

# **Низкопоточковая анестезия и анестезия по закрытому контуру**

**С. С. Костюченко, M.D., DESA**

39 иллюстраций



Медицинская литература 2018

Москва • Витебск

УДК 616-089.5

ББК 53.761

K72

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Автор, редакторы и издатели приложили все усилия, чтобы обеспечить точность приведенных в данной книге показаний, побочных реакций, рекомендуемых доз лекарств, а также схем применения технических средств.

Однако эти сведения могут изменяться.

Внимательно изучайте сопроводительные инструкции изготовителя по применению лекарственных и технических средств.

**Рецензент:** Якубцевич Руслан Эдуардович, к.м.н., заведующий кафедрой анестезиологии и реаниматологии УО «Гродненский государственный медицинский университет».

Костюченко С. С.

K72 Низкопотоковая анестезия и анестезия по закрытому контуру /С. С. Костюченко.

– М.: Мед. лит., 2018 – 96 с., ил.

ISBN 978-5-89677-202-6

Издание посвящено работе с низкопотоковой анестезией и анестезией по закрытому контуру. Доступно изложены основные принципы работы с низкопотоковой анестезией, представлены пошаговые алгоритмы управления потоками свежего газа. Приведены схемы функционирования закрытого контура, таблицы расчета итоговой концентрации газов в дыхательном контуре и основные фармакокинетические модели потребления летучих анестетиков. Приведенные в книге данные публикуются на русском языке впервые и представляют собой безусловный профессиональный интерес для практикующего врача.

Для врачей анестезиологов-реаниматологов.

УДК 616-089.5

ББК 53.761

Сайт издательства: [www.medlit.biz](http://www.medlit.biz)

ISBN 978-5-89677-202-6

ISBN 978-985-6333-55-5

© Костюченко С. С., 2018

© изд. Чернин Б. И., изд. Плешков Ф. И., оформление, 2018

# ПРЕДИСЛОВИЕ

В век новых технологий базовые принципы анестезиологии могут оставаться не у дел, и, увлекшись современными системами автоматического поддержания целевой концентрации анестетика, анестезиологи могут не придавать значения тому, как работает наркозно-дыхательный аппарат (НДА), и каким правилам подчиняется низкотоковая анестезия (НПА). Для новичков в специальности НДА представляется чем-то сложным и пугающим, в отличие от аппаратов искусственной вентиляции легких. Современный НДА – это сложная и высокотехнологичная машина, которая подчиняется определенным принципам в работе и должна соответствовать четким требованиям к конструкции. К сожалению, в СНГ практически отсутствует официальное обучение анестезиологов работе с НДА, что ведет к многочисленным заблуждениям, предрассудкам и часто страху анестезиолога перед НПА и анестезией по закрытому контуру (ЗК). С точки зрения современной медицины и практического опыта автора книги, НПА является абсолютно безопасной для пациента при условии понимания анестезиологом её основных принципов [1]. Класс аппарата не играет ключевой роли при соблюдении всех необходимых требований к НДА.

Для понимания принципов проведения НПА и анестезии по ЗК необходимо знать не только строение НДА, но и фармакокинетику анестетиков, базовые законы

физики и определенные нюансы работы с низким потоком свежего газа (ПСГ). В данной книге в необходимой мере освещены все вышеупомянутые разделы, а также обобщен собственный опыт работы с НПА. Многие детали, не имеющие прямого отношения к НПА, были опущены, так же, как и некоторые расчеты, которые были расценены как излишне сложные. Как показывает безразличная статистика, даже физики боятся математики – каждая формула уменьшает цитируемость научной статьи на 28% [2, 3]. Тем не менее, полностью избежать наличия формул в этой книге не удалось, хотя их количество и сведено до необходимого минимума.

В итоге данная книга получилась в формате, удобном для прочтения, и в объеме, позволяющем освоить информацию в максимально короткие сроки.

После прочтения этой книги анестезиолог будет иметь четкое представление о работе с НПА, будет способен применять любые допустимые потоки при соблюдении определенных мер безопасности, а также сможет работать без испарителя для летучих анестетиков при помощи метода «жидкой» анестезии.

Книга предназначена для врачей-интернов, клинических ординаторов и практикующих врачей-анестезиологов.

