

Анестезиологическое обеспечение скорости литотрипсии при уретерореноскопии с применением высокочастотной струйной вентиляции легких: рандомизированное контролируемое исследование

© У.И. ОЙБОЛАТОВ¹, Л.В. КОЛОТИЛОВ², С.Г. ПАРВАНЯН¹, Н.К. ГАДЖИЕВ³

¹ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова» МЧС России, Санкт-Петербург, Россия;

²Университет Святого Иосифа, Колледж здоровья и смежных наук Святого Иосифа, Дар-эс-Салам, Танзания;

³ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Оценить эффективность применения сочетанной искусственной вентиляции легких (СИВЛ) и методики периодического апноэ (ПА) при гибкой уретерореноскопии (УРС) в условиях общей комбинированной анестезии (ОКА).

Материал и методы. В одноцентровое рандомизированное контролируемое исследование включены 60 пациентов, которым выполняли УРС с литотрипсией и литоэкстракцией в условиях ОКА с искусственной вентиляцией легких (ИВЛ). В первой группе пациентов на этапе литотрипсии использовали СИВЛ, включающую высокочастотную струйную вентиляцию (ВЧСВ) и малообъемную ИВЛ (МИВЛ), во второй группе применяли методику ПА, в третьей (контрольной) группе — традиционную ИВЛ (ТИВЛ). Объективную оценку эффективности применения перечисленных анестезиологических методик определяли путем межгруппового сравнения скорости литотрипсии и литоэкстракции.

Результаты. Статистический анализ исследуемых показателей в трех группах позволил выявить высокую корреляцию ($r=0,75-0,82$) между временем выполнения литотрипсии и литоэкстракции (Т, мин) с объемом камней (V, мм³). Учитывая результаты корреляционного анализа, скорость литотрипсии и литоэкстракции выразили отношением объема камня к времени выполнения данного этапа операции (V/T, мм³/мин). В группе СИВЛ V/T составило 17 мм³/мин, в группе ПА — 9 мм³/мин, а в контрольной группе (ТИВЛ) — 7 мм³/мин. Парные сравнения V/T выявили статистически значимые различия между группами СИВЛ и ПА ($p=0,001$), СИВЛ и ТИВЛ ($p<0,001$), но не между группами ПА и ТИВЛ ($p=0,47$). Клинически наиболее значимым оказалось преимущество СИВЛ по сравнению с ТИВЛ ($MD=_{-5}10_{1,5}$ мм³/мин, $SES=_{0,6}1,2_{1,9}$).

Заключение. Применение в условиях общей комбинированной анестезии сочетанной искусственной вентиляции легких, включающей высокочастотную струйную вентиляцию, позволяет значительно сократить продолжительность лазерной фрагментации камней почек и верхней трети мочеточников при уретерореноскопии.

Ключевые слова: высокочастотная струйная вентиляция легких, сочетанная искусственная вентиляция легких, традиционная искусственная вентиляция легких, дыхательная подвижность почек, периодическое апноэ, уретерореноскопия.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ойболатов У.И. — <https://orcid.org/0000-0001-8450-4457>; e-mail: u.oibolattoff@yandex.ru

Колотиллов Л.В. — <https://orcid.org/0000-0003-1231-8051>; e-mail: leon956@yandex.ru

Парванян С.Г. — <https://orcid.org/0000-0001-8141-0551>; e-mail: parvanian@yandex.ru

Гаджиев Н.К. — <https://orcid.org/0000-0002-6255-0193>; e-mail: nariman.gadjiev@gmail.com

Автор, ответственный за переписку: Ойболатов У.И. — e-mail: u.oibolattoff@yandex.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Ойболатов У.И., Колотиллов Л.В., Парванян С.Г., Гаджиев Н.К. Анестезиологическое обеспечение скорости литотрипсии при уретерореноскопии с применением высокочастотной струйной вентиляции легких: рандомизированное контролируемое исследование. *Анестезиология и реаниматология*. 2021;4:73–79. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202104173>

Anesthetic management with high frequency jet ventilation for uretherorenoscopic lithoextraction: a randomized controlled trial

© U.I. OYBOLATOV¹, L.V. KOLOTILOV², S.G. PARVANYAN¹, N.K. GADZHIEV³

¹Nikiforov All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine, St. Petersburg, Russia;

²St. Joseph University, St. Joseph College of Health and Allied Sciences, Dar es Salaam, Tanzania;

³Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

Objective. To assess an effectiveness of combined artificial lung ventilation and periodic apnea in flexible uretherorenoscopy (URS) under general anesthesia.

Material and methods. A single-center randomized controlled trial included 60 patients who underwent URS with lithotripsy and lithoextraction under general anesthesia with artificial ventilation. In the first group, combined artificial lung ventilation in-

cluding high-frequency jet ventilation and low tidal volume ventilation was used at the stage of lithotripsy. In the second group, periodic apnea was applied. Traditional mechanical ventilation was used in the third (control) group. All techniques were compared via between-group analysis of lithotripsy and lithoextraction rate.

