

## ПРЕИМУЩЕСТВА НИЗКОПОТОЧНОЙ ИНГАЛЯЦИОННОЙ АНЕСТЕЗИИ

П. Тэрэк, П. Чандик, Е. Дрбякова, И. Лакатош,  
П. Тоия, Й. Шалантай, П. Чичаттко, Й. Дерёва, М. Маек\*

Отделение анестезиологии и интенсивной медицины НсП, г. Вранов н/Т, Словакия

\* Клиника анестезиологии и интенсивной медицины СЗУ, больница им. Дерера, г. Братислава, Словакия

### The Advantages of Low-Flow Inhalational Anesthesia

P. Török, P. Čandik, E. Drbjáková, I. Lakatoš,  
P. Toya, J. Šalantay, P. Čičatko, J. Györiová, M. Májek\*

Department of Anesthesiology and Intensive Medicine, NsP, Vranov n/T, Slovakia

\* Clinic of Anesthesiology and Intensive Medicine, Derer Hospital, Bratislava, Slovakia

В статье рассматриваются экономические и экологические вопросы применения ингаляционных анестетиков в режиме низкого (LFA, 1–0,5 л/мин) и высокого (HFA, более 2–6 л/мин) потока газов. В каждой рассматриваемой группе проанализировано по 496 ингаляционных анестезий, длительностью не менее 80 минут. При ингаляционных анестезиях, продолжительностью свыше 4-х часов измерялась концентрация ингаляционных анестетиков в атмосфере операционного зала. Доказана экономическая и экологическая выгода при применении низкопоточной вентиляции (LFA) с учетом наличия соответствующего анестезиологического оборудования, мониторинга и высокой квалификации анестезиолога.

The paper deals with the economical and ecological use of inhalation anesthetics in low-flow anesthesia (LFA, 1–0.5 l/min) and high-flow anesthesia (HFA, more than 2–6 l/min). Four hundred and ninety six inhalational anesthetics lasting at least 80 minutes were analyzed in each group under consideration. The concentration of inhalation anesthetics was measured in the atmosphere of an operative theatre if inhalational anesthesia lasted more than 4 hours. There is evidence for the economical and ecological benefits in the use of LFA in terms of the availability of appropriate anesthesiological equipment, monitoring, and a highly skilled anesthesiologist.

Использование при проведении анестезии высокопоточной вентиляции (High Flow Anesthesia HFA – поток более 2–6 л/мин) является в настоящее время проявлением инерции. Развитие и доступность новых анестезиологических приборов, вентиляторов, мониторинга с расширением ряда мониторируемых параметров, но, прежде всего, экономические и экологические соображения заставляют нас использовать анестезию с низким потоком вентиляции (Low Flow Anesthesia – LFA) [2, 3, 7, 8].

Основными условиями для проведения анестезии с низким потоком вентиляции являются:

- квалифицированный анестезиолог,
- надлежащий анестезиологический прибор и вентилятор,
- соответствующий мониторинг [2, 3, 8].

Low flow или minimal flow анестезию можно определить как ингаляционную анестезию, проводимую по полузакрытому контуру, когда после стабилизации концентрации примененного летучего анестетика (VAA – Volatile Anesthetic

Agents), N<sub>2</sub>O и кислорода в контуре мы понижаем давление подаваемых газов до значений 0,8–1 л/мин в случае low flow анестезии и 800 мл/мин (обычно 500 мл/мин) в случае minimal flow анестезии (MFA) [2, 8].

Если мы имеем в своем распоряжении сложную технически систему мониторинга и надлежащий прибор для проведения анестезии, то мы можем понизить поток анестетиков до значений, которые равняются расходу анестетиков и кислорода организмом, т. е. осуществлять MFA в закрытом контуре [2, 3, 8, 10].

