



Тарасенко С.А.<sup>1</sup>, Дубров С.А.<sup>2</sup>,  
Кунатовский М.В.<sup>1</sup>, Смоляр В.А.<sup>1</sup>

## РАСХОД ИНГАЛЯЦИОННОГО АНЕСТЕТИКА: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ НИМИ

<sup>1</sup>Украинский научно-практический центр  
эндокринной хирургии, трансплантации  
эндокринных органов и тканей МЗ Украины, Киев

<sup>2</sup>Национальный медицинский университет  
им. О.О.Богомольца, Киев

В проспективном исследовании оценить потребление ингаляционного анестетика (севофлурана) с использованием метода взвешивания испарителя и уравнений *Dion* и *Biro* у пациентов, оперированных по поводу новообразований эндокринных органов в специализированном центре. Установить наличие корреляции между методами оценки.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** 180 пациентов с хирургической эндокринной патологией были распределены на 2 группы: 1-я группа – основная группа (92 пациента) – индукция севофлураном начиналась с  $FGF = 2000$  мл/мин, 2-я группа – группа контроля (88 пациентов) – индукция севофлураном начиналась с  $FGF \geq 4000$  мл/мин. Оценивалось потребление ингаляционного анестетика севофлурана с помощью уравнений *Biro* и *Dion* и метода взвешивания испарителя и выявление корреляционной связи между показателями. Рассчитано общее потребление севофлурана за период анестезии, потребление севофлурана до перехода на низкий/минимальный поток, время от индукции севофлурана до перехода на низкий/минимальный поток, средний  $FGF$  до и после перехода на низкий/минимальный поток.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Отмечено, что расчетные показатели согласно уравнениям *Biro* и *Dion* достоверно (по критерию Уилкоксона,  $p < 0,05$ ) меньше в обеих группах в сравнении с показателями по методу ВИ. Однако между показателями существует прямая корреляционная связь по коэффициенту корреляции Спирмана ( $p < 0,05$ ). Выявлена сильная прямая корреляционная связь уравнения *Dion* с показателями метода ВИ как для  $FGF = 2000$  мл/мл, так и для  $FGF \geq 4000$  мл/мин. Уравнение *Biro* имеет сильную корреляционную связь с методом ВИ только в основной группе. Не отмечено достоверной разницы по критерию Уилкоксона между группами по времени перехода на низкий  $FGF$  (период насыщения севофлураном) – в основной группе  $10,40 \pm 0,36$  мин, а в контрольной группе  $9,80 \pm 0,63$  мин. Однако выявлено достоверно ( $p < 0,05$  по критерию Уилкоксона) более высокое потребление севофлурана за этот период насыщения в контрольной группе в  $4,16 \pm 0,19$  мл в сравнении с основной группой –  $2,75 \pm 0,07$  мл. Удельный вес от общего расхода севофлурана за этот период (по уравнению *Dion*) составил  $50,0 \pm 1,6\%$  в контрольной группе и  $40,2 \pm 1,3\%$  (разница достоверная по критерию Уилкоксона,  $p < 0,05$ ). Стартовая концентрация севофлурана на испарителе была без достоверной разницы между основной и контрольной группами и составила  $3,25 \pm 0,04$  об% и  $3,35 \pm 0,04$  об% соответственно. Тогда как средняя

концентрация севофлурана на испарителе была достоверно ( $p < 0,05$  по критерию Уилкоксона) выше в основной группе ( $2,97 \pm 0,03$  об%) в сравнение с контрольной ( $2,78 \pm 0,05$  об%).

**ВЫВОДЫ.** Расчетные показатели по уравнениям *Biro* и *Dion* позволяют оценить потребление газового анестетика также как и метод взвешивания испарителя. Между показателями существует сильная корреляционная связь ( $r_s \geq 0,95$ ,  $p < 0,05$ ). Уравнение *Dion* для оценки потребления ингаляционного анестетика в большей мере отражает потребление севофлурана, т.к. учитывает сумму произведений каждого сегмента анестезии и минимальные изменения в составляющих. Показатели потребления севофлурана по уравнению *Dion* высоко коррелируют с показателями метода взвешивания испарителя как при стартовом  $FGF = 2000$  мл/мин, так и при  $FGF \geq 4000$  мл/мин. Стартовый  $FGF$  при индукции севофлурана в  $2000$  мл/мин (основная группа) использовать эффективнее в сравнении с индукцией  $FGF \geq 4000$  мл/мин. Отмечено достоверно меньшее потребление севофлурана в основной группе как методом взвешивания испарителя, так и уравнением *Dion* при одинаковой длительности анестезии.

**Ключевые слова:** потребление ингаляционного анестетика, низко-поточная анестезия, минимально-поточная анестезия, уравнение *Dion*, уравнение *Biro*.

Прогрессирование и совершенствование респираторного и наркозного оборудования способствует широкому внедрению и расширению использования низких / минимальных потоков свежей газовой смеси (fresh gas flow, FGF). К низким потокам относят согласно классификации *Baker* и *Simionescu* [1-3] относятся потоки от менее 1л/мин до 500 мл/мин, к минимально-поточной анестезии –  $FGF$  более 250 мл/мин – менее 500 мл/мин. (табл. 1).

