

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ МИНИ-ИСПАРИТЕЛЕЙ ВНУТРИ И ВНЕ ДЫХАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

**Молчанов И.В., Берлин А.З., Буров Н.Е., Грибачёв С.В., Королёв А.И.**

Российская медицинская академия последипломного образования Минздравсоцразвития РФ,  
Научно-производственная фирма "МИНИВАП", Москва

Рассматривают методики управления концентрацией вдыхаемых анестетиков (севофлурана и изофлурана) при использовании испарителей высокого (plenum) и низкого (draw-over) сопротивления вне и внутри дыхательного контура. Даны результаты модельных и клинических испытаний опытных образцов новых испарителей\* "МИНИВАП" с использованием дозиметра медицинских газов, дыхательного контура и монитора наркозных аппаратов фирм Drager (модели Primus, SA2), Ohmeda, Stephan в ГКБ им. С.П. Боткина (кафедра анестезиологии и реаниматологии РМАПО).

При установке мини-испарителя внутри дыхательного контура (VIC) анестезиолог в течение нескольких секунд регулирует вдыхаемую концентрацию по шкале испарителя с учетом рециркуляции газа.

При установке мини-испарителя вне полузакрытого дыхательного контура (VOC) анестезия проходит аналогично стандартному использованию испарителя высокого сопротивления.

Комбинированная эндотрахеальная анестезия с эпидуральной анальгезией севофлураном или изофлураном с помощью испарителей "МИНИВАП" при различных оперативных вмешательствах (урологические, кишечно-полостные, неотложная хирургия) длительностью от 2 до 8 ч проведена у 52 взрослых больных.

Полученные результаты могут быть использованы при эксплуатации отечественных и зарубежных моделей аппаратов для ингаляционного наркоза (ИН) и искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ).

*Ключевые слова:* аппараты для ингаляционного наркоза, мини-испарители, дыхательный контур.

Главным параметром аппарата ингаляционного наркоза (ИН) является концентрация анестетика в газовой смеси, вдыхаемой пациентом. Быстрое, удобное и безопасное (с приборным мониторингом) управление концентрацией позволяет провести адекватное обезболивание с минимальными побочными эффектами для пациента и медицинского персонала при минимальном расходе анестетика.

Проблема большинства современных аппаратов ИН (Drager, Penlon, Ohmeda), оснащённых прецизионными испарителями вне дыхательного контура (VOC), – крайне медленное регулирование вдыхаемой концентрации при использовании экономичной и экологичной методики "low & mini-flow anesthesia" [7].

С другой стороны, простые, но нестабильные испарители draw-over (OMV, Goldman) [5, 6], установленные внутри полузакрытого дыхательного контура (VIC), позволяют быстро изменить вдыхаемую концентрацию, что крайне опасно при использовании мощных анестетиков типа изофлурана, галотана (фторотана). Концентрация монотонно увеличивается с каждым дыхательным циклом при повторном прохождении части выдыхаемого паци-

ентом газа через испаритель и мгновенно может "подскочить" из-за нестабильности последнего [7, 8], поэтому применение анестезии draw-over в настоящее время ограничено: её используют в ветеринарии, труднодоступных районах, при неотложных ситуациях и в военно-полевых условиях [1, 5-8].

В связи с этим актуальны исследование и клиническая апробация новых испарителей "МИНИВАП-20" (рис. 1) и "МИНИВАП-100" (объем для анестетика 20 и 100 мл, наибольшая концентрация 3 и 5 об.% соответственно), которые стабилизированы по газотоку и температуре, и, кроме того, могут быть установлены как вне, так и внутри дыхательного контура благодаря низкому сопротивлению [3].

### **Аппаратура**

Мини-испарители предназначены для проведения ингаляционного наркоза в хирургических и анестезиологических отделениях больниц и клиник, а также в военно-полевых условиях, чрезвычайных ситуациях и на скорой помощи. В России, обладающей самой большой территорией, такие аппараты незаменимы для районных клиник и отдалённых, труднодоступных районов, так как могут работать и в отсутствие сжатых медицинских

\* Испарители разработаны и внедряются научно-производственной фирмой "МИНИВАП" благодаря государственной финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (генеральный директор Бортник И.М.)

