

Аксельрод Б.А., Толстова И.А., Гуськов Д.А.

МОНИТОРИНГ ТКАНЕВОЙ ОКСИГЕНАЦИИ ВО ВРЕМЯ КАРДИОХИРУГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

ФГБУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского» РАМН, 119991, Москва

Akselrod B.A., Tolstova I.A., Guskov D.A.

TISSUE OXYGENATION MONITORING DURING CARDIAC SURGERY

Petrovsky Russian National Center of Surgery, 119991, Moscow

Аксельрод Борис Альбертович (Akselrod Boris Albertovich), 7403797@gmail.com,
Толстова Ирина Александровна (Tolstova Irina Alexandrovna), 7135198@gmail.com,
Гуськов Денис Александрович (Guskov Denis Alexandrovich),
119991, Москва, Абрикосовский пер., 2

Резюме

Цель исследования. Изучить динамику показателей тканевой оксиметрии у пациентов с различным исходным уровнем тканевой оксигенации и проанализировать связь показателей тканевой оксигенации с особенностями течения периоперационного периода.

Материалы и методы. В исследование было включено 92 пациента, которым выполнялись операции реваскуляризации миокарда или операции протезирования клапанов сердца в условиях ИК. У всех пациентов осуществлялся мониторинг региональной оксигенации с помощью лазерного тканевого оксиметра FORE-SIGHT™. Датчики прибора располагались в проекции правого полушария и на правом предплечье. Показатели тканевой оксигенации (StO₂,%) и церебральной оксигенации (SctO₂,%) анализировали перед началом анестезии, перед ИК, на 45 мин. ИК и в конце операции. На этих же этапах проводилась стандартизованная по времени (3 мин.) проба с артериальной окклюзией (ПАО).

Результаты. У всех обследованных больных отсутствовали эпизоды снижения уровня SctO₂ ниже критической величины во время операции, что позволяет говорить о стабильности центральной гемодинамики на протяжении исследования. При ретроспективном анализе пациенты были разделены на 3 группы. 1 гр. – пациенты с исходным уровнем StO₂ менее 70% (n=19). В этой группе StO₂ оставалась низкой на протяжении всей операции. Во 2 гр. (n=49) вошли больные, у которых StO₂ была исходно выше 70%, а перед ИК снизилась до уровня менее 70%. В 3 гр. (n=24) были включены пациенты, у которых StO₂ была стабильно высокой на протяжении всей анестезии. Результаты ПАО подтвердили имеющиеся у больных 1 и 2 гр. нарушения тканевой оксигенации. В 1 гр. кислородный резерв (КР) был меньше, чем в других группах, а в конце операции – ниже, чем в исходе. Во 2 гр. КР резко снижался перед ИК, на этапе ИК не отличался от уровня в 1 гр. В 3 гр. КР в течение анестезии был выше, чем в 1 и 2 гр., однако также в конце операции был ниже, чем в исходе. Уровень лактата крови после ИК не превышал верхнюю границу нормы, однако, его уровень был выше в 1 и 2 гр. по сравнению с 3 гр. Сатурация центральной вены у больных 3 гр. была выше, чем в 1 и 2 гр. на

всех этапах, кроме начала операции. Частота сосудистой недостаточности в 3 гр. во время операции была меньше по сравнению с 1 гр., а в послеоперационном периоде – по сравнению со 2 гр. Более низкие показатели StO_2 в 1 и 2 гр. сопровождалось увеличением длительности ИВЛ, сроков пребывания в ОРИТ и стационаре.

Выводы. Тканевая оксиметрия может быть полезным инструментом оценки региональной оксигенации во время анестезии. Во время анестезии у кардиохирургических больных, оперированных в условиях искусственного кровообращения, происходит снижение тканевой оксигенации и кислородного резерва периферических тканей. Низкий уровень тканевой оксигенации в предперфузионном периоде может являться предиктором осложнений в раннем послеоперационном периоде.

Ключевые слова: тканевая оксиметрия, кислородный резерв, региональная оксигенация, анестезия у больных с сердечно-сосудистой патологией

Введение

Поддержание стабильной гемодинамики и обеспечение адекватной доставки кислорода по-прежнему остается важнейшей проблемой в современной анестезиологии и реаниматологии. Одним из показателей эффективности кислородного транспорта, является тканевая оксигенация.

Применение тканевой оксигенации, которая отражает баланс доставки и потребления кислорода, в качестве показателя эффективности гемодинамики и гомеостаза во время анестезии имеет длительную историю. В нашем Центре подобная доктрина была реализована еще в 60-х годах прошлого века при становлении методики искусственного кровообращения [1]. Однако, мониторинг тканевой оксигенации не нашел широкого применения, что было обусловлено сложностью и дороговизной оборудования. Только в последние годы с внедрением в клиническую практику тканевой оксиметрии с помощью близкой по спектру к инфракрасной спектроскопии (БИКС или NIRS в англоязычной литературе) у анестезиологов появилась возможность мониторировать региональную оксигенацию во время операции.

В зависимости от региона методика разделяется на церебральную, висцеральную и собственно тканевую оксиметрию. В настоящее время наиболее часто используется церебральная оксиметрия: во время анестезии и при критических состояниях для анализа насыщения тканей головного мозга кислородом [2,3]. В детской практики весьма актуально использование висцеральной оксиметрии [4].

