

Капнография, что лучше основной или боковой поток?

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНСУЛЬТАНТ:

Michael B. Jaffe, PhD

ПЕРЕВОД НА РУССКИЙ

Попов Андрей

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Попов Сергей

АННОТАЦИЯ

В статье описываются и противопоставляются друг другу технические аспекты капнографии с датчиками «основного» и «бокового» потоков. Описаны такие проблемы как, утечки, загрязнение и возникающие артефакты. Рассмотрено клиническое применение этих двух подходов и на первый план выдвинуты преимущества метода «основного потока».

СОДЕРЖАНИЕ:

Введение

Обзор различий

Обзор метода «основного потока»

Обзор метода «бокового потока»

Технические аспекты

Клиническое применение

Заключение

*ООО «Медицинские системы»
выражает благодарность господину
Андерсу (PHILIPS-RESPIRONICS) за
любезно предоставленные материалы.*

ВВЕДЕНИЕ

Измерение содержания двуокиси углерода в воздухе, при помощи инфракрасного излучения (капнография) берёт своё начало в 40-х годах 20-го века. В 50-х громоздкие и хрупкие устройства были адаптированы для медицинского применения. Эти ранние системы работали по принципу “бокового потока” (т.е. отбора газов). Такие системы анализа, как Beckman LB-1 и LB-2 монтировались на стеллажах и были “золотым стандартом” для измерительной техники в 70-х годах. Подобно им системы “основного потока” были громоздкими и крайне неудобными для клинического применения. Развитие технологий привело к уменьшению подобного рода устройств и позволило включать их в состав прикроватных мониторов. Это стало возможным после появления в 80-х годах HP 47210A (рисунок 1). Это устройство было построено по принципу “основного потока” и применялось в больницах.

В то время, как происходило развитие обеих технологий основная доля критики метода “основного потока” была сведена на нет в результате внедрения твердотельных источников излучения, более совершенной оптики и

миниатюризации. В то время, как технология измерений, при помощи “бокового потока” всё ещё страдает от фундаментальных ограничений, накладываемых самим способом измерения. В данной статье сравниваются эти два метода.

Обзор различий между методом “основного” и “бокового потоков” в капнографии.

Капнометрия по определению, это либо метод “основного потока”, либо “бокового”. Капнограф “бокового потока” отбирает часть выдыхаемых пациентом газов и по трубке отбора и транспортирует их к датчику. В то время, как капнограф “основного потока” не отбирает части газов. Другим словами в первом случае измерение происходит в мониторе пациента, в отличие от измерения в непосредственной близости от дыхательных путей во втором случае.

Измерение парциального давления газа на значительном удалении от дыхательных путей увеличивает количество проблем, связанных с законами физики. Удаление воды, различия влажности и температуры в месте отбора газов и в самом мониторе,

смешивание и просачивание газа, переменные скачки давления вдоль трубки отбора и в результате возможное искажение значений парциального давления, динамические искажения формы волны. Не все из этих проблем могут быть решены другими измерениями или введением номинальных значений.

В устройствах “основного потока” измерительная часть размещается в непосредственной близости от дыхательных путей в разрыве дыхательной трубки (воздушном адаптере). Такое расположение обеспечивает чёткое графическое представление, меняющейся во времени капнограммы, которая отражает изменение парциального давления двуокиси углерода в реальном времени. С другой стороны, системы “бокового потока” всасывают газ из дыхательного контура через 2-2.5 метровую тонкую трубку. И количество всасываемого газа может варьироваться в пределах 20%. (Таблица 2) Часто, всасываемый таким образом газ затем проходит через водяную ловушку и осушающую трубку, прежде чем попасть в анализирующее устройство. В результате отдалённого расположения

анализатора появляется задержка в несколько секунд и искажается форма кривой, так как происходит изменение времени возрастания импульса более, чем на 200 мс. Такая задержка в конечной временной реакции может быть значительной и не позволить лечащему персоналу своевременно принять необходимые меры.

Сравнение измерителей различных фирм часто осложнено из-за использования различной терминологии, (примечание 1: следует использовать терминологию, предусмотренную стандартом ISO9918-Capnometers for Use with Humans-Requirements) описывающей время задержки и время возрастания импульса. В таблицах 1 и 2, сравниваются системы “основного потока” и “бокового”, по основным параметрам и специфическим, соответственно.

