

ИНГАЛЯЦИОННАЯ АНЕСТЕЗИЯ У ДЕТЕЙ: СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ МИНИ-ИСПАРИТЕЛИ НИЗКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВНУТРИ (VIC) И ВНЕ (VOC) ДЫХАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Михельсон В. А., Агавелян Э. Г., Берлин А. З., Сидоров В. А., Лешкевич А. И.

Кафедра хирургических болезней детского возраста РГМУ, Москва
Детская городская клиническая больница № 13 им. Н. Ф. Филатова, Москва
Научно-производственная фирма «МИНИВАП», Москва

Краткая аннотация

Ингаляционная анестезия: оптимальные схемы проведения наркоза и проблемы технического обеспечения.
Результаты апробации и варианты применения «МИНИВАП»-испарителей у детей.
Выводы и рекомендации.

Оптимальные схемы ингаляционной анестезии у детей

Ингаляционная анестезия за прошедшее десятилетие изменилась, сделав значительный рывок вперед, что связано с последними достижениями в фарминдустрии и медицинском приборостроении [2].

Прогресс в медицинской фармакологии внес существенные коррективы в приоритеты использования галогенсодержащих анестетиков. В настоящее время принято считать, что наиболее быстрая и комфортная индукция и скорейшее восстановление детей после наркоза могут быть достигнуты при помощи газо- и парообразующих анестетиков 3-го и 2-го поколения. Минимальный уровень биodeградации и возможность быстрого управления альвеолярной концентрацией анестетика, свойственные препаратам 3-го и 2-го поколения, делают ингаляционную анестезию еще более безопасной и контролируемой. Наиболее оптимальные схемы ингаляционной анестезии на сегодняшний день выглядят так: 1) индукция севофлюраном, поддержание анестезии – дезфлюран (или изофлюран), или 2) комбинированная анестезия на основе ксенона [5].

Прогресс в медицинском приборостроении способствовал развитию метода низкочастотной анестезии (НПА). Возможность поддержания оптимального микроклимата в контуре, снижение профессиональной вредности и стоимости наркоза, - все это позволило значительно улучшить качество анестезии [4]. Наряду с этим, появились первые опытные образцы стабилизированных мини-испарителей низкого сопротивления. Будучи установленными внутри (VIC) или вне (VOC) дыхательного контура (по желанию анестезиолога), они позволяют практически мгновенно управлять глубиной анестезии [3].

Все это и определяет значительный интерес практикующих врачей к ингаляционным методам анестезии. Они особенно востребованы у детей младшего и среднего возраста, которые категорически не приемлют любые болезненные манипуляции.

Проблемы технического обеспечения ингаляционной анестезии у детей и пути их решения

Несмотря на "ренессанс" ингаляционных методов анестезии, нам хотелось бы выделить 6

основных проблем, связанных с техническим обеспечением ингаляционной анестезии:

дороговизна и громоздкость традиционных испарителей высокого сопротивления;

для каждого из галогенсодержащих анестетиков необходим свой испаритель, что суммирует затраты;

дополнительные расходы на приобретение предохранительных устройств типа Interlock® (Dräger), которые блокируют одновременную подачу 2 анестетиков;

отсутствие "посадочных мест" под испарители высокого сопротивления на аппаратах ИВЛ, что делает невозможным проведение ингаляционной анестезии "на месте", без транспортировки больного в операционную;

громоздкость современной наркозно-дыхательной аппаратуры сдерживает широкое использование ингаляционной анестезии в медицине катастроф, в военно-полевых условиях, при транспортировке больных, и в отдаленных районах [6, 8];

при проведении анестезии с минимальным и низким газотоком с использованием испарителей высокого сопротивления невозможно быстро увеличить глубину анестезии без повышения газотока в контуре [7, 10].

И вот в нашей стране наконец-то появились опытные образцы нового поколения испарителей, которые разом решают все перечисленные трудности. Это отечественные стабилизированные мини-испарители низкого сопротивления «МИНИВАП-20» и «МИНИВАП-100» (емкость для анестетика - 20 или 100 мл, максимальная вдыхаемая концентрация - 3 об.% или 5 об.% соответственно) - рис. 1. Эти испарители разработаны и внедряются благодаря государственной финансовой поддержке Фонда И. М. Бортника.



