

## МИНИ-ИСПАРИТЕЛИ И АППАРАТЫ ДЛЯ ИНГАЛЯЦИОННОЙ АНЕСТЕЗИИ

Александр Берлин

Директор Научно-Производственной Фирмы «МИНИВАП» (ООО «НПФ «МИНИВАП»)

### *Аннотация*

*Ингаляционная анестезия и минимизация аппаратуры для расширения ее применения в неотложных ситуациях и некомфортных условиях (скорая помощь, удаленные регионы, военно-полевые условия, техногенные катастрофы, ветеринария).*

*Благодаря низкому сопротивлению и стабильности дозирования анестетиков, самый маленький испаритель «МИНИВАП-20» (300 г из титана для магнитно-резонансной терапии – МРТ) и самый мощный «МИНИВАП-200» (до 12 об.% севофлюрана) обеспечивают эффективное обезболевания взрослых и детей, а также животных (от мышки до лошади) в операционной, амбулатории и при транспортировке.*

*Ключевые слова: ингаляционная анестезия, испарители анестетиков (севофлюран, изофлюран), аппараты ингаляционного наркоза (ИН) и искусственной вентиляции легких (ИВЛ)*

Обезболивание при проведении хирургических операций и травматических процедурах обеспечивается, как правило, введением в организм пациента лекарственных средств инфузионным (внутривенно, внутримышечно и т.п.) или ингаляционным (в легкие вместе с кислородом) способами.

Инфузионные методы (шприц, капельница) более просты, но более инерционны (лекарственные средства претерпевают химические превращения во времени – метаболизм с соответствующей нагрузкой на печень).

Плюсами ингаляционного наркоза являются [1]:

- 1 - Естественный путь подачи (через легкие) вместе с необходимым кислородом, без нарушения защитной оболочки организма (в отличие от внутривенной анестезии).
- 2- Отсутствие болевого синдрома («погреть горлышко» - говорят детские анестезиологи, шприц неприемлем для детей до 14 лет).
- 3 - Лучшая управляемость (быстрее ввод и особенно вывод из наркоза через кровь и легкие практически без метаболизма у современных ингаляционных анестетиков севофлюрана и изофлюрана).

Минусом является громоздкость традиционных аппаратов ИН (испарителей), по сравнению со шприцем.

Поэтому важно упростить аппараты ИН и одновременно повысить их эффективность.

Исходный элемент такой аппаратуры – испаритель анестетиков.

Мировой рынок насыщен стационарными аппаратами ИН на основе традиционных испарителей высокого сопротивления (plenum vaporizers), работающих от сжатого газа давлением около 400 кПа (4 ати). При этом указанная дорогостоящая аппаратура не удовлетворяет современную низко-поточную анестезию (mini- or low-flow anesthesia) по скорости управления глубиной наркоза путем подачи анестетика в дыхательный контур пациента [2]. Существует острый дефицит в портативных аппаратах на основе стабильных испарителей низкого сопротивления (draw-over vaporizers), функционирующих вне зависимости от источников питания на ограниченном рабочем месте в полевых условиях и чрезвычайных ситуациях. Появление на рынке релевантных мини-испарителей и аппаратов ИН на их основе, во-первых, ликвидирует указанный дефицит для удаленных и труднодоступных регионов, во-вторых, расширит область применения ИН в ситуациях, когда безальтернативно применяется технически более простая, но не всегда адекватная общая внутривенная анестезия.

Популярные зарубежные испарители высокого сопротивления нельзя считать идеальными по некоторым основным параметрам: масса и габариты, экономичность и экология,

универсальность по газопитанию (табл. 1, в последней колонке приведены данные новых испарителей «МИНИВАП»).