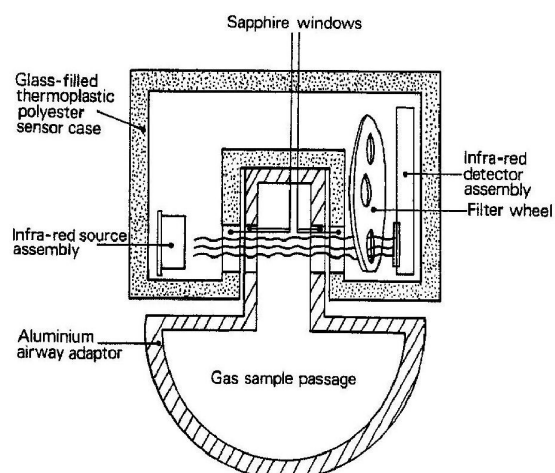
Обзор метода основного потока

Общий вид измерительной системы, работающей по принципу “основного потока” представлен на рисунке 7а. Измерительная кювета служит также и воздушным адаптером и располагается на одной линии с потоком выдыхаемого воздуха. В результате отсутствует

необходимость отбора и очистки (нейтрализации) газа. Измерительная кювета напрямую связана с ИК излучателем, спектр излучения которого содержит полосу частот, поглощаемую двуокисью углерода.

Двуокись углерода поглощает излучение определённой длины волны и пропускает излучение на других длинах волн (Рисунок 9). Фотодетекторы обычно располагаются на обратной стороне воздушного адаптера, измеряя мощность прошедшего через кювету излучения. Протектированные и усиленные сигналы передаются через многожильный, лёгкий и гибкий кабель в монитор, в котором вычисляется парциальное давление CO_2 и происходит его графическое представление в виде капнограммы. В мониторе содержится только электроника отвечающая за контрольно-измерительные функции ИК элементов.

Недостатки датчиков “основного потока” представляемые некоторыми авторами и производителями систем “бокового потока” в основном технологические в своей природе и часто имеют отношение к ранним поколениям датчиков. Эти недостатки часто упоминаются в ранних работах, в то



время как в последних о них уже не упоминается. Упоминаются такие недостатки как возможное повреждение во время обращения с датчиком, большой объём занимаемого пространства, проблемы дополнительного веса воздуховода и использование только для интубированных пациентов. В прошлом ИК датчики называли уязвимыми от повреждений в основном из-за наличия в них движущихся частей, таких как прерыватели и вращающиеся фильтры. Новые ИК устройства “основного потока” часто используют конструкцию, состоящую из твёрдых неподвижных элементов, которая достаточно крепка, чтобы выдержать падение с высоты 1.8 метра на твёрдый пол. Надёжность такой конструкции доказана эксплуатацией в реанимационных палатах, машинах скорой помощи и на транспорте в течении более 10 лет.

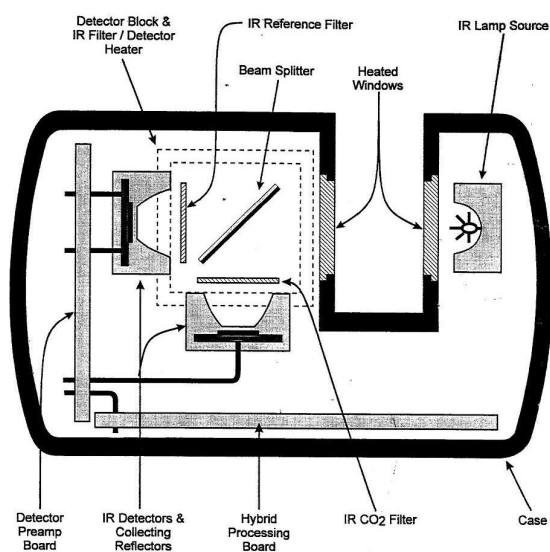


Рисунок 2

Кроме того, случайной экстубации устройств “основного потока” в практике не зарегистрировано. В действительности же, поиск по базе данных FDA's Center for Devices and Radiological Health online MAUDE выдал только один случай экстубации который произошёл при использования капнографии,, и при том при использовании системы “бокового потока”.(в базе данных содержались данные на период с 1991 по 2001 год) Современные устройства “основного потока” являются лёгкими и компактными, а также обеспечивают более точую и качественную передачу сигналов по сравнению с устройствами “бокового потока” и позволяют проводить измерение при высокой частоте дыхания у маленьких детей.

Продуманная конструкция и современные технологии позволили минимизировать размеры и вес практически во всех областях применения датчиков. Подогреваемые окна кюветы минимизируют эффект конденсации влаги из воздуховода. Также как и в случае с любым другим (и “основного” и “бокового потоков”) воздушным адаптером, используемым для газового мониторинга, неправильное подключение к дыхательному контуру может вызвать появление артефактов на капнограмме. Например частичное отключение адаптера “основного потока” может имитировать эффект “разрыва кураре” на капнограмме, но он легко распознаётся.