Results. Statistical between-group analysis revealed a high correlation ($r=0.75-0.82$) between lithotripsy/lithoextraction rate (T, min) and volume of calculi (V, mm³). Considering correlation analysis data, the rate of lithotripsy and lithoextraction was determined as a ratio of calculus volume to duration of this surgical stage (V/T, mm³/min). In the first group, V/T value was 17 mm³/min, in the second group — 9 mm³/min, in the control group — 7 mm³/min. Pairwise V/T comparisons revealed significant differences between groups 1 and 2 ($p=0.001$), 1 and 3 ($p<0.001$), but not between group 2 and 3 ($p=0.47$). Clinical advantage of combined artificial lung ventilation compared to conventional mechanical ventilation was the most significant (MD₅ 10₁₅ mm³/min, SES_{0.6} 1.2_{1,9}).

Conclusion. Combined mechanical ventilation under general anesthesia significantly reduces duration of lithotripsy/lithoextraction during ureterorenoscopy.

Keywords: high-frequency jet ventilation, combined lung ventilation, conventional mechanical ventilation, kidney mobility during respiration, periodic apnea, ureterorenoscopy.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Oybolatov U.I. — <https://orcid.org/0000-0001-8450-4457>; e-mail: u.oibolattoff@yandex.ru

Kolotilov L.V. — <https://orcid.org/0000-0003-1231-8051>; e-mail: leon956@yandex.ru

Parvanyan S.G. — <https://orcid.org/0000-0001-8141-0551>; e-mail: parvanian@yandex.ru

Gadzhiev N.K. — <https://orcid.org/0000-0002-6255-0193>; e-mail: nariman.gadjiev@gmail.com

Corresponding author: Oybolatov U.I. — e-mail: u.oibolattoff@yandex.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Oybolatov UI, Kolotilov LV, Parvanyan SG, Gadzhiev NK. Anesthetic management with high frequency jet ventilation for ureterorenoscopic lithoextraction: a randomized controlled trial. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology = Anesteziologiya i Reanimatologiya*. 2021;4:73–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202104173>

Уретерореноскопия (УРС) с литотрипсией и литоэкстракцией относится к малоинвазивным методам удаления камней почек и мочеточников [1]. Выполнение высокоточных манипуляций с помощью миниатюрных и гибких инструментов иногда сопровождается интраоперационными сложностями, из них наиболее частыми при УРС являются невозможность достичь камня и миграция камня [2]. Одной из причин, затрудняющих прицельное лазерное дробление камней методом гибкой УРС в условиях общей комбинированной анестезии (ОКА), является подвижность почек, обусловленная искусственной вентиляцией легких (ИВЛ) [3]. Внедрение и активное использование метода УРС для удаления камней верхних мочевых путей делает необходимым исследование осложнений, связанных с различными факторами. Одним из таких факторов является длительность операции [4, 5]. Существует мнение, что при длительных УРС возрастает риск развития ишемии и инфекции мочевых путей [2, 6]. Известно, что на длительность операции влияют опыт хирурга, локализация, размер, плотность и состав камня, а также использование мочеточникового коужа и дооперационное стентирование [4]. В исследовании, проведенном Н. Ито и соавт., установлено, что объем камня был самым важным показателем увеличения длительности операции [7].

На сегодняшний день для уменьшения дыхательной подвижности почек и обеспечения необходимых хирургических условий при УРС предложено несколько анестезиологических методик. Одной из них является методика периодического апноэ (ПА), которая, по заключению авторов, повышает точность хирургических манипуляций при УРС в условиях тотальной внутривенной анестезии (ТВВА) с ИВЛ [8].

Имеется сообщение о повышении скорости и эффективности дробления камней при ТВВА с высокочастотной вентиляцией легких с положительным давлением (ВЧВПД) [9]. Суть методики заключается в доставке небольших объемов дыхательной смеси с частотой дыхатель-

ных циклов (ЧДЦ) 60–200 в мин. При этом в дыхательных путях возникает постоянное положительное давление на уровне 2,5–6,0 см вод. ст. [10].

Результаты сравнительного исследования показали повышение производительности литотрипсии и литоэкстракции методом УРС как у начинающего, так и опытного уролога в условиях малообъемной ИВЛ (МИВЛ). Уменьшение дыхательной подвижности операционного поля при этой методике осуществлялось путем уменьшения дыхательного объема (ДО) в среднем до 400 мл и частоты дыхания (ЧД) до 6 в минуту от исходных стандартных показателей — ДО 500 мл и ЧД 11 в минуту [11].

В одном сообщении указывается на возможность уменьшения длительности нефролитотрипсии и риска развития послеоперационных инфекционных осложнений верхних мочевых путей при УРС в условиях ТВВА с высокочастотной струйной вентиляцией (ВЧСВ) легких [6]. Однако УРС с литотрипсией и литоэкстракцией обычно выполняют с использованием ОКА и ИВЛ [1, 12].

В недавнем исследовании показана возможность уменьшения дыхательной подвижности почек при УРС в условиях ОКА. Необходимые условия для прецизионной лазерной нефролитотрипсии обеспечивались переходом на данном этапе операции с традиционной ИВЛ (ТИВЛ) на сочетанную ИВЛ (СИВЛ), включающую катетерную ВЧСВ [13].

Мы согласны с мнением L. Peng и W. Zhong о недостаточной изученности указанных анестезиологических методик, а также о необходимости объективной оценки их эффективности при УРС с литотрипсией на основании сравнительных исследований [14].