газов (рис. 2), и от низконапорных источников газа (мешок Амбу, оксигенатор) [3]. Основные

технические данные испарителей "МИНИВАП-20" и "МИНИВАП-100" приведены в табл. 1.

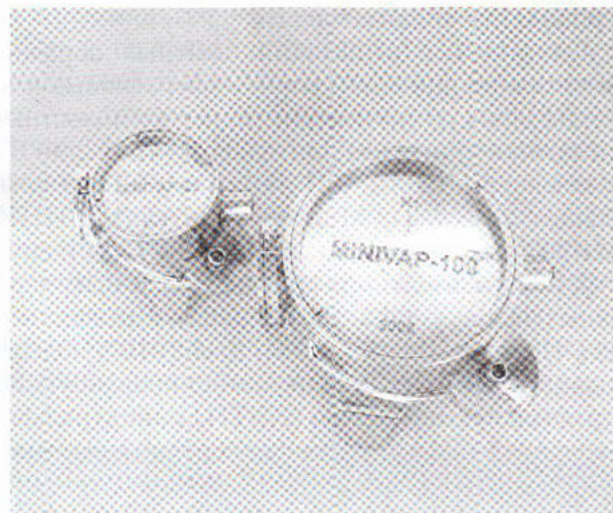


Рис. 1. Испарители "МИНИВАП-20" и "МИНИВАП-100"

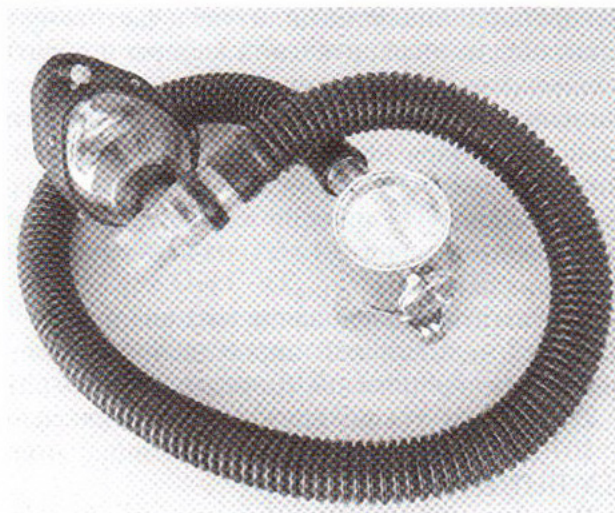


Рис. 2. Испаритель "МИНИВАП-20" в составе портативного аппарата ИВ "Колибри-А" (открытый контур при спонтанном дыхании)

Таблица 1

Основные технические данные испарителей "МИНИВАП-20" и "МИНИВАП-100"

Концентрация анестетика (изофлуран, севофлуран, фторотан или энфлуран), об.%	от 0-3 до 0-5
Окружающая температура, °С	5-35
Атмосферное давление, кПа	от 70 (3 км над уровнем моря) до 110
Расход газов (постоянный или пульсирующий), л/мин	0,2-10,0
Сопротивление испарителя, мм вод. ст. при 10 л/мин	10-20
Допустимый угол наклона, градус	180-90
Объем для анестетика, мл	20-100
Остаток анестетика на фитилях после слива, мл	3-5
Масса, кг	0,3-1,0

**Принцип действия.** Поток газа-носителя (кислород из ротаметра или атмосферный воздух) делится в испарителе на две части соответственно требуемой концентрации анестетика. Одна (меньшая) часть газа проходит через испарительную камеру, где насыщается парами анестетика до равновесной концентрации  $p_{ан}/p$  (десятки об.%), а затем разбавляется до требуемой клинической концентрации второй частью газа, проходящей через байпас (в обход испарительной камеры).