Тканевая оксиметрия (ТО) также получила достаточно широкое распространение в различных областях клинической медицины. Методика имеет хорошую чувствительность и воспроизводимость. Информативность ТО была доказана как

в эксперименте [5,6], так и в клинике [7,8]. Показатель оксигенации периферических тканей (StO_2) помимо баланса доставки и потребления кислорода, отражает состояние кровотока в микроциркуляторном русле. В оценке состояния микроциркуляции TO может превосходить даже такие устоявшиеся способы изучения кровотока периферических тканей, как радиоизотопная плетизмография [9]. В настоящее время наиболее часто TO используется при состояниях сопровождающихся выраженными нарушениями микроциркуляции и тканевой перфузии, например при сепсисе [10], при септическом, кардиогенном, геморрагическом и травматическом шоке [11,12,13], а также у больных в критических состояниях. Снижение StO_2 ассоциируется увеличением летальности и ухудшением результатов лечения. Считается, что этот показатель может быть более ранним признаком патологических изменений в тканевом метаболизме, чем сатурация смешанной и центральной вены.

Широко известно, что во время анестезии у кардиохирургических больных, нарушается микроциркуляция и меняется потребление кислорода в периферических тканях. Нарушение региональной перфузии может ухудшать процесс послеоперационного заживления и увеличивать частоту послеоперационных инфекционных осложнений [14]. На наш взгляд, оксигенация периферических тканей во время сердечно-сосудистых операций может нести важную информацию об общем состоянии пациента. Например, свидетельствовать о начале централизации кровообращения. TO во время функциональных проб (например, пробы с артериальной окклюзией) может дать дополнительную информацию о кислородном транспорте и кислородном резерве в периферических тканях. Результаты работ по применению TO в анестезиологической практике противоречивы, публикации немногочисленны [15,16,17]. Кроме того в этих работах TO использована изолированно. На наш взгляд, для создания более полной картины кислородного транспорта одновременно требуется информация о состоянии церебральной оксигенации. В настоящее время сведений о подобных исследованиях в анестезиологии и реаниматологии нет.

В связи с этим в нашем исследовании были поставлены следующие задачи:

1. Изучить динамику показателей тканевой оксиметрии у пациентов с различным исходным уровнем тканевой оксигенации
2. Проанализировать связь показателей тканевой оксигенации с особенностями течения периоперационного периода

Методы

Нами обследованы 92 пациента, оперированные в ФГБУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского» РАМН в 2011-2012 гг. По антропометрическим параметрам и по возрасту $60 \pm 11,3$ (49-67) лет пациенты были однородны, среди них было 72 мужчины и 20 женщин. Все больные относились к III-IV функциональному классу по классификации NYHA, имели сниженные показатели физического статуса по классификации ASA (III-IV) и относились к категории высокого анестезиологического риска (IV по классификации МНОАР). В исследование не включались больные с сердечной недостаточностью, сахарным диабетом, поражением артерий верхних конечностей.

Больным ИБС выполнялись операции реваскуляризации миокарда ($n=52$) в условиях нормотермического кровообращения (t центральная = $36,0^{\circ}\text{C}$). У пациентов с патологией клапанной ($n=40$) коррекция проводилась в условиях умеренной гипотермии (t центральная = $32,0^{\circ}\text{C}$). У всех больных проводилась сбалансированная многокомпонентная анестезия по принятой в Центре методике: вводная анестезия на основе мидазолама $0,05-0,08$ мг/кг, кетамина $0,5-0,7$ мг/кг, пропофола $0,5-0,7$ мг/кг, фентанила $2,5-3,5$ мкг/кг и пипекурониума бромида $0,1$ мг/кг. Поддержание анестезии осуществлялось севофлюраном $0,5-1,0$ MAC, а во время ИК - пропофолом $3-4$ мг/кг·ч. Фентанил вводился инфузионно в дозе $3-4$ мкг/кг·ч, а также добавлялся дробно на травматичных этапах операции по $2,5-3,8$ мкг/кг. Поддержание миоплегии осуществлялось дробным введением пипекурониума бромида.

Данные представлены в формате $M \pm SD$, различия считались достоверными при $p < 0,05$. Вычисляли критерии Стьюдента (t) и критерий χ^2 для качественных признаков.

Суть метода тканевой оксиметрии

Под тканевой оксигенацией (StO_2) чаще всего понимают оксигенацию мышечной ткани (тенар, предплечье, икроножная мышца), в которой соотношение артериальной и венозной крови составляет $25/75\%$ [18]. StO_2 – это отношение сатураированного гемоглобина к общему гемоглобину на капиллярном уровне [15]. Показатель рассчитывается по формуле:

$$StO_2 = (HbO_2 / (HbO_2 + Hb)) \times 100\%$$

Метод ТО основан на том, что оксигенированный (HbO_2) и дезоксигенированный гемоглобин (Hb) по-разному поглощают свет. В нашем исследовании для ТО использовался лазерный тканевой оксиметр FORE-SIGHT™ (CAS Medical System's™, США). Спектроскопический интервал, в котором можно различить и измерить Hb и HbO_2 , находится в диапазоне волн 660-940 нм. Отраженный лазерный сигнал несет информацию о сосудах диаметром менее 1 мм (артериолы, вены, и собственно капилляры) [18].

Два сенсора тканевого оксиметра располагаются на расстоянии 1,5 и 5 см от источника лазерного излучения, что позволяет исключить влияние на результаты показателей оксигенации кожи и подкожной клетчатки (см. рис.1).