Таблица

Сравнительные характеристики испарителей анестетиков

Параметры	Drager Germany <b>Vapor 2000</b>	Penlon UK		НПФ «МИНИВАП» Россия	
		<b>Delta</b>	<b>OMV</b>	<b>МВ-200</b>	<b>МВ-20</b>
Расход газа, л/мин	0,25 – 15	0,2–15	3-15	0,2-15	0,2-10
Температура, °С	10 – 40	15– 35	18-22	5 - 35	10 - 35
Атмосферное давление, кПа	100 ± 5	100 ± 5	100 ± 5	70 - 110	70 - 110
Объем анестетика, мл	360	250	50	100	40
Потери на фитилях, мл	60	60	10	5	3
Сопротивление, мм H <sub>2</sub> O при 10л/мин	1100	1000	10	10	10 - 20
Допустимый наклон, град	30	10	30	90	180
Масса испарителя, кг	6,5 – 8,5	5,7	2	1,5	0,3 - 0,4

Что касается не достаточно стабильных испарителей низкого сопротивления (draw-over), то сейчас они имеют ограниченное распространение в военно-полевых условиях, удаленных и труднодоступных регионах, в ветеринарии.

Особенность проектирования испарителей низкого сопротивления заключается в рациональном использовании их ограниченного сопротивления (не более 100 Па = 10 мм H<sub>2</sub>O) для стабильного деления потока газа-носителя. При этом необходимо свести к минимуму факторы, нарушающие упорядоченное (ламинарное) течение. Современные испарители низкого сопротивления нестабильны особенно при низких расходах газа-носителя, применяемых в современной низко-поточной анестезии (low- or mini-flow anesthesia). Так, лучший зарубежный испаритель низкого сопротивления «OMV» фирмы Penlon при расходе газа-носителя менее 3 л/мин практически не дозирует анестетик (концентрация падает до нуля).

Для выявления причины этого типичного недостатка не нужно подробно рассматривать схему и конструкцию указанных испарителей. Достаточно посмотреть на расположение дозирующего крана относительно испарительной камеры (примерно на 50-70 мм выше) и вспомнить о разнице плотностей газа-носителя (плотность воздуха 1,21 г/л) и паров анестетика (плотность смеси насыщенных паров, например, изофлюрана почти втрое больше). При низких расходах 1-2 л/мин, сопротивление испарителя (дозировочного крана) падает до 1 Па, что сопоставимо с перепадом давления на входе и выходе испарительной камеры вследствие разницы плотностей газа-носителя и паров анестетика. Поэтому газ-носитель просто не может опуститься в испарительную камеру (выдавить тяжелые пары анестетика) и испаритель соответственно не работает. Количественный анализ определяется уравнением Бернулли.

Макеты стабилизированных (по расходу газа-носителя, температуре и давлению) мини-испарителей низкого сопротивления удалось разработать в 2001-2005 г.г. в Израиле в рамках start-up firm «LaminarTechnology Ltd.», но медицинская сертификация и промышленное производство организовано в России (затраты в десятки раз меньше) в 2007-2011 г.г. [3, 4].

Схема и конструкция новых испарителей определяются рациональной организацией 3-х физических процессов (гидромеханики, массо- и теплообмена) преимущественно в ламинарном режиме. Именно в ламинарном режиме при минимальных энергетических затратах удается организовать эффективные системы деления потоков газа-носителя и его равновесного насыщения парами легкого летучего анестетика по аналогии с живыми системами. Течение газа происходит как в дыхательных путях человека, а массообмен - как в жабрах рыбы [5].

На базе двух типов испарителей (**рис. 1**) «МИНИВАП-20» (самый маленький – в 10 раз легче аналогов) и «МИНИВАП-200» (вдвое мощнее лучшего аналога) изготавливаются несколько моделей портативных аппаратов «Колибри» для проведения ингаляционной анестезии (**рис. 2, 3**) взрослым и детям, а также животным (от мышки до лошади). В зависимости от состава и условий применения, применяют аппараты «Колибри» открытого (вдыхают и выдыхают воздух), полуоткрытого (вдох из баллона со сжатым кислородом или генератора – концентратора кислорода, выдох – в атмосферу) и полужакрытого (выдыхаемый газ очищают от CO<sub>2</sub> и частично возвращают в аппарат – наиболее экономичная система) дыхательных контуров.