Современные наркозные станции с интегрированными мультигазовыми анализаторами обеспечивают точную подачу анестетиков, автоматическую компенсацию изменений температуры, давления и потока газов, а также позволяют осуществлять неинвазивный мониторинг концентрации ингаляционных анестетиков в конце выдоха,

**Таблица 1. Классификация анестезиологических контуров согласно потока свежей газовой смеси (модифицировано по *Baker* and *Simionescu*) [1-3].**

Контур	Поток свежей газовой смеси (FGF)
Метаболический поток	~ 250 мл/мин
Минимальный поток	более 250 мл/мин - менее 500 мл/мин
Низкий поток	500-1000 мл/мин
Средний поток	1000-2000 мл/мин
Высокий поток	2000-4000 мл/мин
Открытый контур	> 4000 мл/мин

способствуя оптимальному контролю врачом глубины анестезии и давая ему определенную свободу действий по выбору отношения концентрация / эффект анестетика в зависимости от клинической необходимости во время оперативного вмешательства. [1, 4, 5].

Доказано, что использование низко-поточной и/или минимально-поточной ингаляционной анестезии дает ряд преимуществ перед средне-поточными и высоко-поточными контурами, а именно [6]:

- Респираторные. Лучшая динамика потока воздуха на выдохе и вдохе [7], повышение мукоцилиарного клиренса, сохранение температура тела и меньшие потери жидкости [8].
- Экологические. Сокращение выбросов парниковых газов за счет сокращения излишков неиспользованного газа, значительное сокращение выбросов газовых анестетиков (которое может достигать до 90% по сравнению с высоко-поточной анестезией). Значительное снижение концентрации анестезиологического газа на рабочем месте в операционной. Тем самым снижается влияние анестезии на сотрудников в операционной. Снижение выбросов анестезиологических газов (закись азота и ингаляционных анестетиков) уменьшает их разрушительное воздействие на озоновый слой и прогрессирования парникового эффекта [9].
- Экономические. Сокращение потребления анестезиологических газов приводит к значительной экономии бюджетных

средств как на уровне одной клиники, так и на уровне государства. Применение низкого потока газа во время анестезии может дать экономию до 75% [10, 11].

Экономические аспекты применения ингаляционной анестезии в режимах низкого или минимального потока являются актуальными как для Украины, так и для развитых стран [1, 10, 12]. Однако имеются трудности с оценкой потребления ингаляционного анестетика и оценкой его расхода на различных этапах анестезии. На сегодня для этих целей используется методика взвешивания испарителя перед и после анестезии, полученную разницу в граммах делят на удельный вес ингаляционного анестетика (например, для севофлурана  $1,52 \text{ г/см}^3$ ) [12,13]. Недостатками метода взвешивания являются [1, 5, 14]:

- наличие высокоточных весов с минимальной погрешностью измерения. Испаритель для севофлурана имеет вес около 6000 гр, в то время как потребление анестетика находится в пределах нескольких граммов, поэтому погрешность весов в 0,5-1,5 грамма может давать значительную ошибку.
- проспективность исследования. Мы не можем применять метод взвешивания для оценки архивных историй проведенных анестезий.
- организационные вопросы, связанные с необходимостью «снятия-подключения» испарителя перед и после анестезии, особенно, когда речь идет об анестезии у пациентов повышенного и высокого риска (II-IV класс по ASA).

Альтернативой методу взвешивания испарителя (ВИ) являются методики оценки с использованием уравнений  $D_{10}$  и  $V_{10}$ , основанные на оценке в каждый временной интервал (T) таких параметров как поток свежей газовой смеси (FGF) и концентрации анестетика (об%) [1, 16, 17]. Данные уравнения могут быть применены как в проспективных исследованиях, так и ретроспективном анализе. Относительным недостатком уравнений  $D_{10}$  и  $V_{10}$  является факт, что они не учитывают потери анестетика в контуре. В связи с чем нами поставлена цель изучить потребление газового анестетика с использованием расчетных уравнений и метода взвешивания испарителя.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В проспективном исследовании оценить потребление ингаляционного анестетика (севофлурана) с использованием метода взвешивания испарителя и уравнений  $D_{10}$  и  $V_{10}$  у пациентов, оперированных по поводу новообразований эндокринных органов в специализированном центре. Установить наличие корреляции между методами оценки.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 180 пациентов с хирургической эндокринной патологией, которые были оперированы в Украинском научно-практическом центре эндокринной хирургии, трансплантации эндокринных органов и тканей МЗ Украины на протяжении 2016 года.

60 пациентов были оперированы по поводу диффузного тиреотоксического зоба;

78 пациентов по поводу многоузлового зоба 2 ст с подозрением на рак щитовидной железы (ЩЖ) или верифицированным папиллярным раком ЩЖ (32 пациента);

42 пациента по поводу опухолей надпочечников, из них 14 пациентов по поводу феохромоцитомы надпочечника.

Все оперативные вмешательства проводились в условиях общей анестезии с ИВЛ в виде низко – поточной или минимально – поточной анестезии севофлураном по полузакрытому контуру наркозной станцией FELIX VISIO INTEGRA с интегрированным мультигазовым анализатором и программным обеспечением, запрограммированным на невозможность подачи гипоксемической газовой смеси пациенту (минимальный FGF = 400 мл/мин 100% кислорода), что снижает риск ятрогенных ошибок и осложнений. Мультигазовый анализатор позволяет проводить контроль уровня кислорода на вдохе ( $inO_2$ ) и выдохе ( $etO_2$ ), углекислого газа на вдохе ( $inCO_2$ ) и выдохе ( $etCO_2$ ), севофлурана в газовой смеси на вдохе ( $inSev$ ) и конце выдоха ( $etSev$ ).

В зависимости от стартового FGF севофлурана все пациенты были поделены на 2 группы: 1-я группа – основная группа (92 пациента) – индукция севофлураном началась с FGF = 2000 мл/мин, 2-я группа – группа контроля (88 пациентов) – индукция севофлураном началась с FGF  $\geq$  4000 мл/мин. Распределение пациентов по нозологиям представлено в таблице 2.

