

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-4-307-315>



# Оценка транспорта кислорода в зависимости от вида анестезии при робот-ассистированных операциях на органах малого таза: клиническое исследование

И.И. Лутфарахманов<sup>1,2,\*</sup>, С.Т. Лазарев<sup>1,2</sup>, Н.А. Здорик<sup>1,2</sup>, А.Д. Лифанова<sup>1,2</sup>, А.А. Гражданкин<sup>1,2</sup>, И.Р. Галеев<sup>1,2</sup>, И.И. Мусин<sup>1</sup>, П.И. Миронов<sup>1</sup>, В.Н. Павлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Башкирский государственный медицинский университет, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

<sup>2</sup> Клиника Башкирского государственного медицинского университета, Россия, Республика Башкортостан, Уфа

\* **Контакты:** Лутфарахманов Ильдар Ильдусович, e-mail: lutfarakhmanov@yandex.ru

## Аннотация

**Введение.** Робот-ассистированные операции на органах малого таза стремительно становятся способом хирургического лечения в онкологической гинекологии и урологии. Данные операции требуют специальных условий проведения (пневмоперитонеум и положение Тренделенбурга), которые неизбежно оказывают системное влияние на транспорт кислорода. Низкая доставка кислорода во время операции связана с целым рядом неблагоприятных исходов. Единое универсальное критическое значение доставки кислорода нецелесообразно, поскольку необходимо учитывать потребление кислорода. В этом исследовании изучалось влияние пневмоперитонеума и положения Тренделенбурга на транспорт кислорода у пациентов I–III функциональных классов American Society of Anesthesiologists (ASA).

**Материалы и методы.** Доставка, потребление, экстракция кислорода, периоперационные неблагоприятные события и вид общей анестезии были проспективно изучены у 126 взрослых пациентов.

**Результаты и обсуждение.** Среднее потребление кислорода составило 242 мл/мин/м<sup>2</sup>, средняя доставка кислорода 612 мл/мин/м<sup>2</sup>. У 54 (43 %) пациентов доставка кислорода была ниже медианы 529 мл/мин/м<sup>2</sup>. У 36 (29 %) пациентов развились периоперационные неблагоприятные события. У 54 пациентов была сильная корреляция ( $r > 0,500$ ;  $p < 0,001$ ) между доставкой и потреблением кислорода. Уровень лактата в крови в конце операции 2,7 ммоль/л свидетельствовал о недостаточной доставке кислорода.

**Заключение.** Мы не обнаружили взаимосвязи между уровнем доставки кислорода и нежелательными периоперационными событиями, а также не обнаружили взаимосвязи между доставкой и потреблением кислорода в зависимости от используемого анестетика.

**Ключевые слова:** радикальная простатэктомия, гистерэктомия, роботизированные хирургические операции, транспорт кислорода, общая анестезия, вентиляция легких, гемодинамика, пневмоперитонеум

**Для цитирования:** Лутфарахманов И.И., Лазарев С.Т., Здорик Н.А., Лифанова А.Д., Гражданкин А.А., Галеев И.Р., Мусин И.И., Миронов П.И., Павлов В.Н. Оценка транспорта кислорода в зависимости от вида анестезии при робот-ассистированных операциях на органах малого таза: клиническое исследование. Креативная хирургия и онкология. 2021;11(4):307–315. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-4-307-315>

**Лутфарахманов Ильдар Ильдусович** — д.м.н., профессор, кафедра анестезиологии и реаниматологии с курсом ИДПО, отделение анестезиологии и реанимации, [orcid.org/0000-0002-5829-5054](https://orcid.org/0000-0002-5829-5054)

**Лазарев Сергей Тимофеевич** — кафедра анестезиологии и реаниматологии с курсом ИДПО, отделение анестезиологии и реанимации, [orcid.org/0000-0001-7199-0724](https://orcid.org/0000-0001-7199-0724)

**Здорик Никита Андреевич** — кафедра анестезиологии и реаниматологии с курсом ИДПО, отделение анестезиологии и реанимации, [orcid.org/0000-0002-9408-9477](https://orcid.org/0000-0002-9408-9477)

**Лифанова Алена Дмитриевна** — кафедра анестезиологии и реаниматологии с курсом ИДПО, отделение анестезиологии и реанимации, [orcid.org/0000-0002-2534-7794](https://orcid.org/0000-0002-2534-7794)

**Гражданкин Александр Александрович** — кафедра анестезиологии и реаниматологии с курсом ИДПО, отделение анестезиологии и реанимации

**Галеев Ильдар Рафаэльевич** — кафедра анестезиологии и реаниматологии с курсом ИДПО, отделение анестезиологии и реанимации, [orcid.org/0000-0002-6831-7050](https://orcid.org/0000-0002-6831-7050)

**Мусин Ильнур Ирекович** — к.м.н., доцент, кафедра акушерства и гинекологии с курсом ИДПО, [orcid.org/0000-0001-5520-5845](https://orcid.org/0000-0001-5520-5845)

**Миронов Петр Иванович** — д.м.н., профессор, кафедра анестезиологии и реаниматологии с курсом ИДПО, [orcid.org/0000-0002-9016-9461](https://orcid.org/0000-0002-9016-9461)

**Павлов Валентин Николаевич** — д.м.н., профессор, чл.-кор. РАН, кафедра урологии с курсом ИДПО, [orcid.org/0000-0003-2125-4897](https://orcid.org/0000-0003-2125-4897)

# Anaesthesia-Specific Oxygen Transport Assessment in Robot-Assisted Pelvic Surgery: a Clinical Trial

**Ildar I. Lutfarakhmanov** — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of Anesthesiology and Resuscitation with a course of Advanced Professional Education, Anaesthesiology and Intensive Care Unit, [orcid.org/0000-0002-5829-5054](https://orcid.org/0000-0002-5829-5054)

**Sergey T. Lazarev** — Department of Anesthesiology and Resuscitation with a course of Advanced Professional Education, Anaesthesiology and Intensive Care Unit, [orcid.org/0000-0002-9408-9474](https://orcid.org/0000-0002-9408-9474)

**Nikita A. Zdorik** — Department of Anesthesiology and Resuscitation with a course of Advanced Professional Education, Anaesthesiology and Intensive Care Unit, [orcid.org/0000-0002-9408-9477](https://orcid.org/0000-0002-9408-9477)

**Alyona D. Lifanova** — Department of Anesthesiology and Resuscitation with a course of Advanced Professional Education, Anaesthesiology and Intensive Care Unit, [orcid.org/0000-0002-2534-7794](https://orcid.org/0000-0002-2534-7794)

**Alexander A. Grazhdankin** — Department of Anesthesiology and Resuscitation with a course of Advanced Professional Education, Anaesthesiology and Intensive Care Unit

**Ildar R. Galeev** — Department of Anesthesiology and Resuscitation with a course of Advanced Professional Education, Anaesthesiology and Intensive Care Unit, [orcid.org/0000-0002-6831-7050](https://orcid.org/0000-0002-6831-7050)

**Ilnur I. Musin** — Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Department of Obstetrics and Gynecology with a course of Advanced Professional Education, [orcid.org/0000-0001-5520-5845](https://orcid.org/0000-0001-5520-5845)