Рис. 1. Испарители «МИНИВАП-20» и «МИНИВАП-100»

С одной стороны, мини-испарители стабилизированы по газотоку и температуре, с другой – могут быть установлены как вне, так и внутри дыхательного контура благодаря низкому сопротивлению [3]. Следует отметить, что испарители низкого сопротивления «МИНИВАП» впервые доказали свою работоспособность и при минимальном газотоке в контуре (от 0,2 л/мин) [3]. Это необычно для анестезиологов, которые до сих пор использовали в своей работе точные испарители высокого сопротивления ("plenum vaporizers", VOC), или нестабильные испарители с условной шкалой концентраций ("draw-over vaporizers", VIC) [8, 11]. Сравнительные характеристики испарителей представлены в табл. 1.

Табл. 1

Сравнительные характеристики испарителей анестетиков

Испарители, фирма/страна- производитель	Drager,	Penlon,		МИНИВАП,	
	Германия	Великобритания		Россия	
	Vapor 2000	Delta	OMV	МВ-100	МВ-20
Основные параметры:					

- расход газа, л/мин	0,25-15,0	0,2-15,0	3,0-15,0	0,2-15,0	0,5-15,0
- температура воздуха, °С	10-40	15-35	18-22	5-35	
- атмосферное давление, кПа	100±5	100±5		70-110	
- емкость для анестетика, мл	360	250	50	100	20
- объем фитилей (потери), мл	60	60	10	5	3
- сопротивление (мм Н ₂ O) при 10 л/мин	1100	1000	10	20	10
- угол наклона при работе, град	30	10	30	90	180
- газ-носитель: сжатый O ₂ /воздух	+/-	+/-	+/+	+/+	+/+
- масса, кг	6,5-8,5	5,7	1,5	1,0	0,3
Недостатки:	<p>Неработоспособны без сжатых газов (кроме OMV), непроизводительные потери анестетика (60 мл за операцию), металлоемки.</p> <p>Испаритель OMV неработоспособен при низких расходах газа, нестабилен при нестандартных температуре и давлении</p>			<p>Имеются лишь опытные образцы. Нет репутации, производства и сети реализации</p>	
Преимущества:	<p>Высокая стабильность дозирования в широких диапазонах постоянных потоков газа и температур</p> <p>(кроме OMV)</p>			<p>Работает как на сжатом газе, так и на воздухе. Стабильное дозирование в широких диапазонах постоянных и пульсирующих потоков газа, температур и атмосферного давления. Портативность и универсальность (1 испаритель для 1 или 4 различных анестетиков) с минимальными потерями анестетика (3-5 мл). Совместим с любым аппаратом ИН и ИВЛ *</p>	
Цена:	<p>по 3,0 US\$ за испаритель для каждого из анестетиков (изофлюран, энфлюран, севофлюран или галотан)</p>			<p>1,0 US\$ за испаритель для конкретного анестетика, или 1,5 US\$ за испаритель сразу для нескольких анестетиков</p>	

* ИН и ИВЛ –аппараты ингаляционного наркоза (ИН) или искусственной вентиляции легких (ИВЛ)

Стабилизированные мини-испарители низкого сопротивления «МИНИВАП-20» и «МИНИВАП-100» в 2007 г. успешно прошли клиническую апробацию у взрослых на базе ГКБ им. С. П. Боткина (кафедра анестезиологии и реаниматологии РМАПО, Москва) [3]. Поэтому перед нами стояла задача провести всесторонние клинические исследования по оценке эффективности и безопасности этих испарителей у детей.

Результаты исследований

Перед началом клинических исследований были предприняты испытания указанных опытных образцов в реальных условиях операционной. При этом использовали искусственную модель легкого человека, которую подключали к дыхательным контурам наркозных аппаратов фирм Drager, Ohmeda, Полиаркон-12 и газоанализатору. Затем для удобства анестезиолога оптимизировали все возможные варианты размещения портативной модели «МИНИВАП-20» на операционном столе, а также внутри (VIC) и вне (VOC, Полиаркон-12) дыхательного контура.

