

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение**

**РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ХИРУРГИИ  
имени академика Б. В. Петровского**

*На правах рукописи*

**Гуськов Денис Александрович**

**РЕГИОНАРНАЯ ОКСИМЕТРИЯ ВО ВРЕМЯ КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ  
ОПЕРАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ**

**Специальность 14.01.20 – анестезиология и реаниматология**

**Диссертация**

**на соискание учёной степени**

**кандидата медицинских наук**

**Научный руководитель:**

**доктор медицинских наук**

**Б.А. Аксельрод**

**Москва**

**2018**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. Обзор литературы.....	11
1.1 Распространенность сердечно-сосудистых заболеваний.....	11
1.2 Развитие кардиохирургии и кардиоанестезиологии .....	11
1.3 Температурные режимы искусственного кровообращения.....	12
1.4 Инвазивные методы мониторинга кислородного статуса головного мозга....	13
1.5 История развития оксиметрии.....	14
1.6 Виды оксиметрии. Различия методов оксиметрии.....	17
1.7 Регионарная оксиметрия на современном этапе .....	20
1.8 Регионарная оксиметрия в практике общей и специализированной хирургии и интенсивной терапии.....	22
1.9 Регионарная оксиметрия в кардиоанестезиологии.....	24
1.10 Значение пробы с артериальной окклюзией.....	28
ГЛАВА 2. Материалы и методы.....	29
Клиническая характеристика обследованных пациентов и методы исследования.....	29
2.1 Общая характеристика клинических наблюдений.....	29
2.2 Методы анестезии.....	30
2.3 Методы интраоперационного мониторинга.....	31
2.4 Методика искусственного кровообращения, кардиоплегической защиты миокарда и поддержания температурного режима.....	33
2.5 Методика регионарной оксиметрии.....	34
2.6 Методика интраоперационного забора аутокрови.....	39
2.7 Статистическая обработка полученных результатов.....	40
ГЛАВА 3. Полученные результаты.....	41
3.1 Оценка динамики регионарной оксиметрии и кислородного резерва при различных видах температурного режима искусственного кровообращения.....	41

3.1.1	Динамика кислородного резерва во время операций в группах при различных температурных режимах.....	48
3.1.2	Взаимосвязь церебральной, тканевой оксиметрии и кислородного резерва по этапам операций в зависимости от температурного режима перфузии.....	49
3.2	Оценка динамики тканевой и церебральной оксигенации при заборе аутокрови.....	51
3.3	Оценка динамики тканевой оксигенации и кислородного резерва в зависимости от исходных значений тканевой оксигенации.....	53
3.3.1	Динамика тканевой оксигенации.....	54
3.3.2	Динамика кислородного резерва ткани.....	55
3.3.3	Динамика лактата крови в исследуемых группах.....	58
3.3.4	Роль интраоперационной динамики $StO_2$ в прогнозировании длительности ИВЛ и сроках пребывания пациентов в ОРИТ.....	59
3.4	Оценка влияния инотропных средств и вазопрессоров на динамику церебральной и тканевой оксигенации.....	60
3.5	Сравнение трендов тканевой и церебральной оксиметрии с трендом пульсоксиметрии при операциях с искусственным кровообращением .....	64
ГЛАВА 4. Обсуждение полученных результатов.....		66
4.1	Оценка динамики регионарной оксиметрии и кислородного резерва при различных видах температурного режима искусственного кровообращения.....	66
4.2	Оценка динамики $StO_2$ и $SctO_2$ при заборе аутокрови.....	70
4.3	Оценка динамики $StO_2$ и кислородного резерва в зависимости от исходных значений $StO_2$ .....	72
4.4	Оценка влияния катехоламинов на динамику церебральной и тканевой оксигенации.....	73
4.5	Сравнение трендов тканевой оксиметрии и пульсоксиметрии при операциях с искусственным кровообращением.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		76
Выводы.....		82
Практические рекомендации.....		83

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	86
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА.....	100

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы

В современной анестезиологии приоритетным направлением является безопасность больного во время проведения хирургического вмешательства. Одной из ряда нерешенных на сегодняшний день проблем является своевременная оценка транспорта кислорода, а точнее, оценка эффективности его доставки к органам и тканям, а также анализ адекватности потребления. Особенный интерес эта область представляет в кардиоанестезиологии, где анестезиолог чаще всего сталкивается с быстро изменяющимися показателями гемодинамики и микроциркуляции, которые напрямую влияют на доставку кислорода к органам и тканям, а несвоевременная оценка адекватности регионарной оксигенации может являться причиной неврологических нарушений.

В первую очередь, это связано и использованием искусственного кровообращения, а также действием гипотермии не только на тонус сосудов, но и на клеточные механизмы транспорта кислорода. Существует несколько методик оценки транспорта кислорода. При этом необходимо отметить, что большинство из них отличаются высокой инвазивностью и/или дороговизной.

В настоящее время одним из перспективных показателей транспорта кислорода является регионарная оксиметрия, отражающая содержание кислорода в исследуемом регионе. Регионарную оксиметрию можно разделить, в зависимости от зоны исследования, на: церебральную ( $SctO_2$ ), тканевую ( $StO_2$ ), висцеральную. На сегодняшний день оксиметрический анализ проводится с помощью технологии ближней инфракрасной спектроскопии (БИКС; near-infrared spectroscopy (NIRS)). Даная методика отличается своей неинвазивностью, простотой использования, возможностью анализа данных в режиме реального времени.

Применение церебральной оксиметрии нашло широкое распространение в клинической практике и, что особенно важно, в кардиоанестезиологии [9; 47; 53]. Тканевая оксиметрия играет существенную роль в оценке нарушений

микроциркуляции и тканевой перфузии. Так, например, оценка  $StO_2$  успешно используется при различных видах шока, например: септический, кардиогенный, геморрагический и травматический [41; 88; 109], а также у больных, находящихся в критических состояниях. В последнее время в медицинской литературе появляются сообщения об использовании обозначенного метода в таких областях хирургии, как хирургия позвоночника и микрохирургия [6; 12; 20]. Снижение показателя тканевой оксигенации может происходить у пациентов несколько раньше, чем могут быть обнаружены нарушения гемодинамики по данным иных методов контроля [120]. Тканевая оксигенация, кроме информации о балансе доставки и потребления кислорода, отражает кровоток в сосудах микроциркуляторного русла и во многом зависит от реактивности и тонуса микрососудов.

Именно поэтому оксигенация периферических тканей во время сердечно-сосудистых операций может нести важную информацию для кардиоанестезиолога, хотя прогностическое значение тканевой оксигенации на текущий момент недостаточно изучено. Проведенные единичные исследования показали, что при анестезиологическом обеспечении в кардиохирургии показатель тканевой оксигенации снижается на протяжении операции с искусственным кровообращением (ИК) и сохраняется сниженным в раннем послеоперационном периоде. Следует указать на то, что в этих работах  $StO_2$  анализировалась изолированно [103; 104].

### **Степень разработанности темы исследования**

В настоящее время не опубликовано работ, анализирующих одновременные изменения церебральной и тканевой оксиметрии при кардиохирургических операциях, не изучена клиническая значимость мониторинга  $StO_2$  при операциях с искусственным кровообращением в условиях различных температурных режимов. Нет описания динамики тканевой оксиметрии при нормоволемической гемодилюции, которая сопровождает оперативные вмешательства на сердце и

аорте в условиях ИК (искусственного кровообращения). Кроме того, не определена роль тканевой оксиметрии в прогнозе послеоперационных осложнений. Недостаточная степень исследованности, анализа и оценки возможностей практического использования обозначенной методики послужили основанием для выполнения настоящей исследовательской работы.

**Цели исследования:** обосновать и внедрить параллельный мониторинг тканевой и церебральной оксиметрии для объективной оценки регионарной оксигенации и кислородного резерва при кардиохирургических операциях в условиях искусственного кровообращения.

**Задачи исследования:**

1. Провести одновременный оксиметрический мониторинг и анализ динамики тканевой и церебральной оксигенации во время операций на сердце и аорте, выполняемых в условиях искусственного кровообращения при различных температурных режимах.
2. Изучить значение пробы с артериальной окклюзией, для оценки кислородного резерва при операциях в условиях искусственного кровообращения.
3. Провести анализ взаимосвязи показателей регионарной оксиметрии и гомеостаза во время аутогемоксфузии при операциях с искусственным кровообращением.
4. Проанализировать значения показателей регионарной оксиметрии для прогнозирования течения послеоперационного периода.
5. Исследовать влияние норадреналина и допамина на тканевую и церебральную оксигенацию.

### **Научная новизна**

1. В представленном исследовании впервые изучена параллельная динамика церебральной и тканевой оксигенации в интраоперационном периоде при оперативных вмешательствах на сердце и аорте в условиях ИК при различных температурных режимах.

2. Проведена сравнительная оценка информативности тканевой оксигенации с результатами использования пробы с артериальной окклюзией в периоперационном периоде.

3. Изучена взаимосвязь церебральной и тканевой оксигенации с волевическим статусом, влияние нормоволевической гемодилюции на тканевую оксигенацию.

4. Определена прогностическая значимость тканевой оксигенации в отношении течения раннего послеоперационного периода при операциях с искусственным кровообращением.

### **Практическая значимость**

1. Рекомендовано использовать многоканальную оксиметрию для дополнительной оценки эффективности гемодинамики.

2. Предложено использование тканевой оксиметрии и церебральной оксиметрии для оценки адекватности и безопасности забора аутокрови у кардиохирургических пациентов.

3. Динамика изменений тканевой оксиметрии предложена как один из критериев прогнозирования особенностей течения раннего послеоперационного периода.

4. Регионарная оксиметрия предложена как дополнительный метод контроля оксигенации в случае отсутствия возможности использования традиционной пульсоксиметрии во время искусственного кровообращения.



### **Личный вклад автора**

Автор лично производил поиск, перевод и систематизацию литературы по теме научной работы. Автором проведены и дополнены методики исследования, выполнен сбор и анализ клинических данных, статистическая обработка результатов, осуществлено написание и оформление диссертационной работы. Анестезиологическое обеспечение пациентов, вошедших в исследование, осуществлено автором лично.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Параллельный мониторинг тканевой и церебральной оксигенации является новым объективным показателем транспорта кислорода и кислородного резерва при кардиохирургических операциях с искусственным кровообращением при различных температурных режимах.

2. Проба с артериальной окклюзией является информативным методом контроля показателя кислородного резерва тканей.

3. Тканевая и церебральная оксиметрия является дополнительным объективным критерием оценки безопасности нормоволемической гемодилюции.

4. Исходный уровень и интраоперационная динамика тканевой оксигенации имеет прогностическое значение для оценки течения послеоперационного периода.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Степень достоверности определяется и подтверждается достаточным количеством наблюдений вошедших в исследования (126 пациентов), соответствующими поставленным целям, адекватными и современными методами исследования, статистической обработкой данных.

*Автор выражает благодарность директору ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского» академику Юрию Владимировичу Белову за предоставленные условия для работы над диссертацией. Руководителю отдела анестезиологии и реанимации академику Армену Артаваздовичу Бнятяну за понимание и поддержку.*

*Особо благодарит и выражает признательность своему научному руководителю, руководителю отделения анестезиологии и реанимации 2, доктору медицинских наук Борису Альбертовичу Аксельроду за помощь, понимание, терпение и содействие в осуществлении научной работы и практической деятельности.*

*Отдельные слова благодарности автор выражает доктору медицинских наук, профессору Нине Александровне Трековой за помощь, поддержку, понимание, отзывчивость и мудрые советы в процессе работы над диссертацией, за предоставленные условия для успешной деятельности.*

*Автор благодарит к.м.н. Михаила Никитовича Селезнева и к.м.н. Владислава Михайловича Крайника за подсказки в оформлении и исправлении диссертационной работы.*

*Автор выражает признательность кардиохирургическим отделениям за предоставление возможности проведения исследовательской работы.*

*Слова благодарности отделениям и службам, обеспечивающим проведение оперативных вмешательств в кардиохирургии, за участие, предоставление материала и помощь в исследованиях: отделению интраоперационной диагностики, отделению искусственного кровообращения.*

*Автор высоко ценит и благодарит за обучение методам статистики и статистической обработки данных: Алевтину Викторовну Гончарову – врача отделения научно-клинической лаборатории.*

*В заключении, автор выражает признательность и благодарность всему коллективу отделения анестезиологии и реанимации 2 за помощь и поддержку.*

## ГЛАВА 1

### Обзор литературы

#### 1.1 Распространенность сердечно-сосудистых заболеваний

В последние годы мировая и отечественная статистика свидетельствуют, что распространенность сердечно-сосудистой патологии постоянно увеличивается. В 2016 году в РФ было зарегистрировано 34 640 888 случаев заболеваний системы кровообращения, а смертность от данной патологии в нашей стране, по данным Федеральной службы государственной статистики, только за период с января 2016 по июнь 2017 года превысила 61 000 трудоспособного населения. По данным ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), Российская Федерация занимает первое место по показателям смертности от сердечно-сосудистых заболеваний среди экономически развитых стран. Приведенные факты и цифры диктуют необходимость улучшения как профилактики, так и лечения такого рода патологии.