Таблиця 2. *Распределение больных в группах по основным диагнозам*

Нозология	Группы пациентов	
	Основная (n=92)	Контрольная (n = 88)
Диффузный тиреотоксический зоб, абс (%)	35 (38,0%)	25 (28,4%)
Многоузловой зоб, абс (%)	17 (18,5%)	25 (28,4%)
Папиллярный рак щитовидной железы, абс (%)	17 (18,5%)	15 (17,0%)
Кортикостерома надпочечника, абс (%)	6 (6,5%)	8 (9,1%)
Альдостерома надпочечника, абс (%)	10 (10,9%)	8 (9,1%)
Феохромоцитома надпочечника, абс (%)	7 (7,6%)	7 (8,0%)

Оперативные вмешательства выполнялись одной хирургической бригадой высококвалифицированных специалистов. Для индукции анестезии использовались пропофол, для интубации трахеи – атракуриум или рокурониум бромид. Анальгетический компонент обеспечивался введением фентанила. Пациентам применялась pre-emptive анальгезия [18, 19] с применением дексаметазона 8 мг, декскетопрофена (сертофен) 50 мг, лидокаин в/в 40-80 мг. Индукция севофлурана начиналась с концентрации на испарителе 3-4 об% в обеих группах, использовался средний (основная группа, FGF = 2000мл/мин) или высокий поток (контрольная группа, FGF ≥ 4000 мл/мин) под контролем газового анализатора (до достижения etSev = 1,1–1,2% (1,7–1,8 MACawake, где MACawake определяется как MAC, на котором пациенты будут открывать глаза. Значение MACawake, приведенное в литературе [20-22], составило 33-34% от скорректированного по возрасту MAC) и уровня биспектрального индекса (BIS индекс) в пределах 45-50. После чего FGF в обеих группах снижался до 1000 мл/мин и поддерживался до достижения etSev = 1,3-1,4% (≈ 2 MACawake) и уровня uptakeSev менее 200мг/мин (аппаратный показатель) при BIS в пределах 45-50. После достижения указанных параметров etSev снижали FGF до 500 мл/мин (низкопоточная анестезия) или 400 мл/мин (минимально-поточная анестезия) при FiO<sub>2</sub> 0,8-1,0%.

Потребление ингаляционного анестетика оценивали по методу взвешивания испарителя до и после анестезии с помощью электронных лабораторных весов ТВЕ-12-0,2. Весы соответствуют требованиям ДСТУ EN 45501: 2007. Полученную разницу делили на удельный вес севофлурана (1,52 г/см<sup>3</sup>).

Потребление ингаляционного анестетика севофлурана оценивали по уравнению P.Biro

(2014) [1, 16] и уравнению P. Dion [1, 17, 23]. Оценка потребления анестетика (в нашем случае севофлурана) базируется на том, что известно количество свежего газа (FGF) и содержание в нем анестезирующего газа, а количество ингаляционного анестетика (ИА), которая образуется первично из жидкой формы на испарителе может быть рассчитана в несколько этапов. Так, согласно уравнению P.Biro первым этапом вычисляется количество пара анестетика при полном насыщении по следующей формуле P. Biro [1, 16, 24]:

**Объем насыщенного пара ИА (мл) = (удельный вес ИА · константа Авогадро для газа · (273 + температура испарителя)) ÷ (молекулярный вес ИА · 273), где:**

1. Удельный вес ИА в г/мл для севофлурана, равный 1,52 [1, 12, 22, 24]
2. Константа Авогадро для газа – при стандартном атмосферном давлении 760 мм. рт.ст. (на уровне моря) и при температуре 0°C = 273 К один моль любого газа состоит из 6,023 · 10<sup>23</sup> молекул, которые, в свою очередь, занимают объем ≈ 22400 мл. Согласно закону Авогадро – при стандартных условиях (0°C (273°K) и 101,3 кПа) объем 1 моля газа составляет 22,4 л) и это касается всех газов, включая все ингаляционные анестетики.
3. Температура испарителя близка к температуре операционной. Из-за потери энергии при испарении наблюдается тенденция охлаждения испарителем, поэтому надо вычесть 2 °C от комнатной температуры в операционной (в нашем случае это 2 °C); результат 21° должен быть добавлен к 273°.
4. Молекулярная масса для севофлурана 200,055

Имея эти четыре величины, мы получаем объем насыщенного пара от испарения 1 мл жидкости севофлурана при температу 21°C

**Объем насыщенного пара севофлурана, мл =  $(1,52 \cdot 22400 \cdot (273+21))/(200,055 \cdot 273) = 183,3$  мл**

После получения данных по объему насыщенного пара согласно уравнению P.Vigo следующим этапом является включение этого значения в формулу, учитывающую параметры для FGF в миллилитрах в минуту (мл/мин), а также для концентрации севофлурана в объемных процентах (об%), которые были использованы в течение исследуемой анестезии. И, наконец, для наших расчетов нам необходимы средние значения FGF и концентрации анестетика:

**Потребление жидкого ИА = (средний FGF (мл/мин) · среднюю концентрацию анестетика (об%) · длительность анестезии (мин)) ÷ (объем насыщенного пара (мл) · 100 (об%)) = мл,**

где средний FGF за операцию (мл / мин) = сумма произведений длительности сегмента (мин) анестезии с постоянным FGF на значение этого FGF в мл/мин разделена на общее время анестезии (мин).

*Например, FGF=2000 мл/мин был 4 мин, FGF=1000 мл/мин длился 11мин, FGF = 500 мл/мин длился 25 минут, FGF = 400 мл/мин длился 32 минуты. Общая длительность анестезии 72 мин.*

*Средний FGF (мл/мин) =  $((2000 \cdot 4) + (1000 \cdot 11) + (500 \cdot 25) + (400 \cdot 32)) \div 72 = 44300 \div 72 = 615,3$  мл/мин;*

где средняя концентрация анестетика за операцию (об%) = сумма произведений длительности сегмента (мин) анестезии с постоянной концентрацией анестетика на значение этой концентрации анестетика в об% / мин разделена на общее время анестезии (мин)

Например, 4 об% использовались 4 мин, 3 об% – 55 минут, 2 об% – 13 мин. Общая длительность анестезии 72 мин.

