

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТРЕНДЕЛЕНБУРГА И КАРБОКСИПЕРИТОНЕУМА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ТКАНЕВОЙ ОКСИМЕТРИИ

Колотухин А. К., Баканов А. Ю., Баутин А. Е., Волков В. В.,
Мазурок В. А., Мазохина О. В., Шелипанов Д. А., Мосоян М. С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр имени
В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской
Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Колотухин Антон Константинович,
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»
Минздрава России,
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,
Россия, 197341.
E-mail: kolotukhin.md@gmail.com

Статья поступила в редакцию 22.02.2022
и принята к печати 11.05.2022.

Резюме

Введение. Церебральная тканевая оксиметрия (rSO_2) может быть использована для оценки мозгового кровообращения. Ранее были проведены исследования церебральной тканевой оксиметрии при положении Тренделенбурга с углом наклона 30° , однако отсутствуют данные о rSO_2 для угла наклона 45° . **Цель.** Изучить влияние положения Тренделенбурга с углом наклона 45° в условиях карбоксиперитонеума на rSO_2 и показатели гемодинамики. **Материалы и методы.** Проведено одноцентровое проспективное описательное исследование среди пациентов ($n = 30$), которым была проведена робот-ассистированная лапароскопическая простатэктомия. Мы измеряли rSO_2 слева и справа, центральное венозное давление (ЦВД), среднее артериальное давление (АДср), венозную сатурацию в пробах крови во временных точках: Т1 — после индукции анестезии и начала измерений; Т2 — 5 минут после позиционирования пациента в положение Тренделенбурга с углом наклона 45° ; Т3 — 15 минут; Т4 — 30 минут; Т5 — после возвращения в горизонтальное положение. Оценку перфузии головного мозга проводили с помощью церебрального перфузионного давления (ЦПД). **Результаты.** rSO_2 справа и слева в точках Т2, Т3 и Т5 значимо превышала показатели Т1. После позиционирования пациента в положение Тренделенбурга отмечено значимое увеличение АДср в точках Т2 и Т3, а также значимое увеличение ЦВД в Т2, Т3 и Т4 в сравнении с Т1. ЦПД значимо снизилось по сравнению с Т1 в точках Т3, Т4 и Т5, причем значения ЦПД не выходили за границы нормы. **Выводы.** Положение Тренделенбурга с углом наклона в 45° в совокупности с карбоксиперитонеумом сопровождается увеличением rSO_2 , АД и ЦВД.

Ключевые слова: карбоксиперитонеум, положение Тренделенбурга, церебральная тканевая оксиметрия.

Для цитирования: Колотухин А.К., Баканов А.Ю., Баутин А.Е., Волков В.В., Мазурок В.А., Мазохина О.В., Шелипанов Д.А., Мосоян М.С. Влияние сочетания положения Тренделенбурга и карбоксиперитонеума на показатели церебральной тканевой оксиметрии. Трансляционная медицина. 2022;9(2):59-69. DOI: 10.18705/2311-4495-2022-9-2-59-69

INFLUENCE OF THE TRENDLENBURG POSITION AND CARBOXYPERITONEUM ON CEREBRAL TISSUE OXIMETRY VALUES

Anton K. Kolotukhin, Artem Yu. Bakanov, Andrey E. Bautin, Vitaliy V. Volkov, Vadim A. Mazurok, Oksana V. Mazokhina, Denis A. Shelipanov, Mikhail S. Mosoyan

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:

Anton K. Kolotukhin,
Almazov National Medical Research Centre,
Akkuratova str., 2, Saint Petersburg, Russia,
197341.
E-mail: kolotukhin.md@gmail.com

Received 22 February 2022; accepted 11 May 2022.

Abstract

Background. Cerebral tissue oximetry (rSO_2) can be used to assess cerebral circulation. Cerebral tissue oximetry studies have been performed in the Trendelenburg position (30°), but data for 45° are not available. **Objective.** To study the effect of the Trendelenburg position (45°) under carboxyperitoneum conditions on rSO_2 and hemodynamic parameters. **Design and methods.** A single-center, prospective, descriptive study was conducted among patients ($n = 30$) who underwent robot-assisted laparoscopic prostatectomy. We measured rSO_2 on the left and right, central venous pressure (CVP), mean arterial pressure (MAP), venous saturation at points: T1 — after induction of anesthesia and start of measurements; T2 — 5 minutes after positioning the patient in the Trendelenburg position of 45° ; T3 — 15 minutes; T4 — 30 minutes; T5 — after returning to a horizontal position. Cerebral perfusion was assessed using cerebral perfusion pressure (CPP). **Results.** rSO_2 on the right and left at points T2, T3 and T5 significantly exceeded T1. There was a significant increase in BP mean at T2 and T3, as well as a significant increase in CVP at T2, T3 and T4 compared to T1. The CPP significantly decreased compared to T1 at points T3, T4 and T5. **Conclusions.** The Trendelenburg position with a tilt angle of 45° in combination with carboxyperitoneum is accompanied by an increase in rSO_2 , blood pressure and CVP.

Key words: carboxyperitoneum, cerebral tissue oximetry, Trendelenburg position.