#### 1.2 Развитие кардиохирургии и кардиоанестезиологии

История кардиохирургии насчитывает более 120 лет – если за точку отсчета взять 1896 год, когда в ходе операции Людвиг Рен (Ludvig Rehn), немецкий хирург, впервые успешно ушил рану правого желудочка [98]. Хирурги Э. Катлер и К. Бек (E. Cutler и C. S. Beck) в 1923 году провели первую успешную операцию по переводу митрального стеноза в недостаточность. А в 1944 г. К. Крауфорд (C. Crawford) сообщает об успешной резекции коарктации аорты. В 60-х годах XX века в практику сердечной хирургии внедряется методика искусственного кровообращения (ИК), хотя самая первая успешная операция в условиях ИК на открытом сердце датируется 6 мая 1953 года. Ее произвел кардиохирург из США Джон Гиббон (John Gibbon). И в настоящее время большинство оперативных вмешательств при сердечно-сосудистой патологии проводится в условиях искусственного кровообращения [121]. Выполнение первых операций на

открытом сердце относится к середине XX века [108]. С этого момента начинается активное развитие кардиохирургии, а следовательно, и кардиоанестезиологии. Примерно в то же время получила распространение практика оперативных вмешательств на сердце в условиях гипотермии. Родоначальником методики является Д. Льюис (J. Lewis), который в 1952 г. произвел ряд успешных операций в условиях гипотермии, когда температура тела составляла 26–28 °С. И уже с начала 1960-х годов гипотермию в основном используют в сочетании с искусственным кровообращением [3; 14; 99; 100].

В РНЦХ им. академика Б. В. Петровского за 2016–2017 гг. было выполнено 1052 операции с ИК. В литературе широко описана проблема возникновения системного воспалительного ответа, который сопровождает операции в условиях искусственного кровообращения [11; 13], который, в свою очередь, наносит вред транспорту кислорода как во время оперативных вмешательств, так и после них. Большую роль в этом аспекте играет температурный режим, при котором проводится ИК.

### **1.3 Температурные режимы искусственного кровообращения**

Гипотермия рассматривается как один из способов защиты органов и тканей при проведении искусственного кровообращения [8; 39].

Использование методики оперативных вмешательств в условиях гипотермии, а следовательно, и исследования в этой области продолжают уже более 60 лет, однако вопрос выбора температурного режима до сих пор актуален. До недавнего времени большинство перфузий проводилось при достаточно низкой температуре тела пациента, а именно 28–26 °С. С начала XXI века наблюдается тенденция к переходу к более высоким температурам во время искусственного кровообращения – до 32–34 °С (тепловая перфузия) и все большему приближению к показателям нормальной температуры тела человека, т. е. 36–37 °С [4]. Несмотря на то, что гипотермия снижает потребность органов и

тканей в кислороде, она, в свою очередь, может явиться и причиной нарушения утилизации кислорода тканями [38; 42].

#### **1.4 Инвазивные методы мониторинга кислородного статуса головного мозга**

Показатель насыщения крови кислородом в луковиче яремной вены ( $S_{jv}O_2$ ) свидетельствует о балансе между доставкой кислорода к тканям мозга и его потреблением тканями мозга, что дает возможности своевременной диагностики церебральной гипоперфузии [73; 123]. По данным специальной медицинской литературы, примерно у 10 % пациентов встречаются аномалии расположения или конфигурации внутренней яремной вены, кроме того, она может отсутствовать или диагностируется ее окклюзия. Подобные обстоятельства могут являться причиной технических трудностей ее пункции и катетеризации, а также приводить к осложнениям этой манипуляции [43; 72]. Известно, что кровь, находящаяся в луковиче яремной вены, оттекает и от одного и от другого полушария головного мозга, причем, примерно 70% составляет кровь от ипсилатерального и 30% от контралатерального полушария. У преобладающего числа пациентов доминантной стороной венозного оттока является правая сторона [25]. Сатурация крови в яремной вене в норме составляет 55–75 % и отличается от данного показателя смешанной венозной крови в меньшую сторону [56]. Следует подчеркнуть, что  $S_{jv}O_2$  характеризует глобальную церебральную оксигенацию и имеет низкую чувствительность к определению областей ишемии незначительных по объему [92]. Пункция внутренней яремной вены и проведение катетера в луковичу внутренней яремной вены может сопровождаться рядом осложнений, таких как: случайная пункция сонной артерии, повреждение нервов, непреднамеренный пневмоторакс, различные инфекционные осложнения а кроме этого и тромбоз [107]. Наличие технических проблем, связанных с нарушением техники катетеризации внутренней яремной вены и расположением

катетера, а также множество артефактов заметно ограничивают широкое использование и распространение вышеуказанной методики в клинической практике [77]. Кроме того, в эксперименте было показано, что изменения в значениях  $SjvO_2$  не всегда предполагают поражения головного мозга [45; 101]. Все вышеизложенные факты являются достаточным объяснением, почему инвазивный метод мониторинга кислородного статуса головного мозга имеет ограничения и не распространен в рутинной практике.

### **1.5 История развития оксиметрии**

Возникновение метода оксиметрии для измерения кислородного насыщения крови относится к середине XIX века и связана с именем И.М. Сеченова. Этот русский ученый впервые изобрел вакуумный «кровяной насос», с помощью которого можно было извлечь и исследовать газы крови [15]. По существу это дало начало новому направлению в физиологии дыхания – физиологии кислородтранспортной функции крови.

Еще в начале XX века, а именно в 20-х годах, были сделаны первые шаги в попытках анализировать не артериальную, а капиллярную (артериализированную) кровь, забранную из участков с хорошо развитой капиллярной сетью, например, подушек пальцев или мочки уха. Примером может служить получение крови с помощью иглы Франка из согретого пальца. Ученые, проводившие неоднократные исследования, показали, что различия в содержании оксигемоглобина в артериальной и артериализированной капиллярной крови в 90 % наблюдений не превышают разницы в 5 % [70; 94]. Несмотря на существенное уменьшение инвазивности этого метода исследования, все-таки не удавалось полностью преодолеть его недостатки.

Однако более перспективной оказалась другая методика. Спектральные свойства и характерные спектры поглощения излучения с различной длиной волны растворов гемоглобина, его оксигенированной формы - оксигемоглобина, а, также, его производных (карбоксигемоглобина, метгемоглобина и

сульфгемоглобина) в визуализируемой части спектра были уже известны и досконально, по тому времени, изучены многими исследователями. Согласно работам Карла Виерордта (K. Vierordt), которые являются фундаментальными в области физиологии крови, поток красного света, который проходит через кисть руки, имеет тенденцию к ослабеванию после наложения на конечность жгута. Позднее Хюфнер (1900) рассчитал объем кислорода, который может присоединить 1 г гемоглобина, эта константа получила название «число Хюфнера» (или «число Гюфнера») [119].

Впервые фотоэлектрический метод был применен в Германии в 30-х годах XX века [74; 85]. На протяжении двух десятилетий приборы и их технические возможности совершенствовались, что позволяло находить всё новые и новые варианты измерений. В 50-х годах XX века, когда произошел резкий прорыв в развитии электронно-вычислительной техники, стала доступна новая технология, отличная от абсорбционной. В это время, параллельно с изучением абсорбционной (основанной на измерении поглощения света) технологии оксиметрии, велись работы по поиску и исследованию новых возможностей определения содержания гемоглобина, насыщенного кислородом, на физическом принципе отражения световых волн – так называемая отражательная технология. Модели оксиметров, работающих по принципу отражательных, были впервые сконструированы Р. Бринкманом (R. Brinkmann) в 1949 г. [29]. С 1950 года началось серийное производство отражательных оксиметров фирмой «Кипп» (Голландия). Из-за характерного вида конструкции с датчиками, которая устанавливалась на середину лба пациента, прибор получил соответствующее название «Циклоп». А уже в следующем 1951 году в Швейцарии А. Бульман (A. Buhlmann) сконструировал совершенный, для того времени, отражательный оксиметр, использующий математическую формулу для вычисления отношения поглощения в двух, различающихся между собой, волновых диапазонах [30]. Нововведение заключалось в том, что этот расчетный показатель практически

не имел зависимости от количественного значения уровня гемоглобина в крови, это и дало возможность использовать прибор у больных с анемией.

В начале 70-х годов XX века специализирующейся на разработке медицинского оборудования японской компанией Nihon Kohden Corporation проводились работы по изучению в инфракрасном свете пульсации артериальной крови в ушной раковине. Было установлено, что именно пульсации сигнала несут информацию о насыщении артериальной крови кислородом [22].

В отличие от пульсовых оксиметров, которые дают информацию только о насыщении кислородом артериальной крови и только в моменты систолического заполнения артерий кровью, современные тканевые оксиметры способны выполнять измерения и в других участках микроциркуляторного русла.

Сегодня развитие метода оксиметрии идет в направлении уменьшения влияния всевозможных факторов, например, помех, создаваемых движением пациента на точность измерения. На сегодняшний день, в медицинской практике применяются, кроме пульсовых, и другие виды оксиметров, которые не используют эффект пульсации артериальной крови. В настоящее время такая технология используется для производства церебральных оксиметров и оксиметров для внутривенных катетеров на основе оптоволоконных технологий. Так, Ф. Джобсисом (F. Jobsis) в 1977 г. была опубликована фундаментальная работа «Неинвазивный инфракрасный мониторинг церебрального и миокардиального кислородного насыщения, параметров циркуляции крови» [62]. Где ученый изложил основные принципы метода спектроскопии в диапазоне ближнего инфракрасного света. Ф. Джобсис установил, что инфракрасный свет диапазона, пограничного с видимым, слабо поглощается тканями, и предположил, что это может быть использовано для неинвазивного просвечивания тканей головного мозга. Практическим и очень важным результатом этой теории стала разработка мониторов кислородного насыщения крови в мозговой ткани – так называемых церебральных оксиметров, а позже и тканевых.

Принцип БИКС – ближней инфракрасной спектроскопии (в англоязычной



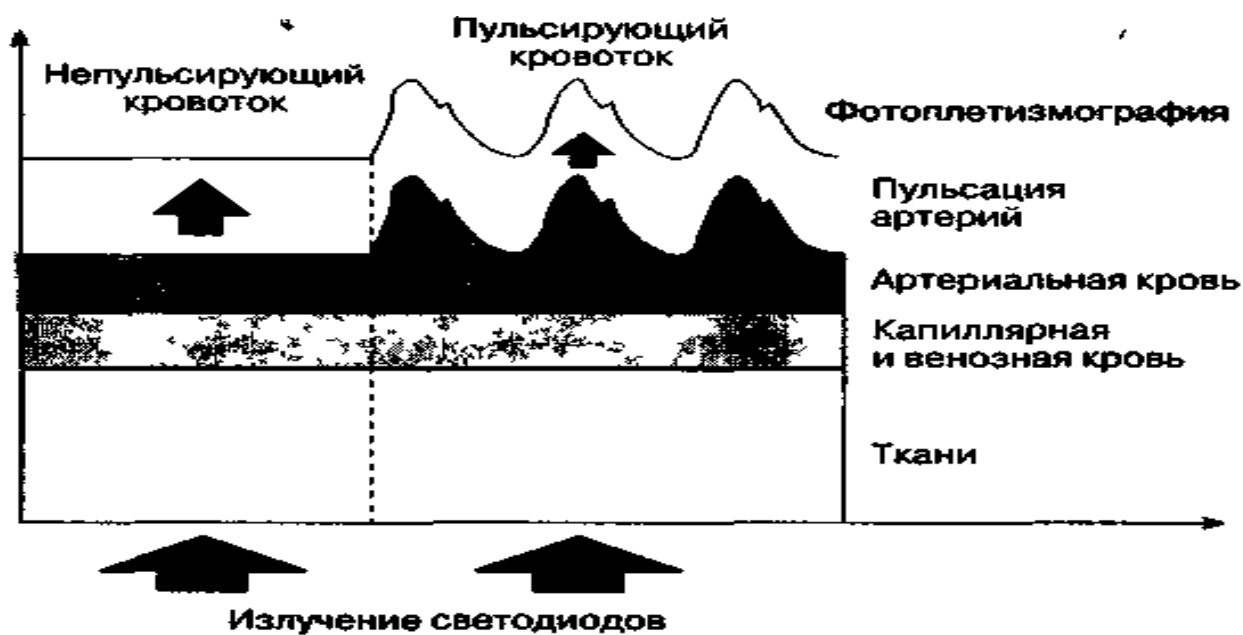
аббревиатуре NIRS – Near-infrared spectroscopy) основан на факте того, что инфракрасный свет легко проходит через кожу, подкожно-жировую клетчатку и/или кости черепа и имеет способность поглощаться биологическими соединениями (молекулами) в головном мозге на основании закона Бугера – Ламберта – Бера – физическому закону, который определяет ослабление параллельного монохроматического пучка света при распространении его в поглощающей среде.