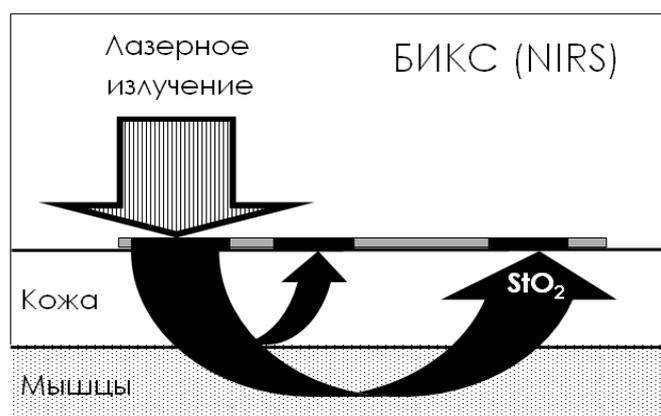


Рис. 1. Принцип работы лазерного тканевого оксиметра

Датчики прибора располагались в проекции правого полушария и на правом предплечье. Показатели StO_2 (%) и церебральной оксигенации (SctO_2 ,%) анализировались в исходе (перед началом анестезии), перед ИК, на 45 мин. ИК, в конце операции.

В настоящее время отсутствуют общепринятые границы нормы церебральной и тканевой оксигенации, что обусловлено различиями в техническом устройстве оксиметров, использующих технологию БИКС (например, разная длина волны и т.д.). Ориентировочные показатели нормы SctO_2 для FORE-SIGHT™ составляют 63-73% [20,21]. Разработчики прибора считают опасным уровень SctO_2 менее 60% и вводят для оценки результатов фактор времени (длительность эпизода более 15 мин.).

По данным ряда авторов верхняя граница нормы тканевой оксигенации колеблется между 81 и 86% [11,16,13]. Сниженными значениями значения считается StO_2 менее 70% [22, 23, 24]. Отсутствие общепринятых норм для ТО обусловлено различиями в устройстве приборов и вариантами расположения датчиков. Большинство авторов используют возвышение тенара. Это объясняется тем,

что толщина подкожно-жирового слоя здесь минимальна [25] и редко развивается отек тканей, который может влиять на точность измерения [18]. Однако, некоторые исследователи показали, что StO_2 глубоких мышечных массивов (икроножная мышца) может нести больше информации для клиники [26]. В связи с этим в нашем исследовании мы располагали датчики на переднебоковой поверхности предплечья. Толщина подкожно-жирового слоя в этом месте не велика и значительно меньше проникающей способности прибора.

Отсутствие общепринятых норм приводит к тому, что многие авторы используют функциональные пробы для увеличения информативности и сопоставимости результатов исследований. В нашей работе мы использовали пробу с артериальной окклюзией (ПАО), которая является основной при исследовании StO_2 [27]. Для создания тестовой ишемии верхней конечности, после 5 минутного периода стабилизации давление в манжетке тонометра быстро (менее 5 сек) нагнеталось до уровня 240 мм рт. ст. [28]. Как и большинство исследователей, мы использовали ПАО, стандартизованную по времени (3 мин.) [15]. После 3 мин. пережатия артерии, давление быстро (менее 5 сек) сбрасывалось. Оценивали кислородный резерв ($KP - StO_2 \text{ min}$ в %) – минимальный уровень оксигенации во время ПАО.

Полученные результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что у всех обследованных больных отсутствовали эпизоды снижения уровня $SctO_2$ ниже критической величины во время операции, что позволяет говорить о стабильности центральной гемодинамики на протяжении исследования.

При ретроспективном анализе в зависимости от исходных показателей TO пациенты были разделены на 3 группы. 1 гр. – пациенты с исходным уровнем StO_2 менее 70% ($n=19$) (см. рис. 2). В этой группе, несмотря на тенденцию к снижению после вводной анестезии, StO_2 оставалась низкой на протяжении всей операции. Во 2 гр. ($n=49$) вошли больные, у которых тканевая оксигенация была исходно выше 70%, а перед ИК снизилась до уровня менее 70%. На этом этапе показатель StO_2 не отличался от значения в 1 гр. В 3 гр. ($n=24$) были включены пациенты, у которых показатели TO были стабильно высокими на протяжении всей анестезии.

Результаты ПАО расширили оценку тканевой оксигенации у наших больных (см. рис. 3). Проба подтвердила имеющиеся у больных 1 и 2 гр. нарушения ткане-

вой оксигенации. В 1 гр. кислородный резерв (КР) был меньше, чем в других группах, а в конце операции – ниже, чем в исходе. Во 2 гр. $StO_2 \text{ min}$ резко снижался перед ИК, на этапе ИК не отличался от уровня в 1 гр. В благополучной по общему уровню тканевой оксигенации 3 гр. кислородный резерв снижался, во время ИК был минимальным, а в конце операции был ниже, чем в исходе.