For citation: Kolotukhin AK, Bakanov AY, Bautin AE, Volkov VV, Mazurok VA, Mazokhina OV, Shelipanov DA, Mosoyan MS. Influence of the Trendelenburg position and carboxyperitoneum on cerebral tissue oximetry values. Translyatsionnaya meditsina=Translational Medicine. 2021;9(2):59-69. (In Russ.) DOI: 10.18705/2311-4495-2022-9-2-59-69

Список сокращений: АД — артериальное давление, АДср — среднее артериальное давление, ВЧД — внутричерепное давление, ИМТ — индекс массы тела, ПДКВ — положительное давление в конце выдоха, УЗИ — ультразвуковое исследование, ЦВД — центральное венозное давление, ЦВК — центральный венозный катетер, ЦПД — центральное перфузионное давление, ЭВМ — электронно-вычислительная машина, CO_2 — углекислый газ, FiO_2 — фракция кислорода, М (mean) — среднее значение, PCV-VG (pressure

control ventilation volume guaranteed) — контроль по давлению с гарантированным дыхательным объемом, rSO_2 — церебральная тканевая оксиметрия, SD (standard deviation) — стандартное отклонение, SvO_2 — венозная сатурация.

Введение

В настоящее время рак предстательной железы в группе онкологических заболеваний мужчин находится на 1 месте по выявляемости и на 2 месте по смертности, поэтому связанные с его лечением

исследования не теряют своей актуальности. При робот-ассистированных лапароскопических простатэктомиях необходимы как карбоксиперитонеум, так и положение Тренделенбурга. И при карбоксиперитонеуме, и в положении Тренделенбурга повышается внутричерепное давление (ВЧД) [1]. Помимо прочего, карбоксиперитонеум увеличивает внутрибрюшное давление, что влечет за собой рост внутригрудного давления. Кроме того, положение Тренделенбурга также непосредственно повышает внутригрудное давление. В свою очередь, увеличение внутригрудного давления влечет за собой повышение центрального венозного давления (ЦВД). Таким образом, ВЧД и ЦВД повышаются и в положении Тренделенбурга, и при карбоксиперитонеуме. Церебральное перфузионное давление (ЦПД) — это разница между средним артериальным давлением (АДср) и ВЧД (когда $\text{ВЧД} > \text{ЦВД}$) или между АДср и ЦВД (когда $\text{ЦВД} > \text{ВЧД}$) [3]. Следовательно, если АДср не изменится, то ЦПД при положении Тренделенбурга снизится. Таким образом, церебральный кровоток может быть снижен под влиянием карбоксиперитонеума и положения Тренделенбурга. Тем не менее, церебральный кровоток постоянен, это явление называется церебральной ауторегуляцией [4]. Но также есть данные, говорящие об изменениях церебрального кровотока, даже в пределах ауторегуляции [5]. Таким образом, церебральный кровоток может быть снижен или постоянен при карбоксиперитонеуме и при положении Тренделенбурга.

Церебральная тканевая оксиметрия (rSO_2) может быть использована для оценки мозгового кровообращения [6]. Ряд авторов изучали влияние позиции Тренделенбурга и карбоксиперитонеума на церебральную оксиметрию [7], но в этом исследовании пациенты были приведены в положение Тренделенбурга до карбоксиперитонеума. При робот-ассистированных лапароскопических простатэктомиях карбоксиперитонеум выполняется до перехода в положение Тренделенбурга. В проведенном ранее исследовании изучалась церебральная тканевая оксиметрия при положении Тренделенбурга с углом наклона 30° [11]. В нашей работе угол наклона при положении Тренделенбурга составлял 45° . Это было обусловлено требованиями хирургов для улучшения визуализации.

Цель

Изучить влияние положения Тренделенбурга с углом наклона 45° в условиях карбоксиперитонеума на церебральную оксигенацию и показатели гемодинамики, определяющие перфузию головного мозга.

Гипотеза исследования

Использование положения Тренделенбурга с углом наклона 45° в условиях карбоксиперитонеума снижает церебральную оксигенацию и ухудшает показатели гемодинамики, определяющие перфузию головного мозга.

Материалы и методы

В настоящее одноцентровое проспективное описательное исследование были включены 30 пациентов, которым выполняли робот-ассистированную лапароскопическую простатэктомию. Поскольку исследование носило описательный характер и проводимые диагностические и лечебные воздействия не выходили за рамки принятых в ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России локальных клинических протоколов, одобрения со стороны Этического комитета на выполнение настоящей работы не требовалось. Критериями включения были возраст 18–80 лет; I и II класс функционального статуса по шкале Американской ассоциации анестезиологов (ASA) [8]. Критерии исключения: перенесенные острые нарушения мозгового кровообращения по ишемическому и геморрагическому типу, транзиторные ишемические атаки, субарахноидальные кровоизлияния, а также поражения брахиоцефальных артерий; хроническая обструктивная болезнь легких: бронхиальная астма; хроническая сердечная недостаточность II ФК и выше по классификации NYHA; хроническая почечная недостаточность. Клинико-демографические данные включенных в исследование пациентов представлены в таблице 1.