Для точного мониторинга CO₂, особенно для не интубированных пациентов, получающих дополнительный кислород, системы “бокового потока” подходят не лучшим образом из-за смешивания (эффектов делюции) с дополнительно подаваемым газом (кислородом). Также, системы “бокового потока” не в состоянии адекватно мониторировать назальный (носовой) и оральный воздушный потоки. Системы “основного потока” также могут применяться для мониторинга не интубированных пациентов, при помощи специального

адаптера или специальной маски. Использование такой маски с датчиком “основного потока” позволяет достичь превосходных результатов мониторингирования CO_2 и объёмной капнографии (volumetric capnography) и не загромождать пространство. Данные свойства являются особенно полезными при использовании в полевых условиях или для не интубированных пациентов, находящихся под наркозом.

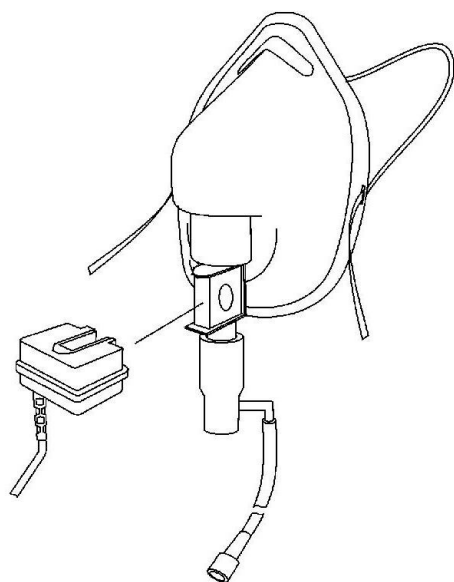


Рисунок 3.

Обзор метода бокового потока.

Анализаторы газа, работающие по принципу бокового потока используют длинную пластиковую трубку соединённую с адаптером в дыхательном контуре (например Т-образную в эндотрахеальной трубке или

адаптером на маске) или носовым катетером. Газ всё время всасывается из дыхательного контура и проходит через датчик, расположенный в мониторе, со скоростью от 50 до 250 мл/мин (Таблица 2).

Расположение места отбора газа может быть различным, от колена, соединённого с эндотрахеальной трубкой, до Y-образного соединителя. Например оно может быть расположено со стороны фильтра вентилятора или НМЕ. Это приводит к более сухой трубке для отбора газа, что может вызывать существенные искажения формы капнограммы - более низкие конечные периодические значения (lower end-tidal values). Место отбора газа также может располагаться на конце фильтра, который расположен ближе к пациенту, в результате будет происходить накопление конденсата и различных выделений в системе отбора воздуха. Трубка для отбора воздуха обычно свободно висит между дыхательным контуром и монитором, и как следствие может быть порвана, передавлена или повреждена.

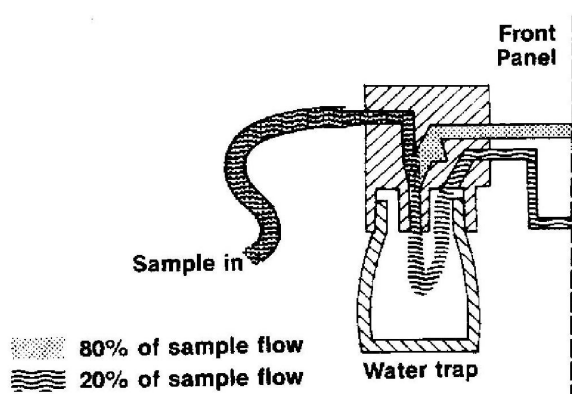


Рисунок 4

Газ, отбираемый из дыхательного контура пациента, может содержать анестетики, и поэтому он должен быть доставлен в фильтрующую систему или возвращён обратно в дыхательный контур, чтобы избежать “загрязнения” операционного зала. Для того, чтобы избежать чрезмерного расхода анестезирующих средств и исключить риски накопления таковых в плохо проветриваемых зонах. Конденсат от увлажнённого газа вместе с различными выделениями могут загрязнить и заблокировать трубку для отбора газа, что потребует её немедленной замены. В данном случае, для защиты датчика от конденсата, дальний конец трубки соединяется в водяной ловушке которая испаряет воду, через водопроницаемую трубку, например Nafion®. Эффективность водяных ловушек и фильтров различна у разных производителей, однако ни ловушки ни фильтры не защищают от

случайного засорения и искажения капнограммы, особенно при неадекватном профилактическом обслуживании. Были случаи, когда смещение трубки отбора газа, при подключении к водяной ловушке, вызывало смешивание выдыхаемого и вдыхаемого воздуха и приводило к существенному изменению формы (сглаживанию) капнограммы. Еще более ухудшает положение то, что искажения, вызываемые некоторыми водяными ловушками (как на вдохе так и на выдохе), могут быть распознаны только при особых условиях, и являются функцией от частоты дыхания. (Прим. перев. Имеется ввиду то, что искажения, которые вызывают водяные ловушки не всегда определяются как артефакты, а могут быть приняты за верно измеренные параметры.)

