

Оценка эффективности применения высокопоточной инсuffляции кислорода во время однологочной вентиляции

© А.Г. ФАРШАТОВ¹, А.Д. ХАЛИКОВ², Е.Н. ЕРШОВ¹, Н.Г. МАРОВА³, В.А. ПАНАФИДИНА⁴,
В.В. МОРДОВИН², А.В. ШЕГОЛЕВ¹

¹ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия;

²Санкт-Петербургское ГБУЗ «Городской клинический онкологический диспансер», Санкт-Петербург, Россия;

³ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия;

⁴ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Общепринятой методикой в видеоторакоскопической хирургии является однологочная вентиляция (ОЛВ), при этом коллабируемое легкое не вентилируется, но перфузируется, создавая транспульмональное шунтирование, приводящее к ухудшению оксигенации и, в конечном счете, к гипоксемии. Применение высокопоточной инсuffляции кислорода (ВПИ) во время ОЛВ может способствовать коррекции гипоксемии.

Цель исследования. Оценить возможность и эффективность применения высокопоточной инсuffляции кислорода неинтубируемого легкого с различными параметрами при однологочной вентиляции.

Материал и методы. В исследование включены 40 пациентов, которым выполнена видеоторакоскопическая (ВТС) лобэктомия. Исследование проведено в 3 этапа (I, II, III). На I этапе выполняли ОЛВ с коллапсом оперируемого легкого. При десатурации менее 92% начинали II этап — подачу ВПИ со скоростью 40 л/мин в неинтубируемое легкое в течение 15 мин. На III этапе скорость потока увеличивали до 50 л/мин в течение 15 мин. На этапах исследования регистрировали следующие параметры: напряжение кислорода в артериальной крови (PaO₂), напряжение углекислого газа в артериальной крови (PaCO₂), сатурацию артериальной крови (SaO₂), показатели пульсоксиметрии (SpO₂), среднее артериальное давление (САД).

Результаты. Оценка и сравнение SpO₂ показали наличие статистически значимых различий на II (98 (98; 99)%) и III (98 (98; 99)%) этапах по сравнению с показателями на I этапе (91 (90; 92)%, $p < 0,001$). При сравнении уровней PaO₂ выявлены статистически значимые различия ($p < 0,001$) на этапах применения ВПИ: на II этапе — 98,7 (91,1; 130,1) мм рт.ст.; на III этапе — 105,1 (98,9; 141,3) мм рт.ст. по сравнению с показателями на I этапе — 67,7 (63,1; 81,2). При сравнении SaO₂ на исследуемых этапах выявлены статистически значимые различия ($p < 0,001$) на II и III этапах исследования. При сравнении уровней PaCO₂ ($p = 0,05$) и САД ($p = 0,07$) на всех этапах не было статистически значимых различий.

Заключение. Высокопоточная инсuffляция кислорода со скоростью потока 40 л/мин и 50 л/мин при однологочной вентиляции позволяет эффективно коррегировать гипоксемию при видеоторакоскопических вмешательствах, а также является простой в применении методикой.

Ключевые слова: однологочная вентиляция легких, гипоксемия, высокопоточная инсuffляция кислорода.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Фаршатов А.Г. — <https://orcid.org/0000-0002-6867-3098>

Халиков А.Д. — <https://orcid.org/0000-0001-9864-1284>

Ершов Е.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-9572-6802>

Марова Н.Г. — <https://orcid.org/0000-0002-5801-9594>

Панафидина В.А. — <https://orcid.org/0000-0002-7046-931X>

Мордовин В.В. — <https://orcid.org/0000-0002-5467-353X>

Шеголев А.В. — <https://orcid.org/0000-0001-6431-439X>

Автор, ответственный за переписку: Фаршатов А.Г. — e-mail: albert.farshatov@gmail.com

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Фаршатов А.Г., Халиков А.Д., Ершов Е.Н., Марова Н.Г., Панафидина В.А., Мордовин В.В., Шеголев А.В. Оценка эффективности применения высокопоточной инсuffляции кислорода во время однологочной вентиляции. *Анестезиология и реаниматология*. 2022;5:18–22. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202205118>

Efficacy of high-flow oxygen insufflation during one-lung ventilation

© A.G. FARSHATOV¹, A.D. KHALIKOV², E.N. ERSHOV¹, N.G. MAROVA³, V.A. PANAFIDINA⁴, V.V. MORDOVIN²,
A.V. SHCHEGOLEV¹

¹Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia;

²St. Petersburg City Clinical Oncology Center, St. Petersburg, Russia;

³Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia;

⁴Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

Objective. To evaluate the effectiveness of high-flow oxygen insufflation in unventilated lung during one-lung ventilation (OLV).