Замечания по улучшению книги будут с благодарностью приняты по адресу: [s.kastsiuchenka@gmail.com](mailto:s.kastsiuchenka@gmail.com)

*С. С. Костюченко*  
2018

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	V
Глоссарий .....	VIII
<b>1. Фармакокинетика ингаляционных анестетиков .....</b>	<b>1</b>
<b>Физика и ингаляционные анестетики .....</b>	<b>2</b>
Влияние атмосферного давления на парциальное давление анестетика .....	4
<b>Доставка анестетика к пациенту .....</b>	<b>4</b>
<b>Доставка анестетика к тканям .....</b>	<b>5</b>
<b>Поглощение и распределение анестетика .....</b>	<b>5</b>
Факторы, влияющие на рост $F_I$ .....	7
Факторы, влияющие на рост $F_A$ .....	7
Факторы, влияющие на рост парциального давления анестетика в крови ( $P_{\text{кровь}}$ ) .....	7
<b>Минимальная альвеолярная концентрация анестетика .....</b>	<b>8</b>
Гистерезис МАК .....	11
Пробуждение .....	12
<b>2. Строение и принцип работы наркозно-дыхательного аппарата .....</b>	<b>15</b>
Общие принципы строения .....	16
Строение системы высокого давления .....	17
Строение системы промежуточного давления .....	17
Строение системы низкого давления .....	18
<b>Строение классического реверсивного дыхательного контура .....</b>	<b>19</b>
APL-клапан .....	20
Мешок-резервуар .....	21
Потоковый датчик .....	22
Y-образный коннектор .....	22
Компенсация ПСГ .....	22
<b>Работа реверсивного дыхательного контура .....</b>	<b>23</b>
<b>НДА с системой разобщения потоков (декаплинг) .....</b>	<b>25</b>
<b>Вентиляторы .....</b>	<b>28</b>
Пневматический вентилятор .....	28
Поршневой вентилятор (пистон) .....	32
Вентилятор с рефлектором .....	32
Турбинный вентилятор .....	34
<b>Удаление отработанных газов .....</b>	<b>34</b>
<b>Абсорбенты углекислого газа .....</b>	<b>36</b>
Взаимодействие абсорбента с ингаляционными анестетиками .....	39
<b>3. Проверка оборудования перед работой .....</b>	<b>43</b>
Безопасность при работе с НДА .....	44
Причины назначения гипоксической смеси во время анестезии .....	44
Проверка НДА .....	45
Калибровка датчика кислорода .....	46
Проверка системы низкого давления на утечку .....	47
<b>Проверка герметичности контура .....</b>	<b>47</b>
Проверка испарителя .....	48
Проверка системы удаления отработанных газов .....	49
<b>Проверочный лист (чек-лист) .....</b>	<b>49</b>

<b>4. Низкопоточковая анестезия .....</b>	<b>51</b>
Парадокс низких потоков .....	53
Расчет итоговой концентрации газов в контуре .....	53
Азот, денитрогенация и преоксигенация .....	57
Оценка потребности в кислороде .....	58
Стадии НПА .....	58
Индукция НПА .....	58
Методы, ускоряющие индукцию анестезии .....	59
Поддержание НПА .....	59
Прекращение НПА .....	59
Закись азота и НПА .....	59
Преимущества закиси азота .....	60
Недостатки закиси азота .....	60
Анестезия по закрытому контуру .....	60
Работа газоанализатора .....	63
Накопление дополнительных газов в контуре .....	64
Учебное программное обеспечение .....	64
Коэффициент эффективности анестезии (коэффициент Эрнста) .....	66
Жидкая анестезия .....	66
Расчет потребления анестетика .....	69
Метод Фика .....	69
Модель квадратного корня времени .....	70
«Жидкая» анестезия изофлюраном .....	71
«Жидкая» анестезия севофлюраном .....	71
Математическое обоснование модели квадратного корня времени .....	72
Общее количество потребленного анестетика .....	73
4-х компартментная модель Eger .....	73
Линейная модель Lin .....	73
Современное представление .....	74
Оптимальный ПСГ .....	74
Алгоритмы работы с НПА/МПА .....	75
Использование смеси $O_2/N_2O$ .....	75
Использование смеси $O_2$ /воздух .....	75
Использование чистого $O_2$ .....	76
Метод Lerou и соавт. ....	76
Техника Gothenburg .....	76
Индукция сверхпотоком .....	76
Инерционная анестезия (коастинг) .....	77
Пошаговый алгоритм НПА .....	78
Необходимость изменения глубины анестезии .....	78
Необходимость изменения объема контура или $F_iO_2$ .....	79
Системы автоматического контроля концентрации ингаляционного анестетика .....	80
Алгоритм действий при тяжелой интраоперационной гипоксии .....	81
Причины гипоксии .....	81
Назначение гипоксической смеси .....	81
Нарушение вентиляции .....	81
Шунт .....	82
Нарушение доставки кислорода .....	82
Увеличение потребления кислорода .....	82
Немедленные действия при гипоксии .....	82
Послесловие .....	83
Список литературы .....	84