**Термокомпенсация.** При уменьшении температуры давление насыщенных паров анестетика  $p_{ан}$  падает. При этом термокомпенсатор в виде герметичного сильфона с легкоиспаряющейся жидкостью пропорционально уменьшает проходное сечение байпаса, за счет чего увеличивается отно-

сительный поток газа-носителя через испарительную камеру и поддерживается стабильная концентрация паров анестетика на выходе испарителя. При увеличении температуры термокомпенсатор корректирует относительный поток газа-носителя в обратную сторону.

**Барокомпенсация.** При падении атмосферного давления  $p$  (например, на большой высоте) равновесная концентрация анестетика в испарительной камере  $p_{ан}/p$ , наоборот, увеличивается, при этом сильфон термокомпенсатора с легкоиспаряющейся жидкостью действует уже как барокомпенсатор, пропорционально увеличивая проходное сечение байпаса. При повышении атмосферного давления сильфон движется в обратную сторону, поддерживая стабильную концентрацию па-

ров анестетика на выходе испарителя.

Влияние пульсации давления в дыхательном контуре (back pressure) на выходную концентрацию пропорционально амплитуде и частоте пульсации, объему испарительной камеры и обратно пропорционально расходу газа через испаритель. Для мини-испарителей это влияние незначительно благодаря конструктивной симметрии и минимальному объему испарительной камеры (максимальное увеличение концентрации анестетика не превышает 0,3 об.% на наибольшей отметке шкалы).

#### Результаты исследования и их анализ

Перед медицинской апробацией проведены приёмочные технические (протокол № 089/р37.2 от 29.09.06) и токсикологические (заключение № 407-06 от 26.10.06) испытания аппаратов в ФГУ ВНИИИМТ.

Проведены модельные испытания указанных

опытных образцов в реальных условиях операционной с использованием модели лёгких человека, мониторов аппаратов фирм Drager, Ohmeda, Stephan и газоанализатора Riken.

Клинические испытания опытных образцов при ингаляционной анестезии и оперативных вмешательствах (урологические, кишечно-полостные, неотложная хирургия) длительностью от 2 до 8 ч проведены в ГКБ им. С.П. Боткина у 52 взрослых больных (табл. 2). Мини-испаритель "МИНИ-ВАП-20" устанавливали как вне (VOC), так и внутри (VIC) дыхательного контура различных зарубежных (Drager, Ohmeda, Stephan) и отечественных ("Полинаркон-12", РО-6, "Ксена 010") моделей аппаратов ИН. Проводили комбинированную эндотрахеальную анестезию (КЭТН) с эпидуральной анальгезией (ЭА) закисно-кислородной смесью и севофлураном. Использовали преимущественно низкотоковую методику (1-1,5 л/мин) с ИВЛ.

Таблица 2

#### Характеристики оперативных вмешательств и больных при КЭТН с ЭА севофлураном и изофлураном с помощью испарителей "МИНИВАП-20"

Клиника	Урология			Хирургия		Неотложная хирургия
	РЦПВЭ <sup>1</sup>	РПЭ <sup>2</sup>	РНЭ <sup>3</sup>	ПДР <sup>4</sup>	ГКЭ <sup>5</sup>	
Операции	РЦПВЭ <sup>1</sup>	РПЭ <sup>2</sup>	РНЭ <sup>3</sup>	ПДР <sup>4</sup>	ГКЭ <sup>5</sup>	АЭ <sup>6</sup>
Кровопотеря, мл	500-2000	50-1000	200-500	~2000	~700	50
Возраст больных	48-67	51-76	44-72	57	68	19-45
Кол-во больных	6	29	10	1	1	5

РЦПВЭ<sup>1</sup> – радикальная цистпростатвезикулэктомия, РПЭ<sup>2</sup> – радикальная простатэктомия, РНЭ<sup>3</sup> – радикальная нефрэктомия, ПДР<sup>4</sup> – панкреатодуоденальная резекция, ГКЭ<sup>5</sup> – гемиколонэктомия, АЭ<sup>6</sup> – аппендэктомия

Не зафиксировано ни одного осложнения во время анестезии и операции. В течение анестезии у пациентов сохранялись стабильная гемодинамика, удовлетворительные показатели  $SpO_2$  и  $CO_2$ .