Material and methods. The study included 40 patients who underwent thoracoscopic lobectomy. The study was divided into 3 stages (I, II, III). At the first stage, OLV was performed. As soon as oxygen saturation was less than 92%, the second stage was started (high-flow (40 L/min) oxygen insufflation in an unventilated lung for 15 minutes). At the third stage, oxygen flow rate was increased up to 50 L/min for 15 minutes. We analyzed arterial partial pressure of oxygen (PaO₂), arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO₂), arterial oxygen saturation (SaO₂), pulse oximetry (SpO₂) and mean arterial pressure (MAP).

Results. Analysis of SpO₂ revealed significant differences at the second (98.0% (98.0; 99.0)) and third (98.0% (98.0; 99.0)) stages compared to the first stage (91.5% (90; 92)) (T=210, Z= -3.92, p<0.001). Analyzing PaO₂, we found significant differences (T=210, Z= -3.92, p<0.001) at the stages of high-flow insufflation (stage II — 98.7 mm Hg (91.1; 130.1), stage III — 105.1 mm Hg (98.9; 141.3)) compared to stage I (67.7 mm Hg (63.1; 81.2)). There were significant differences in SaO₂ at the second and third stages (p<0.001; T=210; Z= -3.92). PaCO₂ and MAP were similar at all stages.

Conclusion. High-flow oxygen insufflation with a flow rate of 40 and 50 L/min during OLV ensures effective correction of hypoxemia during video-assisted thoracoscopic surgery.

Keywords: one-lung ventilation, hypoxemia, high-flow oxygen insufflation.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Farshatov A.G. — <https://orcid.org/0000-0002-6867-3098>

Khalikov A.D. — <https://orcid.org/0000-0001-9864-1284>

Ershov E.N. — <https://orcid.org/0000-0002-9572-6802>

Marova N.G. — <https://orcid.org/0000-0002-5801-9594>

Panafidina V.A. — <https://orcid.org/0000-0002-7046-931X>

Mordovin V.V. — <https://orcid.org/0000-0002-5467-353X>

Shchegolev A.V. — <https://orcid.org/0000-0001-6431-439X>

Corresponding author: Farshatov A.G. — e-mail: albert.farshatov@gmail.com

TO CITE THIS ARTICLE:

Farshatov AG, Khalikov AD, Ershov EN, Marova NG, Panafidina VA, Mordovin VV, Shchegolev AV. Efficacy of high-flow oxygen insufflation during one-lung ventilation. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology = Anesteziologiya i Reanimatologiya*. 2022;5:18–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202205118>

Введение

Однолегочная вентиляция (ОЛВ) является «золотым стандартом» при выполнении видеоторакоскопических (ВТС) оперативных вмешательств на органах грудной полости [1, 2]. При этом создают коллапс легкого, который обеспечивает оптимальный хирургический доступ [1, 3]. Общепринятой методикой ОЛВ является интубация двухпросветной эндотрахеальной трубкой [3]. Однако при изоляции одного легкого нарушаются вентиляционно-перфузионные отношения, что в 5–10% случаев приводит к клинически значимой гипоксемии [4]. Гипоксемия, несмотря на относительно небольшую частоту ее возникновения, может представлять существенную проблему, влияющую как на результаты операции, так и на частоту послеоперационных осложнений [4–6]. При гипоксемии в процессе ОЛВ снижается доставка кислорода, что может привести к повреждению жизненно важных органов, в том числе миокарда; особо критичные последствия могут проявиться у пациентов с ишемической болезнью сердца [4].