**Pyotr I. Mironov** — Dr. Sci. (Med.), Prof., Department of Anesthesiology and Resuscitation with a course of Advanced Professional Education, [orcid.org/0000-0002-9016-9461](https://orcid.org/0000-0002-9016-9461)

**Valentin N. Pavlov** — Dr. Sci. (Med.), Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Department of Urology with a course of Advanced Professional Education, [orcid.org/0000-0003-2125-4897](https://orcid.org/0000-0003-2125-4897)

*Ildar I. Lutfarakhmanov<sup>1,2,\*</sup>, Sergey T. Lazarev<sup>1,2</sup>, Nikita A. Zdorik<sup>1,2</sup>, Alyona D. Lifanova<sup>1,2</sup>, Alexander A. Grazhdankin<sup>1,2</sup>, Ildar R. Galeev<sup>1,2</sup>, Ilnur I. Musin<sup>1</sup>, Pyotr I. Mironov<sup>1</sup>, Valentin N. Pavlov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup> Clinic of Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

\* **Correspondence to:** Ildar I. Lutfarakhmanov, e-mail: [lutfarakhmanov@yandex.ru](mailto:lutfarakhmanov@yandex.ru)

## Abstract

**Background.** Robot-assisted pelvic surgery rapidly becomes a choice in surgeries for gynaecological oncology and urology. These interventions require special settings (pneumoperitoneum and Trendelenburg position), which inevitably and systemically impact oxygen transport. Low oxygen delivery during surgery associates with manifold adverse outcomes. A single universal oxygen delivery threshold is impractical, as oxygen consumption must be taken into account. This study examines the effects of pneumoperitoneum and Trendelenburg position on oxygen transport in patients of ASA functional class I–III (as per American Society of Anaesthesiologists).

**Materials and methods.** Delivery, consumption, oxygen extraction, perioperative adverse events and type of general anaesthesia were prospectively studied in 126 adult patients.

**Results and discussion.** Mean oxygen consumption was 242 mL/min/m<sup>2</sup>, mean oxygen delivery — 612 mL/min/m<sup>2</sup>. Oxygen delivery was below median 529 mL/min/m<sup>2</sup> in 54 (43 %) patients. Perioperative adverse events developed in 36 (29 %) patients. A strong correlation ( $r > 0.500$ ;  $p < 0.001$ ) between oxygen delivery and consumption was observed in 54 patients. Blood lactate level of 2.7 mmol/L at surgery end was indicative of inadequate oxygen delivery.

**Conclusion.** No relationship was revealed between oxygen delivery and adverse perioperative events, and neither — between oxygen delivery and consumption relative to a particular anaesthetic.

**Keywords:** radical prostatectomy, hysterectomy, robot-assisted surgery, oxygen transport, general anaesthesia, pulmonary ventilation, haemodynamics, pneumoperitoneum

**For citation:** Lutfarakhmanov I.I., Lazarev S.T., Zdorik N.A., Lifanova A.D., Grazhdankin A.A., Galeev I.R., Musin I.I., Mironov P.I., Pavlov V.N. Anaesthesia-specific oxygen transport assessment in robot-assisted pelvic surgery: a clinical trial. *Creative Surgery and Oncology*. 2021;11(4):307–315. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-4-307-315>

## Введение

Ежегодно в мире выявляется 10,9 млн новых случаев злокачественных новообразований, из них более 850 000 новообразований женской репродуктивной сферы. Рак предстательной железы остается наиболее распространенным злокачественным новообразованием солидных органов и второй по значимости причиной смерти от рака у мужчин. Ежегодный прирост в США оценивается в более 170 000 новых случаев заболевания и более 30 000 смертей [1]. В России распространенность рака предстательной железы составляет 150 на 100 000 населения, занимая третье место после злокачественных новообразований молочной железы и тела матки [2]. Из-за широкого использования простат-специфических тестов рак диагностируется на начальных стадиях, а радикальная простатэктомия является стандартным вариантом лечения локализованного рака [3–5].

Робот-ассистированные операции на хирургической системе da Vinci (Intuitive Surgical, США) являются одним из крупнейших прорывов за последние десятилетия и представляют собой наиболее значительный прогресс в малоинвазивной хирургии. Роботизированная ассистенция обеспечивает трехмерное стабильное изображение операционного поля высокой четкости с увеличенным разрешением, что позволяет точно перемещать инструменты с семью степенями свободы, преодолевая ограничения открытой и/или лапароскопической хирургии. Робот-ассистированные операции все чаще выполняются благодаря своим многочисленным преимуществам перед открытыми операциями, включая минимальную травму тканей, меньшую кровопотерю с потребностью в гемотрансфузии, меньшее количество хирургических осложнений и более раннее послеоперационное восстановление [6–10]. В России робот-ассистированные оперативные вмешательства проводятся в городах Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург и др. С момента открытия единственного в Приволжском федеральном округе Центра роботической хирургии в Клинике Башкирского государственного медицинского университета (<http://bashgmu.ru/news/21312/>) количество операций выросло до 600 в 2020 году. Как и предыдущие хирургические методы, данная методика не лишена ограничений. Во-первых, это более длительное время хирургического вмешательства. Во-вторых, хотя многие особенности операций сходны с обычными лапароскопическими операциями, для обеспечения оптимальной визуализации операционного поля требуется специальное, 30–45°, положение Тренделенбурга и высокое, 16–18 мм рт. ст., давление пневмоперитонеума. В-третьих, забрюшинный доступ увеличивает поглощение углекислого газа, что ведет к значительным гомеостатическим последствиям.

Доставке кислорода ( $DO_2$ ) во время искусственной вентиляции легких уделяется значительное внимание, поскольку это один из немногих модифицируемых факторов во время анестезии. Доставка кислорода регулирует на физиологические изменения любого компонента (концентрация гемоглобина, сатурация крови кислородом и сердечный выброс (СВ)). Когда любой из этих

факторов уменьшается, компенсация достигается за счет увеличения скорости экстракции кислорода ( $O_2ER$ ) вплоть до максимальной для удовлетворения метаболических потребностей. В случае гипоксии или анемии СВ увеличивается для поддержания нормальной  $DO_2$ , однако не существует острого компенсаторного механизма при снижении СВ. Резкое снижение  $DO_2$  при неизменном потреблении кислорода ( $VO_2$ ) компенсируется большей  $O_2ER$ , что приводит к снижению насыщения смешанной венозной крови кислородом. Пропорциональное увеличение  $DO_2$  поддерживает соотношение  $DO_2/VO_2$  примерно на уровне 5:1. Это соотношение достаточно велико, чтобы клеточное дыхание не зависело от кислородной поддержки, и  $VO_2$  в основном зависело от потребности тканей в кислороде. Неспособность поддерживать соотношение  $DO_2/VO_2$  первоначально компенсируется увеличением  $O_2ER$  и снижением содержания кислорода в смешанной венозной крови. Потребление кислорода становится зависимым от кислородной поддержки, когда соотношение  $DO_2/VO_2$  снижается до 2:1, создавая двухфазное соотношение  $DO_2/VO_2$ . Этот критический уровень соотношения  $DO_2/VO_2$  соответствует максимальной  $O_2ER$ .