В операционной, до индукции анестезии пациентам на лоб справа и слева закрепляли два датчика для измерения церебральной тканевой оксиметрии (rSO_2 left и rSO_2 right). Для оценки rSO_2 использовали аппарат Fore-sight Elite Absolute Tissue Oximeter (CAS Medical Systems, США). Стандартный анестезиологический мониторинг включал в себя электрокардиографию (ЭКГ), пульсоксиметрию (SpO_2), неинвазивное измерение артериального давления (АД), анализ газового состава выдыхаемой смеси. Индукция проводилась пропофолом (2–3 мг/кг) и фентанилом (3 мкг/кг). Интубацию трахеи выполняли на фоне полной миоплегии с применением рокурония бромид (0,6 мг/кг). Проводили общую анестезию на основе инфузии пропофола (5–6 мг/кг/ч), анальгетический компонент поддерживался инфузией фентанила (1,5–2 мкг/кг/ч), миоплегия — введением рокурония бромид (0,4–0,5 мг/кг/ч). После индукции анестезии и интубации трахеи, в условиях ультразвукового контроля катетеризировали лучевую артерию (катетер 20G), внутрен-

Таблица 1. Основные характеристики пациентов и выполненных оперативных вмешательств, $M \pm SD$, $n = 30$

Показатель	Значение
Возраст, лет	$63 \pm 6,5$
Вес, кг	$84,93 \pm 12,37$
Рост, м	$1,77 \pm 0,07$
Индекс массы тела, $\text{кг}/\text{м}^2$	$27,03 \pm 3,62$
Время операции, мин	$149,33 \pm 21,04$
Время анестезии, мин	$182,33 \pm 21,84$
Время карбоксиперитонеума, мин	$85,36 \pm 12,16$
Консольное время, мин	$93,46 \pm 12,61$

Table 1. Main characteristics of patients and performed surgical interventions, $M \pm SD$, $n = 30$

Parameter	Value
Age, years	$63 \pm 6,5$
Weight, kg	$84,93 \pm 12,37$
Height, m	$1,77 \pm 0,07$
Body mass index, kg/m^2	$27,03 \pm 3,62$
Surgery time, min	$149,33 \pm 21,04$
Anesthesia time, min	$182,33 \pm 21,84$
Carboxyperitoneum time, min	$85,36 \pm 12,16$
Console time, min	$93,46 \pm 12,61$

нюю яремную вену (двухпросветный катетер 16G), что позволяло начать инвазивный мониторинг АД и ЦВД. Искусственная вентиляция легких проводилась аппаратом Datex-Ohmeda Aisys (GE, США) в режиме PCV-VG (pressure control ventilation volume guaranteed, контроль по давлению с гарантированным дыхательным объемом) с дыхательным объемом 7–8 мл/кг, без использования положительного давления в конце выдоха (ПДКВ). Пиковое давление в дыхательных путях поддерживалось не выше 40 см вод. ст. Частота дыхания регулировалась в зависимости от содержания углекислого газа (CO_2) в выдыхаемой газовой смеси, целевым значением CO_2 считали 35–45 мм рт. ст. У всех пациентов фракция вдыхаемого кислорода (FiO_2) была равна 0,5. При любых положениях пациента во время операции для позиционирования уровня трансдюсеров инвазивного измерения АД и ЦВД определяли флебостатическую ось [9]. АДср поддерживалось на уровне 70–100 мм рт. ст., при его повышении после приведения пациента в положе-

ние Тренделенбурга использовали болюсное введение изосорбида динитрата по 250 мкг.

Для поддержания необходимого уровня карбоксиперитонеума перманентное давление интраабдоминальной инсуффляции CO_2 устанавливали на значении 13–14 мм рт. ст. Примерно через пять минут после достижения карбоксиперитонеума пациента переводили в положение Тренделенбурга с углом наклона 45° .

С целью оценки церебральной оксигенации и гемодинамических параметров, определяющих перфузию головного мозга, мы измеряли rSO_2 справа и слева, ЦВД, АДср, насыщение гемоглобина крови из центральной вены кислородом (SvO_2). Рассчитывали церебральное перфузионное давление (ЦПД) по формуле:

$$\text{ЦПД (мм рт. ст.)} = \text{АДср} - \text{ЦВД} \quad (1)$$

Для измерения показателей были выбраны следующие временные точки: Т1 — после индукции

анестезии, до обеспечения карбоксиперитонеума; T2 — 5 минут после начала нахождения в положении Тренделенбурга; T3 — 15 минут после начала нахождения в положении Тренделенбурга; T4 — 30 минут после начала нахождения в положении Тренделенбурга; T5 — после приведения пациента в горизонтальное положение.

Для статистического анализа мы использовали программу для ЭВМ Past, версия 4.09 (Øyvind Hammer, Natural History Museum, University of Oslo) [12]. Для определения типа распределения данных использовался критерий Шапиро-Уилка. Для сравнения средних значений количественных признаков в трех и более зависимых группах при нормальном распределении использовался однофакторный дисперсионный анализ для повторных измерений (Repeated MANOVA); при ненормальном распределении использовался критерий Фридмана. Для уточнения уровня значимости при коррекции сфе-

ричности в Repeated MANOVA использовалась поправка Гринхауса-Гейссера (так как $\epsilon < 0,75$). Для попарного сравнения зависимых выборок — критерий Вилкоксона [23]. Измерения представлены в виде средних значений $\pm$ стандартные отклонения ($M \pm SD$). Достигнутый уровень значимости (p value) был принят менее 0,05.