## Глоссарий

BAR	Блокада адренергического ответа
Et	Концентрация в выдыхаемом воздухе
F	Фракция парциального давления
FA	Альвеолярная фракция)
FI	Инспираторная фракция
FD	Фракция доставки (установка испарителя)
Fa	Артериальная фракция
FЦНС	Фракция в ЦНС
FIО2	Инспираторная фракция кислорода
МАК	Минимальная альвеолярная концентрация
РА	Парциальное давление анестетика в альвеоле
Pa	Парциальное давление анестетика в крови
PВ	Парциальное давление анестетика в ЦНС
Ppeak	Пиковое давление в дыхательных путях
Q	Сердечный выброс
VRG	Высоковаскуляризованные ткани
$\lambda K/G$	Коэффициент кровь/газ
$\lambda ЦНС/G$	Коэффициент ЦНС/газ
$\lambda T/G$	Коэффициент ткань/газ
$\lambda T/K$	Коэффициент ткань/кровь
BK	Временная константа
ВЧД	Внутричерепное давление
ДНП	Давление насыщенного пара
ЗК	Закрытый контур
КНП	Концентрация насыщенного пара
МАК	Минимальная альвеолярная концентрация
МВ	Минутная вентиляция
МПА	Минимально-поточковая анестезия
НДА	Наркозно-дыхательный аппарат
НПА	Низкопоточковая анестезия
ПСГ	Поток свежего газа
СУОГ	Система удаления отработанных газов
ФОЕ	Функциональная остаточная емкость легких

---

## Глава 1

# ФАРМАКОКИНЕТИКА ИНГАЛЯЦИОННЫХ АНЕСТЕТИКОВ

---

### Физика и ингаляционные анестетики

**Газ** – вещество, находящееся в газообразной форме при температуре выше критической.

**Пар** – вещество, находящееся в газообразной форме при температуре ниже критической.

**Критическая температура** – температура, выше которой газ не может быть сжижен при помощи давления.

**Критическое давление** – давление, при помощи которого газ может быть сжижен при своей критической температуре.

К примеру, критическая температура  $N_2O$  – 36,5 °C. Это значит, что при комнатной температуре  $N_2O$  под действием давления может быть сжигена, т. е. обладает свойствами пара, а при температуре выше 36,5 °C  $N_2O$  имеет свойства истинного газа – т. е. не может быть сжигена.

Среди ингаляционных анестетиков только ксенон и  $N_2O$  являются истинными газами, в то время как остальные анестетики (галотан, изофлюран, севофлюран, десфлюран) являются парами летучих жидкостей. Далее для упрощения все ингаляционные анестетики будут называться газами, поскольку все они находятся в газообразной фазе при поступлении в легкие.

Если летучий жидкий анестетик поместить в закрытый контейнер, он начнет испаряться в нем. Вскоре молекулы анестетика будут уравновешены между жидкой и газообразной фазой и дальнейшее испарение прекратится. Давление, оказываемое газом на стенки контейнера в состоянии равновесия с жидкой фазой, называется *давлением насыщенного пара* (ДНП). ДНП не зависит от объема жидкости и барометрического давления, однако прямо пропорционально температуре. Так, при температуре 20 °C ДНП изофлюрана составляет 238 мм рт. ст., а при температуре 10 °C – всего 150 мм рт. ст. Следует отметить, что для всех анесте-

тиков ДНП при 20 °C меньше, чем атмосферное.

При повышении температуры ДНП растет. Когда давление пара начинает превышать атмосферное давление при открытом контейнере (сообщающемся с окружающей средой), жидкость закипает – достигается *точка кипения*. В отличие от ДНП, точка кипения прямо пропорциональна атмосферному давлению. То есть при снижении атмосферного давления жидкость закипает при более низкой температуре.