*средняя концентрация анестетика за операцию (об%) =  $((4об\% \cdot 4) + (3об\% \cdot 55) + (2об\% \cdot 13)) \div 72 = 207 \div 72 = 2,88$  об%*

объем насыщенного пара севофлурана при 21°C = 183,3 мл.

Вся продолжительность анестезии должна быть разбита на временные сегменты с постоянными параметрами FGF и концентрации анестетика, а полученные произведения необходимо суммировать, чтобы получить средние значения FGF и концентрации анестетика для всей анестезии. [1, 17].

Согласно уравнению P. Dion [1, 11, 24] потребление газового анестетика рассчитывается по следующей формуле:

**Потребление жидкого севофлурана (мл) =  $P \cdot F \cdot T \cdot M / 2412 \cdot d$ , где**

P = концентрация анестетика на испарителе в об%;

F = FGF в л/мин.;

T = время подачи заданной концентрации P в минутах;

M = молекулярная масса севофлурана в граммах = 200,055;

d = удельный вес в г/мл для севофлурана (1,52 г/мл);

2412 – коэффициент производный от газовой константы Авогадро при 21°C

При подстановке значений M, d для севофлурана формула принимает следующий вид:

**Потребление жидкого севофлурана (мл) =  $P \cdot F \cdot T \cdot 200,055 / (2412 \cdot 1,52) = P \cdot F \cdot T / 18,326$**

или  **$0,05457 \cdot (P \cdot F \cdot T)$**

Таким образом, при изменениях FGF и концентрации анестетика на испарителе расчет **потребления жидкого севофлурана (мл)** производится по формуле:

**$0,05457 \cdot ((P_1 \cdot F_1 \cdot T_1) + (P_2 \cdot F_2 \cdot T_2) \dots + (P_n \cdot F_n \cdot T_n))$ ,**

где  $P_n, F_n, T_n$  – показатели концентрации севофлурана, потока свежей газовой смеси (FGF) и продолжительность использования данных показателей при анестезии.

*Например, FGF=2,0 л/мин при 4 об% длительностью 4 мин, FGF=1,0 л/мин при 3 об% длился 11мин, FGF = 0,5 л/мин при 3 об% длился 55 минут.*

**Потребление жидкого севофлурана (мл) =  $0,05457 \cdot ((2,0 \cdot 4 \cdot 4) + (1,0 \cdot 3 \cdot 11) + (0,5 \cdot 3 \cdot 55)) = 8,05$ мл**

Нами определены контрольные точки в виде общего потребления севофлурана за период анестезии, потребление севофлурана до перехода на низкий/минимальный поток, время от индукции севофлурана до перехода на низкий/минимальный поток, средний FGF до и после перехода на низкий/минимальный поток.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программного обеспечения Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США) с использованием параметрических и непараметрических методов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среди прооперированных пациентов подавляющее большинство составляли женщины (табл.3). Не отмечено статистически значимых различий в подгруппах по полу, возрасту, весу, росту, ИМТ, длительности анестезии ( $p > 0,05$  согласно критерию Уилкоксона). (Табл.3).

После вычисления показателей анестезии, таких как FGF, концентрация севофлурана на испарителе, получили согласно уравнениям  $V_{i0}$  и  $D_{i0n}$  потребление севофлурана за анестезию. (табл.4)

При сравнении расчетных показателей согласно уравнениям  $V_{i0}$  и  $D_{i0n}$  с показателями по методу ВИ отмечено, что

расчетные показатели достоверно (по критерию Уилкоксона,  $p < 0,05$ ) меньше в обеих группах (табл. 4). Однако существует высокая прямая корреляционная связь по коэффициенту корреляции Спирмана между расчетными показателями по уравнениям  $V_{i0}$  и  $D_{i0n}$  и методом ВИ. Так, для основной группы коэффициент корреляции Спирмана между методом ВИ и уравнением  $V_{i0}$  составляет  $r_s = 0,82$ , между методом ВИ и уравнением  $D_{i0n}$   $r_s = 0,81$ . Между уравнениями  $V_{i0}$  и  $D_{i0n}$  в основной группе коэффициент корреляции Спирмана равен 0,99. Для контрольной группы коэффициент корреляции Спирмана между методом ВИ и уравнением  $V_{i0}$  составляет  $r_s = 0,68$ , между методом ВИ и уравнением  $D_{i0n}$   $r_s = 0,82$ .

Таблица 3. Распределение больных в группах по полу, возрасту, росту, весу, ИМТ, продолжительностью операции и анестезии. ( $M \pm m$ )

Показатели	Группы пациентов	
	Основная группа (n=92)	Контрольная группа (n = 88)
Пол, абс (%)		
женщины	82 (89,1%)	79 (89,8%)
мужчины	10 (10,9%)	9(10,2%)
Возраст (годы)	49,2±2,5	47,9±1,9
Масса тела (кг)	74,3 ± 2,0	73,6 ± 1,8
Рост (см)	166,1±1,1	166,3±1,0
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	26,9 ±1,4	26,6 ±0,9
Длительность анестезии (мин)	73,4 ± 2,9	72,3 ± 2,5

Таблица 4. Показатели потребления севофлурана по уравнениям  $V_{i0}$  и  $D_{i0n}$  и методу взвешивания испарителя. ( $M \pm m$ )

