхания определяется колебаниями уровня кислорода в крови (гипоксический драйв). Напротив, у здоровых людей стимуляция дыхания определяется динамикой уровня CO_2 в крови (гиперкапнический драйв). Упомянутые выше больные, которые длительно страдают заболеваниями легких, цианотичны, сонливы и имеют признаки легочного сердца. В то же время у них не отмечается постоянной одышки. Использование у таких пациентов высоких концентраций кислорода может вызывать депрессию дыхания и приводить к декомпенсации дыхательной недостаточности. В результате депрессии дыхания развивается задержка CO_2 , гиперкапния и респираторный ацидоз, что ведет к необходимости применения ИВЛ. Таким образом, у этой категории пациентов требуется точный контроль параметров кислородотерапии (FiO_2 и потока газовой смеси). Ингаляцию начинают с FiO_2 24-28%, далее концентрацию кислорода постепенно повышают. Конечной целью является достижение превышающего 50 mm Hg (6,6 кПа) оптимального значения напряжения кислорода в артериальной крови (PaO_2) или значения сатурации (SaO_2) на уровне 85-90%. Несмотря на то, что пациенты с подобными расстройствами встречаются в анестезиологической практике нечасто, следует проявлять определенную настороженность в отношении любого больного с тяжелым течением ХОБЛ. К сожалению, риск развития гиперкапнии на

фоне тяжелой обструктивной патологии часто переоценивается, результатом чего является неадекватное применение кислородотерапии, приводящее к смерти на фоне гипоксии.

Мониторинг во время кислородотерапии

Клинический мониторинг включает наблюдение за уровнем сознания, частотой дыхания и сердечных сокращений, артериальным давлением, состоянием периферической циркуляции (время капиллярного наполнения в норме составляет 1-2 секунды) и кожными покровами (на предмет развития цианоза). В качестве дополнительных методов могут быть использованы анализ газового состава артериальной крови и пульсоксиметрия. По возможности, старайтесь определить показатели газового состава и сатурацию артериальной крови еще до применения кислородотерапии. После начала ингаляции O_2 необходимость повторного контроля данных показателей должна быть соизмерена с динамикой уровня FiO_2 . Конечной целью является достижение значения PaO_2 более 59 mmHg (7,8 кПа) или SaO_2 выше 90%. Применение пульсоксиметрии обеспечивает постоянное наблюдение за насыщением артериальной крови кислородом и оказывается особенно полезным при каких либо трудностях с анализом газового состава крови или отсутствии газоанализатора.

У некоторых больных с гипоксической регуляцией дыхания на фоне ХОБЛ можно заподозрить депрессию дыхания, если обратить внимание на развитие сонливости и нарастание уровня PaCO_2 . Помните, что падение SaO_2 может отсутствовать вплоть до критической стадии гипоксемии.

Подробности

Пульсоксиметрия является чрезвычайно полезным средством мониторинга, однако врачу не следует забывать и о некоторых ограничениях данного метода. Прибор измеряет лишь насыщение крови кислородом, таким образом, при интерпретации полученных результатов необходимо вспомнить форму и значение кривой диссоциации оксигемоглобина (кривой сатурации). При значении SaO_2 , превышающем 93%, кривая становится уплощенной. В связи с этим значительное повышение PaO_2 приводит к незначительным изменениям уровня сатурации. Напротив, вслед за снижением значения сатурации ниже 90% наблюдается стремительное падение как SaO_2 , так и PaO_2 .

Осложнения и опасности, связанные с кислородотерапией

- **Опасность возгорания** – кислород поддерживает горение, а нередко может вызвать и взрыв огнеопасных веществ. Во время его использования курение строго запрещено!
- **Развитие абсорбционных ателектазов.** Длительное применение высоких концентраций кислорода несет в себе опасность образования ателектазов, наиболее часто формирующихся в базальных отделах легких. Данное осложнение метода наиболее часто встречается у пациентов, перенесших хирургическое вмешательство на органах грудной клетки или верхнем этаже брюшной полости, особенно на фоне исходно нарушенной функции дыхания и задержке мокроты.
- **Ретролентальная (позадихрусталиковая) фиброплазия.** Высокий уровень PaO_2 является главным причинным фактором развития ретролентальной фиброплазии новорожденных. Конечным результатом данного процесса может быть слепота. В основе этого патологического состояния лежит разрастание и последующее фиброзное перерождение кровеносных сосудов стекловидного тела глаза. Крайне недоношенные новорожденные с низким весом при рождении относятся к основной группе риска вплоть до 44 недели жизни. Приводящий к развитию фиброплазии уровень PaO_2 не определен, но диапазон значений PaO_2 крови пупочной вены в 60-90 mmHg (8-12 кПа) признан безопасным. Некоторые врачи полагают, что риск развития данной патологии имеется и у доношенных детей, поэтому SaO_2 у них не должна превышать 95%. Несмотря на опасность ретролентальной фиброплазии, кислородотерапию следует использовать при развитии у ребенка гипоксии и во время проведения реанимации, также как и не является опасным применение умеренных концентраций кислорода во время анестезии.
- **Пациенты, получающие химиотерапию.** Обнаружена опасность развития прогрессирующего легочного фиброза после применения избыточной концентрации кислорода во время анестезии у пациентов, получающих блеомицин. У данной категории больных необходимо придерживаться контролируемой кислородотерапии и поддерживать SaO_2 на уровне 90-95%.

Заключение

Кислород нашел широкое применение в клинической практике. При многих неотложных ситуациях он является первым средством поддержания жизнедеятельности. Во время проведения кислородотерапии следует всегда учитывать состояние дыхательных путей и кровообращения, наличие и нормальную работу систем доставки O_2 , постоянного мониторинга и возможность выбора альтернативной тактики лечения. Связанные с применением кислорода опасности и осложнения хотя и должны быть приняты во внимание, **никогда** не могут служить препятствием к применению этого метода лечения в неотложной ситуации.

Литература

Bateman NT and Leach RM. ABC of oxygen: Acute Oxygen Therapy. British Medical Journal 1998; 317: 798-801.