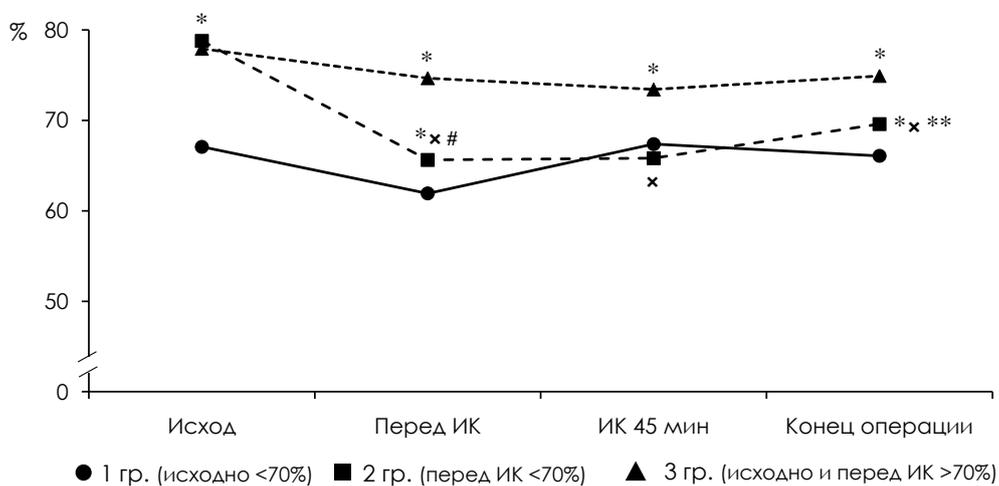


Рис. 2. Динамика тканевой оксигенации (StO_2) во время анестезии

* $p < 0,05$ по сравнению с 1 гр.; x $p < 0,05$ по сравнению с 3 гр.;

$p < 0,05$ между этапами; ** $p < 0,05$ относительно исхода

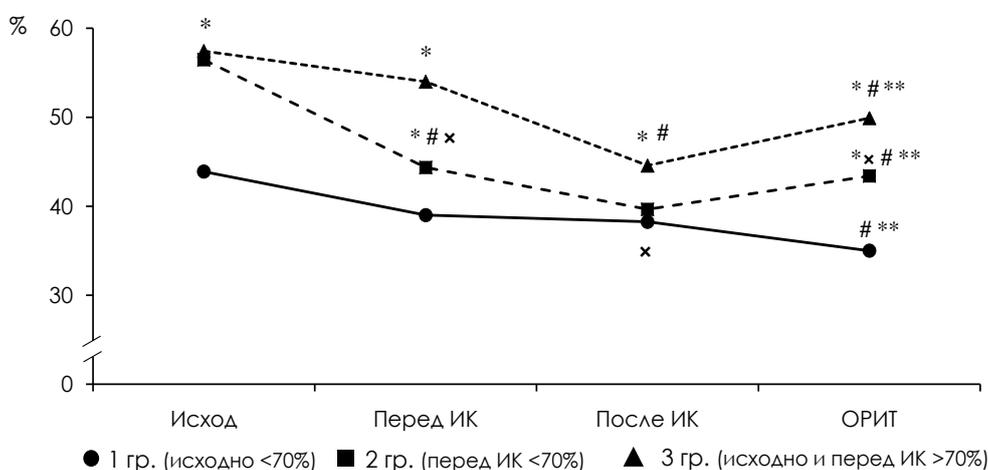


Рис. 3. Кислородный резерв ($StO_2 \text{ min}$) во время ПАО

* $p < 0,05$ по сравнению с 1 гр.; x $p < 0,05$ по сравнению с 3 гр.;

$p < 0,05$ между этапами; ** $p < 0,05$ относительно исхода

Таким образом, большинство пациентов (64,7%) во время операции имели сниженную тканевую оксигенацию. Особый интерес представляют больные 2 гр., поскольку нарушения у них носили латентный характер. Возможно, исходно высокий уровень был StO_2 обусловлен преоксигенацией 100% кислородом перед вводной анестезией, что создавало ощущение мнимого благополучия. Снижение

тканевой оксигенации во время операции свидетельствовало, что даже при адекватной анестезии и при отсутствии грубых нарушений гемодинамики мы не вполне контролируем региональную перфузию.

Ranjan S. с соавт. показал, что во время анестезии у больных общехирургического профиля тканевая оксигенация выше, чем у здоровых добровольцев [29]. Однако, полученные нами результаты совпадают с данными Sanders и соавт., который показал, что у кардиохирургических больных StO_2 снижается на протяжении операции с ИК и сохраняется сниженным в раннем послеоперационном периоде [16]. Одной из причин нарушения тканевой перфузии может быть негативное влияние искусственного кровообращения. По данным Soller и соавт. StO_2 снижается именно во время ИК и сопровождается уменьшением кислородного резерва тканей [17]. Более того, насыщение тканей кислородом возвращается к норме только спустя 6 ч. после окончания операции [16,17].

Использование пробы с артериальной окклюзией (ПАО) увеличивает информативность ТО [29], поскольку позволяет оценить состояние системы микроциркуляции и кислородный резерв периферических тканей [22, 30]. Снижение кислородного резерва является неблагоприятным показателем и выявляется при различных патологических состояниях [13]. Постепенное снижение кислородного резерва в нашем исследовании подтверждает динамику показателей тканевой оксиметрии. Однако, применение ПАО позволило выявить скрытые нарушения оксигенации периферических тканей, даже в том случае, если абсолютные значения StO_2 находились в пределах нормы.

При анализе данных было обнаружено, что между группами имеются различия в значениях показателей, отражающих суммарный кислородный транспорт. Несмотря на то, что уровень лактата крови после ИК не превышал верхнюю границу нормы, его уровень был выше в 1 и 2 гр. по сравнению с 3 гр. (см. рис. 4).