Показатель	Основная группа (n=92)	Контрольная группа (n = 88)	Статистически достоверная разница между группами, $P < 0,05$
	1	2	3
Потребление севофлурана методом взвешивания испарителя, мл за операцию ( $M \pm m$ )	8,01±0,24*	11,54±0,46*	* 1 vs 2
Потребление севофлурана по уравнению P. $V_{i0}$ , мл за операцию ( $M \pm m$ )	7,11±0,25*‡	7,77±0,35*‡	ns
Потребление севофлурана по уравнению P. $D_{i0n}$ , мл за операцию ( $M \pm m$ )	7,31±0,34*‡	8,54±0,36*‡	* 1 vs 2

Примечание к табл. 4 \*Статистически достоверная разница между группами по критерию Уилкоксона ‡статистически достоверная разница между методом взвешивания испарителя и уравнениями по критерию Уилкоксона ns (not significant) = отсутствует статистически достоверная разница между группами

Между уравнениями Vigo и Dion для контрольной группы коэффициент корреляции Спирмана равен 0,95. Таким образом, можно сделать заключение, что уравнение Dion более коррелирует для оценки потребления севофлурана, т. к. выявлена высокая прямая корреляционная связь с методом ВИ как для стартового потока 2000 мл/мин, так и для потока в 4000 и более мл/мин в основной и контрольной группах соответственно. Подобного уровня связи нами не отмечено для уравнения Vigo, которое высоко коррелирует для потоков в 2000 мл/мин с показателями метода ВИ, но демонстрирует только умеренную корреляционную связь для стартового потока по высокому контуру. При сравнении потребления ингаляционного анестетика между основной и контрольной группами отмечена достоверная разница по критерию Уилкоксона ( $p < 0,05$ ) при оценке потребления по методу ВИ и уравнению Dion (табл.4). При оценке по уравнению Vigo не отмечено достоверной разницы между группами. В работах [1, 24] было показано, что уравнение Dion в большей мере отражает потребление газового анестетика, т. к. учитывает сумму произведений каждого сегмента анестезии и минимальные изменения в составляющих. Нами показана высокая корреляционная связь именно между показателями по уравнению Dion и методу ВИ как для высокого, так и среднего стартового FGF. Поэтому в дальнейшем мы использовали уравнение Dion для анализа отдельных сегментов анестезии.

При анализе расхода анестетика на этапах насыщения и поддержки ингаляционной анестезии нами отмечено, что в основной группе время перехода на низкий поток (FGF менее 1000 мл/мин) составило  $10,40 \pm 0,36$  минуты, а в контрольной группе  $9,80 \pm 0,63$  минуты без достоверной разницы между группами. При этом расход севофлурана за период насыщения (время от индукции до перехода на низкий поток) был достоверно выше в контрольной группе  $4,16 \pm 0,19$  мл ( $p < 0,05$  по критерию Уилкоксона) в сравнении с основной группой –  $2,75 \pm 0,07$  мл. Удельный вес от общего расхода севофлурана за этот период (по уравнению Dion) составил  $50,0 \pm 1,6\%$  в контрольной группе и  $40,2 \pm 1,3\%$  (разница достоверная по критерию Уилкоксона,  $p < 0,05$ ) (табл.5).

Средний FGF был достоверно ниже в основной группе ( $p < 0,05$  по критерию Уилкоксона), чем в контрольной группе и составил  $609,7 \pm 7,6$  мл/мин и  $692,8 \pm 7,7$  мл/мин соответственно. Достоверно ниже в основной группе в сравнении с контрольной группой были показатели среднего FGF до перехода на низкий/минимальный поток и стартовый FGF (табл..5). Однако не отмечено достоверной разницы по FGF после перехода на низкий / минимальный поток между группами. Также стартовая концентрация севофлурана на испарителе была без достоверной разницы между основной и контрольной группами и составила  $3,25 \pm 0,04$  об% и  $3,35 \pm 0,04$  об% соответственно. Тогда как средняя концентрация севофлурана на испарителе была достоверно ( $p < 0,05$  по критерию Уилкоксона) выше в основной группе ( $2,97 \pm 0,03$  об%) в сравнении с контрольной ( $2,78 \pm 0,05$  об%).

Таким образом, при индукции севофлурана достоверно ( $p < 0,05$  по критерию Уилкоксона) меньшее его потребление (по уравнению Dion и методу ВИ) при стартовом FGF 2000 мл/мин без достоверного увеличения времени до перехода на низкий/минимальный поток в сравнении со стартовым FGF на высоком потоке (4000 мл/мин и более).

## ВЫВОДЫ

1. Расчетные показатели по уравнениям Vigo и Dion позволяют оценить потребление газового анестетика также как и метод взвешивания испарителя. Между показателями существует сильная корреляционная связь.
2. Уравнение Dion для оценки потребления ингаляционного анестетика в большей мере отражает потребление севофлурана, т.к. учитывает сумму произведений каждого сегмента анестезии и минимальные изменения в составляющих. Показатели потребления севофлурана по уравнению Dion высоко коррелируют с показателями метода взвешивания испарителя как при стартовом FGF = 2000 мл/мин, так и при FGF  $\geq$  4000 мл/мин..
3. Стартовый FGF при индукции севофлурана в 2000 мл/мин (основная группа) использовать эффективнее в сравнении с индукцией FGF  $\geq$  4000 мл/мин. Отмечено достоверно меньшее потребление сево-

Таблиця 5. *Некоторые показатели ингаляционной анестезии и потребления севофлурана по уравнениям Viro и Dion на различных этапах анестезии. (M±m)*