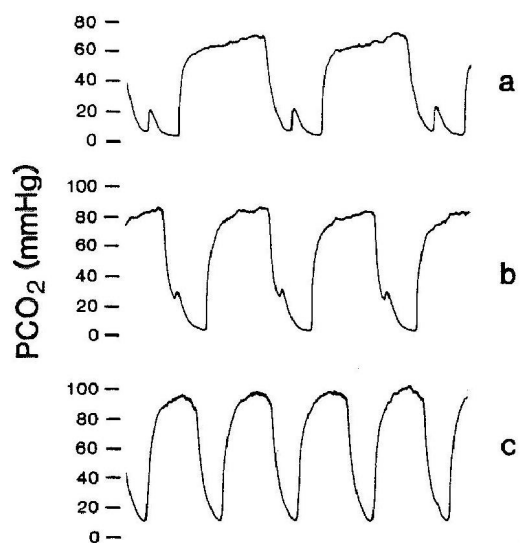


Рисунок 5

Кроме того, существуют внешние, по отношению к монитору, источники утечек из-за неплотных соединений, треснувших или порезанных соединительных трубок, треснувших фильтров и воздушных адаптеров. Внутренние источники утечек также имеют место быть, например известны случаи частичного разъединения, в результате которых серьёзным образом искажалась капнограмма. В системе “бокового потока”, утечки, равно как и засорения, могут происходить в любой из множества точек соединения. Вызывая при этом значительное искажение конечных значений и формы капнограммы, и часто не поддающееся определению (обнаружению) в процессе обычной калибровки. В результате чего пациент потенциально подвержен большой опасности. Однако системы бокового потока с внешним съёмным датчиком менее подвержены возникновению ошибок такого рода. Последние разработки в области “бокового потока” уменьшают вероятность появления искажений из-за выделений, содержащихся в выдыхаемом газе, за счёт расположения точки отбора газа в центре адаптера, а не на его стенке. Однако такие конструкции всё ещё остаются подвержены всем

вышеозначенным проблемам.

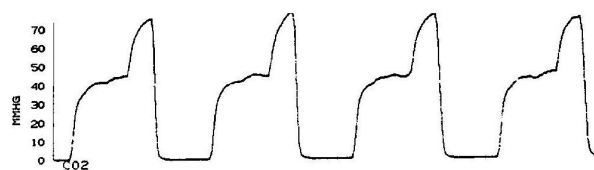


Рисунок 6

Значительные искажения капнограммы могут происходить даже в случае отсутствия утечек и заторов в соединительных трубках. В системе воздушных трубок выдыхаемый газ может смешиваться с окружающим воздухом каждый раз, когда расход газа становится ниже “постоянного” типового расхода (расхода газа датчиком).

Конструкция трубки для отбора газа и её расположение в дыхательном контуре или ноздрях (при использовании носового катетера) может влиять на количество окружающего воздуха, который попадает в трубку вместе с выдыхаемым газом. Внутри трубки может происходить дисперсия из-за эффектов градиента скоростей и диффузии. Кроме того, скорость потока воздуха может значительно изменяться под влиянием множества факторов, таких как длина трубки для отбора газа, давление воздуха, наличие преград в выходной трубке.

Использование систем “бокового потока” требует особого внимания к

физическим факторам, которые могут повлиять на точность измерений и не менее внимательного отношения к интерпретации полученных результатов (формы капнограммы).

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Инфракрасная Спектроскопия

Методы газового мониторинга, основанные на поглощении инфракрасного излучения, могут быть чувствительными и избирательными, а также обеспечивать непрерывное, точное, чёткое и быстрое измерение без эффектов насыщения или повреждения изучаемым газом. Один из таких газов – двуокись углерода, имеет ярко выраженную полосу поглощения на 4.26 мм. Для измерения концентрации CO₂ применяются различные методы, основанные на поглощении ИК излучения. Источник инфракрасного излучения может быть как широкополосным так и узкополосным, импульсным или постоянным (в этом случае применяется механический прерыватель). Некоторые системы бокового потока используют узкополосный источник, который представляет собой герметично запаянную стеклянную колбу с газом, в

которой происходят электрические разряды. Происходит возбуждение газа посредством приложения высокого напряжения и радиочастотного электромагнитного поля.. Это вызывает инфракрасное излучение в узком диапазоне. Для детектирования инфракрасного излучения обычно используют датчик на основе свинцового селенида. Приборы с широкополосными источниками обычно используют стабильный и надёжный узкополосный фильтр, расположенный перед детектором. Такая конструкция позволяет производить измерение узкополосного сигнала по отношению к широкополосному. Таким образом можно выбирать только часть спектра CO₂, эффективно устраняя интерференцию от водяных паров и даже от части спектра N₂O. Поглощение ИК излучения углекислым газом носит нелинейный характер. На величину поглощения влияет наличие других газов и их концентрация, длина свободного пробега молекул исследуемого газа. Нелинейность, зависимость от длины свободного пробега и особенностей конструкции прибора компенсируются при помощи эмпирических таблиц, которые переводят измеренные уровни сигнала в значения концентрации CO₂.