В ходе клинических исследований обследовано 62 ребенка в возрасте 2-14 лет с риском анестезии I-II ASA, перенесших различные плановые операции в отделениях ЛОР, урологии и травматологии. Из исследования были исключены дети, которые имели исходные нарушения функции печени и/или почек, страдали сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями, сахарным диабетом, различными формами гемолитической анемии и порфирии. Минимальная продолжительность ингаляционной анестезии составила 15 мин, максимальная – 1 ч.

Тактика проведения общей анестезии и способ поддержания свободной проходимости дыхательных путей оговаривались с анестезиологом заранее: при цистоскопиях планировался аппаратно-масочный наркоз (АМН), при малоинвазивных операциях в отделении травматологии – использование ларингеальной маски (ЛМ), при адено- и/или тонзиллотомиях в ЛОР-отделении – интубация трахеи (ИТ). В любом из случаев индукцию в общую анестезию осуществляли ингаляционным способом (N_2O/O_2 2:1 + галотан) по полуоткрытому контуру с высоким газотоком (6,0 л/мин).

Поддержание анестезии проводили по схеме (N_2O/O_2 2:1 + галотан) по полуоткрытому контуру с высоким газотоком через лицевую или ларингеальную маску, либо по полузакрытому контуру через интубационную трубку с манжеткой (табл. 2). На отдельных этапах оперативного вмешательства в/в струйно вводили фентанил и/или выполняли регионарную анестезию (многокомпонентная общая анестезия).

Общая характеристика больных

	Урология (цистоскопия)	Травматология (малоинвазивная)	ЛОР (адено- и/или тонзиллотомия)
Поддержание проходимости дыхательных путей	АМН (лицевая маска)	ЛМ (ларингеальная маска)	ИТ (интубация трахеи)
Дыхательный контур	полуоткрытый (6,0 л/мин)		полузакрытый (0,5-1,0 л/мин)
Дыхание	самостоятельное		ИВЛ
Длительность наркоза, мин	15-20	30-60	30-50
Возраст детей, годы	9-14	10-14	2-8

Количество пациентов	13	15	34
----------------------	----	----	----

По окончании операции прекращали подачу всех ингаляционных анестетиков, приступая к ингаляции 100% O₂ с высоким газотоком (6 л/мин).

Каждую 1 мин во время индукции и каждые 2,5 мин на этапе поддержания анестезии отслеживались и регистрировались следующие показатели: парциальное давление углекислого газа на входе (P_{in}CO₂) и выдохе (P_{et}CO₂) - в абсолютных величинах (мм Hg) и в виде графической кривой; концентрация кислорода на входе (F_iO₂) и выдохе (F_{ex}O₂) - в процентах; концентрация закиси азота на входе (F_iN₂O) и выдохе (F_{ex}N₂O) - в процентах; концентрация галотана на входе (C_I) и выдохе (C_E) - в объемных процентах (об.%). Кроме того, фиксировали дыхательный объем на линии вдоха (V_{T in}) и выдоха (V_{T ex}); минутную вентиляцию легких (MV); пиковое давление на входе (P_{in}), давление плато (P_{plat}) и давление в конце выдоха (P_{ex}) - в см H₂O; ЧСС по данным ЭКГ; неинвазивное АД; а также насыщение гемоглобина кислородом (пульсоксиметрия).

Испаритель «МИНИВАП» устанавливали в положении V_{IC} на линии вдоха аппарата ингаляционного наркоза (рис. 2). При этом использовали стандартные переходники 22F-15M (на входе испарителя) и 15F-22M (на выходе из него). Вдыхаемую концентрацию анестетика регулировали по шкале мини-испарителя с учетом минутной вентиляции легких (MV) и величины газотока (F_G), и контролировали по газоанализатору. Глубину анестезии поддерживали на уровне Ш₁₋₂ (поверхностный уровень общей анестезии).