Показатель	Основная группа (n=92)	Контрольная группа (n = 88)	Статистически достоверная разница между группами, P<0,05
	1	2	3
Средний FGF за анестезию, мл/мин	609,7±7,6*	692,8±7,7*	*1 vs 2
Стартовый FGF, мл/мин	2000,0±0,0*	4742,4±167,5*	*1 vs 2
Средний FGF до перехода на низкий/минимальный поток, мл	1510,8±27,1*	2400,5±38,3*	*1 vs 2
FGF на низком/ минимальном потоке, мл/мин	451,5±4,7	446,5±6,5	ns
Средняя концентрация севофлурана на испарителе за анестезию, об%	2,97±0,03*	2,78±0,05*	*1 vs 2
Стартовая концентрация севофлурана на испарителе, об%	3,25±0,04	3,35±0,04	ns
Время перехода на низкий/минимальный поток, мин	10,40±0,36	9,80±0,63	ns
Потребление севофлурана по уравнению P.Dion до перехода на низкий/минимальный поток, мл	2,75±0,07*	4,16±0,19*	*1 vs 2

Примечание к табл. 5: \*Статистически достоверная разница между группами по критерию Уилкоксона; ns (not significant) = отсутствует статистически достоверная раз ница между группами.

флурана в основной группе как методом взвешивания испарителя, так и уравнением Dion при одинаковой длительности анестезии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубров С. О. Ингаляційна анестезія севофлураном при хірургії щитоподібної залози: низькопотокова або мінімально-потокова анестезія? / С. О. Дубров, С. О. Тарасенко, В. А. Мазніченко // Клінічна ендокринологія та ендокринна хірургія. – 2016. – № 3. – С. 38-48. DOI: [http://dx.doi.org/10.24026/1818-1384.3\(55\).2016.77511](http://dx.doi.org/10.24026/1818-1384.3(55).2016.77511)
2. Baxter A.D. Low and minimal flow inhalational anaesthesia / Baxter A.D. // *Canadian Journal of Anaesthesia*. – 1997. – 44. – P. 643–52; 652–3. <https://doi.org/10.1007/bf03015449>
3. Vecil M. Low flow, minimal flow and closed circuit system inhalational anaesthesia in modern clinical practice / M. Vecil, C. Di Stefano, F. Zorzi [et al.] // *SIGNA VITAE*. – 2008. – 3 Suppl 1. – S. 33–36. DOI:10.22514/SV31.022008.7
4. Ekbohm K. The effects of fresh gas flow on the amount of sevoflurane vaporized during 1 minimum alveolar concentration anaesthesia for day surgery: a clinical study / K. Ekbohm, H. Assareh, R.E. Anderson, J.G. Jakobsson // *Acta anaesthesiologica Scandinavica*. – 2007. – 51. – P. 290–3. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2006.01235.x>
5. Cotter S.M. Low-flow anaesthesia. / S.M. Cotter, A.J. Petros, C.J. Dorü, N.D. Barber, D.C. White // *Anaesthesia*. – 1991. – 46. – P. 1009–12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.1991.tb09910.x>
6. Hünemann Ch. Inhalational anaesthesia with low fresh gas flow / Ch. Hünemann, O. Hagemann, D. Doll // *Indian Journal of Anaesthesia*. – 2013. – Jul-Aug, 57(4). – P. 345–350. doi: <https://doi.org/10.4103/0019-5049.118569>
7. Mychaskiw G. Low and minimal flow anesthesia: Angels dancing on the point of a needle / G. Mychaskiw // *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology*. – 2012. – 28. – P. 423–5. <https://doi.org/10.4103/0970-9185.101883>
8. Aldrete J.A. Humidity and temperature changes during low flow and closed system anaesthesia / J.A. Aldrete, P. Cubillos, D. Sherrill // *Acta anaesthesiologica Scandinavica*. – 1981. – 25. – P. 312–4. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.1981.tb01657.x>
9. Baum J.A. Low-flow anesthesia: Theory, practice, technical preconditions, advantages, and foreign gas accumulation / J.A. Baum // *Journal of Anesthesia*. – 1999. – 13. – P. 166–74. <https://doi.org/10.1007/s005400050050>
10. Suttner S. Low-flow anaesthesia. Does it have potential pharmacoeconomic consequences? / S. Suttner, J. Boldt // *Pharmacoeconomics*. – 2000. – 17. – P. 585–90. <https://doi.org/10.2165/00019053-200017060-00004>
11. Ekbohm K. The effects of fresh gas flow on the amount of sevoflurane vaporized during 1 minimum alveolar concentration anaesthesia for day surgery: a clinical study / K. Ekbohm, H. Assareh, R.E. Anderson, J.G. Jakobsson // *Acta anaesthesiologica Scandinavica*. – 2007. – 51. – P. 290–3. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2006.01235.x>
12. Лісний І.І. Економічні складові різних видів анестезії / І.І. Лісний, Закальська Х.А., Стрелетова О.В. // *Хірургія України*. – 2016. – No 1. – С. 61–65.
13. Weinberg L. Pharmacoeconomics of volatile inhalational anaesthetic agents: an 11-year retrospective analysis / L. Weinberg, D. Story, J. Nam, L. McNicol // *Anaesthesia and Intensive Care*. – 2010. – 38. – P. 849–54.
14. Coetzee J.F. Fresh gas flow is not the only determinant of volatile agent consumption: a multi-centre study of low-flow anaesthesia / J.F. Coetzee, L.J. Stewart // *British Journal of Anaesthesia*. – 2002. – 88. – P. 46–55. <https://doi.org/10.1093/bja/88.1.46>