Когда  $DO_2$  выходит за пределы критического уровня, возникает патологическая зависимость от снабжения кислородом по мере того, как  $VO_2$  органами уменьшается пропорционально  $DO_2$ . Ниже этого критического уровня  $DO_2$  потребление снижается почти линейно с последующей гипоксией тканей. Клетки становятся почти полностью зависимыми от неэффективного анаэробного метаболизма, генерируя аденозинтрифосфат при относительно низких скоростях и при неприемлемых затратах на ацидоз, вызванный беспрепятственным гидролизом АТФ и накоплением молочной кислоты. В этот момент клетки вступают в фазу анаэробного метаболизма, и уровень лактата повышается [11–13].

Поскольку  $DO_2$  ниже критического уровня может привести к ряду осложнений, стратегия целенаправленной перфузии направлена на поддержание  $DO_2$  выше критического уровня, но такая цель может не быть оптимальной стратегией для каждого пациента. Критический уровень  $DO_2$  нельзя рассматривать без  $VO_2$ , которое зависит от характеристик пациента и дополнительных факторов, таких как вид анестезии и регулирование температуры, что приводит к различным уровням  $VO_2$  и, следовательно, различным требованиям к  $DO_2$  для каждого пациента. Поэтому важно исследовать взаимосвязь  $DO_2$ ,  $VO_2$  и  $O_2ER$  в группе пациентов, перенесших робот-ассистированные операции, и определить критический уровень  $DO_2$ . Целью нашего исследования было изучить влияние пневмоперитонеума и положения Тренделенбурга на транспорт кислорода при робот-ассистированных операциях на органах малого таза у пациентов I–III функциональных классов American Society of Anesthesiologists (ASA).

## Материал и методы

Дизайн исследования — одноцентровое проспективное клиническое. Проведение исследования было одобрено

локальным этическим комитетом Башкирского государственного медицинского университета, и письменное информированное согласие было получено от каждого пациента. В исследование были последовательно включены 132 пациента I–III функциональных классов ASA, которым были проведены плановые робот-ассистированные радикальные оперативные вмешательства на органах малого таза с мая 2019 по сентябрь 2021 года. Онкологические показания были следующими: рак шейки матки (17 %), рак эндометрия (14 %), рак яичников (4 %), рак матки (1 %), рак предстательной железы (64 %). Критерии исключения пациентов были следующие: возраст старше 80 лет; индекс массы тела менее 18 или выше 35 кг/м<sup>2</sup>; IV функциональный класс ASA; заболевания сердца в острой стадии либо хронические в стадии обострения: нестабильная стенокардия, недавний инфаркт миокарда, сердечная недостаточность, клапанные болезни сердца; угрожающие жизни аритмии; неконтролируемая артериальная гипертензия; хронические obstructивные болезни легких или легочная гипертензия; хроническая болезнь почек. В соответствии с поставленными задачами пациенты были разделены на две группы: I — группа ингаляционной анестезии и II — группа тотальной внутривенной анестезии (ТВВА).

Протокол анестезиологического обеспечения был стандартизирован для общей анестезии 2–4 об % севофлураном (Sevorane; Abbott Laboratories, Великобритания) или 5–6 об % десфлураном (Suprane; Baxter Healthcare, США), или тотальной внутривенной анестезии по целевой концентрации 2–4 мкг/мл пропофола (Propofol; Fresenius Kabi, Германия) до достижения во всех случаях величины биспектрального индекса (BIS VISTA; Aspect Medical System, США) в пределах 40–60 %. Пациентам проводился стандартный мониторинг (BSM-2351 K; Nihon Kohden, Япония, и МПР6–03-«Тритон», ООО «Тритон-Электроникс», Россия). Под контролем ультразвуковой навигации были катетеризованы две кубитальные, правая внутренняя яремная вена и лучевая артерия 20-G катетером Pulsion (Medical Systems, Германия) для газового анализа артериальной крови на анализаторе Radiometer ABL (Radiometer Medical, Дания). После преоксигенации 100 % кислородом анестезию начинали введением 2 мкг/кг фентанила (ФГУП «Московский эндокринный завод», Россия) и 2 мг/кг пропофола (5 мкг/мл в случае тотальной внутривенной анестезии по целевой концентрации с использованием Diprifusor TCI Module; AstraZeneca, Великобритания). Интраоперационную анальгезию обеспечивали внутривенным введением фентанила со скоростью 1 мкг/кг/час. Миорелаксацию начинали болюсом рокурония бромида (ООО «ЛЭНС-Фарм», Россия) в дозе 0,6 мг/кг с последующей непрерывной инфузией 20 мг/час либо повторными болюсами 0,15 мг/кг под контролем акселеромиографии (TOF-Watch SX; Organon, Ирландия) и прекращали за 45 минут до конца операции.

Интубацию трахеи осуществляли через рот трубкой Mallinckrodt™ (Covidien, Ирландия) № 8,0. Искусственную вентиляцию легких проводили аппаратом Datex-

Ohmeda Avance (GE Healthcare, Финляндия) кислородно-воздушной смесью 1:1 для достижения сатурации крови (SpO<sub>2</sub>) свыше 95 % и/или парциального давления кислорода в артериальной крови (PaO<sub>2</sub>) свыше 90 мм рт. ст., конечно-эспираторного давления углекислого газа (EtCO<sub>2</sub>) 35–45 мм рт. ст. Для контроля вдыхаемых и выдыхаемых газов, переменных вентиляции и плетизмографического насыщения кислородом использовали дыхательный монитор BSM-2351 K (Nihon Kohden Corporation, Япония). Идеальную массу тела рассчитывали по формуле: 50 + 0,91 (рост (см) — 152,4), площадь поверхности тела рассчитывали по формуле: 0,007184 × рост (см)<sup>0,725</sup> × вес (кг)<sup>0,425</sup> [14]. Целевая концентрация гемоглобина была 100–120 г/л. При кровопотере менее 5 % от расчетного объема крови вводили равный объем 6 % гидроксипропилкрахмала, эритроцитарную массу переливали при кровопотере более 5 % от расчетного объема по усмотрению врача анестезиолога-реаниматолога. Системную гемодинамику поддерживали с максимальным уменьшением среднего артериального давления (САД) на 20 % от прединдукционной величины. Первоначально снижение САД ниже 65 мм рт. ст. корректировали с помощью болюса 200 мл кристаллоидов. В отсутствие адекватного ответа при нормоволемии использовали внутривенный болюс 50 мкг фенилэфрина или норадреналина. Температура тела перед анестезией составляла 36,4 ± 0,5 °С и поддерживалась на уровне 36,3 ± 0,5 °С в течение операции с помощью системы активного согревания внутривенной жидкости Smiths Medical ASD Inc. (США). По окончании операции пациентов экстубировали в горизонтальном положении, ясном сознании, адекватном дыхании при отсутствии или улучшении гиперемии головы и шеи и отека языка, при отсутствии или улучшении дыхательного ацидоза и при полной реверсии нервно-мышечного блока и наблюдали в течение 60 минут.