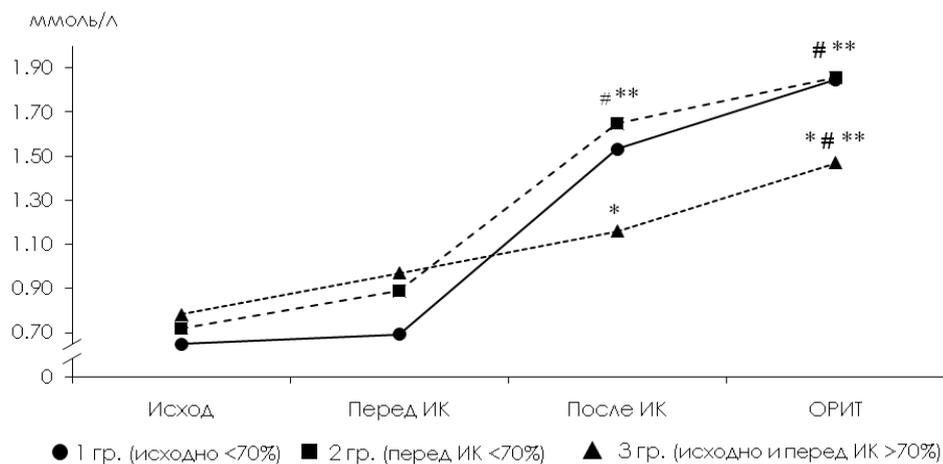
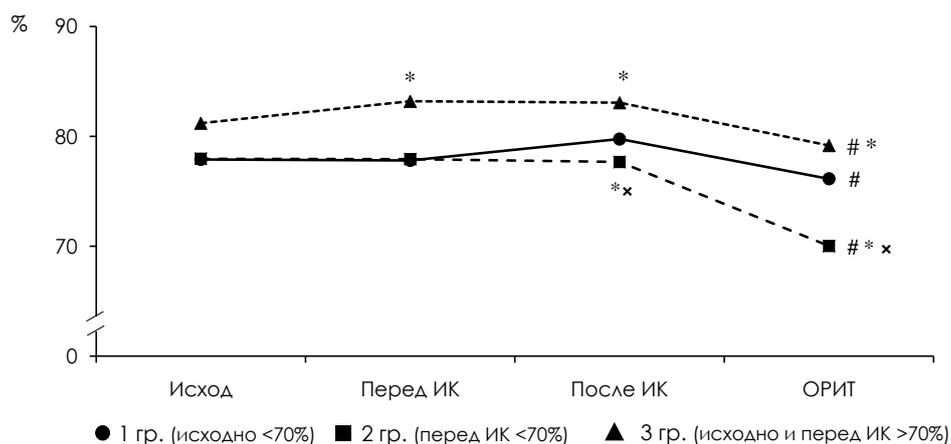


Рис. 4. Уровень лактата крови

* $p < 0,05$ по сравнению с 1 гр.; # $p < 0,05$ между этапами; ** $p < 0,05$ относительно исхода

Сатурация центральной вены у больных 3 гр. была выше, чем в 1 и 2 гр. на всех этапах, кроме начала операции (см. рис. 5). Почему во время ИК и в ОРИТ имелись различия между 1 и 2 гр. не вполне ясно. Одной из причин может быть то, что пациенты, имеющие стабильно низкие показатели тканевой оксигенации, больше адаптированы к нарушениям тканевой перфузии, которые неизбежно возникают во время ИК и сохраняются в послеоперационном периоде.

**Рис. 5. Сатурация центральной вены**

* $p < 0,05$ по сравнению с 1 гр.; x $p < 0,05$ по сравнению с 3 гр.; # $p < 0,05$ между этапами

В нашем исследовании не выявлена связь уровня тканевой оксигенации и частоты инфекционных осложнений, частотой сердечной недостаточности и энцефалопатии в послеоперационном периоде. Известно, что пациенты с нарушением периферической перфузии имеют более высокую частоту инфекционных осложнений [14]. То, что в нашей работе это не подтвердилось можно объяснить небольшим количеством наблюдений. В тоже время, частота сосудистой недостаточности в 3 гр. во время операции была меньше по сравнению с 1 гр., а в послеоперационном периоде – по сравнению со 2 гр. (см. табл. 1.).

Табл. 1. Частота сосудистой недостаточности

Этап	1 гр. (n=19)	2 гр. (n=49)	3 гр. (n=24)
во время операции	5 (26,0%)*	8 (16,3%)	нет
в ОРИТ	2 (10,5%)	15 (30,6%)*	1 (4,2%)

* – $p < 0,05$ по сравнению с 3 гр.

Более низкие показатели тканевой оксигенации сопровождалась увеличением длительности ИВЛ и сроков пребывания в ОРИТ и стационаре (см. табл. 2).

Табл. 2. Особенности течения послеоперационного периода

Показатель	1 гр.	2 гр.	3 гр.
ИВЛ (ч)	9,6±2,8*	9,7±3,3*	7,9±2,4
Пребывание в ОРИТ (сут)	1,6±0,4*	1,46±0,3*	1,25±0,5
Пребывание в стационаре (сут)	10,7±2,1*	12,9±3,5*	9,1±1,4

*– $p < 0,05$ по сравнению с 3 гр.

Полученные нами данные демонстрируют важность измерения тканевой оксигенации в оценке общего состояния перфузии во время анестезии. Связь показателей ТО с исходами критических состояний была продемонстрирована в многочисленных работах. Так, при септическом шоке более низкие показатели StO_2 ассоциируются с нарушениями метаболизма и увеличением летальности [12]. При кардиогенном, геморрагическом и травматическом шоках также наблюдается снижение StO_2 и кислородного резерва периферических тканей, что отражает наличие тяжелой гипоперфузии и коррелирует с тяжестью состояния больного [11,13]. Снижение StO_2 у больных в критических состояниях и после реанимационных мероприятий является предиктором увеличения летальности [23,29,33] и развития полиорганной недостаточности [31]. Есть сообщения об использовании ТО даже на догоспитальном этапе у пациентов после тяжелой сочетанной травмы [32]. Таким образом, ТО является объективным методом контроля периферического кровотока и оксигенации и достоверным предиктором неблагоприятного исхода критического состояния.