Результаты

Нами были проанализированы данные 30 пациентов. Показатели гемодинамики, потребления кислорода и тканевой оксиметрии головного мозга на этапах исследования представлены в таблице 2. Мы выявили изменение всех изучаемых показателей после перевода пациентов в положение Тренделенбурга с углом наклона 45° в условиях карбоксиперитонеума, причем для АДср, ЦВД, rSO_2 и SvO_2 значимые различия были обнаружены уже через 5 минут.

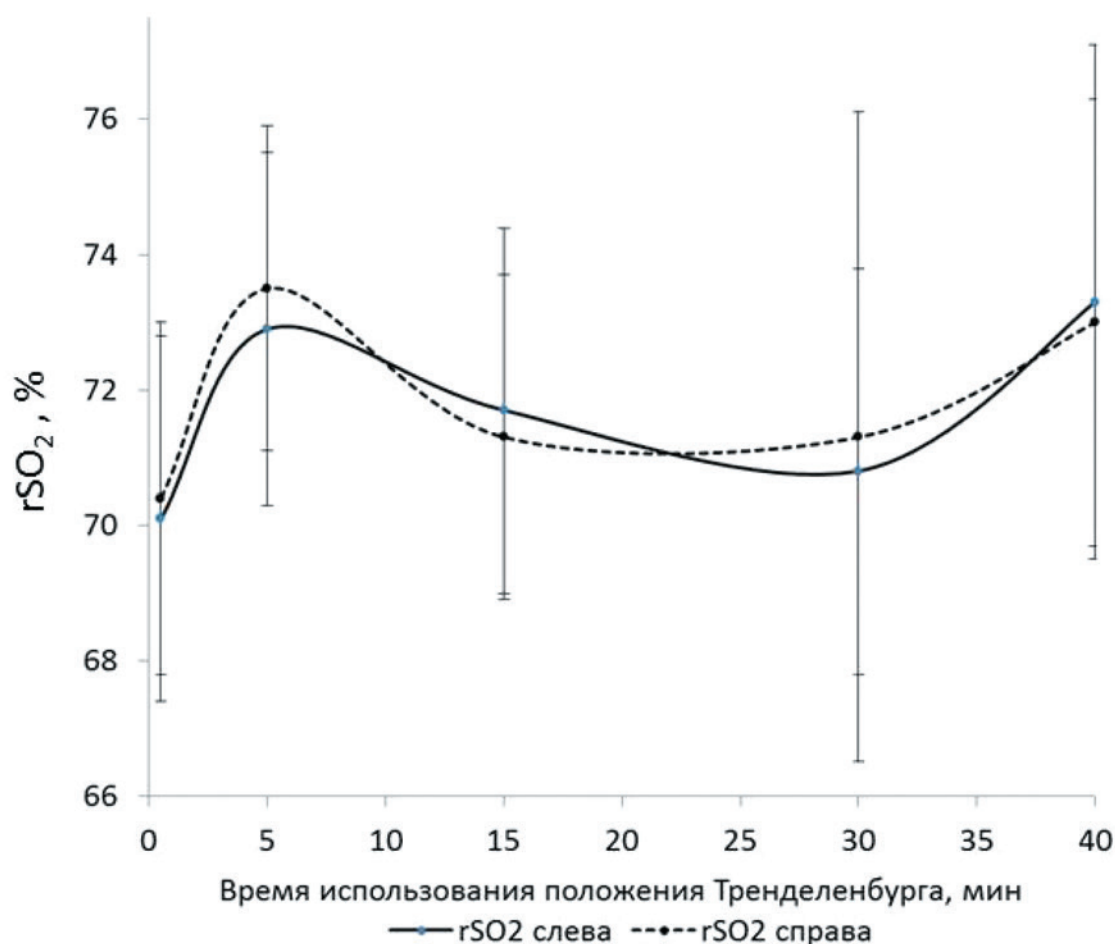


Рис. 1. Динамика показателя церебральной оксиметрии на фоне использования карбоксиперитонеума и положения Тренделенбурга с углом наклона 45° , $M \pm SD$

Figure 1. Dynamics of the cerebral oximetry index against the background of the use of carboxyperitoneum and the Trendelenburg position with an inclination angle of 45° , $M \pm SD$

Церебральная оксигенация возрастала на фоне карбоксиперитонеума и положения Тренделенбурга с углом наклона 45° . Значимое увеличение, в сравнении с исходными показателями, было обнаружено через 5 и 15 минут использования положения Тренделенбурга. Следует отметить, что ни на одном из этапов исследования rSO_2 не была ниже исходных значений как в правом полушарии головного мозга, так и в левом. После возвращения пациентов в горизонтальное положение церебральная оксигенация значимо возрастала и превышала значения, полученные на первом этапе исследования (рис. 1). Таким образом, полученные данные опровергли гипотезу о снижении церебральной перфузии на фоне применения карбоксиперитонеума и положения Тренделенбурга с углом наклона 45° .