Регистрировали показатели транспорта кислорода:

$$DO_2, \text{ мл/мин} = CB \times [(1,34 \times Hb \times SaO_2) + (PaO_2 \times 0,031)]/100.$$

$$VO_2, \text{ мл/мин} = CB \times [1,34 \times Hb \times (SaO_2 - SvO_2)]/100.$$

$O_2ER, \% = VO_2/DO_2 \times 100$ , где CB — сердечный выброс; Hb — концентрация гемоглобина в крови; 1,34 — константа Hufner; SaO<sub>2</sub> и SvO<sub>2</sub> — сатурация кислородом артериальной и смешанной венозной крови; 0,031 и 100 — коэффициенты пересчета.

Фиксировали длительность оперативного вмешательства; длительность и величину угла положения Тренделенбурга; величину внутриорбитального давления; оцененную кровопотерю; внутривенное восполнение жидкости, темп мочеотделения (диурез). Регистрировали частоту периоперационных неблагоприятных событий и осложнений: гипотензия (САД <70 мм рт. ст.); гипоксемия (SpO<sub>2</sub> <90 %); гиперкапния (EtCO<sub>2</sub> >45 мм рт. ст.); гипотермия (Ттел <36 °С); отсроченная экстубация трахеи. Временные точки измерения были следующими: T<sub>1</sub> — после наложения 15 ± 5 мм рт. ст. пневмоперитонеума и перемещения пациента в 30° положение Тренделенбурга; T<sub>2</sub> — после перевода



пациента в горизонтальное положение в конце операции до десуффляции газа и пробуждения.

Статистическую обработку данных выполнили с использованием программного пакета MedCalc (v 11.3.1.0, Бельгия). Нормальность распределения переменных оценивали критерием Колмогорова — Смирнова. Выборочные параметры представлены как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение либо медиана (25–75 % межквартильный разброс); категоризованные переменные представлены как абсолютная и относительная частота; операционные характеристики представлены с 95 % доверительным интервалом (ДИ). Достоверность различий между параметрическими критериями оценивали с помощью *t*-критерия Student, между непараметрическими критериями с помощью *U*-теста Mann — Whitney. Категоризованные переменные сравнивали с помощью  $\chi^2$ -теста с поправкой Yates на непрерывность или точного  $\phi$ -теста Fisher. Различия между парными измерениями вычисляли с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA с поправкой Bonferroni. Силу взаимосвязи между переменными оценивали с помощью корреляционного анализа Oldham. Относительную силу взаимосвязи между фактором риска и исходом определяли как отношение рисков (ОР). Дискриминационную способность выбранного значения оценивали по площади под кривой (area under the receiver operating characteristic curve (AUC ROC)). Критическое значение двустороннего уровня значимости принимали равным 5 %.

## Результаты

Мы получили данные о 126 пациентах. Шесть пациентов были исключены в процессе исследования из-за того, что у 2 пациентов развилась подкожная эмфизема и потребовалась смена режима вентиляции легких; у 2 пациентов была длительная гипотензия с потребностью в инотропной и вазопрессорной поддержке; у 2 пациентов развились острые нарушения ритма сердца. Средний возраст пациентов составил 62 года, средний ИМТ 31 кг/м<sup>2</sup>. Все пациенты были I, II или III функционального класса ASA. Сопутствующие заболевания: артериальная гипертензия, сахарный диабет, инфаркт миокарда, инсульт, хронические болезни легких и другие — были у 59,5 % пациентов (табл. 1).

Среднее время операции составило 177 мин (минимально 110 мин, максимально 310 мин), среднее время пребывания пациентов в положении Тренделенбурга 155 мин (от 90 до 270 мин). Средняя кровопотеря в периоперационном периоде составила  $\approx$ 173 мл (от 50 до 300 мл). Среднее общее количество интраоперационного восполнения жидкости составило 1237 мл (от 750 до 1600 мл). Во всех случаях для возмещения вводили кристаллоидные растворы, в 6 случаях дополнительно вводили 500 мл (от 250 до 1000 мл) коллоидных растворов. Мы не обнаружили статистически значимых различий между двумя группами пациентов по длительности операции и положения Тренделенбурга, также как по внутрибрюшному давлению, углу наклона операционного стола и совокупной дозе внутривенного

Переменная	Значение
<b>Количество пациентов</b>	126
<b>Возраст, лет</b>	62,1 $\pm$ 11,6
<b>Пол, м/ж</b>	81/45
<b>Рост, см</b>	169,9 $\pm$ 5,7
<b>Вес, кг</b>	90,9 $\pm$ 19,0
<b>Площадь поверхности тела, м<sup>2</sup></b>	2,1 $\pm$ 0,2
<b>ИМТ, кг/м<sup>2</sup></b>	31,4 $\pm$ 6,7
<b>Функциональный класс ASA I/II/III, n</b>	36/46/44
<b>Функциональный класс ASA</b>	2,1 $\pm$ 0,8
<b>Сопутствующие заболевания</b>	
<b>Артериальная гипертензия</b>	38 (30,2)
<b>Сахарный диабет</b>	12 (9,5)
<b>Хронические болезни сердца, легких, почек, печени</b>	25 (19,8)
<b>Индекс Charlson</b>	
0–1	90 (71,4)
$\geq$ 2	36 (28,6)

Таблица 1. Демографические характеристики пациентов  
Table 1. Demographic patient profile

Переменная	I группа	II группа	Величина <i>p</i>
<b>Количество пациентов, n</b>	90	36	–
<b>Длительность операции, мин</b>	173,3 $\pm$ 62,0	186,7 $\pm$ 37,3	0,228
<b>Длительность положения Тренделенбурга, мин</b>	151,1 $\pm$ 57,2	166,7 $\pm$ 41,0	0,139
<b>Угол положения Тренделенбурга, °</b>	22,1 $\pm$ 2,8	21,7 $\pm$ 2,3	0,449
<b>Давление пневмоперитонеума, мм рт. ст.</b>	16,8 $\pm$ 2,0	16,2 $\pm$ 1,3	0,099
<b>Оцененная кровопотеря, мл</b>	192,9 $\pm$ 82,8	116,7 $\pm$ 63,5	<0,001
<b>Внутривенная инфузия, мл</b>	1261 $\pm$ 301	1167 $\pm$ 240	0,097
<b>Диурез, мл</b>	255,6 $\pm$ 93,2	183,3 $\pm$ 63,5	<0,001
<b>Доза фентанила, мл</b>	8,1 $\pm$ 1,4	8,3 $\pm$ 2,3	0,553
<b>Неблагоприятные события, n (%)</b>	27 (30,0)	9 (25,0)	0,732

Таблица 2. Периоперационные переменные пациентов  
Table 2. Perioperative patient values

анальгетика фентанила. Статистически значимая разница между группами пациентов была обнаружена по интраоперационной кровопотере и выделенной моче (табл. 2).