Очевидно, что в эпоху активного внедрения малоинвазивных вмешательств решение проблемы дыхательной подвижности органов с применением различных анестезиологических методик обретает все большую актуальность не только в эндоурологии, но и в других областях хирургии [15–17].

Цель исследования — оценить эффективность применения сочетанной искусственной вентиляции легких и методики периодического апноэ при гибкой уретерореноскопии в условиях общей комбинированной анестезии.

Материал и методы

В одноцентровое рандомизированное контролируемое исследование включены 60 пациентов, которым выполняли УРС с литотрипсией и литоэкстракцией на базе многопрофильной клиники №2 ФГБУ «ВЦЭРМ им. А.М. Никиторова» МЧС России.

Исследование соответствует международным и этическим нормам, изложенным в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Рекомендации для врачей, занимающихся биомедицинскими исследованиями с участием людей», одобрено локальным этическим комитетом и проведено с информированного добровольного согласия пациентов (выписка из протокола №9/18 от 29 ноября 2018 г.).

Случайность распределения пациентов в три группы обеспечивалась методом закрытых конвертов. Для получения большего опыта применения новой методики соотношение числа пациентов группы СИВЛ и числа пациентов группы ПА и группы ТИВЛ при рандомизации составило 2:1. Таким образом, группа СИВЛ сформирована из 30 пациентов, группа ПА — из 15 пациентов и группа ТИВЛ — из 15 пациентов.

Индукцию анестезии проводили пропофолом 2—2,5 мг на 1 кг массы тела и фентанилом 0,1—0,3 мг, миорелаксацию — рокурония бромидом 0,6—1,0 мг на 1 кг массы тела. Интубацию трахеи осуществляли эндотрахеальной трубкой соответствующего размера. Поддержание анестезии осуществляли ингаляцией севофлурана в концентрациях 1,6—3,0 об.% в потоке свежего газа 1,0 л/мин и дробным введением фentanila по 0,05—0,1 мг внутривенно. Миорелаксацию по необходимости пролонгировали введением рокурония бромида по 0,15—0,2 мг на 1 кг массы тела внутривенно. До и после этапа литотрипсии проводили ТИВЛ с ДО из расчета 8 мл на 1 кг должной массы тела, ЧД 8—14 в минуту, фракцией кислорода в инспираторном газе (FiO₂) 40%, соотношением вдоха и выдоха (I:E) 1:2, положительным давлением в конце выдоха (ПДКВ) 5—6 см вод.ст. Осуществляли мониторинг частоты сердечных сокращений с оценкой сердечных комплексов в двух стандартных отведениях, уровня артериального давления, пульсоксиметрии (SpO₂), термометрии (t°C).

В группе ПА оценивали газовый состав артериальной крови (PaO₂, PaCO₂) и кислотно-основное состояние (pH и BE). Концентрации севофлурана в инспираторном (FiSev) и конечном экспираторном газе (EtSev), минимальную альвеолярную концентрацию (MAC) анестетика, показатели капнометрии (P_{ET}-CO₂) контролировали с помощью монитора наркозно-дыхательного аппарата (НДА) перед эпизодами апноэ и сразу после возобновления ТИВЛ. Контроль глубины выключения сознания пациента проводили с помощью монитора биспектрального индекса (BIS).

В группе СИВЛ на этапе литотрипсии после увеличения FiSev до 8 об.% переходили на СИВЛ в условиях замкнутого дыхательного контура. МИВЛ осуществляли НДА WATO EX-65 (Mindray Medical International Limited, Китай) уменьшением ДО до 3,0—4,0 мл на 1 кг массы тела и ЧД до 4 в мин, увеличением I:E до 1:3, снижением FiO₂ до 21%, отключением ПДКВ. ВЧСВ проводили аппаратом ZISLINE

JV-100 (ООО фирма «Тритон-Электроникс», Россия) через герметично введенный в эндотрахеальную трубку катетер с ЧДЦ 300 в мин, I:E 1:3, FiO₂ 50—100%. Рабочее давление подбирали таким образом, чтобы пиковое давление в дыхательных путях (P_{peak}) при СИВЛ соответствовало таковому при ТИВЛ. СИВЛ осуществляли с параметрами ВЧСВ и МИВЛ, предложенными Л.В. Колотилковым и соавт. [13].

В группе ПА на этапе литотрипсии после предварительной вентиляции с FiO₂ 100% в течение 5 мин, не меняя других параметров, переводом на ручной режим с открытым клапаном APL останавливали ИВЛ. Указанным способом осуществляли ПА. При этом подачу севофлурана с исходно подобранными концентрациями не отключали.

Критериями прекращения СИВЛ и ПА были завершение этапа литотрипсии, уровни SpO₂ ≤94%, BIS ≥60, P_{peak} ≥30 см вод.ст., повышение или снижение уровня систолического артериального давления на 20% от исходных нормальных значений или уровень среднего артериального давления <65 мм рт.ст., гемодинамически значимые нарушения сердечного ритма, а также отклонение сегмента ST на 2 мм и более от изолинии. Повторное применение цикла СИВЛ и ПА допускали только после восстановления исходных показателей газообмена, гемодинамики и глубины выключения сознания пациента.

В контрольной группе на этапе литотрипсии продолжали ТИВЛ с исходными параметрами.