### **1.6 Виды оксиметрии. Различия методов оксиметрии**

В наши дни анестезиолог ежедневно использует в своей практике пульсовую оксиметрию. Основу метода пульсоксиметрии составляет измерение поглощения света определенной длины волны гемоглобином крови [21]. Излучающие и принимающие датчики располагаются с противоположных сторон, друг напротив друга. Для проведения исследования источник света и фотодетектор закрепляют в местах, называемых в практике «тонкими частями тела»: на пальце, мочке уха, крыле носа.

Поскольку измерение производится путем просвечивания тканей, то есть прохождения сквозь них светового потока, метод получил название «трансмиссионная пульсоксиметрия» [21].

Схематическое изображение принципа трансмиссионной пульсоксиметрии представлено на Рисунке 1.



[Шурыгин И. А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. СПб.: «Невский диалект»; М.: «Издательство БИНОМ», 2000. – 301. стр. 16]

### **Рисунок 1 – Принцип трансмиссионной пульсоксиметрии**

Одним из условий достоверности измерений и показаний пульсового оксиметра является наличие фотоплетизмограммы (ФПГ). При рассмотрении формы кривой полученного сигнала ФПГ можно определить ее фрагменты, которые соответствуют периоду выброса сердца в фазу систолы. Считается, что на пике систолического выброса создаются условия для более точного измерения насыщения артериальной крови кислородом. Измерение абсорбции или поглощения света производится в моменты максимальной амплитуды кривой (момент систолического выброса), то есть в моменты максимума амплитуды сигнала датчика для двух длин волн излучения. При длине волнового излучения равной 660 нм (красная область) гемоглобин поглощает примерно в 10 раз больше света, чем его оксигенированная форма (оксигемоглобин), а на волне с длиной излучения равной 940 нм (инфракрасная область) – поглощение оксигемоглобина больше, чем гемоглобина. Это и определяет необходимость применения в датчике двух излучателей, обладающих спектральными характеристиками, различающимися между собой [10]. Как уже упоминалось,

для данного метода необходимы участки тела, на которых датчики можно расположить друг напротив друга – например, на пальце или мочке уха. Если датчик слишком сильно сдавливает область, на которой он располагается (палец или, как альтернатива, - мочка уха), то, соответственно, происходит нарушение оттока крови от тканей, то в сложившейся ситуации пульсовая волна кровотока по артериям может накладываться на венозный кровоток. Пульсоксиметр не способен сделать отличие между пульсацией артерий и вен, в следствии чего начинает включать в расчет абсорбцию света венозной кровью, закономерно, занижая результат[21]. Этот нюанс необходимо иметь в виду при установке датчика.

Артефактное занижение  $SpO_2$  (сатурации капиллярной крови) может происходить и при выраженной вазодилатации, когда артериолы перестают сглаживать периферический кровоток и пульсации крови достигают венул. Еще одна вероятная причина пульсации вен, влияющей на точность работы пульсоксиметра, – недостаточность трикуспидального клапана, при которой каждое сокращение правого желудочка сопровождается регургитацией крови в венозную систему [21]. Но несмотря на это, использование этого метода пульсоксиметрии рекомендуется и входит в международные стандарты мониторинга [78].

Принцип работы тканевого оксиметра, исходя из фундаментальных основ, сопоставим с принципом пульсоксиметрии, но имеет некоторые отличия. Во-первых, тканевые и церебральные оксиметры используют определенные длины световых волн, ориентированных не только на оксигемоглобин, но и на дезоксигемоглобин. Во-вторых, для работы тканевых оксиметров не требуется ФПГ и пульсирующего кровотока. Точкой измерения служат сосуды микроциркуляторного русла, располагающиеся в паренхиматозных органах и других тканях. И в-третьих, принцип работы самого датчика тканевого и церебрального оксиметров, в отличие от пульсоксиметрии, основан на использовании отраженной оксиметрии.

### 1.7 Регионарная оксиметрия на современном этапе

На современном этапе в оксиметрии активно развивается использование лазерных оптических технологий. Так, абсолютный церебральный оксиметр FORE-SIGHT создан на основе лазерной оптической технологии с длинами параинфракрасных лазерных световых волн, расположенных в четырех диапазонах (690, 780, 805 и 850 нм). Применение подобной мониторинговой техники, по мнению некоторых авторов, обеспечивает измерение насыщенности ткани мозга ( $\text{SctO}_2$ ) и других периферических тканей ( $\text{StO}_2$ ) кислородом с большой точностью [111].

Суть метода работы оптического церебрального оксиметра заключается в том, что оксигенированный и дезоксигенированный гемоглобин поглощают свет с разной длиной волны. Диапазон волн, в котором происходит анализ параметров, расположен в пределах 690–850 нм. В указанном диапазоне волнового излучения поглощение проходящего пучка света за счет других биологических соединений и тканей – таких как кожа и костные структуры, молекулы воды, соединения липидов, – имеет более низкое значение, и эти соединения и анатомические образования, как правило, отличаются сниженной способностью к поглощению спектра в отличие и в сравнении с Hb (гемоглобином) и HbO<sub>2</sub> (оксигенированным гемоглобином) [75]. Сигнал тканевого оксиметра распространяется согласно закону Бугера – Ламберта – Бера и отражает информацию о сосудах диаметром менее 1 мм [24]. Известно, что соотношение артериальной и венозной крови в коже и мышечной ткани (применительно к нашему исследованию это мышцы предплечья) составляет 25/75 % [19; 24]. Другими словами, прибор измеряет локальную концентрацию гемоглобина, что является отражением сатурации в исследуемом регионе [50]. Аппарат при помощи усилителей, в которые встроены источники лазерного излучения, посылает сигнал через одноразовый датчик, находящийся на коже пациента. Регистраторы отраженного светового диапазона в датчике располагаются на

расстоянии 1,5 и 5 см от источника лазерного излучения – технически это обеспечивает отсеивание света, отраженного от кожи и подкожных структур, в том числе и костей черепа, при анализе церебральной оксиметрии, а значит, данное расположение датчиков помогает исключить дополнительное влияние на результаты измерения.

Далее, при помощи программного обеспечения, встроенного в аппарат, происходит вычисление значений [84]. Значением регионарной оксигенации является отношение оксигенированного ( $\text{HbO}_2$ ) гемоглобина к дезоксигенированному ( $\text{Hb}$ ) гемоглобину, это отношение выражается в формуле:

$$\text{StO}_2 = (\text{HbO}_2 / (\text{HbO}_2 + \text{Hb})) \times 100 \%. \quad (1)$$

Вследствие того, что основной объем крови в мозге составляет венозная кровь, церебральная оксиметрия осуществляет преимущественно измерения кислородного насыщения именно венозной крови во фронтальной области. Ишемия, причиной которой является снижение объемного кровотока в тканях, или гипоксия, связанная со снижением содержания кислорода в притекающей артериальной крови, приводит к увеличению его экстракции с соответствующим последующим снижением содержания кислорода в венозной крови. Таким образом, показатели регионарной оксиметрии, а именно церебральной оксиметрии ( $\text{SctO}_2$ ) отражают баланс между доставкой и потреблением кислорода головным мозгом [47; 48; 83; 126].

Технология БИКС неинвазивна, обеспечивает измерения в реальном времени, экономична, возможна у постели пациента и легко воспроизводима и поэтому пригодна и доступна для использования в клинических условиях [124]. С определенной точки зрения приведенная технология уникальна, поскольку данный тканевой оксиметр обеспечивает измерения на уровне артериол, капилляров и венул [68] в глубине ткани. Это отличает ее как от доплерографии, которая путем визуализации исследует более крупные кровеносные сосуды, так и от лазерной доплеровской флоуметрии, которая измеряет поверхностные кровеносные сосуды. В дополнение следует указать на то, что методы

визуализации – такие как магнитно-резонансная томография (МРТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и радиография – зависят от использования ионизирующего излучения, а некоторые из них и от применения контрастных препаратов. Кроме того, эти методики ограничены для применения в интраоперационный период.

Немаловажным фактором является то, что метод тканевой оксиметрии с помощью технологии БИКС разрешен к применению у детей. На сегодняшний день регионарная оксиметрия широко используется в качестве ее частного примера – церебральной оксиметрии, но особенно перспективным направлением является тканевая оксиметрия, которая в первую очередь может быть реализованная на скелетных мышцах [27; 50; 81; 114].

### **1.8 Регионарная оксиметрия в практике общей и специализированной хирургии и интенсивной терапии**

Регионарная оксиметрия, а именно ее частный пример – церебральная оксиметрия, применяется на сегодняшний день во многих областях специализированной хирургии.

Наибольшее распространение церебральная оксиметрия нашла в нейрохирургии, где любые изменения, происходящие с тканью головного мозга, могут иметь решающее значение. В области нейрохирургии проводились исследования, в которых оценивали показатели церебральной оксиметрии при операциях резекции артериовенозных мальформаций. Церебральная оксиметрия в данном примере отражает снижение концентрации оксигенированного гемоглобина и может являться критерием благополучия [23; 32].

В абдоминальной хирургии была отмечена взаимосвязь между показателями церебральной оксигенации и наличием делирия как послеоперационного осложнения. Так, пожилые пациенты с послеоперационным делирием имели во время хирургического вмешательства, показатели церебральной оксигенации более низкие чем пациенты без психомоторного

возбуждения [80].

В торакальной хирургии достаточно часто (примерно в половине наблюдаемых случаев) отмечаются эпизоды снижения показателей церебральной оксиметрии, которые могут достигать более 80 % от исходного уровня [113], такие же данные мы видим в публикациях других авторов – в аспекте эффектов однолегочной вентиляции [59].

Методика абсолютной тканевой оксиметрии нашла свое применение и для исследования церебральной ауторегуляции в трансплантологии, в частности, при операциях трансплантации печени [86; 127], при этом исследователями было показано, что церебральная оксигенация понижается в значительной степени при одном из основных и продолжительных по времени этапам этих операций – этапе пережатия нижней полой вены [89].

В офтальмохирургии применение методики помогло выявить, что сразу после перibuльбарной анестезии наблюдается тенденция к некоторому снижению  $SctO_2$  [54].

При вмешательствах, относящихся к ортогнатической хирургии, оксиметрия зафиксировала, что понижение среднего артериального давления до 60 мм рт. ст. сопровождалось изменением показателей  $SctO_2$  на 5 % в сторону уменьшения [35].

При использовании церебральной оксиметрии в травматологии обнаружена связь с индексом массы тела, а именно было продемонстрировано: чем выше индекс массы тела, тем чаще происходит снижение ЦО (церебральной оксигенации) [95].

В работе Г. Пападопулоса (G. Papadopoulos) и соавторов не было установлено различий между уровнем церебральной оксигенации у пациентов, в зависимости от того, общую или спинальную анестезию им проводили [87].

Из общих наблюдений следует отметить, что длительность пребывания в стационаре пациентов с эпизодами снижения церебральной оксигенации увеличивалась [33; 34]. Длительность снижения оксигенации головного мозга

менее 65 % имеет корреляцию с частотой возникновения послеоперационной когнитивной дисфункции (ПОКД) [112].

Тканевая оксиметрия пока еще не нашла такого же широкого применения, как церебральная. До недавнего времени тканевая оксиметрия чаще всего использовалась в отделениях реанимации и интенсивной терапии при различных сопровождающихся выраженными нарушениями тканевой перфузии и микроциркуляции состояниях – таких как септический, кардиогенный или геморрагический шок [37; 41; 88; 109]. Ряд авторов приводит доказательства того, что при септических состояниях шунтирование микроциркуляторного русла создает мнимое благополучие со стороны нормальных показателей  $SvO_2$ , одновременно с этим регистрируется снижение показателей тканевой оксигенации. В работах доказано, что терапия, направленная на нормализацию показателя  $SvO_2$ , не приводила к улучшению результатов выживаемости [5; 46;]. В других работах обсуждается, что тканевая оксигенация у пациентов в критических ситуациях может снижаться раньше, чем проявляются изменения гемодинамики [66; 120]. Есть работы, посвященные тканевой оксиметрии как предиктору осложнений при травматических шоках [93].