Время пробуждения не связано напрямую с положением испарителя в дыхательном контуре, а зависит от физиологических особенностей пациента (объем подкожно-жировой клетчатки, возраст), объема и длительности операции. После некоторых видов операций (панкреатодуоденальная резекция, цистпростатвезикулэктомия) пациент редко пробуждается на столе, и его обычно переводят в реанимацию.

В случае VOC мини-испаритель устанавливают между дозиметром кислородно-закисной смеси и дыхательным контуром с помощью соединителей (переходников). Для аппаратов фирмы Ohmeda использовали стандартный соединитель 15М-15М (диаметром 15 мм). Для отечественных аппаратов "Полинаркон-12" был изготовлен специальный коллектор с двумя гнездами под верти-

кальные штуцера кислородно-закисной смеси.

Коллектор имеет также стандартное конусное гнездо 15F для подключения нового испарителя "МИНИВАП" вместо испарителя "Анестезист-4" (последний не приспособлен для севофлурана и расходов газа менее 2 л/мин, остаток анестетика на фитилях более 60 мл, масса более 7 кг).

Наркоз проводили по стандартной методике для полужакрытого контура. При использовании зарубежных аппаратов фирм Ohmeda и Stephan работали преимущественно на изофлуране и севофлуране при расходе кислорода и закиси азота 1-1,5 л/мин. На отечественных стационарных аппаратах ИН и ИВЛ работали при свежем газотоке 4-6 л/мин из-за худшего качества адсорбента и больших утечек. В этом случае при повышенных расходах газа и концентрациях анестетика целесообразнее использовать более мощный испаритель "МИНИВАП-100".

В случае VIC "МИНИВАП-20" устанавливают перед гофрированной трубкой вдоха пациента:

вход мини-испарителя соединяют со стандартным конусным штуцером 22М аппарата ИИ, а выход через стандартный переходник 15 F-22М соединяют с искомой гофрированной трубкой. Такой способ подключения годится практически для любого аппарата ИИ и ИВЛ. На рис. 3 мини-испаритель подключен к современному аппарату ИИ Primus фирмы Drager. Ингаляционный наркоз проводили по методике "low & mini-flow anaesthesia" при расходе свежих газов от 0,5 до 2 л/мин с постоянным контролем вдыхаемой и выдыхаемой концентрации анестетика, а также стандартных клинических параметров больных. По сути, повторена методика 50-60 гг. прошлого века с использованием испарителей низкого сопротивления

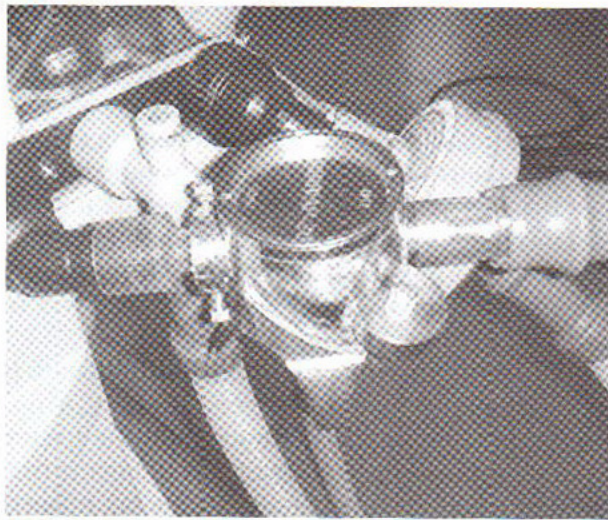


Рис. 3. Испаритель "МИНИВАП-20" внутри дыхательного контура аппарата ИИ "Primus" фирмы Drager

В стационарном режиме выдыхаемая концентрация анестетика равна вдыхаемой, тогда

$$C_1 = C_{\text{ин}} \text{ MB} / \Gamma_{\text{к+з}} \quad (2).$$

В среднем  $\text{MB} = 6-8$  л/мин,  $\Gamma_{\text{к+з}} = 1-1,5$  л/мин, и для обеспечения стандартной минимальной альвеолярной концентрации (МАК) севофлурана (0,8-1,5 об.% в кислородно-закисной смеси для взрослых пациентов) шкалу испарителя устанавливали, согласно формуле (2), на уровне 0,15-0,3 об.% ( $\text{MB} / \Gamma_{\text{к+з}} = 5$ ). При этом монитор аппарата ИИ Primus подтверждал адекватность соотношения (2).