Регистрировали продолжительность этапа дробления и удаления камней почек и верхней трети мочеточников.

Статистический анализ данных выполнили с использованием программ PAST 4.03 и JASP 0.13.1. Оценки всех показателей (средних, долей, коэффициентов корреляции) представлены в виде трех чисел: точечной оценки и значений границ 95% доверительных интервалов (ДИ). Нижние и верхние границы 95% ДИ указаны в виде подстрочников.

На первом этапе проверяли статистическую однородность всех групп посредством однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Только когда ANOVA выявлял статистически значимую неоднородность между всеми группами, приступали к отдельным попарным сравнениям между группами. В данном исследовании использовали критерий *post hoc* HSD (honestly significant difference) Тьюки и критерий Манна—Уитни с поправкой на множественность сравнений по Бонферрони.

Согласно новейшим международным рекомендациям, статистически значимыми считали эффекты, для которых *p*-значения не превышали уровень значимости $\alpha=0,005$ (а не традиционное излишне снисходительное значение $\alpha=0,05$).

Кроме статистической значимости внимание обращали на значения стандартизированного размера эффекта (*SES*). При значении *SES*=1 сравниваемые распределения смещены одно относительно другого на одно стандартное отклонение *SD*. Следует признать, что эффекты со значением *SES* ≥1 можно ориентировочно рассматривать как клинически важные, заслуживающие внимания [18].

Результаты

Анализ основных антропометрических данных пациентов трех групп (СИВЛ, ПА, ТИВЛ) показал статистическую однородность ($p>0,005$) по всем выбранным показателям (табл. 1).

Сравнительный анализ основных характеристик камней трех групп пациентов также показал статистическую

Таблица 1. Статистическое сравнение антропометрических данных пациентов и результаты проверки их межгрупповой статистической однородности дисперсионным анализом

Table 1. Between-group variance analysis of anthropometric data

Показатель	Среднее (95% ДИ)			Значение p
	СИВЛ	ПА	ТИВЛ	
Объем выборки, n	30	15	15	—
Возраст, годы	43^{48}_{53}	47^{51}_{56}	25^{42}_{38}	0,14
Пол, М/Ж	24/6	9/6	8/7	0,14
Доля мужчин, %	63^{79}_{90}	30^{59}_{75}	30^{53}_{75}	
Индекс массы тела, кг/м ²	26^{28}_{29}	28^{30}_{33}	23^{25}_{28}	0,07
Должная масса тела, кг	66^{68}_{71}	61^{65}_{69}	58^{65}_{71}	0,36
Шкала ASA	$2,0^{2,2}_{2,3}$	$2,0^{2,2}_{2,3}$	$1,8^{2,1}_{2,2}$	0,63

Примечание. СИВЛ — сочетанная искусственная вентиляция легких; ПА — периодическое апноэ; ТИВЛ — традиционная искусственная вентиляция легких.

однородность ($p > 0,005$) по всем выбранным показателям (табл. 2). Размер (диаметр) камней представлен в миллиметрах (мм), плотность — в единицах Хаунсфилда (НУ), объем камня (V) — в кубических миллиметрах (мм³).

Проведенный анализ исследуемых показателей у пациентов трех групп продемонстрировал (см. рисунок) высокую корреляцию ($r = 0,75 - 0,82$) между временем выполнения этапа литотрипсии и литоэкстракции (Т, мин) и объемом камней (V, мм³). Учитывая результаты корреляционного анализа, скорость литотрипсии и литоэкстракции выразили отношением объема камней каждого пациента к времени выполнения данного этапа операции (V/T, мм³/мин). В случаях более одного камня у пациента для анализа V/T объемы камней суммировали.

В группе СИВЛ V/T составило 17 мм³/мин, в группе ПА — 9 мм³/мин, а в контрольной группе (ТИВЛ) — всего 7 мм³/мин (см. рисунок). Эллипсы вокруг экспериментальных точек — 95% доверительные зоны. Ширина эллипсов отражает силу корреляционной связи: чем уже эллипс, тем сильнее корреляция, тем больше значение коэффициента корреляции.

Вертикальные пунктирные отрезки («усы») под и над коробами — 95% предсказательные интервалы для индивидуальных значений; нижняя и верхняя границы цветных коробов — первый (Q₁) и третий (Q₃) квартили; кресты — средние значения; светло-серые прямоугольники — 95% ДИ для средних; перетяжки на коробах — медианы (вторые квартили — Q₂); ширина «декольте» (вырезов на коробах) отражает границу 95% ДИ для медиан. Неперекрывание ДИ (для средних и/или медиан) наглядно демонстрирует статистически значимые различия (на уровне значимости $\alpha = 0,05$).

Прямые на вероятностных графиках — теоретически ожидаемые спрямленные кумулятивные функции для нормальных распределений. Чем теснее экспериментальные точки группируются вокруг этих прямых, тем лучше согласие данных с нормальным распределением.