Для решения этой проблемы предложено несколько методик, применение которых способствует улучшению вентиляционно-перфузионного отношения. Для невентилируемого легкого может быть применена высокочастотная вентиляция легкого (ВЧВЛ) [7]. При использовании струйной методики ВЧВЛ в невентилируемое легкое подается прерывистый поток кислорода с заданной частотой и давлением, что приводит к улучшению оксигенации во время ОЛВ. Однако данная методика имеет и свои недостатки: ВЧВЛ оказывает неблагоприятное влияние на пациентов с обструктивным компонентом вентиляционных нарушений [8], а также увеличивает риск баротравмы во время оперативного вмешательства.

Как альтернативный способ вентиляционной поддержки, в независимое легкое может подаваться кислород с постепенным увеличением давления. Независимое легкое постепенно раздувается потоком кислорода, создавая в дыхательных путях постоянное положительное давление. В англоязычной литературе этот метод известен как СРАР (Continuous Positive Airway Pressure). Эту методику широко применяют во многих клиниках, но однозначного мнения относительно эффективности ее применения до сих пор нет. Одни исследовательские группы предлагают использовать методику постоянного положительного давления независимого легкого в широких пределах давления от 5 до 20 см вод. ст. [9]. Однако по мнению других авторов [10], применение высокого уровня постоянного положительного давления 15–20 см вод. ст. в независимом легком для улучшения оксигенации не превышает эффективности применения низкого уровня 5–10 см вод. ст. При этом применение положительного давления 15–20 см вод. ст. приводит к сильному раздуванию независимого легкого и, соответственно, влияет на гемодинамику в нем. Раздутые альвеолы сдавливают интраальвеолярные капилляры, повышают сосудистое сопротивление в независимом легком и вызывают значительные гемодинамические изменения. Кроме того, сильно раздутое легкое заполняет плевральную полость и нарушает условия для выполнения хирургического вмешательства.

Альтернативной методикой для коррекции гипоксемии при ОЛВ может являться высокопоточная инсuffляция кислорода (ВПИ). ВПИ хорошо зарекомендовала себя, по мнению отечественных и зарубежных ученых, в лечении дыхательной недостаточности при пневмониях, отлучении от длительной респираторной поддержки, а также в сниже-

нии риска повторной интубации после экстубации [11–13]. В феврале 2019 г. в журнале *Journal of Anesthesia and Clinical Research* A. Duwat и соавт. опубликовано клиническое наблюдение 11 пациентов, которым применена ВПИ кислорода для коррекции гипоксемии во время ОЛВ [14].

Следует также отметить, что сведения о применении различных потоков ВПИ в процессе ОЛВ, а также об их влиянии на показатели газового состава крови в литературе не обнаружены.

Цель исследования — оценить возможность и эффективность применения высокопоточной инсuffляции кислорода невентилируемого легкого с различными параметрами при однологочной вентиляции.

Материал и методы

Исследование одобрено независимым этическим комитетом при Военно-медицинской академии (выписка их протокола №246 от 22 декабря 2020 г.) и проведено на базе СПб ГБУЗ ГКОД. Возраст исследуемых от 44 до 74 лет ($59,0 \pm 9,2$ года). Выполнено 437 ВТС оперативных вмешательств (лобэктомий) пациентам со злокачественными образованиями периферического бронха $T_{1-2}N_0M_0$. Всем кандидатам на участие в исследовании оценивали физиологический статус по классификации Американского общества анестезиологов (ASA), выполняли электрокардиографию и исследование функции внешнего дыхания.

Критериями включения в исследование служили: возраст старше 18 лет, оперативные вмешательства в виде ВТС лобэктомий, снижение уровня сатурации $<92\%$ во время проведения ОЛВ продолжительностью более 15 мин. Критериями невключения считали: возраст старше 75 лет, функциональный статус выше 2-го класса по шкале ASA, в том числе декомпенсированную дыхательную недостаточность в предоперационном периоде (ОФВ₁/ФЖЕЛ $<25\%$), отказ пациента от участия в исследовании.

Критерии исключения: расширение оперативного вмешательства (билобэктомия/пневмонэктомия), нестабильность гемодинамики (среднее артериальное давление (САД) <60 мм рт.ст.), вынужденная двухлегочная вентиляция легких (продолжение десатурации после 15 мин, несмотря на дополнительную оксигенацию).