Испарители «МИНИВАП» также устанавливаются на стационарные аппараты ИН и ИВЛ (**рис. 4**) **ВНЕ (OUT)** и **ВНУТРИ (IN)** дыхательного контура. Во втором контуре вдыхаемая концентрация  $C_i \leq C_s MV/F_G$  достигается за минимальное время (в отличие от более инерционного первого контура) и может быть **значительно выше!!!** концентрации по шкале испарителя  $C_s$  при низком (относительно минутной вентиляции  $MV$ ) расходе свежего газа  $F_G$ .



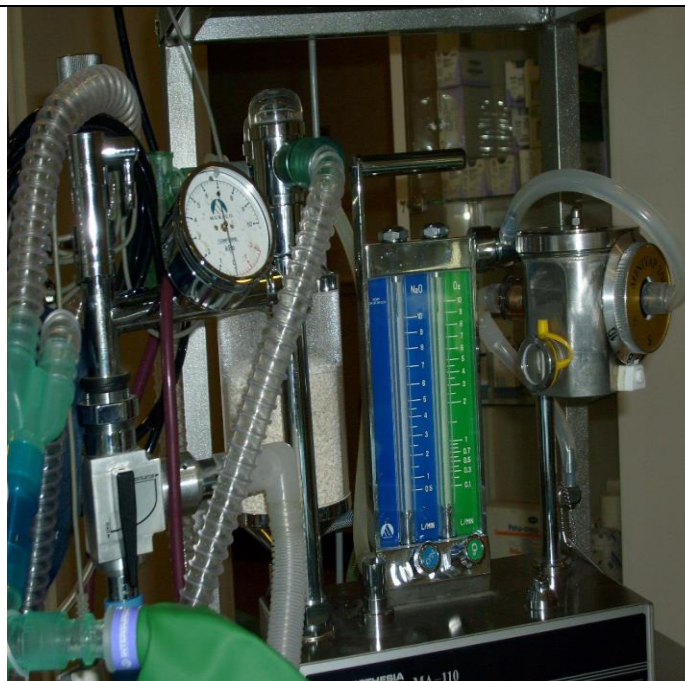
**Рис. 1.** Испарители «МИНИВАП-200» и «МИНИВАП-20»



**Рис. 2.** Испаритель «МИНИВАП-20» с пневматическим аппаратом ИВЛ (полуоткрытый дыхательный контур)



**Рис. 3.** Анестезия и операция игуаны (д.в.н. Нечаев А.Ю., аппарат «Колибри» полужакрытого контура)



**Рис. 4.** Испаритель «МИНИВАП-200» **ВНЕ** дыхательного контура стационарного аппарата ИН МА-110 (Япония)

Дополнительная информация представлена на сайте [www.minivap.net](http://www.minivap.net).

Процессы разработки, производства и реализации медицинского изделия особенно сложны и затратны (многостадийные исследования, технические и медицинские испытания). Сейчас в России и на Украине работают около 50 портативных аппаратов

«Колибри» на базе испарителей «МИНИВАП» преимущественно в районных госпиталях и ветеринарных клиниках.

Наибольшие перспективы применения такой аппаратуры – неотложные ситуации (скорая помощь), удаленные районы и техногенные катастрофы, включая военно-полевые условия, когда безотлагательно требуется поддержать жизнедеятельность пациента в некомфортных условиях.

Несколько цифр:

ежегодно продается анестетиков: севофлюрана – более \$1 млрд, изофлюрана – \$200 млн, из них – 1/3 для ветеринарии. При расходе 20 мл севофлюрана на одночасовую операцию (их более 50%) получается порядка 50 млн/год только анестезий севофлюраном.

Ориентировочно в мире производят более 100 тыс. испарителей в год стоимостью \$800-5000.