Попарные сравнения V/T в анализируемых группах выявили (табл. 3) статистически значимые различия между группами СИВЛ и ПА ($p = 0,001$) и СИВЛ и ТИВЛ ($p < 0,001$), но не между группами ПА и ТИВЛ ($p = 0,47$). Клинически наиболее значимым оказалось преимущество ме-

Таблица 2. Статистическое сравнение характеристик камней у пациентов и результаты проверки их межгрупповой статистической однородности дисперсионным анализом

Table 2. Between-group variance analysis of characteristics of calculi

Показатель	Среднее (95% ДИ)			p
	СИВЛ	ПА	ТИВЛ	
Объем выборки, n	30	15	15	—
Среднее число камней	$0,9^{1,5}_{2,3}$	$0,6^{1,2}_{2,4}$	$0,6^{1,3}_{2,5}$	0,87
Локализация камней, почка/мочеточник	33/11	13/6	16/3	0,52
Доля в почках, %	60^{74}_{85}	46^{67}_{85}	62^{82}_{94}	
Доля в мочеточниках, %	15^{26}_{40}	15^{33}_{54}	6^{18}_{38}	
Размер камней, мм	$7,2^{8,0}_{8,8}$	$6,9^{7,9}_{8,8}$	$6,4^{7,5}_{8,6}$	0,76
Плотность камней, НУ	900^{1020}_{1130}	830^{990}_{1150}	810^{990}_{1160}	0,69
Объем камней, мм ³	260^{370}_{490}	220^{310}_{390}	170^{300}_{430}	0,93

Примечание. СИВЛ — сочетанная искусственная вентиляция легких; ПА — периодическое апноэ; ТИВЛ — традиционная искусственная вентиляция легких; НУ — плотность камней в единицах Хаунсфилда.

тодики СИВЛ по сравнению с ТИВЛ ($MD = 5^{10}_{15}$ мм³/мин, $SES = 0,6^{1,2}_{1,9}$).

Согласно результатам нашего исследования, применение ПА позволяет обеспечивать неподвижность операционного поля всего на $3,1^{3,7}_{4,2}$ мин из-за снижения показателей SpO₂ с $98,7^{99,2}_{99,5}$ % до $92,9^{94,0}_{95,0}$ % и PaO₂ с 177^{187}_{197} мм рт.ст. до $84,4^{96}_{108}$ мм рт.ст. Этого времени недостаточно для завершения литотрипсии, что требовало возобновления ИВЛ с FiO₂ 100%. При этом отмечалась гиперкапния с P_{ЕТ}-СО₂ $49,1^{51,2}_{53,1}$ мм рт.ст. и РаСО₂ $253,2^{55,4}_{57,6}$ мм рт.ст. с респираторным ацидозом (рН $7,26^{7,28}_{7,30}$ и ВЕ $-1,6^{-1,0}_{-0,4}$ ммоль/л). Между эпизодами апноэ для восстановления исходных показателей газообмена требовалось проведение ИВЛ в течение $5,9^{6,7}_{7,5}$ мин. В конце эпизодов апноэ значения показателя EtSev составили $1,63^{1,75}_{1,85}$ об.%, а MAC — $0,79^{0,85}_{0,89}$. Такие концентрации севофлурана при ПА поддерживали показатели BIS в пределах $43,3^{44,9}_{46,4}$. Средняя продолжительность этапа литотрипсии и литоэкстракции при СИВЛ составила 30 мин, длительность всей операции — 62 мин, при ПА — 41 мин и 69 мин, при ТИВЛ — 49 мин и 74 мин соответственно.

Обсуждение

Полученные в нашем исследовании результаты УРС в условиях СИВЛ, включающей ВЧСВ, показали более высокую скорость литотрипсии и литоэкстракции по сравнению с результатами 11,7 мм³/мин, представленными М. Роріолек и соавт. при использовании ВЧВПД [9].

Кроме того, недостатком ВЧВПД является ограничение ЧДЦ 100—110 в минуту, так как при более высоком уровне ЧДЦ вследствие увеличения конечного экспираторного давления при данной методике повышается опасность баротравмы легких [10]. Поскольку аппараты высокочастотной ИВЛ не могут обеспечить подачу ингаляционных анестетиков при анестезиологическом обеспечении операций, ВЧСВ применяется в условиях ТВВА [6, 19]. При проведении ТВВА настоятельно рекомендуются контроль скорости инфузии анестетика для обеспечения его необходимой плазменной концентрации и использование BIS-мониторинга [19]. Преимуществом предложенного нами варианта СИВЛ является возможность ингаляции севофлурана под контро-