В ходе исследования десатурацию $<92\%$ в процессе ОЛВ наблюдали у 42 пациентов. Исключено 2 пациента из-за расширения оперативного вмешательства и кровотечения. Итоговое число пациентов, включенных в анализ, составило 40.

Структура оперативных вмешательств: левосторонняя верхняя лобэктомия — 16 (40%) случаев, левосторонняя нижняя лобэктомия — 8 (20%) случаев, правосторонняя верхняя лобэктомия — 8 (20%) случаев, правосторонняя средняя и нижняя лобэктомия по 4 (по 10%) случая.

Всем пациентам осуществляли периферический венозный доступ. Катетеризировали лучевую артерию с целью забора артериальной крови на исследование газового состава и инвазивного измерения артериального давления. Производили пункцию и катетеризацию эпидурального пространства на уровне $Th_v - Th_{v+1}$. Катетер заводили на 4–5 см в краниальном направлении. Индукцию анестезии производили внутривенным введением пропофола в дозе 2 мг на 1 кг массы тела, фентанила 3,0 мкг на 1 кг массы тела, рокурония бромид 0,6 мг на 1 кг массы тела. Выполняли прямую последовательную ларингоскопию и интубацию трахеи: установку двухпросветной трубки (ДПТ),

верификацию правильности установки с применением видеобронхоскопа. Подбор размера ДПТ осуществляли согласно представленной производителем рекомендации: женщинам ростом ниже 160 см — 35 Fg; выше 160 см — 37 Fg; мужчинам ниже 170 см — 39 Fg, выше 170 см — 41 Fg. Поддержание анестезии: севофлуран в дозе одной минимальной альвеолярной концентрации. Искусственную вентиляцию проводили наркозно-дыхательным аппаратом Primus («Dräger Medical GmbH», Германия) в режиме Volume Mode. Дыхательный объем устанавливали из расчета 4–6 мл на 1 кг массы тела, а частоту дыхания для достижения $PetCO_2$ 35–45 мм рт.ст., постоянное положительное давление в конце выдоха — 5 см водн. ст., FiO_2 в подаваемой воздушной смеси начинали с 0,5. Поддержание анальгезии: продленная эпидуральная блокада раствором ропивакаина в дозе 12–20 мг/ч. Исследование разделили на три этапа (I, II, III). На I этапе применяли однологочную ИВЛ с фракцией кислорода (FiO_2) 1,0 в условиях коллапса оперируемого легкого. На II этапе этим пациентам продолжали однологочную ИВЛ с $FiO_2=1,0$ и использовали ВПИ в оперируемое легкое со скоростью 40 л/мин, $FiO_2=0,5$ в течение 15 мин. На III этапе при тех же условиях скорость потока ВПИ увеличивали до 50 л/мин, $FiO_2=0,5$ в течение 15 мин.

ВПИ кислорода подавали аппаратом AirVo 2, «Fisherg&Paykel» (Новая Зеландия) в соответствующий просвет ДПТ в независимое легкое через трахеостомический переходник OPTIFLOW (см. рисунок). После выполнения ВПИ в течение 15 мин производили забор артериальной крови для анализа газового состава, фиксировали показатели вентиляции, мониторинга.

На всех исследовательских этапах регистрировали следующие параметры: напряжение кислорода в артериальной крови (PaO_2), напряжение углекислого газа в артериальной крови ($PaCO_2$), сатурацию артериальной крови (SaO_2), показатели пульсоксиметрии (SpO_2), САД. Данные показатели фиксировали на 15-й минуте ОЛВ и на 15-й минуте применения ВПИ с разными скоростями потока (40 л/мин и 50 л/мин, FiO_2 0,5).

Статистический анализ произведен с применением программы статистической обработки данных SPSS 23. При оценке характера распределения в совокупности по выборочным данным применяли тест Колмогорова—Смирнова. Для сравнительных исследований между этапами применяли двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) для связанных выборок, при нормальности распределения. Для повторных измерений при ненормальности распределения или неравенства дисперсий применяли тест Фридмана, для выявления статистически значимых различий — критерий Вилкоксона. Данные представлены в виде медианы, 1-го и 3-го квартилей — Me (Q1; Q3). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты

Полученные результаты представлены в таблице. Выявлено, что при применении ВПИ уровень SpO_2 на II и III этапах статистически значимо увеличивался по сравнению с только одной ОЛВ ($p < 0,05$). При сравнении показателей на II и III этапах статистически значимые различия не установлены. При применении ВПИ увеличивался уровень PaO_2 . При сравнении показателей на II и III этапах выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05$). На III этапе уровень PaO_2 оказался выше.