В последнее время появляются сообщения отечественных специалистов об использовании метода тканевой оксиметрии в таких областях хирургии, как хирургия позвоночника, микрохирургия и, что достаточно интересно, – стоматология в педиатрии [6; 12; 20]. Это обусловлено интересом к оценке микроциркуляции в трансплантируемых тканях, а указанная методика опосредованно способна давать информацию об этом.

### **1.9 Регионарная оксиметрия в кардиоанестезиологии**

Церебральная оксиметрия в настоящее время применяется и в кардиоанестезиологии [9; 47; 53; 125]. Проведены исследования в динамике церебральной оксиметрии при АКШ (аортокоронарном шунтировании) на работающем сердце, где анализировались эффекты разных видов анестезии. Так,



например, при операциях реваскуляризации миокарда на работающем сердце ингаляционная анестезия с применением анестетика - севофлурана в сравнительном аспекте с тотальной внутривенной анестезией на основе пропофола обеспечивает улучшение оксигенации головного мозга и способна уменьшить или предотвратить нежелательные изменения когнитивных функций через 5 суток после операции [7].

В работах ряда авторов обсуждается вопрос дооперационного уровня церебральной оксигенации, а именно, что ее низкие исходные уровни могут быть предикторами послеоперационной смертности в 30-дневный и однолетний срок [60]. Кроме того, низкие дооперационные уровни мозговой оксиметрии могут независимо предсказать послеоперационный делирий у пациентов, оперированных в условиях искусственного кровообращения [97]. Многие сообщения свидетельствуют о том, что церебральная оксиметрия является чувствительным индикатором раннего диагноза потенциально опасных ситуаций, таких как окклюзия верхней полой вены [58; 117]. Есть указания на роль церебральной оксиметрии в диагностике и оценке массивной воздушной эмболии головного мозга [51] или на кислородное голодание головного мозга во время искусственного кровообращения [90]. Коллектив авторов во главе с Д. Слэйтером (J. Slater) в своем исследовании показали, что предпринимаемые меры по улучшению сатурации головного мозга, снизившейся на 20 % от исходного уровня во время ИК, не дали положительных эффектов как на динамику оксигенации, так и на послеоперационные результаты [102]. Вопреки этому исследованию Д. Муркин (J. Murkin) с соавторами продемонстрировали, что искусственное поддержание SctO<sub>2</sub> на уровне около 75 % привело к меньшему количеству послеоперационных осложнений, снижению летальности и уменьшению времени пребывания в стационаре [82]. Кроме того, у групп больных с зарегистрированной с помощью церебральных оксиметров выраженной десатурацией ткани головного мозга увеличивалась продолжительность госпитализации [102]. В наблюдательном исследовании Г.

Фишера (G. Fisher) и соавторов были продемонстрированы схожие результаты: у пациентов, которым выполнялись оперативные вмешательства на аорте в условиях гипотермической перфузии и остановки деятельности сердца, длительность снижения церебральной сатурации менее безопасных пороговых значений коррелировала со временем послеоперационной ИВЛ (искусственной вентиляции легких), длительностью пребывания в ОРИТ (отделении реанимации и интенсивной терапии) и продолжительностью нахождения в стационаре, то есть длительностью госпитализации. Кроме того, было выявлено, что при увеличении на 10 лет возраста пациента, риск подобных осложнений имеет тенденцию к увеличению, а, именно - удваивается. Это дает основание полагать, что пожилые пациенты более уязвимы и зависимы от влияния церебральной ишемии. По данным авторов, существенно увеличивалась стоимость лечения пациентов, у которых был зарегистрирован эпизод снижения церебральной оксигенации менее 60 % в течение более 30 минут [53]. Одни из последних исследований показали, что применение специальных протоколов лечения и профилактики эпизодов десатурации тканей мозга дает положительные результаты [44; 110]. Другим актуальным предметом полемики современных исследователей является вопрос поддержания среднего перфузионного давления во время искусственного кровообращения выше 50 мм рт. ст. Достаточно часто для этого применяются вазоконстрикторы, например альфа-адренергический препарат – фенилэфрин. В результате такой фармакологической терапии перфузионное давление увеличивается, в то время как показатели церебральной оксиметрии снижаются [106]. Однако нельзя упускать из вида оппонированные замечания о спорных эффектах системных вазоконстрикторов на значения церебральной оксиметрии при искусственном кровообращении – эта сторона вопроса также обсуждалась в медицинской периодике [110].

С позиции кардиоанестезиологии вызывает интерес возможность использования тканевой оксиметрии для мониторинга оксигенации периферических ( $StO_2$ ), прежде всего мышечных тканей [40]. Правомерность

такого использования данной методики была доказана как в эксперименте [36; 118], так и в клинике. Р. Баушел и С. Пиантадоси (R. Boushel, C. Piantadosi) исследуют тканевую оксиметрию в мышечных массивах [28]. Р. Ротхёрль (R. Rothoerl) с соавторами анализируют связь тканевой оксигенации с парциальным давлением кислорода в крови [93]. Помимо баланса доставки и потребления кислорода, тканевая оксиметрия отражает кровоток в микроциркуляторном русле и во многом зависит от реактивности и тонуса микрососудов. Единичные исследования показали, что при анестезиологическом обеспечении в кардиохирургии  $StO_2$  снижается на протяжении операции с ИК и сохраняется сниженным в раннем послеоперационном периоде [103; 104].

Касаясь анализа немногочисленных статей, посвященных использованию ближней инфракрасной спектроскопии для оценки оксигенации периферических тканей в кардиоанестезиологии, следует остановиться на работе 2017 года Е. Батлер (E. Butler) с соавторами [31]. Они сфокусировались на изучении величины тканевой оксигенации после сосудистого окклюзионного теста в ответ на волемическую нагрузку, состоящую в болюсном введении 250-500 мл жидкости в раннем послеоперационном периоде. Для изучения тканевой оксигенации авторы использовали предплечье и возвышение большого пальца кисти. В этих работах авторами была выявлена очень слабая корреляция между  $StO_2$  с изменениями системной гемодинамики в ответ на волемическую нагрузку. Подобные результаты получены и другими авторами [49; 79; 116], и это дает основание считать, что увеличение минутного объема сердца и транспорта кислорода не всегда могут способствовать улучшению микроциркуляции при управлении гемодинамикой в послеоперационном периоде. Е. Триподаки (S. Tripodaki) с соавторами в своих исследованиях демонстрировали более заметную корреляционную связь между тканевой оксигенацией, регистрируемой с возвышения большого пальца, и сердечным индексом, транспортом и потреблением кислорода [115]. Другие исследователи также подтвердили отсутствие взаимосвязи между макро- и микроциркуляторными показателями [61;

76], т. е. скрытая тканевая гипоперфузия может иметь место, несмотря на нормализацию макрогемодинамики. В то же время нагрузка жидкостью без существенного увеличения сердечного выброса может улучшить микроциркуляцию и тканевую оксигенацию [55].

Исходя из этих особенностей целесообразно использование методов для определения полноценности микроциркуляции и тканевой оксигенации, а именно метода периферической БИКС.

### **1.10 Значение пробы с артериальной окклюзией**

Применение сосудистой окклюзионной пробы помогает в установлении микроциркуляторных реакций во время и после ишемии тканей [31]. Нисходящая часть графической кривой отражает экстракцию кислорода тканями, а восходящая часть отражает постишемический капиллярный рекрутмент и вазодилатацию [31; 67]. Рядом авторов было показано, что изменение тканевой оксигенации во время окклюзионной пробы имеет большее клиническое значение, чем оценка изолированной динамики тканевой оксигенации [55; 57]. Методика церебральной оксиметрии широко используется в анестезиологии и интенсивной терапии, а в настоящее время все более активное применение находит и в кардиохирургии. Однако исследований в области тканевой оксиметрии, особенно дающих представление о ее роли в кардиохирургии при операциях, проводимых в условиях искусственного кровообращения, недостаточно. Дополнительного детального изучения требует вопрос взаимосвязи церебральной оксигенации с параметрами тканевой оксигенации, динамики изменения тканевой оксигенации при операциях в условиях искусственного кровообращения, оценки диагностической ценности показателей кислородного резерва.

## ГЛАВА 2

### Материалы и методы

#### Клиническая характеристика обследованных пациентов и методы исследования

##### 2.1 Общая характеристика клинических наблюдений

Работа основана на анализе данных, полученных в результате мониторинга регионарной оксиметрии у пациентов, оперированных в условиях искусственного кровообращения в ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского» в период с июля 2013 года по февраль 2017 года. Всего было обследовано 126 пациентов, из них мужчин 78 (62,1 %), женщин 48 (37,9 %). Средний возраст составил  $57,2 \pm 0,4$  лет, средний вес  $85,3 \pm 17$  кг. В Таблице 1 представлено количественное распределение пациентов по патологии.

**Таблица 1 – Распределение пациентов, обследованных в интраоперационном периоде, по нозологическим формам**

Нозология	Количество пациентов (n)
Ишемическая болезнь сердца	56 (44,4 %)
Сочетание ишемической болезни сердца и патологии клапанного аппарата	10 (8 %)
Патология клапанного аппарата сердца	32 (25,4 %)
Аневризмы восходящей и дуги аорты	28 (22,2 %)

Пациенты, оперированные по поводу ишемической болезни сердца и клапанной патологии, относились к III-IV по ASA (American Society of Anesthesiologists – Американское общество анестезиологов) и к категории высокого анестезиологического риска (IV по классификации МНОАР

(Московское научное общество анестезиологов-реаниматологов)). Пациенты, оперированные на дуге аорты, относились к V по ASA и к категории высокого анестезиологического риска (IV по классификации МНОАР).

В зависимости от задач исследования, из общего числа формировались группы пациентов, распределение которых описано в соответствующих разделах Главы 3.

### **Критерии исключения из исследования**

Из исследования исключались пациенты с:

- декомпенсированными клапанами пороками,
- нестабильной стенокардией,
- декомпенсированным сахарным диабетом,
- выраженными исходными нарушениями КЩС (кислотно-щелочного состояния),
- фракцией выброса ЛЖ (левого желудочка) ниже 30 %,
- средней и тяжелой степенью ХОБЛ (хронической обструктивной болезни легких),
- анемией любого генеза до операции.

## **2.2 Методы анестезии**

У всех пациентов, оперированных по поводу ИБС (ишемической болезни сердца), клапанной патологии, патологии восходящей аорты, проводилась сбалансированная многокомпонентная анестезия по принятой в ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского» методике.

Индукция анестезии: внутривенное введение 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 бромиды 0,1 мг/кг.

Поддержание анестезии осуществлялось севофлюраном 0,5–1,0 МАС, 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 бромид. Контроль глубины анестезии осуществлялся с помощью блока измерения энтропии монитора AS/5 фирмы GE (США).

Кроме того, у больных, оперированных на дуге аорты в условиях гипотермической перфузии и циркуляторного ареста (ЦА), дополнительно применялся разработанный в ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского» протокол защиты органов с применением тиопентала натрия (10 мг/кг); раствора маннитола (0,7–1,0 г/кг); блокаторов кальциевых каналов (изоптин) (5–10 мг); кортикостероидных гормонов (1 мг/кг); мексидола 300мг + 200 мг в предперфузионный период; лидокаина 2 % (2–4 мг/кг) [1].

ИВЛ осуществляли с помощью аппаратов Primus фирмы Draeger (Германия) с  $FiO_2$  0,5–0,7, дыхательным объемом 7–9 мл/кг, положительное давление в конце выдоха было установлено на уровне 5–8 см вод. ст. Использование ингаляционных анестетиков осуществляли в системе полузакрытого контура методом рециркуляции воздушно газовой смеси с потоком, равным 2–2,5 л/мин и встроенным адсорбером в контуре. Во время ИК постоянное положительное давление в дыхательном контуре поддерживалось на уровне 5–7 см вод. ст., путем постоянной подачи воздушно-газовой смеси.

Параметры ИВЛ (минутный и дыхательный объемы, частота дыхательных движений, давление в дыхательном контуре в течение дыхательного цикла), состав вдыхаемой и выдыхаемой газовой смеси контролировали с помощью блоков контроля витальных функций монитора AS/5 и газоанализатора наркозно-дыхательного аппарата Primus.