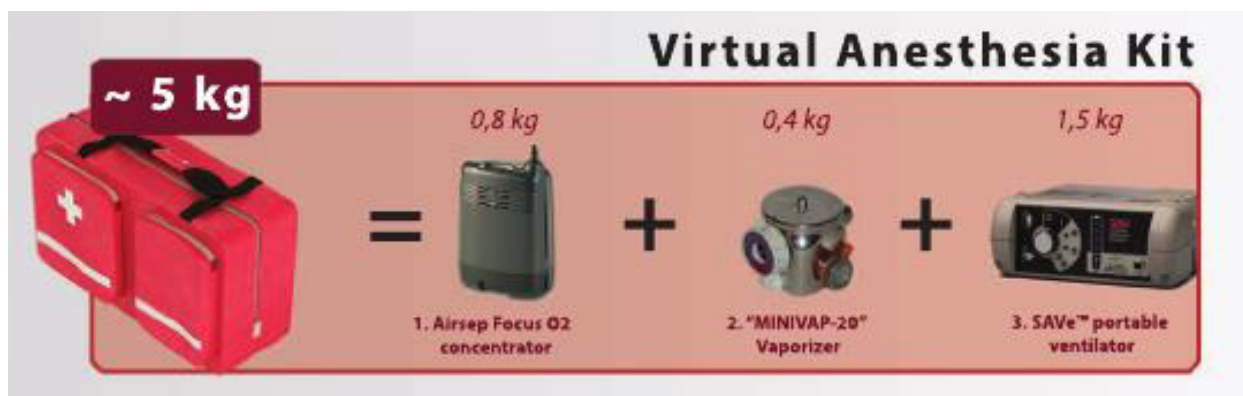
Стоимость современного аппарата, включая мониторы и аппарат ИВЛ, – десятки тысяч долларов.

Но адекватная медицинская помощь на месте может быть обеспечена минимальными средствами (ручным или механическим - **рис. 2**, аппаратом ИВЛ) и испарителем низкого сопротивления «МИНИВАП-20» (400 г из нержавеющей стали, 300 г – из титана для МРТ).

В случае обширной травмы и массовой кровопотери, такой комплект – уникальное средство для снятия болевого шока и последующего инфузионного введения необходимых лекарственных средств и крови.

Продвижение предлагаемой аппаратуры на мировой медицинский рынок может быть реализовано в ветеринарии, где накоплен опыт и достаточно национального (российского) сертификата.

Благодаря низкому сопротивлению и миниатюрности, разработанные мини-испарители, при наличии международного сертификата, в комплекте (**рис. 5**) с современным мини-аппаратом ИВЛ (например, SAVE™ PORTABLE VENTILATOR KIT) и концентратором кислорода (например, Airsep Focus miniature portable oxygen concentrator) имеют перспективы на международном рынке в упомянутых медицинских сферах [1, 6, 7].



**Рис. 5. Портативный анестезиологический модуль**

## Литература

1. Сидоров В.А., Цыпин Л.Е., Гребенников В.А. Ингаляционная анестезия в педиатрии. Научное издание. МИА. М., 2010 - 184 с.
2. Baum JA. Low Flow Anesthesia. Drager 2004.
3. «Детская хирургия». М., 2008, № 4, с. 51-56.
4. «Клиническая анестезиология и реаниматология». М., 2007, № 5, с. 66-71; 2006, № 5, с. 46-49.
5. Патенты РФ №№ 2329069, 2329832, 2383362, 2372947, 2490034 и 2497553 (07.11.2013). Patent application of Israel №173814/2, 15.03.2006.
6. 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)

7. Dobson MB. *Anaesthesia at the District Hospital*. 2<sup>nd</sup> ed. 2001.

*Аннотация*

***Mini-Vaporizers and Portable Anesthesia Machines***

*(Alexander Z. Berlin - Director of Scientific & Manufacture Firm "MINIVAP" Ltd.).*

*A number of inhalation anesthesia problems (sophisticated and bulky equipment, non-stability of the well-known draw-over vaporizers and delayed change of anesthetic concentration during low- or mini-flow anesthesia) may be solved by using a more advanced vaporizer that would be accurate as a plenum vaporizer, simple and low-resistant as a draw-over one [1,3-5].*

*Due to the low resistance and virtual independence from fresh gas flow rate, temperature, and ambient pressure, «MINIVAP» vaporizers (Fig. 1-5) are instantly adaptable to needs of both on-site emergency surgery and more sophisticated demands of a general hospital.*

e-mail: [aleberlin@mail.ru](mailto:aleberlin@mail.ru)

tel: +499-907 2872 Moscow, Russia

Статья опубликована на сайте:

<http://nizi.co.il/index.php/nauka/2012-12-24-08-11-26/tehn-nauki>