После наложения пневмоперитонеума и перевода пациента в положение Тренделенбурга (временная точка измерения T<sub>1</sub>) среднее значение VO<sub>2</sub> составило 242 мл/мин/м<sup>2</sup>, варьируя от 103 до 492 мл/мин/м<sup>2</sup>, в то время как средний коэффициент O<sub>2</sub>ER составил 21 %, варьируя от 10,8 до 36,0 %. Среднее значение DO<sub>2</sub> составило 612 мл/мин/м<sup>2</sup>, варьируя от 390 до 974 мл/мин/м<sup>2</sup>. После перевода пациента в горизонтальное положение

Временная точка измерения	Переменная					
	DO <sub>2</sub> мл/мин/м <sup>2</sup>		VO <sub>2</sub> мл/мин/м <sup>2</sup>		O <sub>2</sub> ER, %	
	I группа	II группа	I группа	II группа	I группа	II группа
T <sub>1</sub>	655,8 ± 187,4	502,4 ± 115,5*	262,5 ± 107,3	191,8 ± 69,7*	21,8 ± 8,2	19,4 ± 6,3
T <sub>2</sub>	572,6 ± 68,6	595,3 ± 102,3	246,7 ± 187,4	301,3 ± 126,7	24,7 ± 12,9	24,8 ± 9,4

Примечание: \* p < 0,010 — статистические различия между группами пациентов в пределах одной временной точки измерения.  
 Note: \* p < 0.010 - statistical differences between the groups of patients within one time point of measurement.

Таблица 3. Динамические изменения транспорта кислорода в двух временных точках измерения  
 Table 3. Oxygen transport dynamics at two time points

Переменная	DO <sub>2</sub> мл/мин/м <sup>2</sup>		Величина p
	<529 мл/мин/м <sup>2</sup>	≥529 мл/мин/м <sup>2</sup>	
Количество пациентов, n	54	72	—
Возраст, лет	65,5 ± 5,7	59,6 ± 14,0	0,004
Пол: м/ж, n	36/18	45/27	0,765
Рост, см	168,7 ± 7,0	170,6 ± 4,4	0,065
Вес, кг	88,5 ± 10,0	92,8 ± 23,5	0,210
Площадь поверхности тела, м <sup>2</sup>	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,2	1,000
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	30,9 ± 4,3	31,8 ± 8,1	0,460
Функциональный класс ASA	2,3 ± 0,8	2,2 ± 0,8	0,489
Анестезия: ингаляционная/ТВВА, n	27/27	9/63	<0,001
FiO <sub>2</sub> , %	74,8 ± 25,9	78,8 ± 10,4	0,236
Длительность операции, мин	213,0 ± 60,8	150,7 ± 36,6	<0,001
Кровопотеря, мл	147,3 ± 93,3	192,9 ± 73,4	0,003
Уровень гемоглобина, г/л	129,5 ± 13,0	126,0 ± 28,1	0,397
Количество перелитой жидкости, мл	1320 ± 267	1178 ± 292	0,006
САД, мм рт. ст.	85,7 ± 12,3	81,9 ± 12,0	0,084
Температура тела, °С	35,8 ± 0,6	36,2 ± 0,4	<0,001
DO <sub>2</sub> мл/мин/м <sup>2</sup>	451,7 ± 38,7	732,2 ± 154,4	<0,001
VO <sub>2</sub> мл/мин/м <sup>2</sup>	161,7 ± 64,4	302,8 ± 83,0	<0,001
O <sub>2</sub> ER, %	19,1 ± 5,3	29,0 ± 13,7	<0,001
pH крови	7,29 ± 0,05	7,31 ± 0,05	0,028
Дефицит оснований, ммоль	-2,05 ± 1,73	-3,21 ± 1,39	<0,001
Лактат, ммоль/л	2,7 (1,5-5,0)	1,7 (1,1-2,1)	<0,001
Лактат >3 ммоль/л, n (%)	16 (29,6)	10 (13,9)	0,053

Таблица 4. Демографические характеристики и периоперационные переменные пациентов с разными уровнями доставки кислорода  
 Table 4. Demographic profile and perioperative values in patients with variant oxygen delivery

в конце операции (временная точка измерения T<sub>2</sub>) среднее значение VO<sub>2</sub> увеличилось до 262 мл/мин/м<sup>2</sup>, варьируя от 49 до 763 мл/мин/м<sup>2</sup>. Средний коэффициент O<sub>2</sub>ER увеличился до 24 %, варьируя от 9,5 до 60 %. Среднее значение DO<sub>2</sub> уменьшилось до 579 мл/мин/м<sup>2</sup>, варьируя от 427 до 700 мл/мин/м<sup>2</sup> (табл. 3).

54 (42,9 %) пациента имели медиану значения DO<sub>2</sub> менее 529 мл/мин/м<sup>2</sup>, остальные 72 (57,1 %) имели медиану значения DO<sub>2</sub> более или равную 529 мл/мин/м<sup>2</sup>. Предоперационный возраст был статистически значимо выше в группе пациентов с DO<sub>2</sub> <529 мл/мин/м<sup>2</sup>, но рост и площадь поверхности тела статистически значимо не отличались между группами пациентов. Пациенты группы DO<sub>2</sub> <529 мл/мин/м<sup>2</sup> были оперированы в течение более длительного времени (213 против 150 мин), но имели меньшую кровопотерю (147 против 192 мл) и большее внутривенное возмещение жидкости (1320 против 1178 мл) в сравнении с пациентами группы DO<sub>2</sub> ≥529 мл/мин/м<sup>2</sup>. Гемодинамика статистически значимо не отличалась (САД 81 против 85 мм рт. ст.). Несмотря на то что интраоперационные значения находились в пределах физиологических диапазонов, пациенты в группе DO<sub>2</sub> <529 мл/мин/м<sup>2</sup> имели статистически значимо меньшую температуру тела в конце операции (35,8 против 36,2 °С) и меньшие величины VO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>ER в конце операции. Корреляция между DO<sub>2</sub> и VO<sub>2</sub> была сильной (r = 0,833; 95 % ДИ 0,728–0,900; p < 0,001) у пациентов группы DO<sub>2</sub> <529 мл/мин/м<sup>2</sup>. На протяжении операции уровень лактата крови был значительно выше у пациентов группы DO<sub>2</sub> <529 мл/мин/м<sup>2</sup> (табл. 4). При разделении пациентов на группы DO<sub>2</sub> <529 мл/мин/м<sup>2</sup> и DO<sub>2</sub> ≥529 мл/мин/м<sup>2</sup> у 90 (71,4 %) пациентов не было периоперационных неблагоприятных событий и осложнений, тогда как у 36 (28,6 %) пациентов было от одного до двух событий. Перекрестный анализ показал отсутствие взаимосвязи между доставкой кислорода и видом анестезии среди пациентов с неблагоприятными событиями (табл. 5). Анализ ROC-кривой показал площадь AUC = 0,575; 95 % ДИ 0,484–0,663; p = 0,203, что указывает на то, что величина DO<sub>2</sub> не предсказывала периоперационные неблагоприятные события и осложнения (рис. 1).

### Обсуждение

Длительные робот-ассистированные операции в условиях пневмоперитонеума и положения Тренделенбурга несут в себе факторы риска, которые могут влиять на транспорт кислорода. Предыдущие исследования были сосредоточены на механике дыхания и динамике газообмена, однако результаты исследований и эффекты пневмоперитонеума и положения Тренделенбурга были противоречивыми. Основной целью нашего исследования было изучить влияние общей анестезии на транспорт кислорода у пациентов I–III функциональных классов ASA, оперируемых в условиях пневмоперитонеума и положения Тренделенбурга. Гипотеза нашего исследования состояла в том, что в зависимости от вида анестезии транспорт кислорода изменится по-разному при 25 мм рт. ст. пневмоперитонеуме и 30° положении Тренделенбурга, тем самым провоцируя или нет неблагоприятные события. Интраоперационную инфузионную терапию проводили в соответствии с рекомендациями. Строго регулируя факторы, управляемые анестезиологом, мы попытались свести к минимуму влияние этих факторов. В результате удалось оценить

неискаженное влияние пневмоперитонеума и положения Тренделенбурга на транспорт кислорода.