### **2.3 Методы интраоперационного мониторинга**

Мониторинг гомеостаза включал пульсоксиметрию, регистрацию ЭКГ (электрокардиографии) с анализом аритмии и ишемических изменений в шести стандартных и одном грудном ( $V_5$ ) отведениях, частоты сердечных сокращений (ЧСС) ( $\text{мин}^{-1}$ ), инвазивное измерение систолического (АДс), диастолического (АДд) и среднего артериального давления (АДср) (мм рт. ст.) через катетер в лучевой артерии или катетер, установленный в бедренной артерии (Arteriofix 20–

22G, производство В. Braun). Контроль температуры осуществлялся при помощи термодатчиков, установленных в мочевом пузыре (катетер Фолея с термодатчиком GE, Финляндия), ротоглотке, коже предплечья. ЦВД (центральное венозное давление) регистрировалось с помощью катетера (Arrow CV 12853 или Certofix Trio HF S 1215), установленного в правую или левую внутреннюю яремную вену. Измерение перечисленных параметров проводилось с помощью модульных систем монитора AS/5 фирмы GE (США).

Доплерографический мониторинг. Транскраниальная доплерография осуществлялась на ультразвуковой диагностической системе «АНГИОДИН-2К» (БИОСС, Россия) датчиками с частотой 2,2 МГц. Интраоперационный мониторинг проводился с использованием специального устройства - шлема, который позволяет осуществить надежную фиксацию датчиков. Выполнялся двухканальный билатеральный мониторинг кровотока в среднемозговой артерии (СМА) с автоматической детекцией микроэмболии. При естественном кровообращении оценивалась максимальная систолическая скорость кровотока ( $V_s$ , см/с), индекс периферического сопротивления (PI). При ИК и АПГМ (антеградной перфузии головного мозга) оценивалась средняя линейная скорость кровотока ( $V_m$ , см/с), которая поддерживалась на уровне не менее 20 см/с [1; 63]. Анализировалась симметричность кровотока по обеим спино-мозговым артериям, допускалась асимметрия кровотока не более 25 %.

Анализ показателей водно-электролитного состояния, газового состава крови, КОС (кислотно-основного состояния), Hb (гемоглобина), Hct (гематокрита), проводился общепринятыми лабораторными методами с помощью автоматических газоанализаторов ABL800 FLEX (Дания).

Всем пациентам в интраоперационном периоде выполнялась ЧПЭхоКГ (Чреспищеводная эхокардиография) на аппарате Philips E-33 специализированным матричным объемным мультислотным датчиком X7-2t (Philips, Bothell, Washington, UnitedStates) с частотой сканирования 2–7 МГц. При помощи представленной методики были получены данные об ударном объеме сердца с последующим вычислением показателя сердечного индекса.



## **2.4 Методика искусственного кровообращения, кардиоплегической защиты миокарда и поддержания температурного режима**

Искусственное кровообращение проводилось при помощи аппаратов Т-5 фирмы Stockert (Германия), в контуре ИК использовались мембранные оксигенаторы Quadrox (Турция). Поддержание температурного режима во время ИК осуществлялось с помощью теплорегулирующего устройства аппарата искусственного кровообращения Stockert (Германия). ИК проводилось, основываясь на показателях кислотно-основного состояния (КОС) крови, данных центральной гемодинамики.

Антеградная перфузия головного мозга (АПГМ) проводилась через правую подключичную артерию при пережатом брахиоцефальном стволе и баллонный катетер в левой общей сонной артерии. В исследование были включены пациенты, у которых АПГМ проводилась в бисферальном режиме.

Защита миокарда осуществлялась с помощью модифицированной тепловой кровяной кардиopleгии по методике Калафиори. При предполагаемой продолжительной длительности ИМ (ишемии миокарда) защиту осуществляли кардиоплегическим препаратом «Кустодиол».

Для регуляции температуры тела использовался водяной матрас Niso-Aquatherm 660 (Hirtz, Германия). Согревание начиналось сразу же при поступлении пациента в операционную.

Кроме того, у пациентов, оперированных на аорте, в дополнение к водяному матрасу применялось воздушное согревающее устройство Bair Hugger (3M, США) с матрасом, расположенным под пациентом (комбинированный метод согревания). Комбинированный метод применялся для более быстрого и равномерного согревания тела пациента при операциях в условиях глубокой гипотермии. Согревающее устройство выключалось перед началом искусственного кровообращения. Возобновлялось дополнительное воздушное согревание после основного этапа операции, с началом этапа согревания во время искусственного кровообращения.

## 2.5 Методика регионарной оксиметрии

Для оценки церебральной ( $\text{SctO}_2$ ) и тканевой ( $\text{StO}_2$ ) оксигенации использовался лазерный тканевой оксиметр FORE-SIGHT™ (CAS Medical Systems™, США). Общий вид прибора изображен на Рисунке 2.

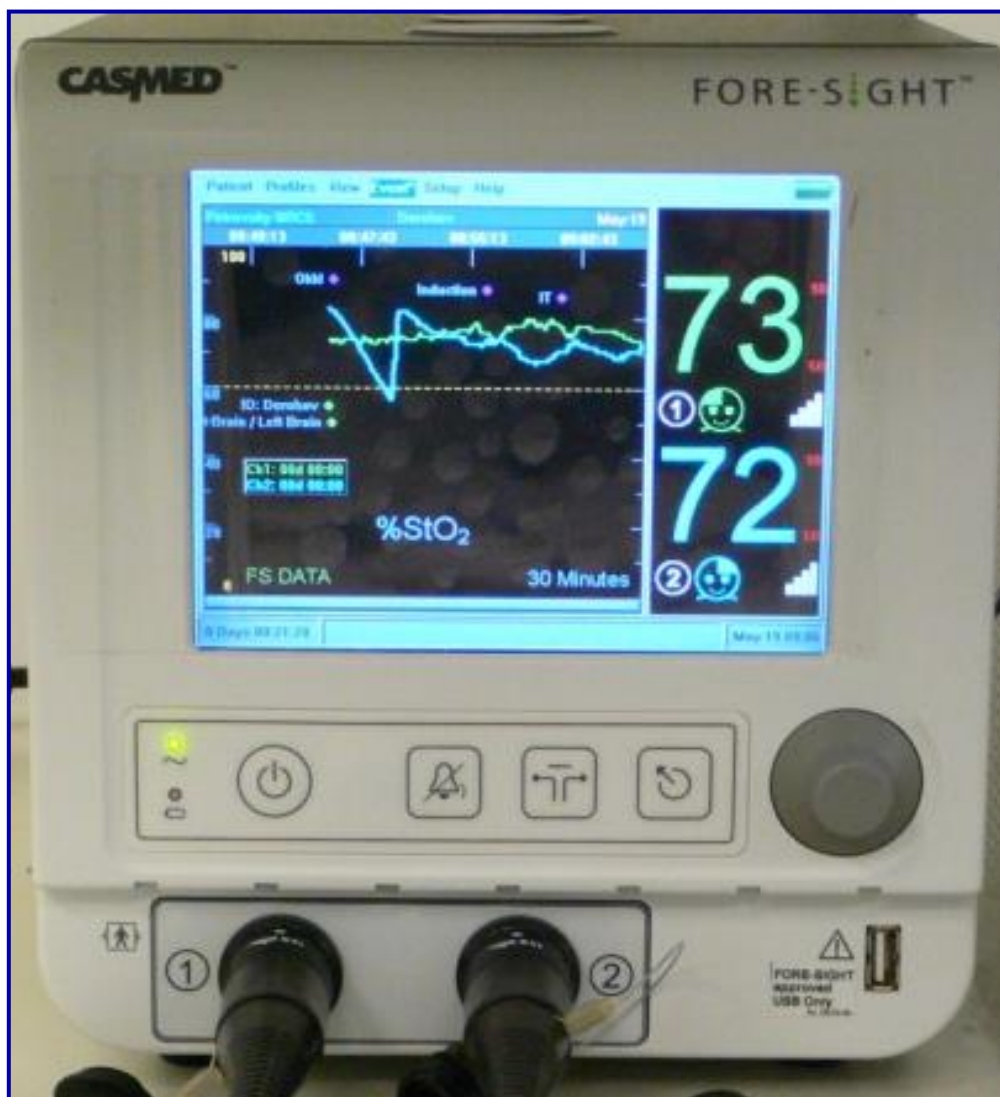
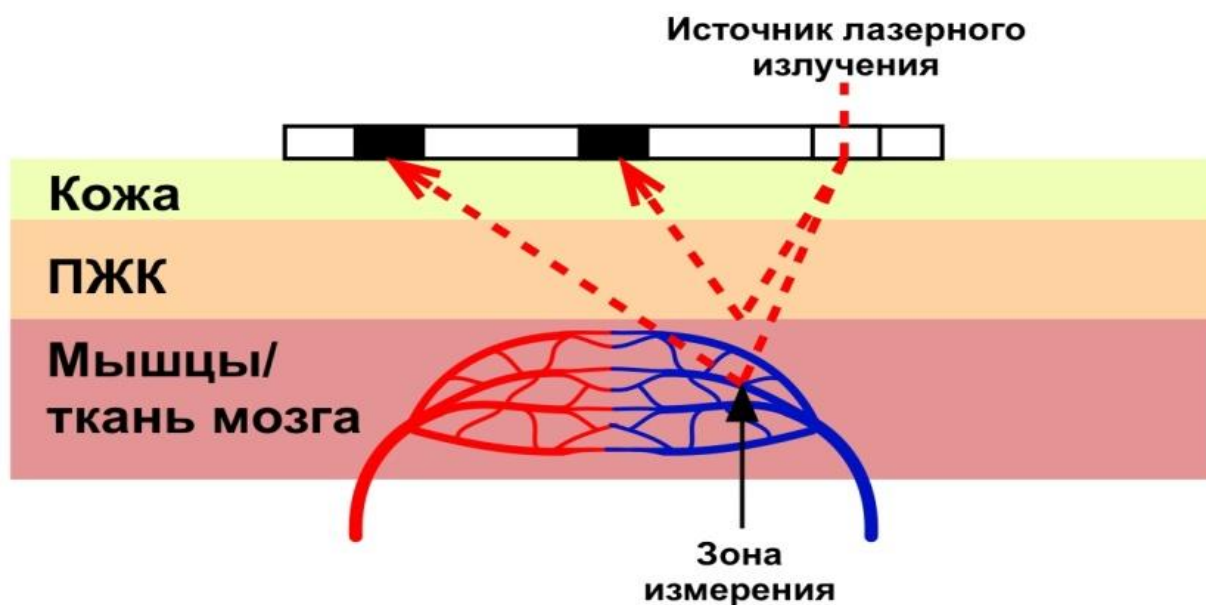


Рисунок 2 – Лазерный тканевой оксиметр FORE-SIGHT™

Принципиальная схема работы датчика оксиметра и распространения излучения в ткани изображена на Рисунке 3.



**Рисунок 3 – Схема распространения излучения в области под датчиком**

В нашем исследовании сенсоры прибора располагались в проекции лобной доли правого и левого полушария, а также на правом предплечье, что зафиксировано на Рисунке 4 и Рисунке 5.



Вариант 1



Вариант 2

**Рисунок 4 – Расположение датчиков для измерения церебральной оксигенации**

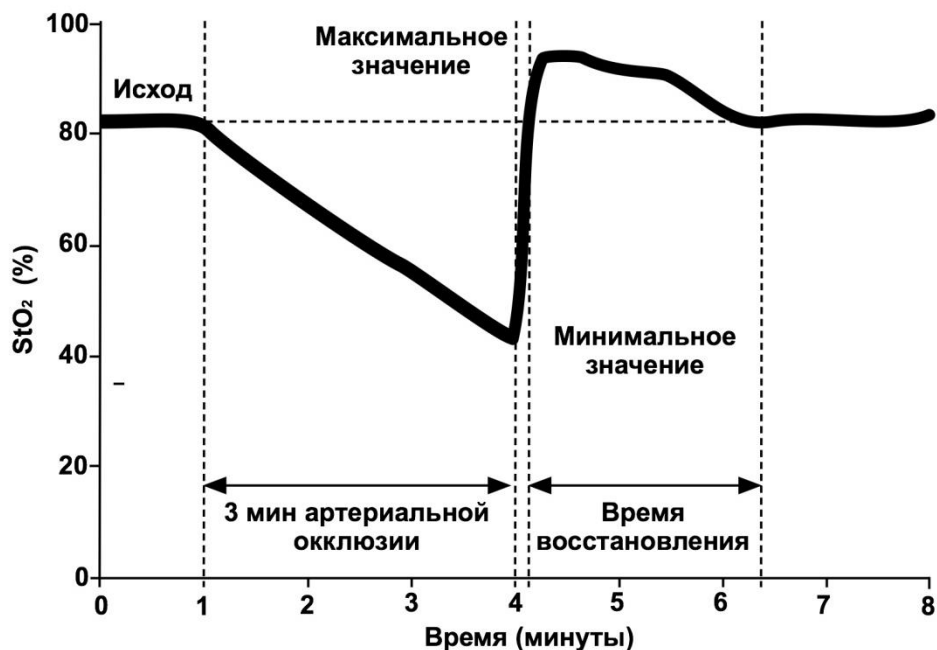




**Рисунок 5 – Расположение датчика оксиметра для измерения тканевой оксигенации**

$StO_2$  отражает баланс между доставкой и потреблением кислорода в исследуемом регионе. Поэтому изменения этого показателя могут указывать как собственно изменения микроциркуляторного кровотока, так и/или изменения метаболизма в зоне обследования. Кроме того, одновременные изменения скорости потока и метаболизма могут приводить к тому, что  $StO_2$  не изменится. Для получения более точной информации требовалось проведение функциональных проб.