Рис. 2. Испаритель «МИНИВАП-20» внутри дыхательного контура (VIC) аппарата ингаляционного наркоза "Primus" (Drager, Германия)

Точность дозирования испарителей «МИНИВАП»

Установлено, что при анестезии по полуоткрытому контуру с высоким газотоком (6 л/мин) концентрация галогенсодержащего анестетика на вдохе во всех случаях (n=28) точно соответствовала установленной на мини-испарителе «МИНИВАП».

Если планировалась анестезия с минимальным/низким газотоком (n=34), то вначале добивались динамического равновесия между концентрацией анестетика на вдохе и выдохе ($C_I = C_E$). Как только это равновесие было достигнуто, газоток в контуре снижали до 0,5-1 л/мин. Процентной концентрацией галогенсодержащего анестетика на вдохе (C_I) управляли по формуле [3]:

$$C_S \approx (C_I \times F_G) / MV \quad (1)$$

где C_I и C_S – соответственно концентрация анестетика на вдохе и на испарителе (об.%),
 MV - минутная вентиляция легких (л/мин), F_G - поток свежего газа (л/мин)

Пример. Ребенок 5 лет (20 кг), которому предстоит плановая аденотомия под сбалансированной эндотрахеальной общей анестезией. После вводного наркоза (N_2O/O_2 2:1 + галотан) с высоким газотоком (6,0 л/мин) выполнена интубация трахеи, после чего ребенок переведен на аппаратную ИВЛ ($V_T \text{ in} = 0,16$ л, $f = 17/\text{мин}^{-1}$, $MV = 0,16 \times 17 = 2,7$ л/мин). Поддержание анестезии: (N_2O/O_2 2:1 + галотан 0,8 об.%) с низким газотоком (1,0 л/мин), мини-испаритель «МИНИВАП» установлен внутри дыхательного контура (VIC). Исходя из формулы (1), 0,8 об.% анестетика на вдохе добивались, устанавливая на дозиметрической шкале испарителя «МИНИВАП» концентрацию $(0,8 \times 1,0) / 2,7 = 0,3$ об.% галотана. Если же планировалась анестезия с минимальным газотоком (0,5 л/мин), на мини-испарителе выставляли концентрацию $(0,8 \times 0,5) / 2,7 = 0,15$ об.% галотана.

Оказалось, что при работе по полузакрытому контуру с минимальным/низким газотоком с испарителем «МИНИВАП» в положении VIC концентрация анестетика на вдохе во всех случаях (n=34) соответствовала рассчитанной по формуле (1).

Таким образом, стабилизированные мини-испарители «МИНИВАП» позволяют точно дозировать анестетик при работе по полуоткрытому, так и полузакрытому контуру у детей. Неблагоприятных реакций и/или осложнений в периоперационном периоде зафиксировано не было (n=62).

У 4 из 34 больных (11,8%) во время низкопоточной анестезии (1,0 л/мин) потребовалось срочно углубить анестезию. Газоток в контуре при этом не повышали, оставляя неизменным (1,0 л/мин), форсированную ручную ИВЛ тоже не проводили. На дозиметрическом барабане испарителя «МИНИВАП-20» устанавливали предельное значение C_S (3 об.% галотана). Равновесие между концентрациями анестетика на мини-

испарителе и на линии вдоха ($C_s = C_i$) в положении VIC было достигнуто в среднем через $35,2 \pm 5,6$ сек от начала дозирования галотана в предельной концентрации (3 об.%). Это в принципе невозможно при использовании традиционных испарителей высокого сопротивления (VOC): желаемое соотношение $C_s = C_i$ при газотоке 1,0 л/мин и неизменных параметрах ИВЛ может быть достигнуто не ранее, чем через 7-10 мин от начала ингаляции предельных концентраций анестетика [7].

Итак, при анестезии с минимальным и/или низким газотоком у детей стабилизированный мини-испаритель низкого сопротивления «МИНИВАП», установленный в положение VIC, позволяет намного быстрее добиться желаемой глубины анестезии по сравнению со стандартными испарителями высокого сопротивления VOC ($p < 0,05$).