### Материалы и методы

В течение последних трех лет мы постепенно внедрили применение LFA сначала в одном, а год назад и в двух других операционных залах нашей клиники, в которых проводят прежде всего травматологические и абдоминальные операции. На других рабочих местах мы пока используем анестезиологическое оборудование, которое не позволяет проводить LFA. На анестезиологических приборах с функцией LFA (Venar-Libera, Chirana) и мониторингом Ultima+Cardiac (Datex-Ohmeda) в качестве ингаляцион-

Таблица 1

## Количество ингаляционных анестезий и их распределение

Общее количество ингаляционных анестезий	Количество ингаляционных анестезий HFA	Количество ингаляционных анестезий LFA
1854	496	496

Таблица 2

## Средняя продолжительность анестезий

Средняя продолжительность всех ингаляционных анестезий (мин)	Средняя продолжительность анестезий HFA (мин)	Средняя продолжительность анестезий LFA (мин)
59±11	98±10	102±12

Таблица 3

## Средняя цена используемых материалов

Материал	Halotan (упаковка)	Sevoran (упаковка)	N <sub>2</sub> O (литр)	O <sub>2</sub> (литр)	Натронная известь (1 кг)
Цена за упаковку/литр/кг (евро)	36	192	0,034	0,003	5,02

ного анестетика мы использовали Forane (Sevoflurane) (Abbott) и N<sub>2</sub>O+O<sub>2</sub>. На других наркозных аппаратах Anemat N8 (Chirana) с мониторингом S/5 (Datex-Ohmeda) мы применили Narcotan (Leciva) и N<sub>2</sub>O+O<sub>2</sub>. Концентрация кислорода в течение анестезии изменялась от 31 до 36%. Объем свежего газа при LFA составлял от 800 до 1000 мл/мин, при HFA от 4,5 до 6 л/мин. Концентрацию летучего ингаляционного анестетика (VAA) в течение анестезии мы удерживали над минимальной альвеолярной концентрацией (МАК) — 0,5–1,5 и 0,8–1,5 для Narcotan при концентрации N<sub>2</sub>O 64–68%. В статью мы включили те ингаляционные анестезии, которые проводились с использованием LFA техники, а также равное число анестезий по методике HFA, продолжительность которых была более 80 мин. Число анестезий и их продолжительность указаны в табл. 1 и 2. Мы измеряли расход N<sub>2</sub>O, ингаляционных анестетиков (ИА) и натронной извести. Расход кислорода мы измеряли с меньшей точностью, так как O<sub>2</sub> применяется также и для привода отсасывающего насоса. Цена O<sub>2</sub> с точки зрения расходов, по сравнению с анестетиками и N<sub>2</sub>O, является минимальной. Мы провели оценку экономических издержек и экологических последствий при применении LFA и HFA. Цены изученных сред мы округлили (табл. 3). Методом итерирования мы оценили продолжительность HFA по сравнению с LFA, при которой LFA становится эффективнее с точки зрения расходов. Измерение концентрации галогенизированных анестетиков проводил Государственный институт здравоохранения в г. Прешков. Результаты измерений мы оценивали парным t-тестом Стьюдента. Для оценки расходов заключения этической комиссии не требовалось.

## Результаты и обсуждение

Мы вычислили общие расходы по кислороду, закиси азота (N<sub>2</sub>O), ингаляционным анестетикам (ИА) и натронной извести, которые указаны в табл. 4.

Из таблицы очевидно, что в общем было сэкономлено 4200 евро, несмотря на то, что расходы по ингаляционным анестетикам и натронной извести при LFA чуть выше, что обусловлено высокой ценой Sevoran и большим расходом натронной извести во время LFA.



Расход ингаляционных анестетиков в зависимости от продолжительности анестезии.

Средние общие расходы по ИА, N<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> и натронной извести при одной HFA составили 16 евро, а при LFA 9 евро.

Мы сравнили и вычислили экономическую эффективность LFA и HFA в зависимости от продолжительности анестезии. Результаты указаны в графике 1.

Из результатов очевидно, что при применении LFA менее 25 мин, LFA оказывалась дороже, чем HFA. Однако, при продолжительности анестезии более 25 минут, LFA является экономически выгоднее, и эта выгода растет с увеличением продолжительности анестезии. При анестезиях порядка нескольких часов применение LFA в 2–4 раза дешевле, чем HFA, несмотря на применение более дорогого летучего анестетика и повышенный расход натронной извести.