Для проведения пробы с артериальной окклюзией (ПАО) была использована модель тестовой ишемии верхней конечности: после 5-минутного периода стабилизации давление в манжетке тонометра быстро (менее 5 сек) нагнеталось до уровня 240 мм рт. ст. [64; 65]. ПАО была стандартизирована по времени (3 мин) [91]. После 3 минут пережатия артерии давление быстро (менее 5 сек) сбрасывалось. Оценивался кислородный резерв (КР) –  $StO_2 \text{ min}$  в % – минимальный уровень оксигенации во время ПАО. Для более информативной оценки динамики кислородного резерва, особенно между группами с разными температурными режимами, вычислялась и оценивалась разница между  $StO_2$  в начале проведения пробы с артериальной окклюзией и  $StO_2 \text{ min}$  (КР) ( $StO_2 - StO_2 \text{ min}$ ). Результаты проиллюстрированы на Рисунке 6.



[Rick Bezemer at all. // Critical Care 2009. – 13 (Suppl 5):S4. [26] С изменениями]

**Рисунок 6 – Схематическая динамика StO<sub>2</sub> при пробе с артериальной окклюзией**

Проба с артериальной окклюзией на экране лазерного тканевого оксиметра FORE-SIGHT™. Во время проведения пробы с артериальной окклюзией тренд кривой тканевой оксиметрии на экране приобретает характерный вид.

Пример тренда StO<sub>2</sub> с ПАО на экране прибора изображено на Рисунке 7.

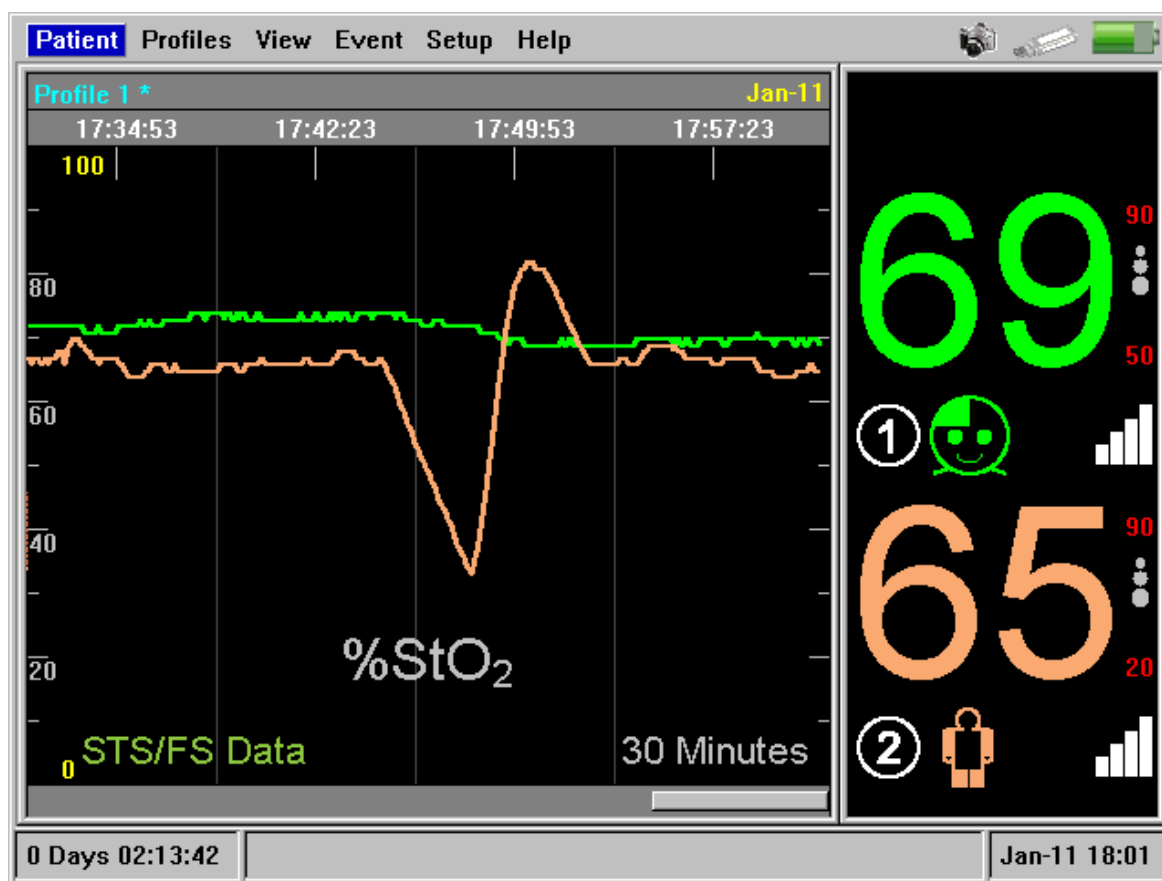


Рисунок 7 – Пример тренда с регистрацией ПАО на экране прибора

## 2.6 Методика интраоперационного забора аутокрови

Интраоперационный забор аутокрови проводился по разработанной и принятой в ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского» методике из ушка левого предсердия, при отсутствии противопоказаний, а именно: исходного гематокрита ниже 36 %, выраженной гиповолемии, нестабильной гемодинамики. Для этого бригада хирургов, после канюляции аорты или подключичной артерии, канюлировала ушко правого предсердия и с помощью заранее заготовленного стерильного пакета с консервантом осуществляла забор аутокрови в объеме 7–12 мл/кг массы тела. У пациентов с интраоперационным забором аутокрови показатели SctO<sub>2</sub> и StO<sub>2</sub>, АДср, ЦВД, СИ (сердечный индекс) регистрировались в начале и конце данной манипуляции.

## 2.7 Статистическая обработка полученных результатов

Электронная база данных исследуемых пациентов составлена в Microsoft Excel 2013. Статистическая обработка данных произведена с помощью программы Statistica 6, JMP-5 (США). Все выборки были проверены относительно нормальности распределения по критерию Шапиро-Уилка. Количественные параметры представлены в виде среднего (M), стандартное отклонение (SD) –  $M \pm SD$ . Для сравнения исследуемых показателей использовали критерии Стьюдента, непараметрический критерий Уилкоксона для связанных групп и критерий Манна – Уитни для независимых выборок. Различия считались достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Корреляционный анализ с вычислением парных коэффициентов корреляции Пирсона (r) – для нормального распределения, корреляции Спирмана (R) – для ненормального распределения, и уровня значимости (p) проводился для выявления взаимосвязей между анализируемыми признаками и наблюдениями.



## ГЛАВА 3

### Полученные результаты

#### 3.1 Оценка динамики регионарной оксиметрии и кислородного резерва при различных видах температурного режима искусственного кровообращения

В исследование вошли 126 пациентов, оперированных на сердце и аорте. Они были разделены на три группы, по температурному режиму искусственного кровообращения.

Температурные режимы делились на:

- нормотермический – температура перфузии 36,0 С°;
- умеренно гипотермический – температура перфузии 32,0 С°;
- гипотермический – температура перфузии 28,0-29,0 С°.

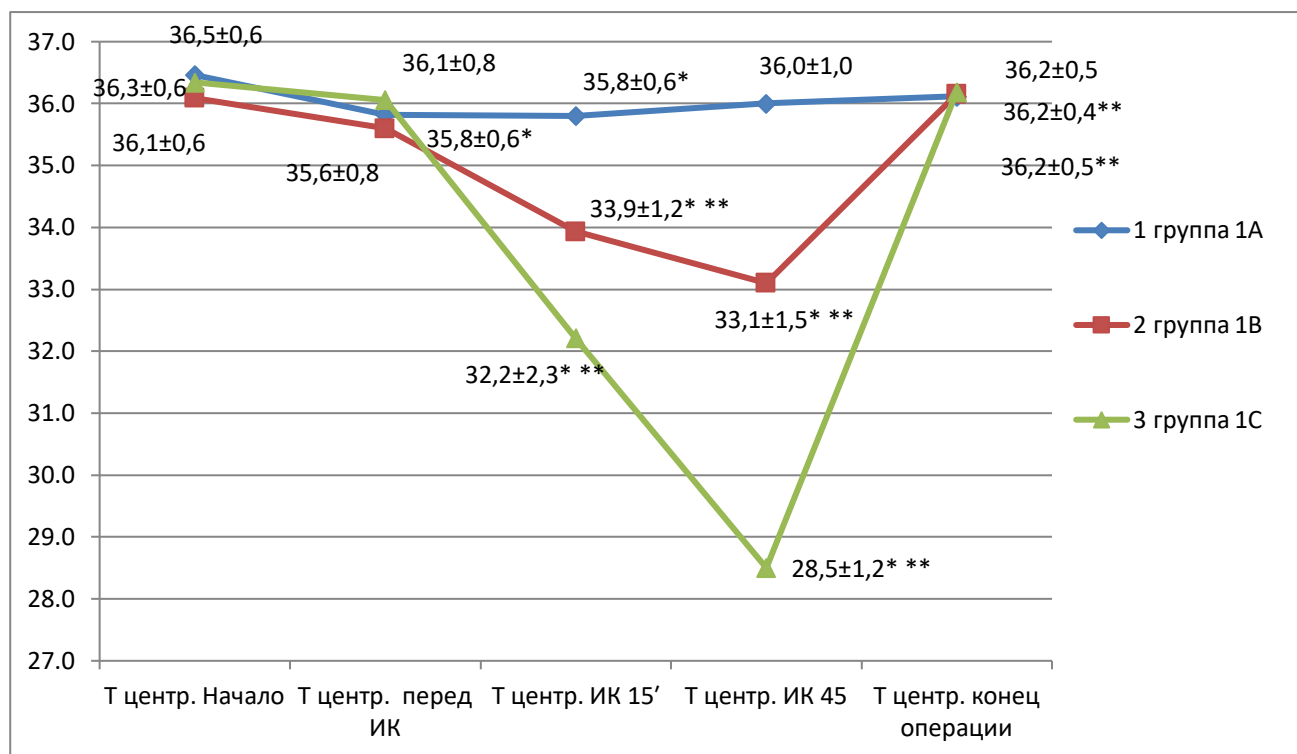
Температурный режим и численность групп представлены в Таблице 2.

**Таблица 2 – Распределение пациентов в группах по температурному режиму ИК**

	Температурный режим перфузии (град.) (Центральная Т С°)	Количество обследованных пациентов (n,%)
<b>Группа 1А</b>	36,0	56 (44,4 %)
<b>Группа 1В</b>	32,0–33,0	42 (33,4 %)
<b>Группа 1С</b>	28,0-29,0	28 (22,2 %)

В группе 1С использовался метод комбинированного согревания с использованием дополнительного воздушного согревания.

Интраоперационная динамика центральной температуры представлена на Рисунке 8.



$P < 0,05$ : \* – относительно начала операции; \*\* – относительно предыдущего этапа

**Рисунок 8 – Динамика центральной температуры, измеряемой в мочевом пузыре, по этапам операции**

В начале операции центральная температура между группами не отличалась. На этапе ИК 15 минут температура в группе 1В и 1С была достоверно ниже относительно начала операции и по отношению к группе 1А ( $p < 0,05$ ). На этапе максимального охлаждения или минимальной температуры (так как в группе 1А не использовали методы охлаждения) центральная температура была выше относительно начала операции во всех группах наблюдения, а также достоверно отличалась между группами на данном этапе. В конце операции во всех группах центральная температура возвращалась к исходным значениям с разницей в 0,2–0,4 С°. В группе 1В и 1С температура достоверно повышалась относительно предыдущего этапа. Необходимо отметить, что активное согревание пациентов в группе 1С осуществлялось с помощью сочетанного применения воздушного согревания и водяного матраса.

## Результаты изучения регионарной оксиметрии в условиях нормотермического температурного режима

Данные группы 1А представлены в Таблице 3.