Коррекция показаний из-за влияния кислорода и оксида азота при помощи этого способа осуществляется большинством производителей.

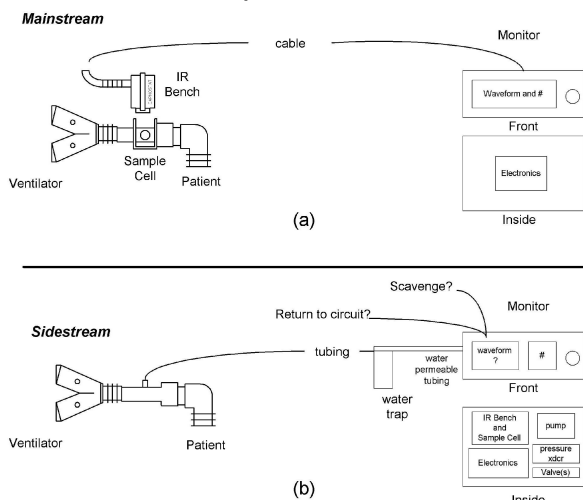


Рисунок 7

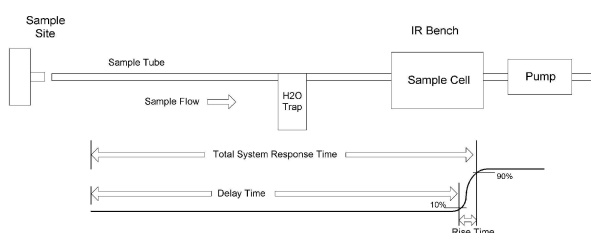


Рисунок 8

Эффекты интерференции

Измеренный уровень поглощения CO₂ может измениться из-за перекрёстной интерференции и большего количества столкновений молекул, вызванного присутствием таких газов как азот, оксид азота и кислород. Перекрёстная интерференция и перекрывание спектров поглощения других газов происходит из-за присутствия оксида азота, спектр поглощения которого частично перекрывает с обеих сторон

спектр поглощения CO₂ (рисунок 9). Степень воздействия этого эффект может значительно различаться у разных устройств. Однако использование источников с узким спектром излучения и узкополосных фильтров перед детектором с низким значением мощности на половине полосы пропускания, может устранить эффекты перекрёстной интерференции.

С другой стороны увеличение количества соударений слабо зависит от конструкции устройства и является сложной функцией, зависящей от общего давления и присутствия посторонних газов. Углекислый газ представлен как парциальная составляющая давления смеси газов, и изменения в атмосферном давлении и давлении в контуре, будут изменять это соотношение. Давление влияет на ширину спектра поглощаемого ИК излучения. При уменьшении давления (как давления в целом, так и парциального давления CO₂) происходит меньше межмолекулярных столкновений и спектр сужается. И соответственно при увеличении давления возрастает количество столкновений и частотный диапазон расширяется. Использование узкополосных фильтров и источников не

может устранить влияние этого эффекта. Обычно он устраняется при помощи программных методов, использующих номинальные значения.

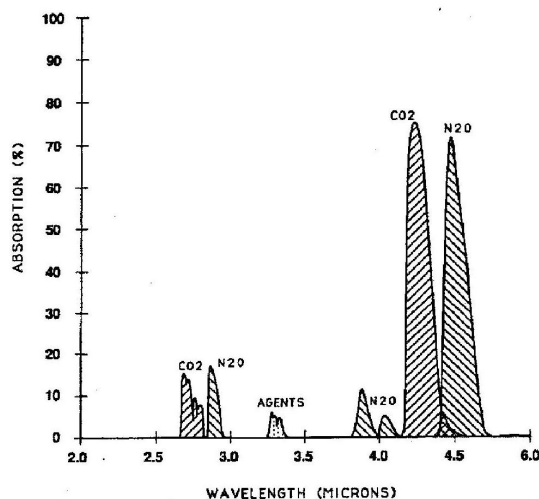


Рисунок 9

Водяной пар

Инфракрасные анализаторы основного потока, расположенные вблизи пациента, измеряют состояние газа в условиях близких к Температуре Тела, Давлению и Влажности (ТТДВ). Из-за водяного пара могут возникать эффекты перекрёстной интерференции (наложение спектров поглощения) и увеличение количества столкновений, однако спектральная линия на длине волны 4.26 микрон относительно не подвержена эффектам поглощения водяными парами и увеличения числа столкновений. Но с другой стороны на неё оказывает влияние эффекты

связанные с растворением газов и парциальным давлением. В системах “основного потока” эти эффекты минимизируются за счёт нагрева воздушного адаптера и его стёкол выше температуры тела или использования специальных покрытий. Насколько близко точное давление водяного пара к условиям ТТДВ зависит от таких факторов, как наличие и тип влажности, поток “свежего” воздуха, продолжительность использования и окружающая температура. Обычно выдыхаемый газ полностью насыщен при температуре 37 градусов цельсия или чуть меньше. Это выражается в давлении водяного пара, равном 47 мм. рт. ст.

