

---

---

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И МЕТОДИКИ  
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

---

---

УДК 617-7

© В. И. Бронников, А. Ю. Елизаров, В. А. Елохин, Б. П. Кузьмин,  
А. И. Левшанков, В. И. Николаев, И. И. Фаизов, А. В. Щеголев

**РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОВЕРКА ИК-ДАТЧИКОВ  
ИНГАЛЯЦИОННОГО АНЕСТЕТИКА**

Описана методика поверки штатного монитора ингаляционного анестетика аппарата ингаляционной анестезии. Поверка выполнялась при помощи рефрактометра и масс-спектрометра в режиме реального времени. Продемонстрирована возможность использования малогабаритного рефрактометра для поверки штатного монитора ингаляционного анестетика в условиях клиники.

*Кл. сл.:* масс-спектрометрия, рефрактометрия, анестезиология, севофлуран

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время ингаляционная анестезия приобретает все большее распространение и вопрос о безопасности проведения анестезии является крайне важным. Сохраняющаяся проблема разделения накладывающихся друг на друга оптических спектров используемых газоанализаторов подталкивает клиницистов к увеличению точности мониторинга, увеличению требований к точности получаемой информации, метрологической поверке используемого оборудования.

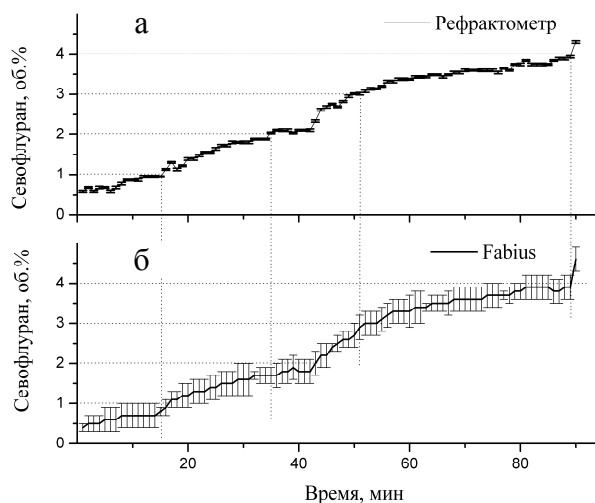
Мониторинг концентрации ингаляционного анестетика в режиме реального времени обязателен в анестезиологии и входит в стандарт минимального мониторинга во время проведения ингаляционной анестезии. Еще 25 лет назад "золотым стандартом" для измерения концентрации ингаляционного анестетика являлся масс-спектрометр [1, 2]. Сертификация масс-спектрометра в качестве медицинского оборудования была выполнена для двух моделей приборов: МХ6202, МХ6203 (Институт аналитического приборостроения РАН) и Medical Gas Analyzer 1100 (PerkinElmer). В вышеуказанных моделях газовых анализаторов использовались радиочастотный и магнитный типы масс-спектрометров. Они позволяли осуществлять мониторинг концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и ингаляционного анестетика в дыхательном контуре (ДК) аппарата ингаляционной анестезии (АИА) в режиме реального времени. В настоящее время для мониторинга концентрации ингаляционного анестетика в ДК АИА используются ИК-датчики [1]. В работе приведены результаты лабораторного сравнения измерений концентрации в ДК АИА ингаляционного анестетика севофлурана (Abbott Lab) при помощи двух типов ИК-датчиков с изме-

рениями выполненными при помощи квадрупольного масс-спектрометра и рефрактометра в режиме анестезии АИА.

**Целью исследования** является сравнение измерений концентрации в ДК АИА ингаляционного анестетика севофлурана газоанализаторами с двумя типами ИК-датчиков с измерениями выполненными при помощи квадрупольного масс-спектрометра и рефрактометра.