**Таблица 3 – Динамика основных показателей гомеостаза и регионарной оксигенации по этапам операций в группе 1А**

Показатель	Исход	Перед ИК	ИК 15 минут	ИК 45 минут	Конец операции
<b>SctO<sub>2</sub> (%)</b>	73 ± 4	67 ± 6*	64 ± 5*/**	65 ± 5*	68 ± 4*
<b>StO<sub>2</sub> (%)</b>	79 ± 6,2	70 ± 6,3*	69 ± 7,5*	70 ± 7,0*	70 ± 7,1*
<b>Т центр. (С°)</b>	36,5 ± 0,6	35,8 ± 0,6*	35,8 ± 0,6*	36,0 ± 1,0	36,2 ± 0,5
<b>Т перифер. (кожа) (С°)</b>	30,4 ± 1,6	32,0 ± 1,6*	32,1 ± 1,5*	32,8 ± 1,5*	32,8 ± 1,4*
<b>Лактат (ммоль/л)</b>	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	1,2 ± 0,5*	1,3 ± 0,4*/**
<b>PvO<sub>2</sub> центр. (%)</b>	41,6 ± 7,0	40,9 ± 4,9	50,0 ± 7,9*/**	45,0 ± 6,6*	43,2 ± 6,9*
<b>SpO<sub>2</sub></b>	98,4 ± 1,0	98,8 ± 1,0	Δ	Δ	98,6 ± 1,0

\* – достоверно от начала операции, \*\* – достоверно от предыдущего этапа операции, p < 0,05

Δ – измерение показателей SpO<sub>2</sub> некорректно

Церебральная и тканевая оксигенация имели тенденцию к снижению уже на этапе перед ИК на фоне незначительного снижения температуры (не более 0,7 С°) и были достоверно ниже исходного уровня на всех последующих этапах операции. Максимальное снижение SctO<sub>2</sub> отмечено на этапе ИК 15 минут, когда SctO<sub>2</sub> была достоверно ниже исхода и предыдущего этапа. Тканевая оксигенация,

аналогично церебральной, снижалась на втором этапе исследования и была ниже так же на всех этапах операции, кроме конца операции. Центральная температура была достоверно ниже исхода на этапах перед ИК и ИК 15 минут. Периферическая температура повышалась на этапе перед ИК и оставалась достоверно выше исходной на всех последующих этапах операции. Лактат достоверно повышался относительно исхода на этапах ИК 45 минут и в конце операции, но не выходил за пределы нормальных значений. Парциальное давление кислорода в центральной вене достоверно повышалось относительно исхода и предыдущего этапа на этапе ИК 15 минут, и было достоверно выше относительно исхода на этапе ИК 45 минут и в конце операции.

При анализе корреляционных связей обнаружено:

- Церебральная оксигенация имела умеренную прямую достоверную корреляцию ( $r = 0,6$ ;  $p < 0,05$ ) с тканевой оксигенацией в исходе, на этапе перед ИК и в конце операции.

- На этапе ИК 45 минут тканевая оксигенация умеренно обратно коррелирует с церебральной оксигенацией ( $r = -0,5$ ;  $p < 0,05$ ).

- В конце операции церебральная оксигенация находилась в сильной прямой зависимости от парциального давления кислорода в центральной вене ( $r = 0,8$ ;  $p < 0,05$ ).

При анализе пульсовой оксиметрии достоверных изменений ее не выявлено, на этапе искусственного кровообращения измерение пульсовой оксиметрии некорректно.

### **Результаты изучения регионарной оксиметрии в условиях умеренной гипотермии**

Данные группы 1В представлены в Таблице 4.

**Таблица 4 – Динамика основных показателей гомеостаза и регионарной оксигенации по этапам операций в группе 1В**

Показатель	Исход	Перед ИК	ИК 15 минут	ИК 45 минут	Конец операции
<b>SctO<sub>2</sub> (%)</b>	74 ± 2,6	68 ± 5,4*/**	69 ± 3,2*	67 ± 5,0*	71 ± 3,7**
<b>StO<sub>2</sub> (%)</b>	76 ± 8,9	68 ± 7,2*/**	68 ± 6,1*	70 ± 4,8*	75 ± 6,5**
<b>Т центр. (С°)</b>	36,1 ± 0,6	35,6 ± 0,8	33,9 ± 1,2* **	33,1 ± 1,5* **	36,2 ± 0,4**
<b>Т перифер. (кожа) (С°)</b>	30,4 ± 1,5	30,2 ± 1,5	32,3 ± 1,4	31,9 ± 1,8	32,6 ± 1,6
<b>Лактат (ммоль/л)</b>	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,3	0,9 ± 0,3	1,0 ± 0,4	1,5 ± 0,8*
<b>PvO<sub>2</sub> центр. (%)</b>	43,2 ± 8,6	44,6 ± 6,3	48,3 ± 4,0	46,1 ± 8,1	50,4 ± 8,9*
<b>SpO<sub>2</sub></b>	98,6 ± 1,0	98,9 ± 1,0	Δ	Δ	98,5 ± 1,0

\* – достоверно от начала операции, \*\* – достоверно от предыдущего этапа операции,  $p < 0,05$   
 Δ – измерение показателей SpO<sub>2</sub> некорректно

В группе с ИК в режиме умеренной гипотермии церебральная и тканевая оксигенация достоверно снижались перед ИК и оставались сниженными на следующих этапах исследования. Динамика лактата и pvO<sub>2</sub> была аналогичной динамике у пациентов группы 1А. В конце операции SctO<sub>2</sub> и StO<sub>2</sub> достоверно повышались после ИК и возвращались к исходному уровню.

При анализе корреляционных связей обнаружено:

- Так же, как и в группе 1А, церебральная оксигенация имеет умеренную прямую достоверную корреляцию ( $r = 0,6$ ;  $p < 0,05$ ) с тканевой оксигенацией в исходе и на этапе перед ИК.

- На этапе ИК 45 минут между показателями церебральной и тканевой

оксигенации выявлена умеренная отрицательная связь ( $r = -0,7$ ;  $p < 0,05$ ).

- При анализе взаимосвязи показателей тканевой оксигенации с центральной и периферической температурой выявлена их прямая сильная достоверная взаимосвязь на этапе ИК 45 минут ( $r = 0,8$ ;  $p < 0,05$ ).

- В конце операции обнаружена прямая сильная связь значений тканевой оксиметрии с парциальным давлением кислорода в центральной вене ( $r = 0,8$ ;  $p < 0,05$ ).

При анализе пульсовой оксиметрии достоверных изменений ее не выявлено, на этапе искусственного кровообращения измерение пульсовой оксиметрии некорректно.

### **Влияние режима гипотермии (28,0-29,0С°) на регионарную оксигенацию**

Данные группы 1С с ИК в режиме гипотермии представлены в Таблице 5.

**Таблица 5 – Динамика основных показателей гомеостаза и регионарной оксиметрии по этапам операций в группе 1С**

Показатель	Исход	Перед ИК	ИК 15 минут	ИК 45 минут	Конец операции
SctO <sub>2</sub> (%)	71 ± 3,0	66 ± 6,2*	66 ± 5,6*	66 ± 6,0*	66 ± 6,0*
StO <sub>2</sub> (%)	77 ± 6,1	68 ± 6,2*	69 ± 6,1*	70 ± 4,8*	75 ± 6,7
Т центр. (С°)	36,3 ± 0,6	36,1 ± 0,8	32,2 ± 2,3*/** *	28,5 ± 1,2* **	36,2 ± 0,5**
Т перифер. (кожа) (С°)	30,0 ± 2,8	31,5 ± 3,0	31,1 ± 2,0	30,1 ± 2,0	34,5 ± 1,5*/** *
Лактат (ммоль/л)	0,6 ± 0,3	0,8 ± 0,4*/** *	1,0 ± 0,5*	3,8 ± 1,4*/** *	2,8 ± 1,7*
PvO <sub>2</sub> центр. (%)	40,6 ± 5,5	40,6 ± 5,8	53,4 ± 10,2*	53,9 ± 8,7*	47,7 ± 6,3*
SpO <sub>2</sub>	98,4 ± 1,0	98,6 ± 1,0	Δ	Δ	98,6 ± 1,0

\* – достоверно от начала операции, \*\* – достоверно от предыдущего этапа операции,  $p < 0,05$

Δ – измерение показателей SpO<sub>2</sub> некорректно

В группе с ИК в режиме гипотермии церебральная оксигенация достоверно снижалась относительно исхода уже со второго этапа наблюдения и оставалась достоверно низкой на всех этапах операции. Тканевая оксигенация также снижалась относительно исхода операции достоверно на этапе перед ИК и последующих этапах. Центральная температура достоверно снижалась относительно исхода на этапах ИК 15 минут, ИК 45 минут. На заключительном этапе центральная температура возвращалась к исходным значениям и была достоверно выше зафиксированной на предыдущем этапе. Периферическая температура в течение всех этапов операции и ИК достоверно не изменялась и оставалась сниженной, и только в конце операции на фоне согревания была достоверно выше показателей исхода и предыдущего этапа операции. Парциальное давление кислорода в центральной венозной крови было достоверно выше на этапах ИК 15 минут, ИК 45 минут и в конце операции относительно исхода операции. Динамика лактата менялась аналогично изменениям в группе 1А и 1В, но в количественном аспекте на 45 минут ИК и в конце операции концентрация его была выше. Интересно отметить, что при разных температурах на 45 мин ИК (36,0; 32,0 и 28,0-29,0С°) показатели  $SctO_2$  и  $StO_2$  не различались по величине.

При анализе корреляций было выявлено:

- Церебральная оксигенация в исходе операции имеет умеренную прямую достоверную корреляцию ( $r = 0,6$ ;  $p < 0,05$ ) с тканевой оксигенацией в исходе и на этапе перед ИК.

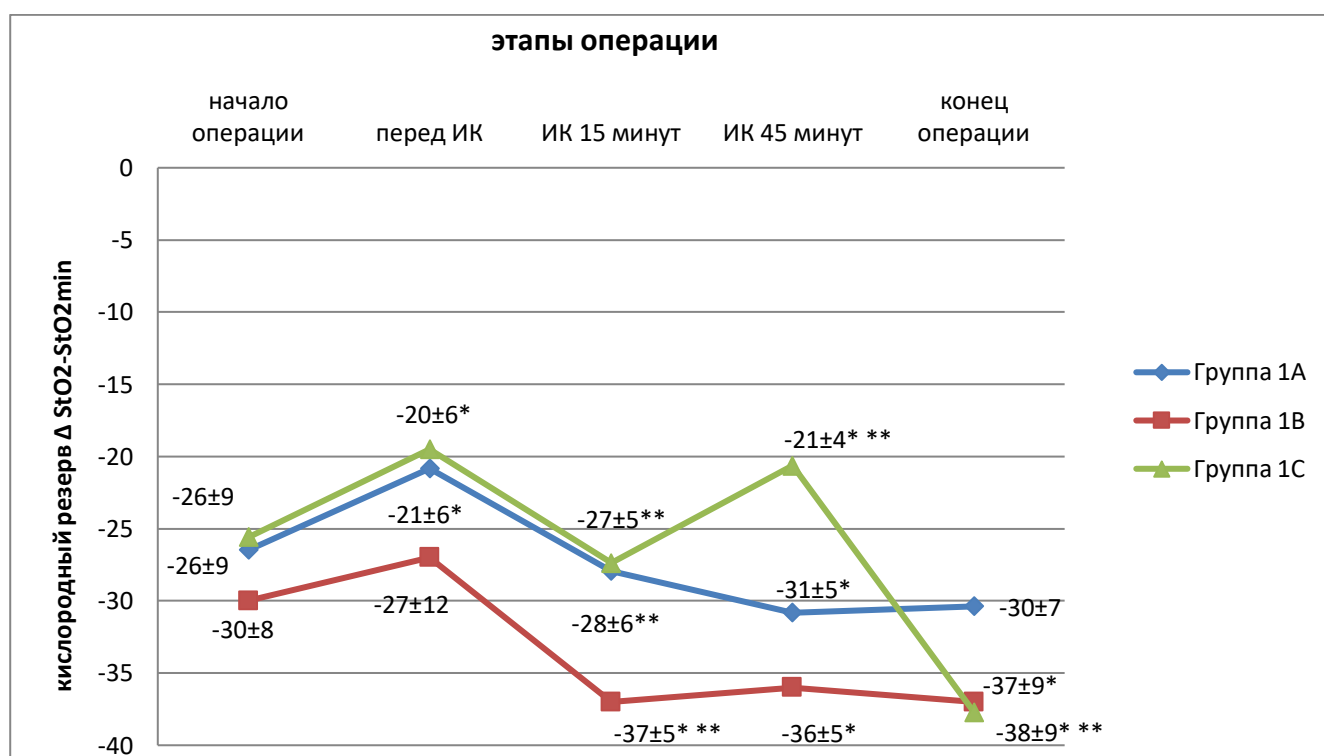
– На этапе ИК 45 минут между показателями церебральной и тканевой оксигенации выявлена умеренная отрицательная связь ( $r = -0,6$ ;  $p < 0,05$ ).