В системах бокового потока температура исследуемого газа уменьшается до комнатной в процессе транзита газа от пациента к монитору. Это вызывает конденсацию на стенках трубки и как следствие уменьшение парциального давления водяного пара от условий ТТДВ 47мм. рт.ст. до более низких значений. При включении водопроницаемой трубки, такой как Nafion®, давление водяного пара в трубке будет с давлением водяного пара в помещении. Такое уменьшение давления водяного пара в трубке может

вызвать кажущееся увеличение концентрации CO_2 . Системы “бокового потока” вводят программные поправки для удаления влияния водяного пара, в результате могут возникать ошибки, поскольку предполагаемые условия могут отличаться от реальных и физические условия могут меняться с течением времени. Системы “основного потока” корректно отображают парциальное давление CO_2 в условиях ТТДВ или близких к ним, и не требуют программной коррекции для водяного пара.

Проблема примесей

Водяной или водо-подобный конденсат вызывает другую серьёзную проблему – закупоривание воздушной трубки или воздушного адаптера. Если капельки появляются в кювете на пути ИК луча, то будет иметь место некоторое его рассеяние и поглощение. Однако действительно однолучевые оптико-радиометрические системы (такие как CAPNOSTAT) могут успешно компенсировать рассеяние/поглощение из-за загрязнения, в случае если они частотно не зависимы. Частицы пыли и оптически непрозрачные частицы существенно не влияют на точность системы.

Загрязняющие примеси могут частично закупоривать трубки системы “бокового потока” и увеличивать сопротивлению потоку, что повлияет на временную задержку и точность измерений. В более тяжёлых случаях газовая трубка может полностью закупориваться. В некоторых мониторах компенсация негативных эффектов также может осуществляться путём увеличения потока воздуха или попыткой продуть трубку, в случае если фиксируется препятствие в трубке, вызывающее уменьшение потока. Несмотря на наличие водяных ловушек и водопроницаемых трубок жидкость может попадать во внутренние части монитора. Это может вызывать ухудшение качества измерений, что видно по искажённым формам капнограммы, из-за выхода из строя некоторых внутренних элементов монитора. Это повлечёт необходимость проверки монитора на точность измерений. А это может оказаться невозможным из-за необходимости выполнения анестезии во время проведения хирургического вмешательства, или необходимости проведения реанимационных мероприятий в палате интенсивной терапии. В результате показания капнографии могут оказаться не

точными и им нельзя будет доверять.

Примечание редактора. В России проверка точности измерений капнографа вряд ли вообще возможна в самом лечебном учреждении, т.к. это требует использования достаточно дорогих поверочных газовых смесей (срок годности смесей 1 год) и обученного технического персонала. Таким образом, применение в настоящее время «бокового потока» в российских ЛПУ вызывает большие проблемы и по этой причине тоже.

Клиническое применение

Были рассмотрены и сопоставлены системы капнографии “основного” и “бокового” потоков. Необходимо рассмотреть технологические ограничения и дизайнерские решения и их применение в различных клинических условиях и на различных пациентах. Ценность такого рода мониторов, как “первой линии обороны”, хорошо известна. Детальное изучение несчастных случаев показывает на то, что капнография является критически важной для определения ошибок при анестезии. Изучение таких случаев, также показывает, что треть несчастных случаев, связанных с капнографией, возникает из-за того, что применяется система “бокового потока”. И треть

случаев связана с неправильно заданными порогами тревог. Также нельзя недооценивать значимость капнографии при остановке сердца, дыхания и других клинических случаях.

Действительно, из всех физиологических параметров, используемых в данный момент при остановке сердца, капнография лучше всего обеспечивает информацией реального времени об эффективности реанимационных мероприятий. Поэтому критически важным для получения точных данных мониторинга, является чёткое соблюдение технологии и методов капнографии.

Использование на новорождённых – В основном в случае новорождённых и детей “системы бокового потока” недостаточно точны, из-за того, что для них требуется значительный отбор газа из системы вентиляции. Например для новорождённого со скоростью вентиляции 250 мл/мин (5 мл за 1 вдох, 50 вдохов в минуту) и скоростью отбора газа 50 мл/мин в систему “бокового потока” отводится 20% газа. При вентиляции со скоростью 50 мл/мин (1 мл за вдох, 50 вдохов в минуту) последствия могут быть довольно тяжёлыми.