Мы обнаружили статистически значимое увеличение АДср через 5 и 15 минут после позиционирования пациента в положение Тренделенбурга

с углом наклона 45° . К 30 минуте различий в сравнении с исходными значениями АДср не было (табл. 2). Аналогично, ЦВД значимо увеличилось уже через 5 минут после позиционирования пациента в положение Тренделенбурга. Значимый рост этого показателя продолжался до 30 минуты применения положения Тренделенбурга. Вследствие однонаправленного изменения АДср и ЦВД (увеличения), показатель, отражающий перфузию головного мозга, — церебральное перфузионное давление (ЦПД, см. формулу 1) — оставался неизменным через 5 минут после позиционирования пациента в положение Тренделенбурга. В дальнейшем значимый рост ЦВД, преобладавший над увеличением АДср, обусловил статистически значимое снижение ЦПД через 15 и 30 минут использования положения Тренделенбурга (рис. 2). Необходимо отметить, что снижение ЦПД было незначительным, а абсолютные значения этого

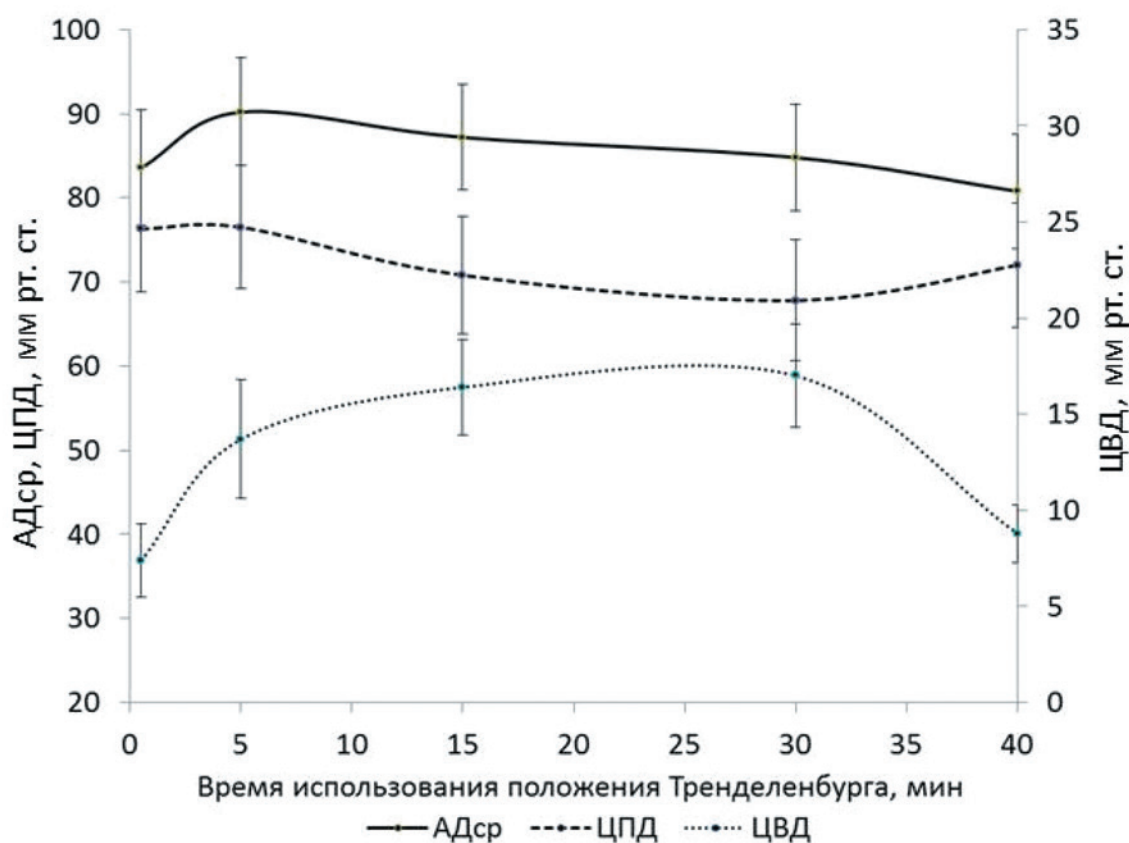


Рис. 2. Изменения гемодинамических показателей, определяющих перфузию головного мозга, на фоне использования карбоксиперитонеума и положения Тренделенбурга с углом наклона 45° , $M \pm SD$

Figure 2. Changes in hemodynamic parameters that determine brain perfusion, against the background of the use of carboxyperitoneum and the Trendelenburg position with an inclination angle of 45° , $M \pm SD$

показателя во время применения положения Тренделенбурга не выходили за пределы нормальных. Вероятно, малая выраженность изменений гемодинамических показателей, определяющих перфузию головного мозга, стала одной из причин отсутствия неблагоприятного влияния положения Тренделенбурга на церебральную оксигенацию.

Выполненный корреляционный анализ не выявил связей между показателями гемодинамики и церебральной оксигенации ни в одной из временных точек.

Обсуждение

Выполненное исследование не подтвердило гипотезу о снижении церебральной оксигенации на фоне применения карбоксиперитонеума и положения Тренделенбурга с углом наклона 45° . Мы обнаружили значимое увеличение rSO_2 через 5 и 15 минут использования положения Тренделенбурга и отсутствие снижения этого показателя в дальнейшем (табл. 2). Полученные данные согласуются с результатами исследования, выполненного А. Ф. Kalma и коллегами [11]. Авторы показали, что rSO_2 увеличивалась после выполнения карбоксиперитонеума и последующего использования положения Тренделенбурга, однако затем наблюдалось снижение этого показателя [11]. Указанные изменения сопровождались однонаправленной динамикой АДср, но корреляционной связи выявлено не было.