Для оперативного управления глубиной наркоза очень важно, чтобы время переходного процесса (изменения вдыхаемой концентрации, или время запаздывания) при регулировании концентрации по шкале испарителя было минимальным. Именно для VIC оно минимально (около 3 с), так как равно времени прохода газа от испарителя до пациента через трубку вдоха длиной 1 м. Для сравнения, указанное время запаздыва-

внутри дыхательного контура (VIC) при рециркуляции выдыхаемой пациентом газовой смеси [5-7]. Только вместо испарителя "draw-over" типа Goldman с условной шкалой или OMV фирмы Penlon применён стабилизированный испаритель.

Более подробно рассмотрим преимущества и недостатки последней методики и возможности ее усовершенствования.

Из материального баланса полузакрытого дыхательного контура аппарата ИИ с VIC (рис. 4) определим вдыхаемую концентрацию анестетика:

$$C_1 = C_{\text{ин}} + C_2 [1 - (\Gamma_{\text{к+з}} / \text{MB})] \quad (1),$$

где  $C_{\text{ин}}$  – концентрация по шкале испарителя,  $C_2$  – выдыхаемая концентрация,  $\Gamma_{\text{к+з}}$  – расход кислорода и закиси азота,  $\text{MB}$  – минутная вентиляция.

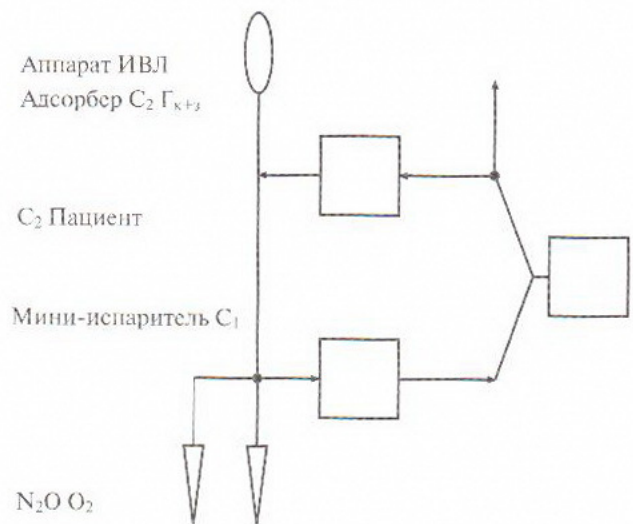


Рис. 4. Схема аппарата ИИ с испарителем внутри дыхательного контура в стационарном режиме  
 $C_1 = C_{\text{ин}} \text{ MB} / \Gamma_{\text{к+з}}$ , согласно формуле (2)

ния для испарителя вне дыхательного контура в десятки раз больше (оно пропорционально объёму дыхательного контура порядка 5 л и обратно пропорционально расходу свежего газа). При свежем газотоке 1 л/мин оно превышает 10 мин [7].

#### Пример 1

*Полузакрытый дыхательный контур аппарата ИИ Primus с испарителем Vapor 2000 вне контура;  $\text{MB} = 7,2$  л/мин, свежий газоток  $\Gamma = 1$  л/мин. Операция по поводу аденокарциномы предстательной железы у больного 68 лет, рост 180 см, масса тела 86 кг при КЭТН с ЭА закисно-кислородной смесью и севофлураном.*

*Через 23 мин после установки шкалы (включения) испарителя на отметку 0,6 об.% севофлурана вдыхаемая концентрация по газоанализатору аппарата  $C_1 = 0,4$  об.% (67% от установленной на испарителе), выдыхаемая  $C_2 = 0,3$  об.%.*

*В конце операции (через 2,5 ч анестезии), через 9 мин после отключения испарителя ( $\text{MB}$  и свежий газоток без изменения), вдыхаемая концентрация*

снизилась с 0,5 до 0,2 (выдыхаемая с 0,4 до 0,2); через 15 мин показания газоанализатора снизились до нуля.