Старые версии систем бокового потока

отбирали газ со скоростью 250 мл/мин, однако последние разработки в этой области позволили сократить скорость отбора, а также уменьшить диаметр трубки для отбора. Эти решения позволили увеличить чувствительность систем “бокового потока”, однако в результате возрос риск засорения трубок.

Использование водяных ловушек – Использование водяных ловушек, особенно в интенсивной терапии, легко может привести к неработоспособности или частичной блокировке ловушки, что в свою очередь вызывает серьёзные изменения формы капнограммы и значения частоты дыхания. Что особенно важно в системах, которые не показывают капнограмму.

Уровень углекислого газа в конце выдоха $EtCO_2$ – Алгоритм его расчёта является индивидуальным у каждого производителя. И при интерпретации значений $EtCO_2$ необходимо принимать во внимание алгоритм его расчёта. Это особенно важно в случае отсутствия капнограммы. К сожалению производители не всегда раскрывают, что именно подразумевается под значением $EtCO_2$. Либо это парциальное давление CO_2 в конце

выдоха, либо наибольшее значение в течении всего выдоха, определяемое по капнограмме, либо что-то совсем другое. Всё это зависит от производителя и часто не раскрывается.

Экстубация – Исторически, основными проблемами систем “основного потока” были их размеры и вес. Однако уменьшение веса и размеров таких систем позволили свести риск экстубации к минимуму, при должном внимании к дыхательному контуру. Не зарегистрировано ни одного случая, когда экстубация была бы связана с использованием датчика “основного потока”. Положение эндотрахеальной трубки обычно определяется по наблюдению выдыхаемого CO_2 во время серии коротких вдохов-выдохов. Было отмечено, что длительные задержки, связанные с применением системы “бокового потока” могут вызвать чрезмерную паузу в наблюдении выдыхаемого CO_2 , и ложный диагноз попадания трубки в желудок.

Ожоги – Некоторые авторы утверждают, что из-за того, что окна датчика “основного потока” подогреваются выше температуры тела, есть риск ожогов. В

действительности же температура до которой нагреваются датчики недостаточна даже для того, чтобы вызвать покраснение кожи. Должное внимание уделённое безопасности при проектировании устраняет все опасения.

Неинтубированные пациенты – Также поднимаются вопросы, связанные с неинтубированными пациентами. Двойное использование некоторых устройств “основного потока” и возможность их использования совместно со специальными масками на лицо позволяют применять “основной поток” на более широком круге пациентов и клинических случаев, чем системы “бокового потока”.

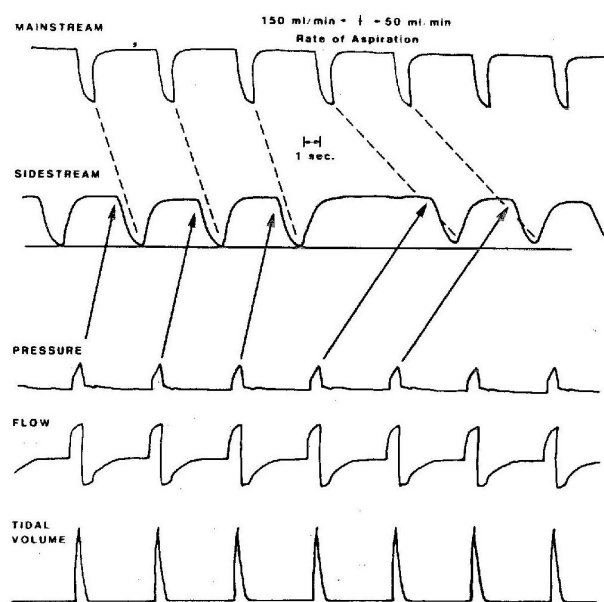


Рисунок 10

Артефакты – В системах “бокового потока” артефакты на капнограмме могут принимать различные формы. Например может произойти чрезмерное сглаживание выходного сигнала (рисунок 10).

При некоторых обстоятельствах артефакт может напоминать физиологические изменения, которые являются следствием болезней, таких как рестриктивные или обструктивные болезни лёгких. Например ложные значения низкого EtCO₂ могут быть расценены как адекватная альвеолярная вентиляция, хотя на самом деле реальное положение вещей будет совсем другим. Также отмечено, что “неспособность” капнограммы вернуться к нулевой базовой линии (zero baseline) на вдохе – это типичный артефакт “бокового потока”, который можно принять за возвратное дыхание и произвести ненужные изменения потока свежего воздуха или изменения контура.

Волюметрия

Совмещение в системах “основного потока” измерения скорости и давления даёт возможность измерения анатомических и физиологических

соотношений, удаление CO_2 , лёгочный капиллярный кровоток, и целый диапазон физиологических показателей, которые позволяют понять множество сердечно-лёгочных заболеваний. Включая синдром острого расстройства дыхания, хроническую непроходимость лёгких, астму и лёгочную эмболию.