Наши данные подтверждают, что низкий уровень StO_2 является неблагоприятным признаком у больных кардиохирургического профиля. Данное утверждение совпадает с выводами Sanders и соавт., которые показали, что у пациентов с сердечно-сосудистой патологией низкие показатели StO_2 во время анестезии являются неблагоприятным прогностическим признаком и предиктором более высокой послеоперационной летальности [16]. Особенно важно то, что снижение тканевой оксигенации является ранним признаком патологических процессов и может выявляться у пациента раньше, чем происходит изменение других мониторинговых показателей [32].

На наш взгляд, одной из причин, затрудняющих интерпретацию показателей ТО, является смешанный характер капиллярного кровотока в мышцах, который на 75% состоит из венозной составляющей [18]. Кроме того, ТО не отражает непосредственно микроциркуляторный кровоток, и это делает интерпретацию абсолютных значений StO_2 еще более сложным. StO_2 отражает баланс между достав-

кой и потреблением кислорода в исследуемом регионе. Поэтому изменения этого показателя могут отражать как собственно изменения микроциркуляторного кровотока, так и/или изменения метаболизма в зоне обследования. Кроме того, одновременные изменения в скорости потока и метаболизме могут приводить к тому, что StO_2 не изменится. Для получения более точной информации требуется проведение функциональных проб. В нашей работе использование ПАО позволило выявить скрытые нарушения тканевой перфузии, которые проявлялись в снижении кислородного резерва.

В практической работе анестезиологу было бы полезно иметь такой инструмент мониторинга, особенно для больных высокого риска. Мониторинг ТО не требует много времени, неинвазивен и нагляден. Дальнейшие исследования позволят определить точные границы нормы тканевой оксигенации и более точно оценить прогностическое значение ее снижения во время анестезии.

Выводы

1. Тканевая оксиметрия может быть полезным инструментом оценки региональной оксигенации во время анестезии
2. Во время анестезии у кардиохирургических больных, оперированных в условиях искусственного кровообращения, происходит снижение тканевой оксигенации
3. Кислородный резерв периферических тканей во время операции также снижается
4. Низкий уровень тканевой оксигенации в предперфузионном периоде может являться предиктором осложнений в раннем послеоперационном периоде

Список литературы

- 1 Петровский Б.В., Соловьев Г.М., Бунятян А.А. Гипотермическая перфузия в хирургии открытого сердца. Издательство «Айастан», Ереван, 1967
- 2 Edmonds H. All cardiac surgical patients should have intraoperative cerebral oxygenation monitoring. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2006 Jun; 20(3): 445-9.
- 3 Fischer G., Lin H., Krol M. et al. Noninvasive cerebral oxygenation may predict outcome in patients undergoing aortic arch surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2011 Mar; 141(3): 815-21.
- 4 Cortez J., Gupta M., Amaram A. Noninvasive evaluation of splanchnic tissue oxygenation using near-infrared spectroscopy in preterm neonates. *J Matern Fetal Neonatal Med.*

- 2011 Apr; 24(4): 574-82.
- 5 Cohn S., Varela J., Giannotti G. Splanchnic perfusion evaluation during hemorrhage and resuscitation with gastric near-infrared spectroscopy. *J Trauma*. 2001; 50: 629-634.
 - 6 Varela J., Cohn S., Giannotti G. Near-infrared spectroscopy reflects changes in mesenteric and systemic perfusion during abdominal compartment syndrome. *Surgery*. 2001; 129: 363-370.
 - 7 Boushel R., Piantadosi C.A. Near-infrared spectroscopy for monitoring muscle oxygenation. *Acta Physiol Scand*. 2000; 168: 615-622.
 - 8 Cohn S., Nathens A., Moore F. et al. Tissue oxygen saturation predicts the development of organ dysfunction during traumatic shock resuscitation. *J Trauma*. 2007; 62: 44-54.
 - 9 Harel F., Denault A., Ngo Q. et al. Near-infrared spectroscopy to monitor peripheral blood flow perfusion. *J Clin Monit Comput*. 2008 Feb; 22(1): 37-43.
 - 10 Jones A., Puskarich M. Sepsis-induced tissue hypoperfusion. *Crit Care Clin*. 2009 Oct; 25(4): 769-79.
 - 11 Crookes B., Cohn S., Bloch S. et al. Can near-infrared spectroscopy identify the severity of shock in trauma patients? *J Trauma*. 2005 Apr; 58(4): 806-13.
 - 12 Payen D., Luengo C., Heyer L. et al. Is thenar tissue hemoglobin oxygen saturation in septic shock related to macrohemodynamic variables and outcome? *Crit Care*. 2009; 13 Suppl 5:S6.
 - 13 Strahovnik I., Podbregar M. Measurement of skeletal muscle tissue oxygenation in the critically ill. *Signa Vitae* 2008; 3(1): 43-50.
 - 14 Kurz A., Sessler D.I., Lenhardt R.A. Study of wound infections and temperature group: perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. *N Engl J Med*. 1996; 334: 1209-15.
 - 15 Ranjan S., Thomson S., Tuccillo M. et. al. Anaesthesia induced changes in tissue saturation in response to vascular occlusion test. *Care Med*. 2009; 35 (Suppl 1):S157.
 - 16 Sanders J., Toor I., Yurik T. et al. Tissue oxygen saturation and outcome after cardiac surgery. *Am J Crit Care*. 2011 Mar; 20(2): 138-45.
 - 17 Soller B., Idwasi P., Balaguer J. et al. Noninvasive, near infrared spectroscopic-measured muscle pH and PO₂ indicate tissue perfusion for cardiac surgical patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Crit Care Med*. 2003; 31: 2324-2331.
 - 18 Backer D., Ospina-Tascon G., Salgado D. et al. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches. *Intensive Care Med*. 2010 Nov; 36(11): 1813-25.
 - 19 Ferrari M., Mottola L., Quaresima V. Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Can J Appl Physiol*. 2004 Aug; 29 (4): 463-87.
 - 20 MacLeod D., Ikeda K., Keifer J. et al. Validation of the CAS adult cerebral oximeter during hypoxia in healthy volunteers. *Anesth Analg* 2006; 102; S-1-S-330.