15. Biro P. Anesthetic gas consumption and costs in a closed system with the PhysioFlex anaesthesia equipment / P. Biro // *Anaesthesist*. – 1993. – 42. – P. 638–43.
16. Biro P. Calculation of volatile anaesthetics consumption from agent concentration and fresh gas flow / P. Biro // *Acta anaesthesiologica Scandinavica*. – 2014. – 58(8). – P. 968–972. DOI: <https://doi.org/10.1111/aas.12374>
17. Dion P. The cost of anaesthetic vapours / P. Dion // *Canadian Journal of Anaesthesia*. – July 1992. – Vol. 39. – Issue 6. – P. 633–633. <https://doi.org/10.1007/bf03008331>
18. Vadivelu N. Preventive analgesia for postoperative pain control: a broader concept. / N. Vadivelu, S. Mitra, E. Schermer, V. Kodumudi, A.D. Kaye, R.D. Urman // *Local and Regional Anesthesia*. – 2014. – 7. – P. 17-22. doi:10.2147/LRA.S62160.
19. Спосіб анестезіологічного забезпечення оперативного втручання при захворюваннях щитоподібної залози. Деклараційний патент України на корисну модель МПК А61В17/00, А61Р23/00, А61Р23/02, А61Р29/00 [Текст] / Тарасенко С. О., Ларін О. С., Черенько С. М., Дубров С. О., Паламарчук В. О., Горобейко М. Б. – UA № 113399; заявл. 13.07.2016; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.
20. Behne M. *Clinical Pharmacokinetics of Sevoflurane*. / Michael Behne, Hans-Joachim Wilkel, Sebastian Harde // *Clinical Pharmacokinetics*. – 1999. – Jan. 36 (1). – P.13-26
21. Katoh T. Blood concentrations of sevoflurane and isoflurane on recovery from anaesthesia. / T. Katoh, Y. Suguro, R. Nakajima, T. Kazama, K. Ikeda // *British journal of anaesthesia*. – 1992. – Vol.69 – Issue 2 – P. 259-62 DOI: <https://doi.org/10.1093/bja/69.3.259>
22. Aranake A. Minimum alveolar concentration: ongoing relevance and clinical utility. / A. Aranake, G.A. Mashour, M.S. Avidan // *Anaesthesia*. – 2013. – 68. P. 512–522. doi:10.1111/anae.12168
23. Singh P.M. Measurement of consumption of sevoflurane for short pediatric anesthetic procedures: Comparison between Dion's equation and Dragger algorithm / P.M. Singh, A. Trikha, R. Sinha, A. Borle // *Journal of Anaesthesiology, Clinical Pharmacology*. – 2013. – 29 (4). – P. 516–520. doi:<https://doi.org/10.4103/0970-9185.119160>
24. Тарасенко С. О. Аналгетична ефективність білатеральної блокади поверхневого шийного сплетення при загальній анестезії севофлураном при тиреоїдектоміях. / С. О. Тарасенко, С. О. Дубров, М. Б. Горобейко, І. І. Кузьменко // *Клінічна анестезіологія та інтенсивна терапія*. – 2016. – № 2 (8). С. 74-86.

## ТАРАСЕНКО С.О., ДУБРОВ С.О., КУНАТОВСЬКИЙ М.В., СМОЛЯР В.А. ВИТРАТИ ІНГАЛЯЦІЙНОГО АНЕСТЕТИКА: МЕТОДИ ОЦІНКИ ТА КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ НИМИ

**Мета роботи:** в проспективному дослідженні оцінити споживання інгаляційного анестетика (севофлурану) з використанням методу зважування випарника і рівнянь Dion і Biro у пацієнтів, оперованих з приводу новоутворень ендокринних органів в спеціалізованому центрі. Встановити наявність кореляції між методами оцінки .

**МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ.** 180 пацієнтів з хірургічної ендокринною патологією були розподілені на 2 групи: 1-а група – основна група (92 пацієнта) – індукція севофлураном починалася з FGF = 2000 мл/хв, 2-я група – група контролю (88 пацієнтів) – індукція севофлураном починалася з FGF  $\geq$  4000 мл/хв. Оцінювалося споживання інгаляційного анестетика севофлурану за допомогою рівнянь Biro і Dion і методу зважування випарника (ЗВ) із виявленням кореляційної зв'язку між показниками. Розраховано загальне споживання севофлурану за період анестезії, споживання севофлурану до переходу на низький / мінімальний потік, час від індукції севофлурану до переходу на низький / мінімальний потік, середній FGF до і після переходу на низький / мінімальний потік.

**РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ.** Відзначено, що розрахункові показники за рівняннями Biro і Dion достовірно (за критерієм Уїлкоксона,  $p < 0,05$ ) менше в обох групах в порівнянні з показниками за методом ЗВ. Однак між показниками існує прямий кореляційний зв'язок за коефіцієнтом кореляції Спірмана ( $p < 0,05$ ). Виявлений сильний кореляційний зв'язок рівняння Dion з показниками методу ЗВ як для FGF = 2000 мл / мл, так і для FGF  $\geq$  4000 мл / хв. Рівняння Biro має високу кореляційний зв'язок з методом ЗВ тільки в основній групі. Не відмічено достовірної різниці за критерієм Уїлкоксона між групами по часу переходу на низький FGF (період насичення севофлураном) – в основній групі  $10,40 \pm 0,36$  хв, а в контрольній групі  $9,80 \pm 0,63$  хв. Однак виявлено достовірно ( $p < 0,05$  за критерієм Уїлкоксона) більш високе споживання севофлурану за цей період насичення в контрольній групі в  $4,16 \pm 0,19$  мл в порівнянні з основною групою –  $2,75 \pm 0,07$  мл. Питома вага від загальної витрати севофлурану за цей період (за рівнянням Dion) склав  $50,0 \pm 1,6\%$  в контрольній групі і  $40,2 \pm 1,3\%$  (різниця достовірна за критерієм Уїлкоксона,  $p < 0,05$ ). Стартова концентрація севофлурану на випарнику була без достовірної різниці між основною і контрольною групами і склала  $3,25 \pm 0,04$  об% і  $3,35 \pm 0,04$  об% відповідно. Тоді як середня концентрація севофлурану на випарнику була достовірно ( $p < 0,05$  за критерієм Уїлкоксона) вище в основній групі ( $2,97 \pm 0,03$  об%) в порівнянні з контрольною ( $2,78 \pm 0,05$  об%).