При сравнении микроклимата в операционных залах мы измеряли концентрации галогенизированных анестетиков при применении HFA и

Таблица 4

Расходы	Расходы по используемым материалам			
	HFA (евро)	LFA (евро)	Разница HFA-LFA (евро)	Разница между расходами HFA и LFA (%)
Общие расходы N <sub>2</sub> O	5234,692308	1138,307692	4096,384615	21,75
Общие расходы O <sub>2</sub>	209,3846154	49,02564103	160,3333333	23,42
Общие расходы ИА	2084,615385	3051,282051	-966,6666667	146,37
Общие расходы натронная известь	296,7435897	430,7692308	-134	145,16
ВСЕГО	7825,461538	4669,384615	3156,01282	59,67

Таблица 5

Концентрация ИА в атмосфере операционного зала после 4-х часов регулярной работы (n=22)	
Концентрация ИА	
Концентрация ИА (LFA)	10,2±1,4 мг/м <sup>3</sup>
Концентрация ИА (HFA)	36,7±3,7 мг/м <sup>3</sup>
Норма	41 мг/м <sup>3</sup>
t-тест	p<0,01

**Примечание.** Статистическая оценка парным t-тестом Стьюдента.

LFA после 4-х часов регулярной работы. Результаты приведены в табл. 5. Из результатов очевидно, что в операционном зале, оборудованном современным прибором для проведения LFA средняя концентрация ИА в атмосфере была в 3,5 раза ниже, чем в том же операционном зале, где была применена HFA. Разницы являются статистически значимыми на уровне  $p<0,01$ . Однако в обоих случаях концентрация ИА не превышала норму. Причиной этой разницы, очевидно, является лучшая герметичность анестезиологического аппарата для LFA, так как утечка при применении LFA была 38 мл/мин, а при HFA 240 мл/мин при давлении в контуре Pm=3 кПа.

С глобально-энвайроментальной точки зрения, при сравнении HFA и LFA мы снизили загрязнение атмосферы оксидами азота на 78% и галогенизированными углеводородами на 72%.

Учитывая лимитированные средства, которые выделяются на здравоохранение, ясно, что экономизация медицинской деятельности является неизбежной частью работы всех тех, кто заботится о здоровье человека. Многие экономические ограничения лимитируют не только количественные, но и качественные показатели [8, 10].

Одним из приемов, который при более высоком качестве одновременно понижает производственные расходы, является применение анестезии с низким потоком газов. В случае, если мы будем иметь в виду безопасность пациента, основным элементом которой является квалифицированный анестезиолог и его технические оборудование, включая мониторинг, появляется возможность привлечь более высокие инвестиции для покупки более дорогого анестезиологического оборудования [2, 6, 7, 9, 10, 12]. Уже в 1995 г. Баум и коллектив обнаружили, что применение LFA на их рабочем месте сэкономило свыше 8000 евро в год [1]. Эта сумма представляет собой приблизительно разницу между ценой стандартного нар-

козного аппарата и прибора, позволяющего применение LFA [2, 10].

Введение новых и дорогостоящих ИА (Sevofluran, Isofluran, Desfluran), которые повышают безопасность ингаляционной анестезии, требует также более обширного мониторинга, который повышает безопасность проведения анестезии даже у пациентов с высоким риском [9, 10].

В перспективе, при предполагаемом внедрении ксенона как анестетика, необходимо в совершенстве овладеть технологией LFA и MFA.

В настоящей экономической ситуации при уровне цен ИА и анестезиологических аппаратов, возможно добиться хорошей экономической выгоды при помощи внедрения LFA в клиническую практику.

В случае, если мы будем учитывать среднее использование одного анестезиологического аппарата при 270–350 LFA в год, предполагаемое возвращение инвестиций произойдет приблизительно через 2–3 года, при разнице цены анестезиологического аппарата с возможностью LFA, по сравнению со стандартным прибором, около 7700 евро. Из вышеуказанного вытекает, что для экономически эффективного использования одного анестезиологического аппарата, включая мониторинг, необходимо с его помощью проводить минимально 270–350 анестезий LFA в год [8].