Лабораторные показатели у пациентов исследуемых групп на этапе проведения однологочной вентиляции и высокопоточной инсuffляции кислорода

Laboratory parameters during one-lung ventilation and high-flow oxygen insufflation

Показатель	Исходный уровень	ВПИ (40 л/мин)	ВПИ (50 л/мин)	p	T; Z
SpO ₂ , %	91,5 (90; 92)* ^	98,0 (98,0; 99,0)*	98,0 (98,0; 99,0)^	<0,001	210; -3,95
PaO ₂ , мм рт.ст.	67,7 (63,1; 81,2)* ^	98,7 (91,1; 130,1)* #	105,1 (98,9; 141,3)^ # ^	<0,001	210; -3,92
SaO ₂ , %	90,4 (89,2; 91,2)* ^	96,8 (96,3; 97,6)* #	97,3 (96,7; 98,1)^ # ^	<0,001	210; -3,92
PaCO ₂ , мм рт.ст.	42,5 (40,5; 46,0)	41,5 (40,0; 45,6)	42,2 (40,0; 46,8)	0,5	126; -0,78
САД, мм рт.ст.	67,0 (64,3; 69,0)	69,0 (67,0; 70,0)	69,0 (65,5; 71,8)	0,06	126; -1,77

Примечание. Данные представлены в виде медианы, 1-го и 3-го квартилей — Ме (Q1; Q3). SpO₂ — сатурация крови методом пульсоксиметрии; PaO₂ — напряжение кислорода в артериальной крови; SaO₂ — сатурация артериальной крови кислородом; PaCO₂ — напряжение углекислого газа в артериальной крови; САД — среднее артериальное давление. * — $p < 0,05$ сравнение показателей на I и II этапах; # — $p < 0,05$ сравнение показателей на II и III этапах; ^ — $p < 0,05$ сравнение показателей на I и III этапах.

При сравнении уровней SaO₂ выявлены различия на II и III этапах исследования. На III этапе этот показатель оказался самым высоким. Между показателями II и III этапов имелись статистически значимые различия ($p < 0,05$) по SaO₂, но при этом уровень SaO₂ находился в референтных пределах. При сравнении показателя PaCO₂ не было статистически значимых различий на всех этапах ($p > 0,05$). Сравнение уровней САД на всех этапах не показало статистически значимых различий ($p > 0,05$).

Обсуждение

Результаты проведенного исследования показали, что ВПИ в невентилируемое легкое во время торакальных операций при возникновении гипоксемии является эффективным способом поддержания уровня газообмена в легких. Подключение ВПИ происходит через переходник для трахеостом ОПТИFLOW (см. рисунок) в контур изолированного легкого.

Большим преимуществом применения ВПИ является подача увлажненной и подогретой до физиологического уровня кислородно-воздушной смеси с невысокой (0,21–0,50) концентрацией кислорода. По некоторым данным, использование 100% кислорода приводит к развитию кислородной интоксикации, увеличению уровня окислительного стресса и патологическим изменениям, сходным с синдромом острого повреждения легких [1, 2]. Пока до конца не ясно, какой уровень FiO₂ является безопасным, однако при критической гипоксемии применение ВПИ является более предпочтительным методом борьбы с гипоксемией. Одним из основополагающих факторов ВПИ является уменьшение объема мертвого пространства за счет использования высокого потока инсuffляции [15].

В ходе исследования выявлено положительное влияние на оксигенацию на II и III этапах по сравнению с исходной традиционной ОЛВ: наблюдался значимый прирост по таким показателям как SpO₂, SaO₂, PaO₂. Не выявлено какое-либо влияние на показатели PaCO₂ и САД.