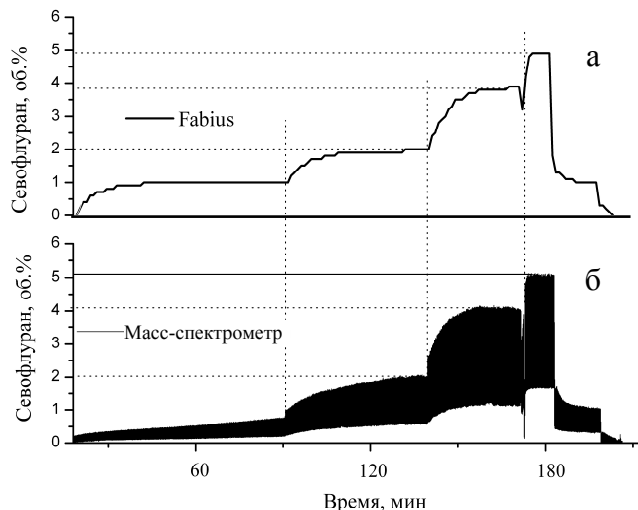
**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Измерение концентрации севофлурана в ДК АИА выполнялось двумя ИК-датчиками Fabius (Draeger) и Zeus (Draeger), квадрупольным масс-спектрометром Prisma Plus (Pfeiffer Vacuum) и малогабаритным рефрактометром Тест-902-2М (ОКБ Тест). ИК-датчики откалиброваны производителем АИА. При калибровке рефрактометра в качестве исследуемой смеси использовалась бинарная смесь сухого воздуха и гелия с задаваемой объемной концентрацией гелия от 0 до 100 %. Это позволило калибровать рефрактометр в широком диапазоне изменения значения показателя преломления. Концентрация севофлурана определялась линейным преобразованием из величин показателей преломления гелия и севофлурана. Калибровка масс-спектрометра осуществлялась при помощи рефрактометра. Циркуляция газовой смеси осуществлялась при помощи АИА Fabius и Zeus. Ингаляционный анестетик подавался в ДК при помощи испарителя сувофлурана (Abbott Lab). ДК АИА присоединен к дыхательному мешку «Искусственное легкое». В этом случае поглощение севофлурана в ДК отсутствует в отличие от случая анестезии пациента. Масс-спектрометр



**Рис. 1.** Временная зависимость концентрации севофлурана в ДК АИА.

Измерения концентрации выполнены при помощи рефрактометра (а) и ИК-датчика Fabius (б). Значения концентрации севофлурана на испарителе составляли 1, 2, 4, 5 об.% соответственно



**Рис. 2.** Временная зависимость концентрации севофлурана в ДК АИА.

Измерения концентрации выполнены при помощи ИК-датчика Fabius (а) и масс-спектрометра (б). Значения концентрации севофлурана на испарителе составляли 1, 2, 4, 5 об.% соответственно

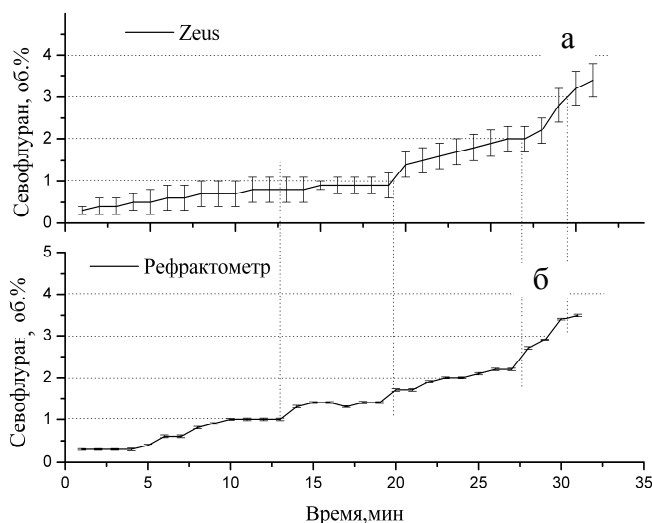
подсоединялся непосредственно к ДК АИА. Забор пробы газовой смеси из дыхательного контура АИА осуществлялся при помощи двухступенчатой системы вакуумной дифференциальной откачки из Y-образного коннектора ДК АИА, присоединенного к дыхательному мешку. Вакуум в масс-спектрометре поддерживался при помощи турбомолекулярного насоса производительностью 60 л/с. Скорость вакуумирования дифференциальной камеры составляла 20 л/с. Газовую смесь из дыхательного контура откачивали со скоростью 0.5 мл/мин [3, 4]. Забор газовой пробы из ДК-контура для анализа при помощи рефрактометра осуществлялся при помощи мембранного насоса с производительностью 120 мл/мин. Для газоанализаторов с ИК-датчиком Fabius и Zeus для анализа требуется обеспечить поток 200 мл/мин.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Сравнительные измерения ИК-датчика Fabius, рефрактометра и масс-спектрометра