- 21 MacLeod D., Ikeda K., Moretti E. et al. Using the CAS cerebral oximeter to estimate cerebral venous oxygen saturation. *Anesthesiology*. 2005; 103: A16.
- 22 Creteur J., Carollo T., Soldati G. et al. The prognostic value of muscle StO₂ in septic patients. *Intensive Care Med*. 2007; 33: 1549-56.
- 23 Lima A., van Bommel J., Jansen T. et al. Low tissue oxygen saturation at the end of early goal-directed therapy is associated with worse outcome in critically ill patients. *Crit Care*. 2009;13 Suppl 5:S13.
- 24 Cohn S.M., Nathens A.B., Moore F.A., Rhee P., Puyana J.C. et al. Tissue oxygen saturation predicts the development of organ dysfunction during traumatic shock resuscitation. *J Trauma*. 2007; 62: 44-54.
- 25 Soller B., Yang Y., Soyemi O. et al. Noninvasively determined muscle oxygen saturation is an early indicator of central hypovolemia in humans. *J Appl Physiol*. 2008; 104: 475-481.
- 26 Soller B., Ryan K., Rickards C. et al. Oxygen saturation determined from deep muscle, not thenar tissue, is an early indicator of central hypovolemia in humans. *Crit Care Med*. 2008; 36: 176-182.
- 27 Kragelj R., Jarm T., Miklavcic D. Reproducibility of parameters of postocclusive reactive hyperemia measured by near infrared spectroscopy and transcutaneous oximetry. *Ann Biomed Eng*. 2000 Feb; 28(2): 168-73.
- 28 Kragelj R., Jarm T., Erjavec T. et al. Parameters of postocclusive reactive hyperemia measured by near infrared spectroscopy in patients with peripheral vascular disease and in healthy volunteers. *Ann Biomed Eng*. 2001 Apr; 29(4): 311-20.
- 29 Creteur J. Muscle StO₂ in critically ill patients. *Curr Opin Crit Care*. 2008 Jun; 14(3): 361-6.
- 30 Gomez H., Torres A., Polanco P. et al. Use of non-invasive NIRS during a vascular occlusion test to assess dynamic tissue O₂ saturation response. *Intensive Care Med*. 2008; 34: 1600-1607.
- 31 Cohn S., Nathens A., Moore F. Tissue oxygen saturation predicts the development of organ dysfunction during traumatic shock resuscitation. *J Trauma*. 2007; 62: 44-55.
- 32 von Bergh M. , Madler C. Tissue Oxygen Saturation in the Emergency and Critical Care Setting. *Emergency Medicine & Critical Care* 2008.
<http://www.touchbriefings.com/ebooks/A18oxs/emedcritvol4/resources/23.htm>
- 33 Lima A., van Bommel J., Sikorska K. et al. The relation of near-infrared spectroscopy with changes in peripheral circulation in critically ill patients. *Crit Care Med*. 2011 Jul; 39(7): 1649-54.