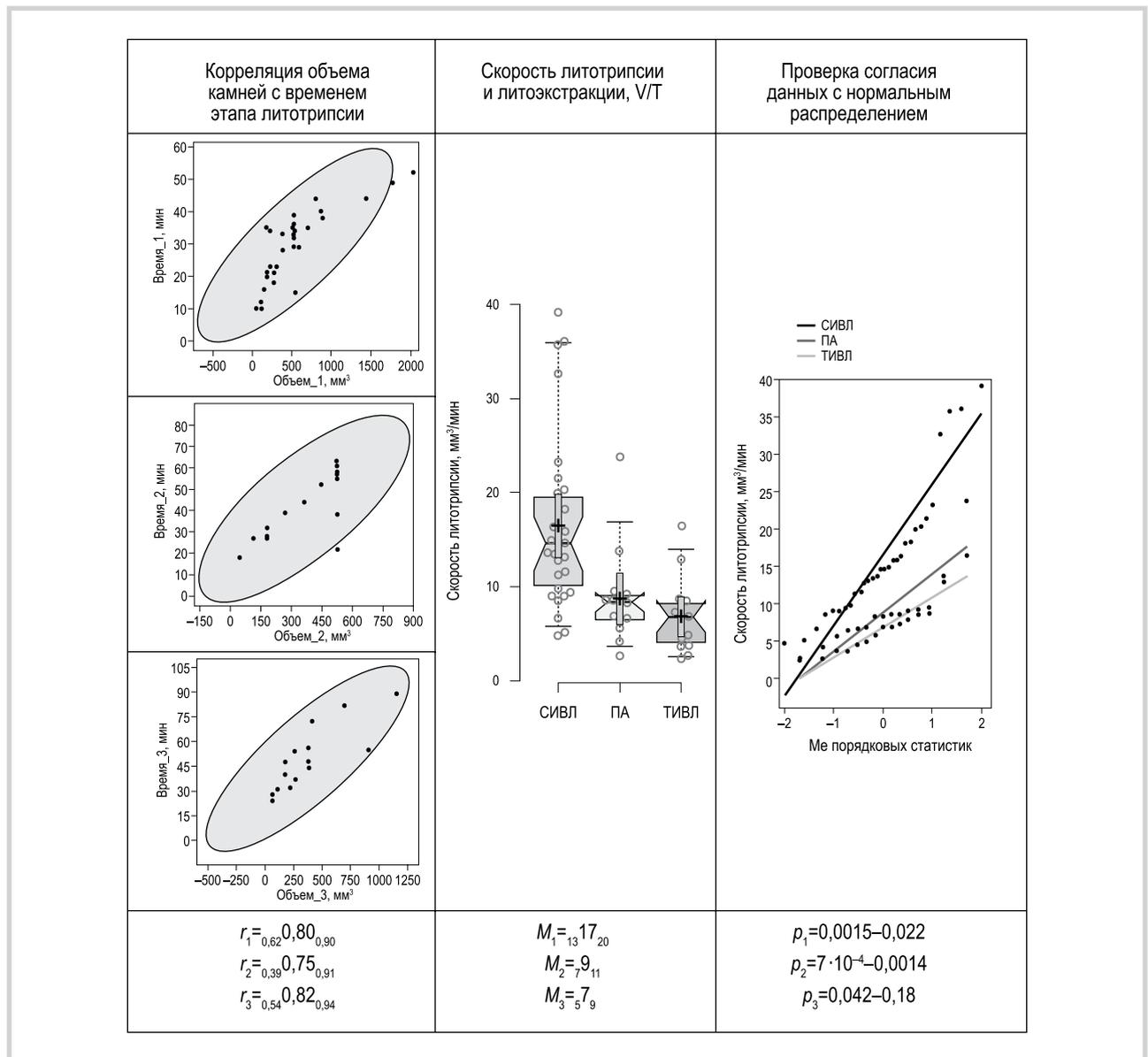


Рис. Сравнительный статистический анализ отношения объема камней к времени выполнения этапа операции (V/T, мм³/мин) у пациентов трех групп в условиях применения различных анестезиологических методик.

r_1, r_2, r_3 — коэффициенты корреляции (95% ДИ); M_1, M_2, M_3 — средние значения (95% ДИ); p_1, p_2, p_3 — пары крайних значений p для 4 критериев согласия данных с нормальным распределением (Шapiro—Уилка, Андерсона—Дарлинга, Лиллиефорса, Харке—Бера) для групп СИВЛ, ПА и ТИВЛ соответственно; СИВЛ — сочетанная искусственная вентиляция легких; ПА — периодическое апноэ; ТИВЛ — традиционная искусственная вентиляция легких.

Fig. Between-group comparison of V/T in various anesthetic techniques.

r_1, r_2, r_3 — correlation coefficients (95% CI); M_1, M_2, M_3 — average values (95% CI); p_1, p_2, p_3 — pairs of extreme values of p for 4 criteria of data agreement with normal distribution (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors, Jarque-Bera) for groups of СИВЛ, ПА and ТИВЛ, respectively; СИВЛ — combined artificial lung ventilation; ПА — periodic apnea; ТИВЛ — traditional artificial lung ventilation.

лем концентраций с обеспечением достаточной глубины выключения сознания пациента [13].

Полученные в настоящем исследовании результаты УРС в условиях ОКА с применением СИВЛ сопоставимы с представленными V. Koumpretis и соавт. результатами скорости (19,3 мм³/мин) выполнения этапа литотрипсии опытными урологами в условиях МИВЛ. Однако проведение МИВЛ сопровождалось повышением средних показателей парциального давления углекислого газа в конечной порции выдыхаемого газа ($P_{ET}CO_2$) с 36 мм рт.ст. до 50 мм рт.ст. [11]. Умеренная гиперкапния считается достаточно безопасным состоянием, тогда как выраженная гиперкап-

Таблица 3. Результаты попарных сравнений отношения объема камней к времени выполнения этапа операции (V/T, мм³/мин) в условиях применения различных анестезиологических методик

Table 3. Pairwise comparisons of V/T in various anesthetic techniques

Сравниваемые группы	MD	SES	p_{Tukey}
СИВЛ ПА	3^8_{13}	$0,3^1_{0,1,6}$	0,001
СИВЛ ТИВЛ	5^10_{14}	$0,6^1_{1,2,1,9}$	<0,001
ПА ТИВЛ	-2^2_6	$-0,3^0_{0,4,1,2}$	0,47

Примечание. СИВЛ — сочетанная искусственная вентиляция легких; ПА — периодическое апноэ; ТИВЛ — традиционная искусственная вентиляция легких; MD — разность средних; SES — стандартизированный размер эффекта; p_{Tukey} — p -значение для *post hoc* HSD-критерия Тьюки.