Приведенные данные соответствуют литературным: "Пробуждение обычно занимает меньше времени, чем индукция... Например, жировые ткани продолжают поглощать анестетик уже после отключения его подачи до тех пор, пока тканевое парциальное давление анестетика не превысит альвеолярное, тем самым ускоряя пробуждение. После длительной анестезии такое перераспределение не возникает (все группы насыщены анестетиком), поэтому скорость пробуждения зависит еще и от продолжительности применения анестетика" [2, 4].

В связи с увеличением времени изменения вдыхаемой концентрации целесообразно оценить нижнюю (по свежему газотоку) границу применения испарителя вне дыхательного контура [1]. Конечно, анестезиолог уменьшает это время "рассчитанным" кратковременным увеличением концентрации по шкале испарителя, чтобы ускорить поступление паров анестетика в дыхательный контур, несмотря на низкий газоток свежего газа. По мере приближения вдыхаемой концентрации к МАК анестезиолог уменьшает концентрацию по шкале испарителя. Адекватность управления индукцией зависит от опыта (искусства) анестезиолога, подкрепленного приборным мониторингом.

Однако сравнение максимальной скорости подачи паров анестетика для испарителя вне и внутри дыхательного контуров говорит о явном проигрыше 1-го варианта.

#### Пример 2

Максимальная скорость подачи паров анестетика в дыхательный контур посредством испарителя Varog 2000 на отметке 6 об.% севофлурана при свежем газотоке 1 л/мин составляет  $0,06 \times 1000 = 60 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

Для испарителя "МИНИВАП-20" на отметке 3 об.% севофлурана при минутной вентиляции 6 л/мин максимальная скорость  $0,03 \times 6000 = 180 \text{ см}^3/\text{мин}$ , т.е. втрое выше, несмотря на меньшую максимальную концентрацию (и в 20 раз! меньшую массу).

Для более мощного испарителя "МИНИВАП-100" максимальная скорость  $0,05 \times 6000 = 300 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

На практике эта разница еще значительней, как сказано выше, из-за необходимости "промывки" дыхательного контура. Установка испарителя внутри дыхательного контура (VIC) позволяет практически без запаздывания регулировать вдыхаемую концентрацию анестетика по шкале испарителя. Для VOC это время измеряется, по крайней мере, минутами. Чем ниже свежий газоток, тем менее управляема анестезия для VOC.

Однако в малоинерционном VIC необходимо

учитывать рециркуляцию выдыхаемого газа.

#### Пример 3

Для обеспечения стандартной МАК севофлурана 1 об.% в кислородно-закисной смеси (1:2) для взрослого пациента при  $\text{МВ} = 6 \text{ л/мин}$  и  $\text{Г}_{\text{к+а}} = 1 \text{ л/мин}$  шкалу испарителя "МИНИВАП-20" устанавливают на 0,15 об.%. При этом расчетная вдыхаемая концентрация, согласно формуле (2),  $\text{C}_1 = 0,15 \times 6 = 0,9$ . Газоанализатор аппарата ИИ Primus показывает при этом 1 об.% севофлурана.

Очевидно, что в стандартном аппарате ИИ такая поправка должна вводиться автоматически по показаниям соответствующих измерителей минутной вентиляции, расхода кислорода и закиси азота с одновременным контролем концентрации анестетика в дыхательной смеси. Это предмет разработки новой, перспективной модификации аппарата ИИ на основе апробированных опытных образцов мини-испарителей.

В процессе подготовки серийного выпуска продолжается отработка эргономических (дизайн, шкала концентраций, залив-слив и контроль количества анестетика) и технологических параметров (материалы, сборка-настройка и контроль, долговечность) мини-испарителей. При этом целесообразно использовать опыт и передовую технологию ведущих западных фирм.