Задачей нашего исследования было изучить взаимосвязь между  $DO_2$ ,  $VO_2$  и  $O_2ER$  и неблагоприятными событиями и проверить эмпирически выбранный критерий критической  $DO_2$ . 54 (43 %) пациента имели величину  $DO_2$  меньше 529 мл/мин/м<sup>2</sup>, но в этой группе не было увеличения частоты неблагоприятных событий. Было 36 пациентов (28 %) с неблагоприятными событиями, но не было взаимосвязи  $DO_2$  с типом анестезии. При анализе соотношения  $VO_2/DO_2$  для каждого отдельного пациента группы  $DO_2 < 555$  мл/мин/м<sup>2</sup> была положительная корреляция между  $DO_2$  и  $VO_2$ . Положительная корреляция между  $DO_2$  и  $VO_2$  у этих пациентов возникала в том числе из-за патологической зависимости от вдыхаемого кислорода.

В нашем исследовании коэффициент  $O_2ER$  находился в пределах нормы, что указывало на относительно достаточную для аэробного метаболизма  $DO_2$ . Мы использовали соотношение  $VO_2$  к глобальной  $DO_2$ , стандартизированной по площади поверхности тела, т.е. коэффициент  $O_2ER$ , в качестве клинической меры эффективности  $VO_2$  во время операций. Эффективность зависела от сочетания факторов, включая способность тканей извлекать кислород и резервную способность сердечно-сосудистой системы увеличивать  $DO_2$  в соответствии с периферической  $VO_2$ . Следовательно, более высокое значение коэффициента  $O_2ER$  указывало на недостаточную  $DO_2$  или повышенное  $VO_2$  или и то и другое. Более низкое значение коэффициента  $O_2ER$  отражало увеличение  $DO_2$  или снижение  $VO_2$  или и то и другое. В нашем исследовании уровень лактата крови в конце операции был выше у пациентов с низкой  $DO_2$ , что могло быть результатом повышенного анаэробного метаболизма вследствие ишемии тканей, вызванной пневмоперитонеумом высокого давления. То, что уровень лактата крови находился в относительно физиологическом диапазоне, указывает на то, что, несмотря на сниженную  $DO_2$ , ее было достаточно для предотвращения начала анаэробного метаболизма.

Ожидаемые нормальные значения  $DO_2$  и  $VO_2$  составляют у взрослых 500 и 150 мл/мин/м<sup>2</sup> соответственно [15]. Ранее были предприняты попытки определить критический уровень  $DO_2$  у пациентов, перенесших кардиохирургические операции с искусственным кровообращением. Многофакторный регрессионный анализ определил критический порог  $DO_2$  в 270 мл/мин/м<sup>2</sup> [16]. В другом исследовании оценили влияние максимальной  $DO_2$  на частоту осложнений и летальность у пациентов с хроническими заболеваниями жизненно важных органов, перенесших обширные плановые операции. Показатели гемодинамики, транспорта кислорода и исходы у пациентов контрольной группы, получавших лечение для поддержания нормальных значений  $DO_2$ , были сравнены с пациентами группы протокола, получавших лечение для поддержания «сверхнормальных» значений. Терапия в обеих группах состояла из увеличения объема инфузионной терапии и, при необходимости, добутамина для достижения целевых значений во время

Переменная	I группа	II группа	Величина p
$DO_2 < 529$ мл/мин/м <sup>2</sup> , n (%)	9 (50,0)	9 (50,0)	<0,050
$DO_2 \geq 529$ мл/мин/м <sup>2</sup> , n (%)	18 (100,0)	0	

Таблица 5. Анализ взаимосвязи между доставкой кислорода и видом анестезии  
Table 5. Analysis of oxygen delivery vs. type of anaesthesia relationship

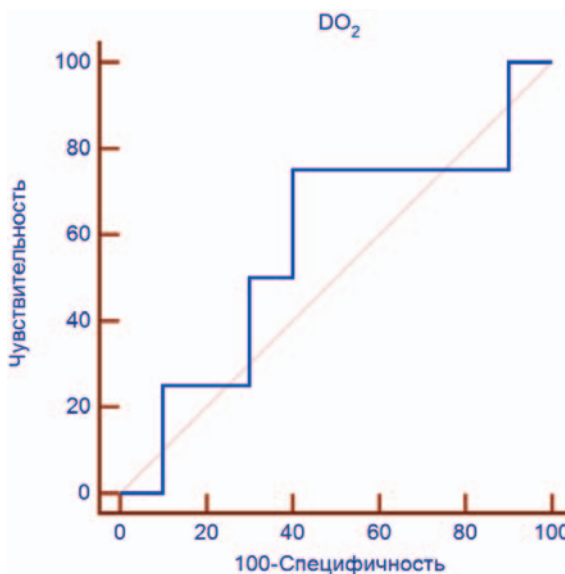


Рисунок 1. ROC-кривая доставки кислорода и неблагоприятных событий.  $DO_2$  — доставка кислорода  
Figure 1. ROC curve of oxygen delivery and adverse events.  $DO_2$  — oxygen delivery

операции и через 24 часа после операции. У пациентов с сердечно-легочными заболеваниями частота осложнений и летальность снижалась при максимальной  $DO_2$  [17]. Минимально инвазивный метод определения  $DO_2$  и  $VO_2$  с использованием измерения СВ на основе артериального давления, мобильного измерения гемоглобина и измерения артериальной и венозной сатурации был разработан в обсервационном исследовании. У пациентов, перенесших кардиоторакальные операции, определили уровень соответствия между обычным измерением  $DO_2$  и  $VO_2$  на основе катетера легочной артерии с использованием минимально инвазивного подхода, чтобы оценить, возможно ли внедрить менее инвазивный подход в повседневную клиническую практику [18].

Анализируя группы пациентов с различной  $DO_2$ , мы обнаружили различия в демографических характеристиках и интраоперационных переменных пациентов. Мы не смогли рассчитать критические уровни  $DO_2$  для пациентов в этом исследовании, так как не обнаружили взаимосвязи между  $DO_2$  и неблагоприятными событиями, а также не обнаружили патологической взаимосвязи между  $FiO_2$ ,  $DO_2$  и  $VO_2$ . Большой разброс значений от 51 до 356 мл/мин/м<sup>2</sup> свидетельствует, что  $VO_2$  представляет собой высоковариабельный

фактор, зависящий от множества элементов, следовательно, целевое значение перфузии выше критического уровня не может гарантировать надлежащую  $DO_2$  для всех пациентов. Индексирование  $DO_2$  на площадь поверхности тела пациента учитывало различия в телосложении, но не учитывало различия в возрасте. Кроме того, потребность в кислороде во время операций зависела не только от характеристик пациента, но и от таких факторов, как вид анестезии и регулирование температуры тела.