Точка кипения воды, как известно, составляет 100 °C при давлении 1 атм. При более низком давлении точка кипения воды уменьшается. Вот почему невозможно приготовить хороший кофе, находясь на большой высоте, например, в горах – вода выкипит до того, как температура достигнет необходимых для варки кофе 92-96 °C!

А вот точка кипения десфлюрана составляет 23,5 °C, поэтому он закипает при комнатной температуре. При высокой температуре могут закипеть даже галотан и изофлюран. Если анестетик закипит в испарителе, что практически очень сложно, но возможно, то концентрация анестетика в контуре может увеличиться до максимально возможной – концентрации насыщенного пара, максимального объемного процента (► Табл. 1). Следует помнить, что рабочие температуры испарителя составляют от 10 до 40 °C.

Если несколько газов смешать и смесь поместить в закрытый контейнер, то каждый газ будет оказывать давление, пропорциональное его фракционной массе – **парциальное давление**.

Сумма парциальных давлений каждого газа в смеси газов равна общему давлению всей смеси (закон Дальтона):

$$P_{\text{total}} = P_{\text{gas1}} + P_{\text{gas2}} + P_{\text{gas3}} + \dots$$

Измерить парциальное давление газа в растворе сложно, поскольку давление можно измерить только в газообразной фазе, в то время как в растворе количе-



Таблица 1. Физические свойства летучих анестетиков

Свойство	Галотан	Изофлюран	Севофлюран	Десфлюран
ДНП при 20 °С	243	238	157	669
КНП* при 20 °С и 1 атм	32	31	21	88
МАК для возраста 40 лет	0,75	1,2	1,9	6
Точка кипения при 1 атм, °С	50,2	48,5	58,6	23,5
Коэффициент кровь/газ	2,57	1,38	0,68	0,424

\*КНП – концентрация насыщенного пара или максимальный объемный процент анестетика.

ство газа измеряется концентрацией. Поскольку равновесие анестетика в организме основано на парциальном давлении, а не на концентрации, нас интересует именно парциальное давление газа.

Таким образом, парциальное давление газа в растворе представляет собой давление газа в газообразной фазе, находящегося в равновесии с жидкой фазой. Однако молекулы газа в жидкости реагируют с молекулами раствора гораздо больше, чем с молекулами в газообразной форме. Это взаимодействие называется **растворимостью**, т. е. тенденцией газа придти в равновесие с раствором, задавая в нем свою концентрацию.

Следовательно, концентрация любого газа в растворе зависит от:

- парциального давления в газообразной фазе, находящейся в равновесии с раствором
- растворимости анестетика

Эффект анестезии вызывается путем достижения определенного парциального давления газа в головном мозге. Если достичь равновесия парциального давления во всей системе, начиная от наркозного аппарата и до ЦНС, то парциальное давление газа в ЦНС будет равно парциальному давлению в крови, которое будет равно парциальному давлению в альвеолах. Таким образом, мониторинг альвеолярной концентрации анестетика позволяет оценить его эффект на ЦНС при условии достижения равновесия.

Итак,

- Вдыхаемый анестетик находится в равновесии согласно своему парциальному давлению в каждой ткани, а не согласно концентрации.
- Парциальное давление газа в растворе определяется парциальным давлением в газообразной фазе.
- Концентрация анестетика в тканях зависит от парциального давления и его растворимости в тканях.

При проведении анестезии принято измерять количество анестетика в объемных процентах, а не в парциальном давлении. Объемный процент – это отношение парциального давления анестетика к атмосферному давлению.

Следует понимать, что 1% анестетика в тканях это не 1% концентрации, а 1% парциального давления от 1 атмосферы, абсолютного давления. Этот процент называют **объемным**, поскольку парциальное давление прямо пропорционально количеству молекул газа, а объем газа напрямую зависит от количества его молекул.

**Объемный процент** =  $P_{\text{анестетика}} / P_{\text{атмосферное}}$

Так, 2 об% севофлюрана означают, что парциальное давление севофлюрана в смеси равняется 15,2 мм рт. ст.:  $2\% = 15,2/760$ .

Если выразить состав воздуха в объемных процентах, то получится следующее:

100% воздуха  $\approx$  21% кислорода + 78% азота + 1% других газов