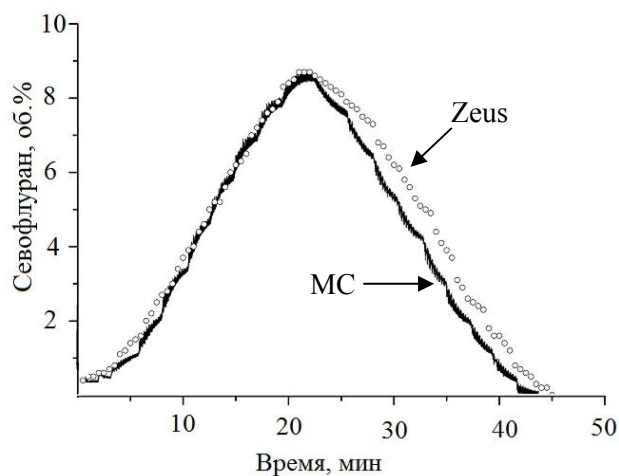
Результат сравнения измерений содержания ингаляционного анестетика севофлурана в ДК АИА Fabius представлен на рис. 1, 2. Погрешности измерений рефрактометра и ИК-датчика, заявленные производителем (рис. 1), составляли 0.5 и 12 % соответственно. На испарителе севофлура-

на устанавливались значения концентрации медикаментозного агента 1, 2, 4 и 5 об.% соответственно. После достижения установления динамического равновесия в ДК выполнялось измерение концентрации севофлурана. Измерения концентрации, выполненные при помощи масс-спектрометра (рис. 2, б), позволяют фиксировать режим вдох-выдох, который недоступен оптическим датчикам, временной шаг измерения (dwell time) которых находится в интервале 350–500 мс (10 мс для масс-спектрометра). Время "выдоха" в случае работы АИА на искусственное легкое существенно короче (100 мс), чем в случае анестезии. При работе АИА с дыхательным мешком время вдоха и выдоха по своей длительности могут отличаться в несколько раз. Остается невыясненным вопрос, каким образом ИК-датчики производят измерение концентрации севофлурана в режиме вдох-выдох во время анестезии с временным шагом измерения 500 мс, используя единственный канал забора пробы из ДК АИА. Частота дыхания во время анестезии колеблется в интервале 10–15 мин<sup>-1</sup>. Можно предположить, что в этом случае при работе ИК-датчика используется аппаратная коррекция [2]. Измерения концентрации севофлурана, выполненные при помощи рефрактометра (рис. 1, а), соответствуют режиму "вдох" аппарата искусственной вентиляции легких. Совпадение результатов измерения концентрации севофлурана в ДК ИК-датчиком



**Рис. 3.** Временная зависимость концентрации севофлурана в ДК АИА.

Измерения концентрации выполнены при помощи ИК-датчика Zeus (а) и рефрактометра (б). Значения концентрации севофлурана на испарителе составляли 1, 2, 4, 5 об.% соответственно



**Рис. 4.** Временная зависимость концентрации севофлурана в ДК АИА.

Измерения концентрации выполнены при помощи масс-спектрометра (МС) и оптического датчика Zeus в интервале концентраций севофлурана 0–8 об.%

и масс-спектрометром (рис. 2) получено в пределах допустимой производителем АИА погрешности измерений.

### Сравнительные измерения ИК-датчика Zeus, рефрактометра и масс-спектрометра

Аналогично измерялась концентрация севофлурана в ДК АИА Zeus (рис. 3, 4). В пределах заявленной производителем АИА погрешности измерений концентрация севофлурана совпадала с измерениями концентрации, выполненными при помощи ИК-датчиков и рефрактометра, в обоих случаях. На рис. 3 представлены измерения концентрации севофлурана, полученные при помощи ИК-датчика и рефрактометра при работе АИА Zeus.