Несмотря на то, что статистическое различие есть, эти величины при разных потоках вкладываются в нормальные значения. Вероятно, это различие в группах ВПИ связано с большим давлением в дыхательных путях при увеличении потока. В исследовании A.L. Lampland и соавт. выявлено, что ВПИ через носовые канюли приводит к увеличению давления в дыхательных путях по мере увеличения

потока [16]. В исследовании J.E. Ritchie и соавт. применяли добровольцам ВПИ через носовые канюли FiO₂ 0,6 и скоростью потока 10, 20, 30, 40 и 50 л/мин с закрытым и с открытым ртом, тем самым создавая открытый и полуоткрытый контуры [17]. С возрастанием потока у добровольцев с закрытым ртом увеличивалось положительное давление в дыхательных путях, с открытым — не менялось. Можно предположить, что давление, создаваемое в полуоткрытом контуре, в таком как трахеальный порт



Высокопоточная инсuffляция кислорода через двухпросветную трубку для ОЛВ с помощью трахеостомического адаптера.

High-flow oxygen insufflation through a double lumen tube for OLV using a tracheostomy adapter.

ДПТ, коррелирует с моделью пациента с закрытым ртом, тем самым создавая небольшое положительное давление в независимом легком.

W. Chatila и соавт. в своем исследовании не обнаружили изменение уровня PaCO_2 в артериальной крови у пациентов с низкопоточной и высокопоточной инсуффляцией [18]. В нашем исследовании также выяснилось, что уровень PaCO_2 не меняется в зависимости от выбора скорости потока.

Заключение

Высокопоточная инсуффляция кислорода со скоростью потока 40 л/мин и 50 л/мин при однологочной вентиляции позволяет эффективно корригировать гипоксемию при видеоторакоскопических операциях.