ния может привести к респираторному ацидозу с последующими тяжелыми осложнениями со стороны сердечно-сосудистой и центральной нервной системы [20].

В работе А.В. Алексеева подробно рассмотрены и представлены негативные эффекты, связанные с действием гиперкапнии на различные системы организма. Показано, что уровень гиперкапнии до 50—60 мм рт.ст. в условиях достаточной оксигенации сопровождается повышением скорости мозгового кровотока, ударного объема сердца и показателей сократимости правого и левого желудочка, а также сопротивления капиллярного русла легочного кровотока [21]. Перечисленные негативные эффекты гиперкапнии ограничивают продолжительность применения методики МИВЛ у возрастных пациентов с сопутствующей сердечной и легочной патологией [14]. Общим недостатком обсуждаемых исследований респираторных методик является отсутствие данных анализа газового состава и кислотно-основного состояния крови. Поэтому при использовании ПА и МИВЛ необходимо помнить о возможных осложнениях гиперкапнии.

Сочетание ВЧСВ и МИВЛ позволяет обеспечивать необходимую минутную вентиляцию легких с поддержанием нормокапнии в течение всего этапа литотрипсии и литоэкстракции при УРС [13].

В условиях прекращения ингаляции севофлурана при апноэ и, соответственно, выведения анестетика при ПА поддерживалась достаточная глубина выключения сознания пациента с показателями, соответствующими рекомендованным значениям BIS (в пределах 40—60 условных

единиц) [22]. Во всех трех группах ни у одного пациента не наблюдались значительные электрокардиографические и гемодинамические нарушения как при ТИВЛ, так и в условиях применения СИВЛ и ПА.

Недостатком методики ПА является необходимость предварительной преоксигенации перед апноэ и проведения ИВЛ после апноэ до восстановления исходных показателей газообмена.

Улучшение хирургических условий при СИВЛ на этапе литотрипсии по сравнению с методами ПА и ТИВЛ достигается за счет уменьшения частоты и плавности амплитуды смещений операционного поля (почка, мочеточник, камень).

Заключение

Применение в условиях общей комбинированной анестезии сочетанной искусственной вентиляции легких, включающей катетерную высокочастотную струйную вентиляцию и малообъемную искусственную вентиляцию легких, создает лучшие условия для работы урологов по сравнению с методикой периодического апноэ и традиционной объемной искусственной вентиляции легких, что позволяет значительно сократить продолжительность лазерной фрагментации и удаления камней верхних мочевых путей при уретерореноскопии.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.**