В случае, если продолжительность анестезий будет дольше, чем 80–100 мин, то экономическая эффективность значительно повысится.

Учитывая парк анестезиологических установок в Словении, средний срок службы которых в 2002 году составил 12 лет [10], выгоду безопасности по отношению к пациенту нельзя экономически вычислить.

Риск, связанный с длительной экспозицией сверхлимитных концентраций ИА и N<sub>2</sub>O, общеизвестен [1, 4, 5, 11]. Этот риск тесно связан с качеством анестезиологического оборудования, прежде

всего, с их герметичностью, возможностью отсасывания отработанных анестетических газов и кондиционированием рабочих мест. В этой статье мы только подтвердили, что современные анестезиологические системы, позволяющие проводить LFA, понижают риск хронической экспозиции при помощи понижения концентрации ИА в атмосфере операционных залов.

### Заключение

Ингаляционная анестезия при низком потоке газов выгодна с точки зрения экономики и экологии. В нашей работе, в которой мы сосредоточились на экономическом и экологическом сравнении HFA и LFA, доказано, что применение LFA по сравнению с HFA приносит экономическую выгоду, которую возможно оценить как эко-

номиию 59% расходов, связанных с применением O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, ИА и натронной извести. Что касается микроклимата операционного зала, измерением концентрации галогенизированных ИА, мы доказали, что «загрязнение» операционных залов было меньше при применении LFA, чем HFA. С точки зрения глобального экологического действия оксидов азота и галогенных дериватов является очевидным, что при применении LFA многократно понижается экологическая нагрузка.

Ясно, что LFA в значительной мере способствует экономическим и экологическим выгодам, несмотря на то, что первоначальная инвестиция в анестезиологическую аппаратуру будет выше. Эта инвестиция вернется в форме повышенной безопасности анестезии, пониженной экологической нагрузки и экономии производственных расходов.

### Литература

1. Askrog V., Harvald B. Teratogen effect of inhalation anaesthetics, Nord Med 1970; 4: 498–501.
2. Baum J. A., Aitkenhead, A. R. Low flow anaesthesia. 1995, Anaesthesia; suppl. 50. 37–44.
3. Cotter, S. M. et al. Low flow anaesthesia. Practice, cost implication and acceptability. Acta Anesth. Belgica. 46; 1991: 1009–1012.
4. Knill-Jones R. P., Rodrigues L. V., Moir D. D., et al. Anaesthetic practice and pregnancy: controlled survey of women anaesthetists in the United Kingdom. Lancet 1972; 6: 1326–1329.
5. Knill-Jones R. P., Newman B. J., Spence A. A. Anaesthetic practice and pregnancy: controlled survey of male anaesthetists in the United Kingdom. Lancet 1975; 5: 807–810.
6. Larsen, R-a-komz. Anestezije, Grada publ. 2004. 936.
7. Lajunen M. Optimizing low and minimal flow anaesthesia, with S/5 anesthesia system. Datex Ohmeda 2000. 65.
8. Török P. Основы ингаляционной анестезии, проводимой низким потоком газов. Medicare aMesser. 2003. 45.
9. Török P. Мониторинг в течение анестезии и на ОАИМ. In: Firment a kol. Основы анестезии, ЛФ УПЯШ, г. Кошице, 2001. 302.
10. Török P. Ингаляционная анестезия — настоящая ситуация. Возможные и необходимые технические решения в СР с перспективой интеграции в ЕС. Материал комитета ССАИМ#»едля МЗСР, 2000. 4
11. Vaisman A. I. Working conditions in surgery and their effect on the health of anesthesiologists. Eskp. Chir. Anestheziol. 1967; 3: 44–49
12. Virtue R. V. Minimal flow N<sub>2</sub>O anaesthesia. Anaesthesiology 1974; 4: 196–198.

Поступила 29.07.05