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

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Кавочкин А.А., Выжигина М.А., Кабаков Д.Г., Базаров Д.В., Зайцев А.Ю., Жукова С.Г., Григорчук А.Ю., Шинкаренко Я.В. Анестезиологическое обеспечение торакоскопических операций на легких и органах средостения. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2020;17(4):113-122. Kavochkin AA, Vyzhigina MA, Kabakov DG, Bazarov DV, Zaytsev AY, Zhukova SG, Grigorochuk AY, Shinkarenko YaV. Anesthesiological management of thoracoscopic operations on lungs and mediastinum. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii*. 2020;17(4):113-122. (In Russ.). <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2020-17-4-113-122>
2. Umari M, Falini S, Segat M, Zuliani M, Crisman M, Comuzzi L, Pagos F, Lovadina S, Lucangelo U. Anesthesia and fast track in Anesthesia and fast-track in video-assisted thoracic surgery (VATS): from evidence to practice: from evidence to practice. *Journal of Thoracic Disease*. 2018;10(suppl 4):542-554. <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.12.83>
3. Кассиль В.Л., Выжигина М.А., Хапий Х.Х. *Механическая вентиляция легких в анестезиологии и интенсивной терапии*. М.: Медпресс-информ; 2009. Kassil VL, Vyzhigina MA, Napij HH. *Mekhanicheskaya ventilyaciya legkih v anesteziologii i intensivnoy terapii*. M.: Medpress-inform; 2009. (In Russ.).
4. Karzai W, Schwarzkopf K. Hypoxemia during one-lung ventilation: prediction, prevention, and treatment. *Anesthesiology*. 2009;110(6):1402-1411. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31819fb15d>
5. Slinger P, Suissa S, Triplet W. Predicting arterial oxygenation during one-lung anaesthesia. *Canadian Journal of Anaesthesia*. 1992;39(10):1030-1035. <https://doi.org/10.1007/BF03008370>
6. Guenoun T, Journois D, Silleran-Chassany J, Frappier J, D'attellis N, Salem A, Safran D. Prediction of arterial oxygen tension during one-lung ventilation: analysis of preoperative and intraoperative variables. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2002;16(2):199-203. <https://doi.org/10.1053/jcan.2002.31067>
7. Feng Y, Wang J, Zhang Y, Wang S. One-Lung Ventilation with Additional Ipsilateral Ventilation of Low Tidal Volume and High Frequency in Lung Lobectomy. *Medical Science Monitor*. 2016;22:1589-1592. <https://doi.org/10.12659/msm.895294>
8. Выжигина М.А., Мизиков В.М., Сандриков В.А., Лукьянов М.В., Титов В.А., Жукова С.Г., Паршин В.Д., Рябова О.С., Курилова О.А., Алексеев А.В., Бунятян А.А. Современные особенности респираторного обеспечения в торакальной хирургии. Традиционные проблемы и инновационные решения (опыт более 2 тыс. анестезий). *Анестезиология и реаниматология*. 2013;2:34-41. Vyzhigina MA, Mizikov VM, Sandrikov VA, Luk'yanov MV, Titov VA, Zhukova SG, Parshin VD, Riabova OS, Kurilova OA, Alekseev AV, Bunatian AA. Respiratory support in anaesthetic management for thoracic surgery and their comparative characteristics: over 2000-anaesthesia experience. *Anesteziologiya i reanimatologiya*. 2013;2:34-41. (In Russ.).
9. Miller RD. *Anesthesia*. Vol. 2. Chapter 53. Philadelphia; 2020;1648-1716.
10. Pavlík M, Cvrtecková D, Zvoníček V, Sevcík P, Čapov I, Jedlická V. The improvement of arterial oxygenation during one-lung ventilation — effect of different CPAP levels. *Acta Chirurgica Hungarica*. 1999;38(1):103-105.
11. Грачев И.Н., Шаталов В.И., Климов А.Г., Блинда И.В., Кочкин И.А., Цыганков К.А., Шеголев А.В. Сравнительный анализ использования высокопоточной и традиционной оксигенотерапии у пациентов с тяжелой внебольничной пневмонией. *Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова*. 2020;3:95-103. Grachev IN, Shatalov VI, Klimov AG, Blinda IV, Kochkin IA, Tsygankov KA, Shegolev AV. Comparative analysis of the use of high-flow and traditional oxygen therapy in patients with severe community-acquired pneumonia. An experimental and clinical study. *Vestnik intensivnoy terapii im. A.I. Saltanova*. 2020;3:95-103. (In Russ.). <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2020-3-95-103>
12. Roca O, Hernández G, Díaz-Lobato S, Carratalá JM, Gutiérrez RM, Masclans JR; Spanish Multidisciplinary Group of High Flow Supportive Therapy in Adults (HiSpaFlow). Current evidence for the effectiveness of heated and humidified high flow nasal cannula supportive therapy in adult patients with respiratory failure. *Critical Care*. 2016;20(1):109. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1263-z>
13. Corley A, Rickard CM, Aitken LM, Johnston A, Barnett A, Fraser JF, Lewis SR, Smith AF. High-flow nasal cannulae for respiratory support in adult intensive care patients. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2017;5(5):CD010172. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010172.pub2>
14. Duwat A, Courivaud P, Dusart E, Pavy G, Pila C. High-Flow Oxygen Therapy for Perioperative Hypoxemia during One-lung Ventilation. *Journal of Anesthesia and Clinical Research*. 2019; n. pag. <https://doi.org/10.4172/2155-6148.1000880>
15. Власенко А.В., Корякин А.Г., Евдокимов Е.А. Применение высокопоточной оксигенотерапии при манифестации острой дыхательной недостаточности различного генеза. *Медицинский алфавит*. 2018;2(18):58. Vlasenko AV, Korjakin AG, Evdokimov EA. The use of high-strength oxygen therapy in the manifestation of acute respiratory failure of various genesis. *Medicinskij alfavit*. 2018;2(18):58. (In Russ.).
16. Lampland AL, Plumm B, Meyers PA, Worwa CT, Mammel MC. Observational study of humidified high-flow nasal cannula compared with nasal continuous positive airway pressure. *The Journal of Pediatrics*. 2009;154(2):177-182. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2008.07.021>
17. Ritchie JE, Williams AB, Gerard C, Hockey H. Evaluation of a humidified nasal high-flow oxygen system, using oxymetry, capnography and measurement of upper airway pressures. *Anaesthesia and Intensive Care*. 2011;39(6):1103-1110. <https://doi.org/10.1177/0310057X1103900620>
18. Chatila W, Nugent T, Vance G, Gaughan J, Criner GJ. The effects of high-flow vs low-flow oxygen on exercise in advanced obstructive airways disease. *Chest*. 2004;126(4):1108-1115. <https://doi.org/10.1378/chest.126.4.1108>

Поступила 27.01.2022

Received 27.01.2022

Принята к печати 25.05.2022

Accepted 25.05.2022