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Oztekin U, Caniklioglu M, Selmi V, Kantekin CU, Atac F, Gurel A, Sari S. Do anesthesia methods in retrograde intrarenal surgery make difference regarding the success of ureteral access and surgical outcomes? *Journal of Laparoendoscopic and Advanced Surgical Techniques. Part A*. 2020;30(3):273-277. <https://doi.org/10.1089/lap.2019.0548>
- Акопян Г.Н., Рапопорт Л.М., Газимиев М.А., Харчилава Р.Р., Гаджиев Н.К., Малхасян В.А., Мазуренко Д.А., Мамедкасимов Н.А. Осложнения уретерореноскопии. *Вопросы урологии и андрологии*. 2018;6(4):34-42. Akopyan GN, Rapoport LM, Gazimiev MA, Kharchilava RR, Gadzhiev NK, Malkhasyan VA, Mazurenko DA, Mamedkasimov NA. Complications of ureterorenoscopy. *Voprosy urologii i andrologii*. 2018;6(4):34-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.20953/2307-6631-2018-4-34-42>
- Gadzhiev N, Oibolatov U, Kolotilov L, Parvanyan S, Akopyan G, Petrov S, Cottone CM, Sung J, Okhunov Z. Reducing kidney motion: optimizing anesthesia and combining respiratory support for retrograde intrarenal surgery: a pilot study. *BMC Urology*. 2019;19(1):61. <https://doi.org/10.1186/s12894-019-0491-3>
- Lane J, Whitehurst L, Zeeshan Hameed BM, Tokas T, Bhaskar K. Somani. Correlation of operative time with outcomes of ureteroscopy and stone treatment: a systematic review of literature. *Current Urology Reports*. 2020;21(4):17. <https://doi.org/10.1007/s11934-020-0970-9>
- Sorokin I, Cardona-Grau DK, Rehfuß A, Birney A, Stavrakis C, Leinwand G, Herr A, Feustel PJ, White MD. Stone volume is best predictor of operative time required in retrograde intrarenal surgery for renal calculi: implications for surgical planning and quality improvement. *Urolithiasis*. 2016;44(6):545-550. <https://doi.org/10.1007/s00240-016-0875-8>
- Hasan M, Brehmer M, Harbut P. Preliminary evaluation of high-frequency jet ventilation in RIRS from a tertiary center. *Journal Endoluminal Endourology*. 2019;2(1):1-4. <https://doi.org/10.22374/jeleu.v2i1.25>
- Ito H, Kuroda S, Kawahara T, Makiyama K, Yao M, Matsuzaki J. Clinical factors prolonging the operative time of flexible ureteroscopy for renal stones: a single center analysis. *Urolithiasis*. 2015;43(5):467-475. <https://doi.org/10.1007/s00240-015-0789-x>
- Emiliani E, Talso M, Baghdadi M, Ghanem S, Golmard J, Pinheiro H, Gkentzis A, Buttice S, Traxer O. The use of apnea during ureteroscopy. *Urology*. 2016;97:266-268. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2016.06.016>
- Popiolek M, Al-Rammahi D, Swartz R. The impact of high-frequency positive-pressure ventilation (HFPPV) on operation time in retrograde intrarenal surgery for stones > 1 cm. *Journal of Endourology*. 2017;31(2):MP3-17. <https://doi.org/10.1089/end.2017.29029.abstracts>
- Акалаев Р.Н., Сабиров Д.М., Шарипова В.Х., Росстальная А.Л. Высокая частотная вентиляция легких: новое — это хорошо забытое старое. *Вестник экстренной медицины*. 2013;4:100-106. Akalaev RN, Sabirov DM, Sharipova VKh, Rosstalnaya AL. High frequency ventilation: new is well forgotten old. *Vestnik ekstretnoy meditsiny*. 2013;4:100-106. (In Russ.).
- Kourmpetis V, Dekalo S, Levy N, Nir T, Bar-Yosef Y, Beri A, Yossepowitch O, Sofer M. Toward respiratory-gated retrograde intrarenal surgery: a prospective controlled randomized study. *Journal of Endourology*. 2018;32(9):812-817. <https://doi.org/10.1089/end.2018.0231>
- Van Cleynenbreugel B, Kılıç Ö, Akand M. Retrograde intrarenal surgery for renal stones — Part 1. *Turkish Journal of Urology*. 2017;43(2):112-121. <https://doi.org/10.5152/tud.2017.03708>
- Колотилов Л.В., Ойболатов У.И., Парванян С.Г., Гаджиев Н.К. Анестезиологическое обеспечение прецизионности трансуретральной контактной нефролитотрипсии с применением высокочастотной струйной вентиляции легких. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2019;16(5):18-23. Kolotilov LV, Oybolatov UI, Parvanyan SG, Gadzhiev N.K. Anesthesiological management of the precise transuretral contact nephrolithotripsy using high-frequency jet ventilation. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii*. 2019;16(5):18-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2019-16-5-18-23>
- Peng L, Zhong W. Re: "Toward respiratory-gated retrograde intrarenal surgery: a prospective controlled randomized study" by Kourmpetis et al. *Journal of Endourology*. 2020;34(7):788-789. <https://doi.org/10.1089/end.2019.0881>

15. Boatta E, Cazzato RL, Marini P, Canuet M, Garnon J, Heger B, Bernmann TM, Ramamurthy N, Jahn C, Lopez M, Gangi A. Embolisation of pulmonary arteriovenous malformations using high-frequency jet ventilation: benefits of minimising respiratory motion. *European Radiology Experimental*. 2019;3(1):26. <https://doi.org/10.1186/s41747-019-0103-8>
16. Galmen K, Harbut P, Freedman J, Jakobsson JG. High frequency jet ventilation for motion management during ablation procedures, a narrative review. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2017;61(9):1066-1074. <https://doi.org/10.1111/aas.12950>
17. LoMauro A, Aliverti A, Joensen O, Karaca I, Nyström PW, Larsson A, Frykholm P, Sütterlin R. Comparison of different methods for lung immobilization in an animal model. *Radiotherapy and Oncology*. 2020;150:151-158. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.06.024>
18. Solla F, Tran A, Bertonecelli D, Musoff C, Bertonecelli CM. Why a *p*-value is not enough. *Clinical Spine Surgery*. 2018;31(9):385-388. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000695>
19. Masters R, Bechara R, Seeley NR, Parks C, Moore ZD. Anesthetic considerations for automated high-frequency jet ventilation during electromagnetic navigation bronchoscopy. *AANA Journal*. 2020;88(2):101-106.
20. Seiler F, Trudzinski FC, Kredel M, Lotz C, Lepper PM, Muellenbach RM. Update: acute hypercapnic respiratory failure. *Medizinische Klinik, Intensivmedizin und Notfallmedizin*. 2019;114(3):234-239. <https://doi.org/10.1007/s00063-017-0318-5>
21. Алексеев А.В. Сравнительная характеристика методов респираторной поддержки в хирургии трахеи: дисс. ... канд. мед. наук. М. 2017. Alekseev A.V. *Sravnitel'naya kharakteristika metodov respiratornoj podderzhki v khirurgii trakhei*: diss. ... kand. med. nauk. M. 2017. (In Russ.).
22. Myles PS, Leslie K, McNeil J, Forbes A, Chan MTV. Bispectral index monitoring to prevent awareness during anaesthesia: the B-Aware randomised controlled trial. *Lancet*. 2004;363(9423):1757-1763. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16300-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16300-9)

Поступила 05.09.2020
Received 05.09.2020
Принята к печати 23.01.2021
Accepted 23.01.2021