В свете обсуждения управляемости общей ингаляционной анестезии следует заметить, что более чувствительные и менее инерционные средства для регулирования концентрации анестетиков позволяют при прочих равных условиях провести более адекватное обезболивание с минимальными побочными эффектами для пациента и медицинского персонала. Расход анестетика в испарителе за операцию может служить простым дополнительным критерием качества анестезии. В среднем за 4-часовую комбинированную анестезию в нашем случае расходуется около 15 мл севофлурана при свежем газотоке 1 л/мин и вдыхаемой концентрации 1 об.%. Эта величина удовлетворительно согласуется с расчетным расходом анестетика:

$$\text{V} = 273 \text{ р М Г t С [Т 760 22,4 р 100]}^{-1} \text{ (3)},$$

где  $\text{р}$  – атмосферное давление, мм рт. ст.;  $\text{М}$  – молярная масса анестетика, г/моль;  $\text{Г}$  – расход газа, л/мин;  $\text{t}$  – время, мин;  $\text{С}$  – концентрация на выходе испарителя, об.%;  $\text{Т}$  – окружающая температура, °К;  $\text{р}$  – плотность жидкого анестетика, г/мл.

При использовании севофлурана ( $\text{р} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $\text{Т} = 293^\circ\text{К}$  ( $20^\circ\text{C}$ ),  $\text{М} = 200 \text{ г/моль}$ ,  $\text{р} = 1,52 \text{ г/мл}$ )

$$\text{V} = 0,0547 \text{ Г t С} = 0,0547 \cdot 1 \cdot 240 \cdot 1 = 13,1 \text{ мл (4)}.$$

#### Выводы

1. Испарители "МИНИВАП" благодаря низкому сопротивлению и стабилизации по газотоку и температуре:

- обеспечивают ингаляционную анестезию как внутри, так и вне дыхательного контура, вклю-

чая методику "low & mini-flow anesthesia";

- совместимы с любыми аппаратами ИН и ИВЛ.

2. Актуальны дальнейшие исследования и раз-

работка специальных экологических и экономических методик и модификаций мини-аппаратов ИН (мини-испарителей) для различных дыхательных контуров.

### Литература

1. Анестезиологическая и реаниматологическая помощь раненым на войне. Полушин Ю.С. (под ред.) ЭЛБИ-СПб., 2003.
2. Мизиков В.М., Бунятян А.А. Возможности и перспективы применения севофлурана в отечественной анестезиологической практике. Тематический обзор. М., 2005.
3. Молчанов И.В., Берлин А.З., Буров Н.Е., Осипов С.А. Мини-испарители анестетиков для аппаратов ингаляционного наркоза // Клин. анестезиол. и реаниматол. 2006. Т. 3, № 5. С. 46-49. Мат-лы Всероссийского съезда анестезиологов и реаниматологов 7 – 10 ноября 2006 г.
4. Морган Дж. Э., Клиническая Анестезиология. Кн. 1. Пер. с англ. М., 2005.
5. Davey A., Moyle J.T.B., Ward C.S. Ward's Anaesthetic Equipment. 3<sup>rd</sup> edn. 1992.
6. Dobson M.B. Anaesthesia at the district hospital. 2<sup>nd</sup> edn. 2001.
7. Watney G. In- and out of circuit vaporizers. Anesthesia Equipment Resources ASE 2007. [www.asevet.com/resources/circuits/circle.htm](http://www.asevet.com/resources/circuits/circle.htm)
8. Young D.A., Brosnan S.G., White D.C. A semiquantitative analysis of a Goldman-type vaporizer // Anaesthesia. 2000. Vol. 55. P. 557-570.

### Глубокоуважаемые читатели!

Подписку на **1-е полугодие 2008 г.** можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу «**Роспечать. Газеты. Журналы**». Подписной индекс – **20804**, а также на мероприятиях, проводимых ООО «ФИОТ»

129515, а/я 98, «Фонд информационно-образовательных технологий»

Тел: (495) 617 36 76, факс: (495) 617 36 22

E-mail: [info@fiot.ru](mailto:info@fiot.ru)

<http://www.fiot.ru>

[www.clinanaesthesiology.ru](http://www.clinanaesthesiology.ru)