Экономичность испарителей «МИНИВАП»

Расход жидкого анестетика оценивали по разнице объема анестетика, залитого в мини-испаритель перед началом анестезии, и слитого по окончании операции [1, 9]. Оказалось, что средний расход галотана при анестезии с высоким газотоком (6 л/мин, 1 об.%) составил 20 мл/ч. Напротив, при работе с минимальным и/или газотоком (0,5 л/мин, 1 об.%) средний расход анестетика составил всего 5-7 мл/ч. Здесь необходимо отметить, что примерно половина из указанных 5-7 мл была израсходована во время индукции, которую проводили по полуоткрытому контуру (6 л/мин) с высокой концентрацией галотана (3-4 об.%).

Столь низкий расход анестетика лишь отчасти объясняется экономичностью методов ингаляционной анестезии по полузакрытому контуру. Необходимо помнить, что испарители «МИНИВАП» имеют минимум производственных потерь: при заправке "сухих" мини-испарителей потери анестетика составляют всего 3-5 мл, против 60 мл при заправке стандартных VOC-испарителей высокого сопротивления (табл. 1).

В ходе клинических исследований выявлены следующие недостатки и пожелания:

сделать дозиметрическую шкалу испарителя и указатель уровня анестетика более «читаемыми» (корректировка выполнена в чертежах установочной партии мини-испарителей «МИНИВАП-20»),

предусмотреть возможность переключения VIC/VOC для нового поколения аппаратов ИН и ИВЛ,

улучшить дизайн мини-испарителя.

Варианты аппаратов ингаляционного наркоза на базе «МИНИВАП»-испарителей

1. Открытый контур (атмосферный воздух) при спонтанном дыхании и/или ручной ИВЛ при помощи мешка Амбу (рис. 3). В этом случае вход испарителя открыт, а выход подключен через переходник 15F-22М, шланг вдоха и нереверсивный клапан к маске пациента. Масса такого мини-аппарата не превышает 1 кг. При полной заправке анестетиком (20 мл) испаритель «МИНИВАП-20» способен обеспечить часовой ингаляционный наркоз с высоким газотоком (6 л/мин), включая индукцию (3 об.% на вдохе) и поддержание анестезии (1 об.% на вдохе). Такой вариант оптимален для ургентной анестезиологии. В чрезвычайных ситуациях (при транспортировке, в завале и т. п.) допускается кратковременная эксплуатация испарителя в наклонном и/или

перевернутом положении.

2. Полуоткрытый и/или полузакрытый контур (рис. 2) с источником O_2 высокого или низкого давления (баллон и/или оксигенатор [8]). Благодаря низкому сопротивлению и стандартным разъемам, мини-испарители «МИНИВАП» совместимы с любым аппаратом ИИ и ИВЛ.

3. Маятниковый контур с контролируемой подачей смеси N_2O/O_2 [11].

4. Разработаны портативные приборы ИИ "Колибри-А" - рис. 4 и 5.