Наше исследование выявило статистически значимое увеличение АДср через 5 и 15 минут после позиционирования пациента в положение Тренделенбурга. К 30 минуте различий в сравнении с исходными значениями АДср не было (табл. 2). Полученные данные согласуются с результатами нескольких исследований, выявивших повышение АДср на 10–15 мм рт. ст. при применении карбоксиперитонеума и положения Тренделенбурга [2, 20, 22].

Выполненное нами исследование обнаружило значимое увеличение ЦВД уже через 5 минут после позиционирования пациента в положение Тренделенбурга с $7,4 \pm 1,9$ до $13,7 \pm 3,1$ мм рт. ст. Причем увеличение ЦВД продолжалось на протяжении всего периода применения положения Тренделенбурга с достижением $17 \pm 2,7$ мм рт. ст. к 30 минуте. Этот закономерный гемодинамический эффект обнаружен и другими исследователями. Так, было показано, что ЦВД увеличивалось на 2–5 мм рт. ст. при выполнении карбоксиперитонеума [13, 14]. При сочетании карбоксиперитонеума с положением Тренделенбурга этот показатель увеличивался на 10–16 мм рт. ст. [20, 21, 22].

За гемодинамический показатель, отражающий перфузию головного мозга, мы приняли церебраль-

ное перфузионное давление, равное разнице между АДср и ЦВД (формула 1) [3]. Вследствие обнаруженного в нашем исследовании однонаправленного увеличения АДср и ЦВД, церебральное перфузионное давление не изменялось в первые 5 минут использования положения Тренделенбурга, затем снижалось, но не выходило за рамки нормальных значений (табл. 2). Мы не обнаружили в доступной литературе данных о влиянии карбоксиперитонеума на ЦПД. Однако, учитывая результаты указанных выше исследований, показавших рост ЦВД при использовании пневмоперитонеума [13, 14], и подтвержденное другими авторами отсутствие влияния карбоксиперитонеума на АДср [14], можно предположить снижение ЦПД при выполнении карбоксиперитонеума. Данных о влиянии использования положения Тренделенбурга на гемодинамические показатели, определяющие церебральную перфузию, в частности на ЦПД, в доступной литературе найти не удалось.

Отсутствие выраженных изменений церебральной оксигенации в ответ на применение положения Тренделенбурга можно объяснить и физиологическими механизмами статической ауторегуляции, поддерживающими церебральный кровоток на постоянном уровне [4]. При выраженных изменениях артериального давления церебральный кровоток компенсируется динамической церебральной ауторегуляцией [17, 18]. Известно, что между моментом повышения АД и активацией динамической церебральной ауторегуляции имеется определенная временная задержка [19]. Вследствие этого вполне возможно, что обнаруженный в нашем исследовании рост rSO_2 в первые 5 минут использования положения Тренделенбурга был связан с еще некомпенсированным увеличением церебрального кровотока в ответ на повышение АДср.

Таким образом, принимая во внимание полученные нами данные и результаты исследований других авторов, можно предположить, что отсутствие выраженных изменений в церебральной оксигенации при использовании положения Тренделенбурга связано как с однонаправленными изменениями АДср и ЦВД, определяющими маловыраженное снижение ЦПД, так и с ауторегуляцией церебрального кровотока.

Заключение

Проведенное нами исследование не подтвердило гипотезу о том, что использование положения Тренделенбурга с углом наклона 45° в условиях карбоксиперитонеума снижает церебральную оксигенацию и ухудшает показатели гемодинамики, определяющие перфузию головного мозга.

Таблица 2. Показатели гемодинамики и тканевой оксигенации, определенные на этапах исследования, $M \pm SD$, $n = 30$

АДср — среднее артериальное давление; ЦВД — центральное венозное давление; ЦПД — церебральное перфузионное давление; SvO₂ — сатурация крови из центральной вены; rSO₂ — церебральная тканевая оксиметрия

Показатель	T1	T2	T3	T4	T5	Критерий Вилкоксона
АДср, мм рт. ст.	83,6 ± 6,9	90,2 ± 6,4	87,2 ± 6,3	84,8 ± 6,3	80,8 ± 6,8	$P_{1-2} < 0,001$ $P_{1-3} = 0,002$ $P_{1-5} = 0,002$ $P_{2-3} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-5} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,001$ $P_{3-5} < 0,001$ $P_{4-5} < 0,001$
ЦВД, мм рт. ст.	7,4 ± 1,9	13,7 ± 3,1	16,4 ± 2,5	17 ± 2,7	8,8 ± 1,5	$P_{1-2} < 0,001$ $P_{1-3} < 0,001$ $P_{1-4} < 0,001$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-5} < 0,001$ $P_{3-5} < 0,001$ $P_{3-4} < 0,037$ $P_{4-5} < 0,001$
ЦПД, мм рт. ст.	76,3 ± 7,5	76,5 ± 7,3	70,8 ± 7	67,8 ± 7,2	72 ± 7,4	$P_{1-3} < 0,001$ $P_{1-4} < 0,001$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-5} = 0,005$ $P_{3-4} < 0,001$ $P_{4-5} = 0,003$
SvO ₂ , %	81,1 ± 3,2	82,6 ± 3,9	84,1 ± 3,1	85 ± 3,6	85,8 ± 3,4	$P_{1-2} = 0,007$ $P_{1-3} < 0,001$ $P_{1-4} < 0,001$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} = 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-5} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,034$ $P_{3-5} = 0,01$
rSO ₂ слева, %	70,1 ± 2,7	72,9 ± 2,6	71,7 ± 2,7	70,8 ± 3	73,3 ± 3,8	$P_{1-2} < 0,001$ $P_{1-3} < 0,001$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} = 0,003$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,015$ $P_{3-5} = 0,027$ $P_{4-5} < 0,001$
rSO ₂ справа, %	70,4 ± 2,6	73,5 ± 2,4	71,3 ± 2,4	71,3 ± 4,8	73 ± 3,3	$P_{1-2} < 0,001$ $P_{1-3} = 0,028$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,04$ $P_{3-5} = 0,008$ $P_{4-5} = 0,003$