**ВИСНОВКИ.** Розрахункові показники за рівняннями Biro і Dion дозволяють оцінити споживання газового анестетика нарівні методу зважування випарника. Між

показниками існує сильний кореляційний зв'язок ( $r_s \geq 0,95$ ,  $p < 0,05$ ). Рівняння Dion для оцінки споживання інгаляційного анестетика в більшому ступеню відображає споживання севофлурану, тому що враховує суму додатків кожного сегмента анестезії і мінімальні зміни в складових. Показники споживання севофлурану за рівнянням Dion високо корелюють з показниками методу зважування випарника як при стартовому FGF = 2000 мл / хв, так і при FGF  $\geq$  4000 мл/хв. Стартовий FGF при індукції севофлурану в 2000 мл/хв (основна група) використовувати ефективніше в порівнянні з індукцією FGF  $\geq$  4000 мл/хв. Відзначено достовірно менше споживання севофлурану в основній групі як методом зважування випарника, так і рівнянням Dion при однаковій тривалості та якості анестезії.

**Ключові слова:** споживання інгаляційного анестетика, низько-поточкова анестезія, мінімально-поточкова анестезія, рівняння Dion, рівняння Biro.

**TARASENKO S.O., DUBROV S.O., KUNATOVSKY M.V., SMOLYAR V.A.**  
THE VOLATILE ANESTHETIC CONSUMPTION: THE EVALUATION METHODS AND CORRELATION BETWEEN THEM

**AIM:** The volatile anesthetic consumption assessment has been done in a prospective study by using the vaporizer weighing method and the Dion's and Biro's equations in the endocrine organ tumors patients undergoing surgical intervention in a specialized center. Determine the correlation between evaluation methods.

**MATERIALS AND METHODS.** 180 patients with surgical endocrine diseases were divided into 2 groups: 1st group – the main group (92 patients) – induction with sevoflurane started from FGF = 2000 ml/min, 2nd group – control group (88 patients) – induction with sevoflurane started from FGF  $\geq$  4000 ml/min. The volatile anesthetic consumption assessment was estimated by using the Biro's and Dion's equations and the vaporizer weighing method (VW) and the correlation between the methods also has been assessed. The following end-point were calculated: the total sevoflurane consumption for the anesthesia period, the sevoflurane consumption until the switch-over on the low / minimal gas flow, the time from the sevoflurane induction to the switch-over on the low / minimum gas flow, the mean FGF before and after the switching on the low / minimum gas flow.

**RESULTS AND DISCUSSION.** It was noted that the calculated parameters according to the Biro's and Dion's equations were significantly lower (by the Wilcoxon test,  $p < 0.05$ ) in both groups compared to the VW method. However, there is a direct correlation between the evaluation methods according to the Spearman correlation coefficient ( $p < 0.05$ ). A strong direct correlation relationship of the Dion's equation was revealed with the parameters of the VW method for both FGF = 2000 ml/min and FGF  $\geq$  4000 ml/min. The Biro's equation has a strong correlation with the VW method only in the main group. There was no significant difference in concordance with the Wilcoxon test between the groups for the time from the sevoflurane induction to the switch-over on the low / minimum gas flow: the sevoflurane saturation period was  $10.40 \pm 0.36$  min in the main group,  $9.80 \pm 0.63$  min in the control group. However, the sevoflurane consumption during this saturation period was significantly higher ( $p < 0.05$  by the Wilcoxon test) in the control group ( $4.16 \pm 0.19$  ml) vs the main group ( $2.75 \pm 0.07$  ml). The specific gravity from the total sevoflurane consumption for this period (according to the Dion's equation) was  $50.0 \pm 1.6\%$  in the control group and  $40.2 \pm 1.3\%$  (the significant difference by the Wilcoxon test,  $p < 0.05$ ). The initial sevoflurane concentration on the vaporizer was without significant difference between the main and control groups and it was amounted to  $3.25 \pm 0.04\%$  and  $3.3 \pm 0.04\%$ , respectively. While the average sevoflurane vaporizer concentration was significant ( $p < 0.05$  by the Wilcoxon test) higher in the main group ( $2.97 \pm 0.03\%$ ) compared with the control ( $2.78 \pm 0.05\%$ ).

**CONCLUSIONS.** The Biro's and Dion's equations allow the volatile anesthetic consumption assessment as well as the vaporizer weighing method. There is a strong

correlation between the methods ( $r_s \geq 0.95$ ,  $p < 0.05$ ). The Dion's equation reflects the consumption of sevoflurane to a greater extent due to it takes into account the sum of the products of each anesthesia segment and the minimum component changes. The sevoflurane consumption by the Dion's equation is strongly correlated with the parameters of the vaporizer weighing method for both the initial FGF = 2000 ml/min and  $FGF \geq 4000$  ml/min. The initial FGF with the sevoflurane induction in 2000 ml/min (the main group) is more effective than induction with  $FGF \geq 4000$  ml/min. A significantly lower the sevoflurane consumption was observed in the main group both by the vaporizer weighing method and by the Dion's equation at the same anesthesia duration.

**Key words:** *The volatile anesthetic consumption assessment, low-flow anesthesia, minimal-flow anesthesia, Dion's equation, Biro's equation.*