Мониторинг  $VO_2$  не рекомендован и не входит в периоперационные гемодинамические алгоритмы, направленные на оптимизацию доставки кислорода в робот-ассистированной хирургии. Оценки периоперационных изменений  $VO_2$  являются неопределенными и имеют ограниченную ценность в хирургической популяции высокого риска.

В проспективном обсервационном исследовании пациентов II–IV функционального класса ASA, которым была проведена открытая операция на верхней части живота под комбинированной эпидуральной и общей анестезией, исследовали изменение  $VO_2$  после индукции анестезии и дальнейшие изменения во время и после операции в отношении  $DO_2$  и расчетного коэффициента  $O_2ER$  с помощью рутинного мониторинга. В сравнении с исходными измерениями в состоянии бодрствования  $VO_2$  снизилось в среднем на 34 % после индукции анестезии и на 24 % через 2 часа после операции. Доставка кислорода во время анестезии снизилась в среднем на 37 %. Расчетный коэффициент  $O_2ER$  не изменился интраоперационно, но увеличился после операции до 31 %. Таким образом, актуальность этих изменений требует дальнейшей оценки в отношении результатов и гемодинамических вмешательств [19].

Метаанализ 32 исследований показал статистически значимое уменьшение  $VO_2$  после индукции анестезии на 33 мл/мин/м<sup>2</sup>. Метаанализ 8 исследований показал статистически значимое увеличение  $VO_2$  в послеоперационном периоде в сравнении с интраоперационными значениями на 42 мл/мин/м<sup>2</sup>. То есть общая анестезия уменьшила  $VO_2$ , но в послеоперационном периоде данное значение увеличилось, превышая базовый уровень [20]. Таким образом, вариабельность  $VO_2$  свидетельствует о том, что у каждого пациента есть индивидуальные потребности в кислороде, что свидетельствует о полезности индивидуальной цели  $DO_2$  вместо общего уровня  $DO_2$  выше критического.

Наше исследование имело следующие ограничения. Во-первых, пациенты не имели тяжелых легочных заболеваний, не страдали ожирением ( $ИМТ \geq 35$  кг/м<sup>2</sup>) и имели функциональный класс ASA не выше III, поэтому изменения транспорта кислорода во время операций имели меньшее клиническое значение. Также исследуемая популяция состояла из небольшого числа возрастных пациентов без грубой сердечно-сосудистой патологии. Во-вторых, мы оценили СВ неинвазивно. Хотя СВ может быть более важным в предотвращении гипоперфузии тканей, чем САД, его измерение с использованием катетеризации легочной артерии или чреспищеводной эхокардиографии

требует высококвалифицированного врача и является инвазивной и трудной процедурой в повседневной рутинной практике. Поэтому мы измерили СВ проще и менее агрессивно. В-третьих, для стабилизации гемодинамики во время операции мы использовали вазоактивные лекарственные средства короткого действия, что могло иметь некоторые эффекты на транспорт кислорода.

### Заключение

Мы не обнаружили взаимосвязи между уровнем доставки кислорода и нежелательными периоперационными событиями, а также не обнаружили взаимосвязи между доставкой и потреблением кислорода в зависимости от используемого анестетика.

Вариабельность потребления кислорода свидетельствует о том, что у каждого пациента могут быть индивидуальные целевые значения доставки кислорода, поэтому желательно персонализировать оценку кислородного статуса пациентов. Для этой цели можно использовать оценку уровня лактата артериальной крови, соотношение венозного и артериального углекислого газа.

**Информация о конфликте интересов.** Конфликт интересов отсутствует.

**Информация о спонсорстве.** Данная работа не финансировалась.

### Список литературы

- 1 Siegel R.L., Miller K.D., Jemal A. Cancer statistics, 2019. *CA Cancer J Clin.* 2019;69(1):7–34. DOI: 10.3322/caac.21551
- 2 Каприн А.Д., Старински В.В., Петрова Г.В. Состояние онкологической помощи населению России в 2017 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2018.
- 3 Carroll P.H., Mohler J.L. NCCN Guidelines Updates: prostate cancer and prostate cancer early detection. *J Natl Compr Canc Netw.* 2018;16(5s):620–3. DOI: 10.6004/jnccn.2018.0036
- 4 Mottet N., Bellmunt J., Bolla M., Briers E., Cumberbatch M.G., De Santis M., et al. EAU-ESTRO-SIOG Guidelines on Prostate Cancer. Part 1: Screening, diagnosis, and local treatment with curative intent. *Eur Urol.* 2017;71(4):618–29. DOI: 10.1016/j.eururo.2016.08.003
- 5 Sanda M.G., Cadeddu J.A., Kirkby E., Chen R.C., Crispino T., Fontanarosa J., et al. Clinically localized prostate cancer: AUA/ASTRO/SUO Guideline. Part II: Recommended approaches and details of specific care options. *J Urol.* 2018;199(4):990–7. DOI: 10.1016/j.juro.2018.01.002
- 6 Díaz F.J., de la Peña E., Hernández V., López B., de La Morena J.M., Martín M.D., et al. Optimization of an early discharge program after laparoscopic radical prostatectomy. *Actas Urol Español.* 2014;38(6):355–60. DOI: 10.1016/j.acuro.2013.12.004
- 7 Health Quality Ontario. Robotic surgical system for radical prostatectomy: a health technology assessment. *Ont Health Technol Assess Ser.* 2017;17(11):1–172. PMID: 28744334
- 8 Kordan Y., Barocas D.A., Altamar H.O., Clark P.E., Chang S.S., Davis R., et al. Comparison of transfusion requirements between open and robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int.* 2010;106(7):1036–40. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2010.09233.x
- 9 Novara G., Ficarra V., Rosen R.C., Artibani W., Costello A., Eastham J.A., et al. Systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol.* 2012;62(3):431–52. DOI: 10.1016/j.eururo.2012.05.044
- 10 Saito J., Noguchi S., Matsumoto A., Jinushi K., Kasai T., Kudo T., et al. Impact of robot-assisted laparoscopic prostatectomy on the management of general anesthesia: efficacy of blood withdrawal during a steep Trendelenburg position. *J Anesth.* 2015;29:487–91. DOI: 10.1007/s00540-015-1989-9
- 11 Tanczos K., Molnár Z. The oxygen supply-demand balance: a monitoring challenge. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2013;27(2):201–7. DOI: 10.1016/j.bpa.2013.06.001