Table 2. Indicators of hemodynamics and tissue oxygenation determined at the stages of the study, $M \pm SD$, $n = 30$

MAP — mean arterial pressure; CVP — central venous pressure; CPP — cerebral perfusion pressure; SvO_2 — blood saturation from the central vein; rSO_2 — cerebral tissue oximetry

Parameter	T1	T2	T3	T4	T5	Wilcoxon test
MAP, mm Hg	$83,6 \pm 6,9$	$90,2 \pm 6,4$	$87,2 \pm 6,3$	$84,8 \pm 6,3$	$80,8 \pm 6,8$	$P_{1-2} < 0,001$ $P_{1-3} = 0,002$ $P_{1-5} = 0,002$ $P_{2-3} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-5} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,001$ $P_{3-5} < 0,001$ $P_{4-5} < 0,001$
CVP, mm Hg	$7,4 \pm 1,9$	$13,7 \pm 3,1$	$16,4 \pm 2,5$	$17 \pm 2,7$	$8,8 \pm 1,5$	$P_{1-2} < 0,001$ $P_{1-3} < 0,001$ $P_{1-4} < 0,001$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-5} < 0,001$ $P_{3-5} < 0,001$ $P_{3-4} < 0,037$ $P_{4-5} < 0,001$
CPP, mm Hg	$76,3 \pm 7,5$	$76,5 \pm 7,3$	$70,8 \pm 7$	$67,8 \pm 7,2$	$72 \pm 7,4$	$P_{1-3} < 0,001$ $P_{1-4} < 0,001$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-5} = 0,005$ $P_{3-4} < 0,001$ $P_{4-5} = 0,003$
SvO_2 , %	$81,1 \pm 3,2$	$82,6 \pm 3,9$	$84,1 \pm 3,1$	$85 \pm 3,6$	$85,8 \pm 3,4$	$P_{1-2} = 0,007$ $P_{1-3} < 0,001$ $P_{1-4} < 0,001$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} = 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-5} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,034$ $P_{3-5} = 0,01$
rSO_2 left, %	$70,1 \pm 2,7$	$72,9 \pm 2,6$	$71,7 \pm 2,7$	$70,8 \pm 3$	$73,3 \pm 3,8$	$P_{1-2} < 0,001$ $P_{1-3} < 0,001$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} = 0,003$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,015$ $P_{3-5} = 0,027$ $P_{4-5} < 0,001$
rSO_2 right, %	$70,4 \pm 2,6$	$73,5 \pm 2,4$	$71,3 \pm 2,4$	$71,3 \pm 4,8$	$73 \pm 3,3$	$P_{1-2} < 0,001$ $P_{1-3} = 0,028$ $P_{1-5} < 0,001$ $P_{2-3} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,04$ $P_{3-5} = 0,008$ $P_{4-5} = 0,003$

Выводы

1. Положение Тренделенбурга с углом наклона в 45° в совокупности с карбоксиперитонеумом сопровождается увеличением церебральной оксигенации.

2. Положение Тренделенбурга с углом наклона в 45° в совокупности с карбоксиперитонеумом сопровождается значимым увеличением артериального давления и центрального венозного давления. Результатом данных изменений стало незначительное снижение церебрального перфузионного давления, причем этот показатель оставался в пределах нормальных значений.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциально-го конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Unguryanu TN, Grijbovski AM. Brief recommendations on description, analysis and presentation of data in scientific papers. *Human ecology*. 2011; 18(5):56–60. In Russian [Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М. Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях. 2011; 18(5):56–60].
2. Ali AM, Green D, Zayed H, et al. Cerebral monitoring in patients undergoing carotid endarterectomy using a triple assessment technique. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2011; 12(3):454–457. DOI: 10.1510/icvts.2010.235598.
3. Andersson L, Wallin CJ, Sollevi A, et al. Pneumoperitoneum in healthy humans does not affect central blood volume or cardiac output. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1999; 43(8):809–814. DOI: 10.1034/j.1399-6576.1999.430805.x.
4. Ben-Haim M, Mandeli J, Friedman RL, et al. Mechanisms of systemic hypertension during acute elevation of intraabdominal pressure. *J Surg Res*. 2000; 91(2):101–105. DOI: 10.1006/jsre.2000.5903.
5. Chiu CC, Yeh SJ. Assessment of cerebral autoregulation using time-domain cross-correlation analysis. *Comput Biol Med*. 2001; 31(6):471–480. DOI: 10.1016/s0010-4825(01)00015-4.
6. Choi SH, Lee SJ, Rha KH, et al. The effect of pneumoperitoneum and Trendelenburg position on acute cerebral blood flow-carbon dioxide reactivity under sevoflurane anaesthesia. *Anaesthesia*. 2008; 63(12):1314–1318. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2008.05636.x.
7. Doe A, Kumagai M, Tamura Y, et al. A comparative analysis of the effects of sevoflurane and propofol on cerebral oxygenation during steep Trendelenburg position and pneumoperitoneum for robotic-assisted laparoscopic prostatectomy. *J Anesth*. 2016; 30(6):949–955. DOI: 10.1007/s00540-016-2241-y.
8. Halverson A, Buchanan R, Jacobs L, et al. Evaluation of mechanism of increased intracranial pressure with insufflation. *Surg Endosc*. 1998; 12(3):266–269. DOI: 10.1007/s004649900648.