Измерения концентрации севофлурана в ДК АИА с дыхательным мешком, выполненные при помощи масс-спектрометра и ИК-датчика Zeus, представлены на рис. 4. Концентрация севофлурана увеличивалась с шагом 1 об.% до максимального значения 8 об.% на испарителе севофлурана, а затем уменьшалась до 0 об.% с равным временным интервалом для каждого шага изменения концентрации. В отсутствие поглощения севофлурана в ДК АИА эта кривая должна быть зеркально симметрична относительно прямой, опущенной из точки максимальной концентрации се-

вофлурана, что выполняется для измерений, выполненных при помощи масс-спектрометра с высокой точностью (погрешность менее 1 %). Для измерений, выполненных при помощи ИК-датчика, это правило выполняется не в полной мере, но указанное отклонение на нисходящей части кривой зависимости концентрации севофлурана от времени (см. рис. 4) находится в пределах погрешности измерений, заявленных производителем АИА. Отметим, что максимальное значение концентрации севофлурана, обеспечиваемое испарителем севофлурана, составляет 8 об.%. Однако наши измерения при помощи масс-спектрометра, рефрактометра и ИК-датчика зафиксировали превышение на 10 % указанного производителем значения максимальной концентрации севофлурана.

### ВЫВОДЫ

В лабораторных исследованиях выполнена проверка штатных ИК-датчиков ингаляционного анестетика севофлуран в режиме реального времени. Во всем диапазоне концентраций, обеспечиваемых испарителем медикаментозного агента, получено совпадение в пределах погрешности измерений концентрации севофлурана в ДК АИА при помощи ИК-датчика, рефрактометра и масс-спектрометра. Показана перспективность использования рефрактометра в качестве дешевого, не требующе-

го дополнительной калибровки прибора для оперативной метрологической поверки штатных ИК-датчиков АИА в условия клиники.

*Авторы благодарят сотрудников кафедры анестезиологии и реаниматологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова за содействие в проведении исследований. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 12-08-00402-а*

пропофола в режиме реального времени // Масс-спектрометрия. 2011. Т. 8, № 2. С. 143–147.

**ЗАО «Научные приборы», г. Санкт-Петербург** (Бронников В.И., Елохин В.А., Кузьмин Б.П., Николаев В.И.)

**Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург** (Елизаров А.Ю.)

**Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург** (Левшанков А.И., Фаизов И.И., Щеголев А.В.)

Контакты: Елизаров Андрей Юрьевич,  
a.elizarov@mail.ioffe.ru

Материал поступил в редакцию 26.03.2013

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихванцев В.В. Анестезия в малоинвазивной хирургии. М.: Миклош, 2008. 352 с.
2. Царенко С.В. Нейрореаниматология. Интенсивная терапия черепно-мозговой травмы. М.: Медицина, 2009. 384 с.
3. Елохин В.А., Ершов Т.Д., Левшанков А.И. и др. Масс-спектрометрический мониторинг содержания севофлурана в дыхательном контуре аппарата ингаляционной анестезии // Масс-спектрометрия. 2010. Т. 7, № 3. С. 201–204.
4. Елизаров А.Ю., Ершов Т.Д., Козловский А.В., Левшанков А.И. Мониторинг внутривенного гипнотика

## THE REFRACTOMETRIC VERIFICATION OF INFRARED SENSORS OF INHALATIONAL ANESTHETIC AGENT

V. I. Bronnikov<sup>1</sup>, A. Yu. Elizarov<sup>2</sup>, V. A. Elokhin<sup>1</sup>, B. P. Kuz'min<sup>1</sup>,  
A. I. Levshankov<sup>3</sup>, V. I. Nikolaev<sup>1</sup>, I. I. Faizov<sup>3</sup>, A. V. Schegolev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ZAO Nauchnye Pribory, Saint-Petersburg

<sup>2</sup>Ioffe Physical Technical Institute RAS, Saint-Petersburg

<sup>3</sup>Kirov Military Medical Academy, Saint-Petersburg

A technique for checking of the regular monitor inhalational anesthetic agent for the inhalational anesthesia apparatus is described. The verification was performed by means of a refractometer and a mass spectrometer in real time. The possibility of the use of small-sized refractometer for testing of the regular monitor for the inhalational anesthetic agent under the conditions of a clinic.

*Keywords:* mass spectrometry, refractometry, anesthesia, sevoflurane