- 12 Erdmann W, Kunke S. Oxygen diffusion: an enzyme-controlled variable parameter. *Adv Exp Med Biol.* 2014;812:33–41. DOI: 10.1007/978-1-4939-0620-8\_5
- 13 Bojan M., Gioia E., Di Corte F., Berkia I., Tourneur T., Tourneur L., et al. Lower limit of adequate oxygen delivery for the maintenance of aerobic metabolism during cardiopulmonary bypass in neonates. *Br J Anaesth.* 2020;S0007-0912(19)31024-4. DOI: 10.1016/j.bja.2019.12.034
- 14 Linares-Perdomo O., East T.D., Brower R., Morris A.H. Standardizing predicted body weight equations for mechanical ventilation tidal volume settings. *Chest.* 2015;148(1):73–8. DOI: 10.1378/chest.14-2843
- 15 Wolff C.B., Green D.W. Clarification of the circulatory patho-physiology of anaesthesia — implications for high-risk surgical patients. *Int J Surg.* 2014;12(12):1348–56. DOI: 10.1016/j.ijvs.2014.10.034
- 16 Smoor R.M., van Dongen E.P.A., Verwijmeren L., Schreurs I.A.A.M., Vernooij L.M., van Klei W.A., et al. Critical oxygen delivery threshold during cardiopulmonary bypass in older cardiac surgery patients with increased frailty risk. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2021;ezab396. DOI: 10.1093/ejcts/ezab396
- 17 Lobo S.M., Salgado P.F., Castillo V.G., Borim A.A., Polachini C.A., Palchetti J.C., et al. Effects of maximizing oxygen delivery on morbidity and mortality in high-risk surgical patients. *Crit Care Med.* 2000;28(10):3396–404. DOI: 10.1097/00003246-200010000-00003
- 18 Burtman D.T.M., Stolze A., Genaamd Dengler S.E.K., Vonk A.B.A., Boer C. Minimally invasive determinations of oxygen delivery and consumption in cardiac surgery: an observational study. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2018;32(3):1266–72. DOI: 10.1053/j.jvca.2017.06.042
- 19 Jakobsson J., Norén C., Hagel E., Kalman S., Bartha E. Peri-operative oxygen consumption revisited: An observational study in elderly patients undergoing major abdominal surgery. *Eur. J. Anaesthesiol.* 2021;38(1): 4–12. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001302
- 20 Jakobsson J., Vadman S., Hagel E., Kalman S., Bartha E. The effects of general anaesthesia on oxygen consumption: A meta-analysis guiding future studies on perioperative oxygen transport. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2019;63(2): 144–53. DOI: 10.1111/aas.13265
- 7 Health Quality Ontario. Robotic surgical system for radical prostatectomy: a health technology assessment. *Ont Health Technol Assess Ser.* 2017;17(11):1–172. PMID: 28744334
- 8 Kordan Y., Barocas D.A., Altamar H.O., Clark P.E., Chang S.S., Davis R., et al. Comparison of transfusion requirements between open and robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int.* 2010;106(7):1036–40. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2010.09233.x
- 9 Novara G., Ficarra V., Rosen R.C., Artibani W., Costello A., Eastham J.A., et al. Systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol.* 2012;62(3):431–52. DOI: 10.1016/j.eururo.2012.05.044
- 10 Saito J., Noguchi S., Matsumoto A., Jinushi K., Kasai T., Kudo T., et al. Impact of robot-assisted laparoscopic prostatectomy on the management of general anesthesia: efficacy of blood withdrawal during a steep Trendelenburg position. *J Anesth.* 2015;29:487–91. DOI: 10.1007/s00540-015-1989-9
- 11 Tanczos K., Molnár Z. The oxygen supply-demand balance: a monitoring challenge. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2013;27(2):201–7. DOI: 10.1016/j.bpa.2013.06.001
- 12 Erdmann W, Kunke S. Oxygen diffusion: an enzyme-controlled variable parameter. *Adv Exp Med Biol.* 2014;812:33–41. DOI: 10.1007/978-1-4939-0620-8\_5
- 13 Bojan M., Gioia E., Di Corte F., Berkia I., Tourneur T., Tourneur L., et al. Lower limit of adequate oxygen delivery for the maintenance of aerobic metabolism during cardiopulmonary bypass in neonates. *Br J Anaesth.* 2020;S0007-0912(19)31024-4. DOI: 10.1016/j.bja.2019.12.034
- 14 Linares-Perdomo O., East T.D., Brower R., Morris A.H. Standardizing predicted body weight equations for mechanical ventilation tidal volume settings. *Chest.* 2015;148(1):73–8. DOI: 10.1378/chest.14-2843
- 15 Wolff C.B., Green D.W. Clarification of the circulatory patho-physiology of anaesthesia — implications for high-risk surgical patients. *Int J Surg.* 2014;12(12):1348–56. DOI: 10.1016/j.ijvs.2014.10.034
- 16 Smoor R.M., van Dongen E.P.A., Verwijmeren L., Schreurs I.A.A.M., Vernooij L.M., van Klei W.A., et al. Critical oxygen delivery threshold during cardiopulmonary bypass in older cardiac surgery patients with increased frailty risk. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2021;ezab396. DOI: 10.1093/ejcts/ezab396
- 17 Lobo S.M., Salgado P.F., Castillo V.G., Borim A.A., Polachini C.A., Palchetti J.C., et al. Effects of maximizing oxygen delivery on morbidity and mortality in high-risk surgical patients. *Crit Care Med.* 2000;28(10):3396–404. DOI: 10.1097/00003246-200010000-00003
- 18 Burtman D.T.M., Stolze A., Genaamd Dengler S.E.K., Vonk A.B.A., Boer C. Minimally invasive determinations of oxygen delivery and consumption in cardiac surgery: an observational study. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2018;32(3):1266–72. DOI: 10.1053/j.jvca.2017.06.042
- 19 Jakobsson J., Norén C., Hagel E., Kalman S., Bartha E. Peri-operative oxygen consumption revisited: An observational study in elderly patients undergoing major abdominal surgery. *Eur. J. Anaesthesiol.* 2021;38(1): 4–12. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001302
- 20 Jakobsson J., Vadman S., Hagel E., Kalman S., Bartha E. The effects of general anaesthesia on oxygen consumption: A meta-analysis guiding future studies on perioperative oxygen transport. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2019;63(2): 144–53. DOI: 10.1111/aas.13265

## References

- 1 Siegel R.L., Miller K.D., Jemal A. Cancer statistics, 2019. *CA Cancer J Clin.* 2019;69(1):7–34. DOI: 10.3322/caac.21551
- 2 Kaprin A.D., Starinsky V.V., Petrova G.V. State of cancer care for population in Russia in 2017. Moscow: P.A. Gertsen Moscow Research Oncology Institute — branch of the National Medical Research Center for Radiology; 2018. (In Russ.).
- 3 Carroll P.H., Mohler J.L. NCCN Guidelines Updates: prostate cancer and prostate cancer early detection. *J Natl Compr Canc Netw.* 2018;16(5s):620–3. DOI: 10.6004/jnccn.2018.0036
- 4 Mottet N., Bellmunt J., Bolla M., Briers E., Cumberbatch M.G., De Santis M., et al. EAU-ESTRO-SIOG Guidelines on Prostate Cancer. Part I: Screening, diagnosis, and local treatment with curative intent. *Eur Urol.* 2017;71(4):618–29. DOI: 10.1016/j.eururo.2016.08.003
- 5 Sanda M.G., Cadeddu J.A., Kirkby E., Chen R.C., Crispino T., Fontanarosa J., et al. Clinically localized prostate cancer: AUA/AS-TRO/SUO Guideline. Part II: Recommended approaches and details of specific care options. *J Urol.* 2018;199(4):990–7. DOI: 10.1016/j.juro.2018.01.002
- 6 Díaz F.J., de la Peña E., Hernández V., López B., de La Morena J.M., Martín M.D., et al. Optimization of an early discharge program