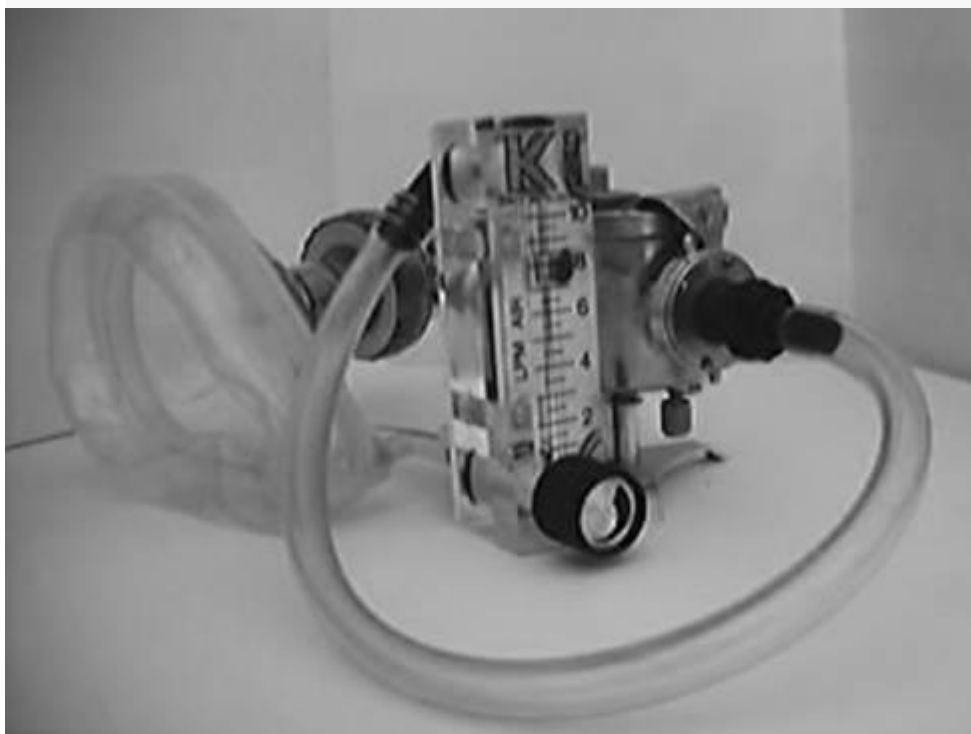


Рис. 4. "Колибри-А" (полуоткрытый контур с возможностью дозирования O_2)



Рис. 5. "Колибри-А" (открытый контур с ручной ИВЛ)

Выводы

Испарители «МИНИВАП» доказали свою эффективность и безопасность при плановых анестезиологических пособиях по полуоткрытому, так и по полузакрытому контуру у детей.

Стабилизированные мини-испарители «МИНИВАП» по своей портативности, точности дозирования, универсальности и экономичности превосходят все мировые аналоги.

После усовершенствования и окончательной доработки, наркозно-дыхательная аппаратура на базе мини-испарителей «МИНИВАП» может быть использована в рутинной практике детских анестезиологов-реаниматологов.

Список литературы

Берлин А. З., Мещеряков А. В. Наркоз и дозирование анестетиков. // М., «Медицина», 1980.

Михельсон В. А., Сидоров В. А., Степаненко С. М. Анестезия и интенсивная терапия в педиатрии. // Краткое практическое руководство. М., Дельрус, 2007. - 125 с.

Молчанов И. В., Берлин А. З., Буров Н. Е., Грибачев С. В., Королев А. И. Применение стабилизированных мини-испарителей внутри и вне дыхательного контура. // Клиническая анестезиология и реаниматология, 2007. - № 5. - С. 66-71.

Сидоров В. А., Михельсон В. А., Цыпин Л. Е., Гребенников В. А. Ингаляционная анестезия с минимальным и низким газотоком у детей: обзор литературы. // Вестник интенсивной терапии, 2005. - № 4. - С. 42-46.

Сидоров В. А., Михельсон В. А., Цыпин Л. Е., Гребенников В. А. Индукция галогенсодержащими анестетиками у детей. // Анестезиол. и реаниматол., 2006. - № 1. - С. 18-22.

Anesthesia Equipment. Department of Defense of the United States of America, 2002. // <http://www.vnh.org/EWSurg/ch15/15AnesthesiaEquip.html>

Baum JA. Low Flow Anesthesia. 2004. // Drager Medical AG & Co. KG.

Dobson MB. Anesthesia at the district hospital. // 2nd ed. 2001.

Philip JH. Low Fresh Gas Flow Oxygen and Agent Considerations. // Brigham and Women's Hospital 1985-2004. pp. 122-125.

Rupp K. Pediatric Anesthesia, 2005. // Drager Medical AG & Co, KG.

Watney G. In- and out of circuit vaporizers. // Anesthesia Equipment Resources ASE, 2007. www.asevet.com/resources/circuits/circle.htm.

Резюме

В статье рассматривается целесообразность, безопасность и эффективность ингаляционной анестезии по полуоткрытому и полузакрытому контуру у детей с использованием стабилизированных мини-испарителей низкого сопротивления «МИНИВАП», установленных внутри (VIC) и вне (VOC) дыхательного контура.

Ключевые слова: аппараты ингаляционного наркоза и искусственной вентиляции легких, мини-испаритель, дыхательный контур, педиатрия.



Revised:

Copyright © 1999 [RSA]. All rights reserved.