Заключение

Форма капнограммы и тренды содержат ценную информацию, которую невозможно получить из других источников. Отсутствие капнограммы сродни отсутствию данных ЭКГ и артериального давления или даже ещё хуже. Небольшие изменения кривой капнограммы могут отражать

действительные или надвигающиеся проблемы с эндотрахеальными трубками, аппаратами ИВЛ, клапанами контура, поглотителями CO_2 , механикой воздухопроводов, привода вентилятора, сердечно сосудистой системой, уровнем нейромускульной блокады и другими важными параметрами. Важно, что кривая капнограммы чётко отображает то, что происходит в дыхательных путях.

Системы капнографии “основного потока” надёжно отражают то, что происходит в дыхательных путях. Данные системы прочно утвердились и широко применяются в качестве мониторинга, и будут применяться в дальнейшем.

Таблица 1 Сравнение анализаторов углекислого газа “основного” и “бокового” потока

Особенность	“Основной поток”	“Боковой поток”
Соединения		
расположение ИК датчика	в разрыве трубки	в мониторе
размер переходника	маленький	маленький
вес переходника	лёгкий переходник + дополнительный вес датчика	лёгкий переходник + дополнительный вес соединительных трубок
расположение переходника	обычно в конце эндотрахеальной трубки	конец эндотрахеальной трубки (может быть заменён “угловым” переходником)
использование на экстубированных пациентах	используется при помощи специальной маски или мундштука. Некоторые мониторы имеют используют специальный адаптер с помпой, для переключения в режим “бокового потока”	используется при помощи специального носового адаптера или кислородной вилки
соединительная трубка или кабель	лёгкий, гибкий кабель. без трубок для отбора газа.	трубка для отбора газа
компоненты необходимые для работы	датчик и переходник	датчик, переходник, трубка для отбора газа, фильтры, водная ловушка (опция), водонепроницаемые трубки
возможность повторного использования	датчик – многоразовый. переходники многоразовые	переходники многоразовые или одноразовые

	либо одноразовые.	
срок службы переходников	длительный	различный
стоимость замены	датчик – дорогой; переходник - недорогой	переходник – недорогой, но при использовании на пациентах с обильной секрецией может потребовать ежечасной замены. загрязнение анализатора и пневматической системы может привести к необходимости его замены, что по стоимости может быть эквивалентно стоимости системы “основного потока”
возможность использования при постоянной подаче кислорода	возможно, при помощи специальной маски. Мундштука или носовой канюли и режима бокового потока (если такой предусмотрен)	при помощи носовой вилки. Присутствует риск забора кислорода, вместе с откачиваемым газом
лёгкость использования, если пациент находится в необычной позе, например наклонной	да	да
скорость отбора газа	газ не отбирается	менее 250 мл/мин (отбираемый газ может быть возвращён в контур)
объём занимаемого дополнительного	маленький (менее 1 мл для новорождённых)	маленький

пространства		
подготовка к использованию		
время подготовки	различное	различное
процедуры необходимые для подготовки	на некоторых устройствах требуется установка нуля и калибровка	на некоторых устройствах требуется установка нуля и калибровка
установка нуля и калибровка		
установка нуля	ручная, датчик необходимо установить в “нулевой” адаптер и дождаться стабилизации (менее 20 секунд)	автоматическая, требует наличия внутренних клапанов и иногда внешних газовых резервуаров.
точность установки нуля	точная, возможность использования в дальнейшем различных адаптеров	точная, при использовании тех же самых трубок и адаптера, что и при установке нуля
установка нуля в процессе использования	только ручная, необходимо провести ту же процедуру, что и при начале использования (менее 20 секунд)	автоматически через заданные интервалы или ручная
калибровка (диапазона)	обычно не требуется	обычно не требуется
калибровка эталонным газом	Не требует частой калибровки.	калибровка необходима через каждые от 1 до 6 месяцев
чувствительность и выходные данные		
задержка до начала отображения данных	нет задержки	менее 3-х секунд
sensor 10-90% rise time	обычно менее 70	обычно менее 200

	миллисекунд	миллисекунд
отображение кривой	чёткое. Без искажений кривой из-за не дисперсности газов	гладкая кривая, из-за того, что газ фильтруется и длительного времени реакции
точность формы кривой	отличная. переменные скачки давления не оказывают ни какого воздействия	зависит от различных факторов, включая скорость отбора, смешивание газов, и конструктивные особенности
числовое отображение	ЧД, время между вдохами и усреднённое EtCO ₂	ЧД, время между вдохами и усреднённое EtCO ₂
увлажнение и загрязнение		
изменения давления водяного пара	не влияют	влияют из-за конденсации и высушивания газа