9. Hänel F, Blobner M, Bogdanski R, et al. Effects of carbon dioxide pneumoperitoneum on cerebral hemodynamics in pigs. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2001; 13(3):222–226. DOI: 10.1097/00008506-200107000-00007.

10. Jacq G, Gritti K, Carré C, et al. Modalities of Invasive Arterial Pressure Monitoring in Critically Ill Patients: A Prospective Observational Study. *Medicine (Baltimore)*. 2015; 94(39):e1557. DOI: 10.1097/MD.0000000000001557.

11. Kalmar AF, Dewaele F, Foubert L, et al. Cerebral haemodynamic physiology during steep Trendelenburg position and CO(2) pneumoperitoneum. *Br J Anaesth*. 2012; 108(3):478–484. DOI: 10.1093/bja/aer448.

12. Kurazumi T, Ogawa Y, Yanagida R, et al. Dynamic Cerebral Autoregulation During the Combination of Mild Hypercapnia and Cephalad Fluid Shift. *Aerosp Med Hum Perform*. 2017; 88(9):819–826. DOI: 10.3357/AMHP.4870.2017.

13. Munis JR, Lozada LJ. Giraffes, siphons, and starling resistors. Cerebral perfusion pressure revisited. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2000; 12(3):290–296. DOI: 10.1097/00008506-200007000-00029.

14. Park EY, Koo BN, Min KT, et al. The effect of pneumoperitoneum in the steep Trendelenburg position on cerebral oxygenation. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2009; 53(7):895–899. DOI: 10.1111/j.1399-6576.2009.01991.x.

15. Paulson OB, Strandgaard S, Edvinsson L. Cerebral autoregulation. *Cerebrovasc Brain Metab Rev*. 1990; 2(2):161–192.

16. Matsuoka T, Ishiyama T, Shintani N, et al. Changes of cerebral regional oxygen saturation during pneumoperitoneum and Trendelenburg position under propofol anesthesia: a prospective observational study. *BMC Anesthesiol*. 2019; 19(1):72. DOI: 10.1186/s12871-019-0736-4.

17. Tzeng YC, Ainslie PN. Blood pressure regulation IX: cerebral autoregulation under blood pressure challenges. *Eur J Appl Physiol*. 2014; 114(3):545–559. DOI: 10.1007/s00421-013-2667-y.

18. Zhang R, Zuckerman JH, Giller CA, et al. Transfer function analysis of dynamic cerebral autoregulation in humans. *Am J Physiol*. 1998; 274(1 Pt 2):H233–241. DOI: 10.1152/ajpheart.1998.274.1.h233.

19. Doyle DJ, Goyal A, Bansal P, et al. American Society of Anesthesiologists Classification. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. <https://www.statpearls.com/ArticleLibrary/viewarticle/17453>. (October 2021).

20. PAleontological STatistics. Version 4.09. <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/> (January 2022)

Информация об авторах:

Колотухин Антон Константинович, врач анестезиолог-реаниматолог ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Баканов Артем Юрьевич, к.м.н., доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Баутин Андрей Евгеньевич, д.м.н., доцент, заведующий НИЛ анестезиологии и реаниматологии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Волков Виталий Васильевич, врач анестезиолог-реаниматолог ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Мазурок Вадим Альбертович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой анестезиологии и реаниматологии Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Мазохина Оксана Валерьевна, заведующий отделением анестезиологии-реанимации на 10 операционных ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Шелипанов Денис Александрович, к.м.н., заведующий отделением урологии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Мосоян Михаил Семенович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой урологии с курсом роботической хирургии лечебного факультета Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Author information:

Anton K. Kolotukhin, MD, physician anesthesiologist, Almazov National Medical Research Centre;

Artem Yu. Bakanov, MD, Ph.D., assistant professor of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Almazov National Medical Research Centre;

Andrey E. Bautin, MD, Ph.D., professor, head of the Research Laboratory of Anesthesiology and Intensive Care, Almazov National Medical Research Centre;

Vitaliy V. Volkov, MD, physician anesthesiologist, Almazov National Medical Research Centre;

Vadim A. Mazurok, MD, Ph.D., professor, chief of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Almazov National Medical Research Centre;

Oksana V. Mazokhina, MD, chief of the Department of Anesthesiology and intensive care unit for 10 ORs, Almazov National Medical Research Centre;

Denis A. Shelipanov, MD, Ph.D., chief of the Department of Urology, Almazov National Medical Research Centre;

Mikhail S. Mosoyan, MD, DSc, professor, director of Robotic Surgery Centre, Almazov National Medical Research Centre.