References

- 1 Petrovskij B.V., Solov'ev G.M., Bunjatjan A.A. Hypothermic perfusion in open heart surgery. Izdatel'stvo «Ajastan», Erevan, 1967. (in Russian)
- 2 Edmonds H. All cardiac surgical patients should have intraoperative cerebral oxygenation monitoring. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2006 Jun; 20(3): 445-9.
- 3 Fischer G., Lin H., Krol M. et al. Noninvasive cerebral oxygenation may predict outcome in patients undergoing aortic arch surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2011 Mar; 141(3): 815-21.
- 4 Cortez J., Gupta M., Amaram A. Noninvasive evaluation of splanchnic tissue oxygenation using near-infrared spectroscopy in preterm neonates. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2011 Apr; 24(4): 574-82.
- 5 Cohn S., Varela J., Giannotti G. Splanchnic perfusion evaluation during hemorrhage and resuscitation with gastric near-infrared spectroscopy. *J Trauma.* 2001; 50: 629-634.
- 6 Varela J., Cohn S., Giannotti G. Near-infrared spectroscopy reflects changes in mesenteric and systemic perfusion during abdominal compartment syndrome. *Surgery.* 2001; 129: 363-370.
- 7 Boushel R., Piantadosi C.A. Near-infrared spectroscopy for monitoring muscle oxygenation. *Acta Physiol Scand.* 2000; 168: 615-622.
- 8 Cohn S., Nathens A., Moore F. et al. Tissue oxygen saturation predicts the development of organ dysfunction during traumatic shock resuscitation. *J Trauma.* 2007; 62: 44-54.
- 9 Harel F., Denault A., Ngo Q. et al. Near-infrared spectroscopy to monitor peripheral blood flow perfusion. *J Clin Monit Comput.* 2008 Feb; 22(1): 37-43.
- 10 Jones A., Puskarich M. Sepsis-induced tissue hypoperfusion. *Crit Care Clin.* 2009 Oct; 25(4): 769-79.
- 11 Crookes B., Cohn S., Bloch S. et al. Can near-infrared spectroscopy identify the severity of shock in trauma patients? *J Trauma.* 2005 Apr; 58(4): 806-13.
- 12 Payen D., Luengo C., Heyer L. et al. Is the thenar tissue hemoglobin oxygen saturation in septic shock related to macrohemodynamic variables and outcome? *Crit Care.* 2009; 13 Suppl 5:S6.
- 13 Strahovnik I., Podbregar M. Measurement of skeletal muscle tissue oxygenation in the critically ill. *Signa Vitae* 2008; 3(1): 43-50.
- 14 Kurz A., Sessler D.I., Lenhardt R.A. Study of wound infections and temperature group: perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. *N Engl J Med.* 1996; 334: 1209-15.
- 15 Ranjan S., Thomson S., Tuccillo M. et al. Anaesthesia induced changes in tissue saturation in response to vascular occlusion test. *Care Med.* 2009; 35 (Suppl 1):S157.
- 16 Sanders J., Toor I., Yurik T. et al. Tissue oxygen saturation and outcome after cardiac

- surgery. *Am J Crit Care*. 2011 Mar; 20(2): 138-45.
- 17 Soller B., Idwasi P., Balaguer J. et al. Noninvasive, near infrared spectroscopic-measured muscle pH and PO₂ indicate tissue perfusion for cardiac surgical patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Crit Care Med*. 2003; 31: 2324-2331.
 - 18 Backer D., Ospina-Tascon G., Salgado D. et al. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches. *Intensive Care Med*. 2010 Nov; 36(11): 1813-25.
 - 19 Ferrari M., Mottola L., Quaresima V. Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Can J Appl Physiol*. 2004 Aug; 29 (4): 463-87.
 - 20 MacLeod D., Ikeda K., Keifer J. et al. Validation of the CAS adult cerebral oximeter during hypoxia in healthy volunteers. *Anesth Analg* 2006; 102; S-1-S-330.
 - 21 MacLeod D., Ikeda K., Moretti E. et al. Using the CAS cerebral oximeter to estimate cerebral venous oxygen saturation. *Anesthesiology*. 2005; 103: A16.
 - 22 Creteur J., Carollo T., Soldati G. et al. The prognostic value of muscle StO₂ in septic patients. *Intensive Care Med*. 2007; 33: 1549-56.
 - 23 Lima A., van Bommel J., Jansen T. et al. Low tissue oxygen saturation at the end of early goal-directed therapy is associated with worse outcome in critically ill patients. *Crit Care*. 2009;13 Suppl 5:S13.
 - 24 Cohn S.M., Nathens A.B., Moore F.A., Rhee P., Puyana J.C. et al. Tissue oxygen saturation predicts the development of organ dysfunction during traumatic shock resuscitation. *J Trauma*. 2007; 62: 44-54.
 - 25 Soller B., Yang Y., Soyemi O. et al. Noninvasively determined muscle oxygen saturation is an early indicator of central hypovolemia in humans. *J Appl Physiol*. 2008; 104: 475-481.
 - 26 Soller B., Ryan K., Rickards C. et al. Oxygen saturation determined from deep muscle, not thenar tissue, is an early indicator of central hypovolemia in humans. *Crit Care Med*. 2008; 36: 176-182.
 - 27 Kragelj R., Jarm T., Miklavcic D. Reproducibility of parameters of postocclusive reactive hyperemia measured by near infrared spectroscopy and transcutaneous oximetry. *Ann Biomed Eng*. 2000 Feb; 28(2): 168-73.
 - 28 Kragelj R., Jarm T., Erjavec T. et al. Parameters of postocclusive reactive hyperemia measured by near infrared spectroscopy in patients with peripheral vascular disease and in healthy volunteers. *Ann Biomed Eng*. 2001 Apr; 29(4): 311-20.
 - 29 Creteur J. Muscle StO₂ in critically ill patients. *Curr Opin Crit Care*. 2008 Jun; 14(3): 361-6.
 - 30 Gomez H., Torres A., Polanco P. et al. Use of non-invasive NIRS during a vascular occlusion test to assess dynamic tissue O₂ saturation response. *Intensive Care Med*. 2008; 34: 1600-1607.

- 31 Cohn S., Nathens A., Moore F. Tissue oxygen saturation predicts the development of organ dysfunction during traumatic shock resuscitation. *J Trauma*. 2007; 62: 44-55.
- 32 von Bergh M. , Madler C. Tissue Oxygen Saturation in the Emergency and Critical Care Setting. *Emergency Medicine & Critical Care* 2008.
<http://www.touchbriefings.com/ebooks/A18oxs/emedcritvol4/resources/23.htm>
- 33 Lima A., van Bommel J., Sikorska K. et al. The relation of near-infrared spectroscopy with changes in peripheral circulation in critically ill patients. *Crit Care Med*. 2011 Jul; 39(7): 1649-54.