– В конце операции выявлена сильная отрицательная корреляционная связь тканевой оксигенации с уровнем парциального давления кислорода в венозной крови во время ИК ( $r = -0,9$ ;  $p < 0,05$ ).

### 3.1.1 Динамика кислородного резерва во время операций в группах при различных температурных режимах

Для более информативной оценки динамики кислородного резерва, особенно между группами с разными температурными режимами, была вычислена и оценена разница между  $StO_2$  в начале проведения пробы с артериальной окклюзией и  $StO_2 \text{ min}$  (КР) ( $StO_2 - StO_2 \text{ min}$ ).

На Рисунке 9 представлена динамика кислородного резерва по этапам операций в исследуемых группах.



$P < 0,05$ : \* – относительно начала операции; \*\* – относительно предыдущего этапа.

**Рисунок 9 – Разница между  $StO_2$  и  $StO_2 \text{ min}$  на этапах операции**

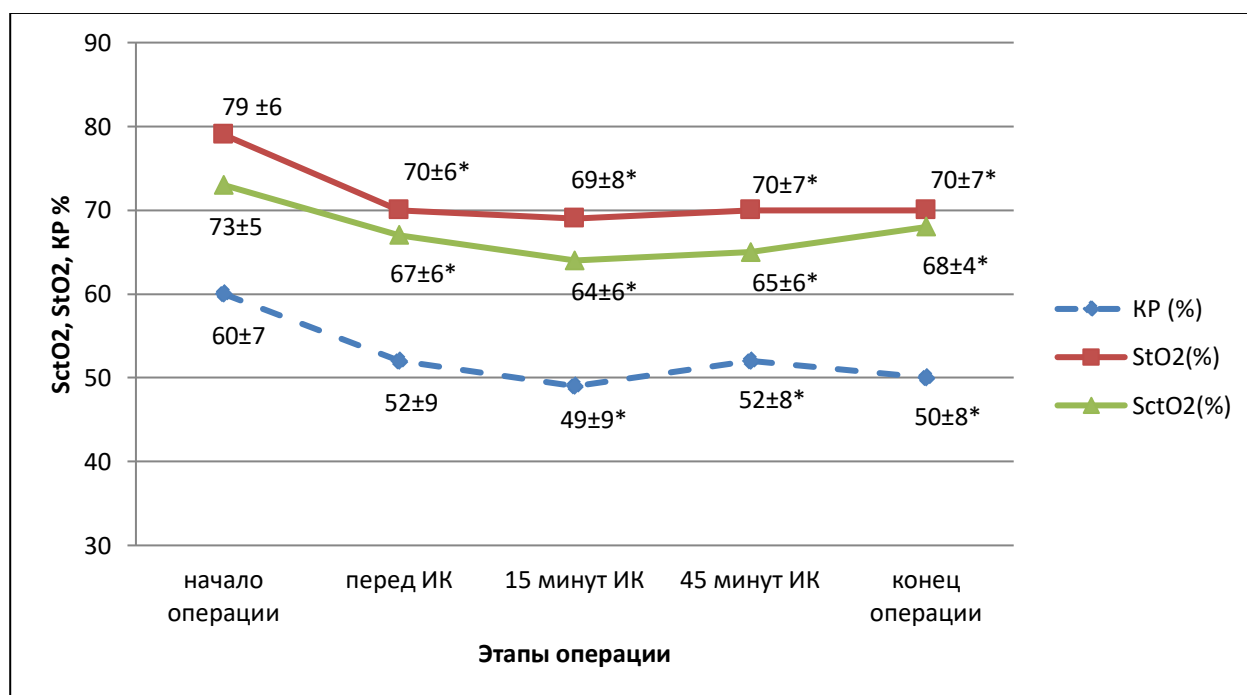
Кислородный резерв достоверно повышался уже на этапе перед искусственным кровообращением в группах 1А и 1С. На этапе 15 минут ИК, показатель КР достоверно снижался по отношению к предыдущему этапу во всех группах, а в группе 1В и к началу операции. Только в группе 1С на этапе



максимального охлаждения следовало достоверное и выраженное его повышение относительно как начала операции, так и предыдущего этапа. В конце операции КР был несколько ниже, но не достоверно в группе 1А. В группе 1В кислородный резерв был достоверно незначительно ниже относительно начала операции, но не изменялся по сравнению с предыдущим этапом. В группе 1С, после согревания, кислородный резерв значительно снижался и по сравнению с началом операции, и по сравнению с предыдущим этапом.

### 3.1.2 Взаимосвязь церебральной, тканевой оксиметрии и кислородного резерва по этапам операций в зависимости от температурного режима перфузии

На Рисунке 10 представлена динамика кислородного резерва, тканевой оксиметрии и церебральной оксиметрии по этапам операции в группе 1А.

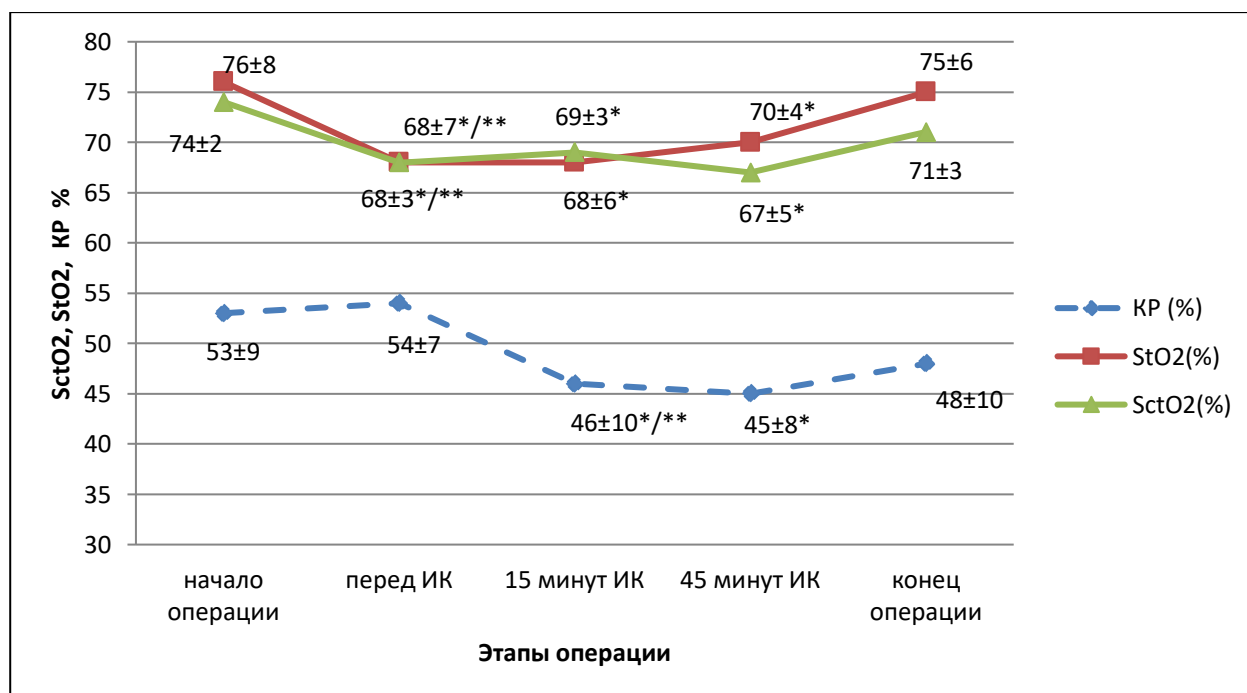


$P < 0,05$ : \* – относительно начала операции; \*\* – относительно предыдущего этапа.

**Рисунок 10 – Динамика SctO<sub>2</sub>, StO<sub>2</sub> и КР по этапам операции при нормотермическом режиме перфузии (группа 1А)**

В группе 1А при оценке корреляционных связей между тканевой оксигенацией и кислородным резервом выявлено, что эти показатели находятся в прямой умеренной корреляционной зависимости между собой на всех этапах исследования, начиная с этапа перед ИК ( $r = 0,7$ ;  $p < 0,05$ ). Статистическая обработка данных показала, что кислородный резерв находится в сильной прямой достоверной корреляционной связи с уровнем лактата артериальной крови и уровнем парциального давления кислорода в венозной крови на этапе ИК 45 минут ( $r = 0,9$ ;  $p < 0,05$ ).

На Рисунке 11 представлена динамика кислородного резерва, тканевой оксигенации и церебральной оксигенации по этапам операции в группе 1В.



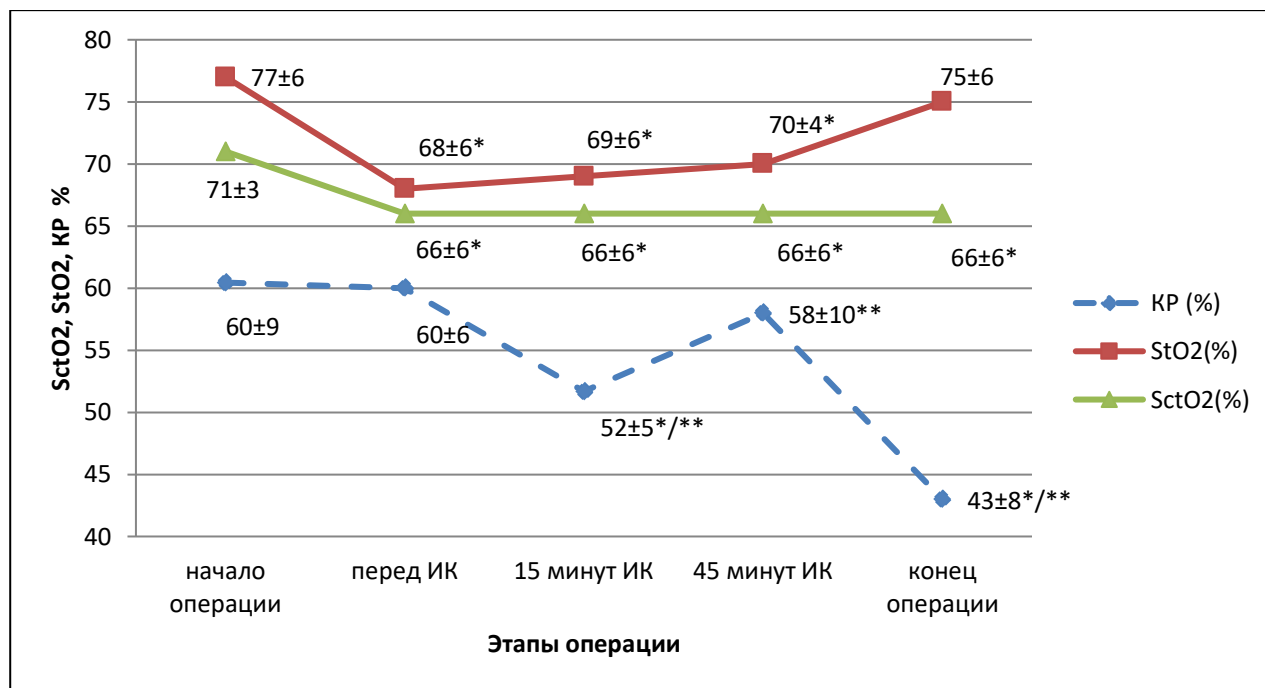
\* – относительно начала операции; \*\* – относительно предыдущего этапа,  $p < 0,05$

**Рисунок 11 – Динамика SctO<sub>2</sub>, StO<sub>2</sub> и КР по этапам операций при умеренно гипотермическом режиме перфузии (группа 1В)**

В группе 1В кислородный резерв достоверно снижался относительно начала операции на этапе 15 минут ИК и оставался таким же достоверно низким на следующем этапе (ИК 45 минут). При оценке корреляционных связей между StO<sub>2</sub> и КР выявлено, что эти показатели находятся в прямой умеренной достоверной

корреляционной связи между собой на всех этапах исследования, начиная с этапа перед ИК ( $r = 0,6$ ;  $p < 0,05$ ).

На Рисунке 12 представлена динамика кислородного резерва, тканевой оксигенации и церебральной оксигенации по этапам операции в группе 1С.



\* – относительно начала операции; \*\* – относительно предыдущего этапа,  $p < 0,05$

**Рисунок 12 – Динамика SctO<sub>2</sub>, StO<sub>2</sub> и КР по этапам операций при гипотермическом режиме перфузии (группа 1С)**

В группе 1С выявлены сильные прямые достоверные корреляционные связи кислородного резерва и тканевой оксигенации на этапе максимального охлаждения ( $r = 0,8$ ;  $p < 0,05$ ), а также сильная обратная корреляционная связь КР с тканевой оксигенацией в конце операции ( $r = 0,8$ ;  $p < 0,05$ ).

### **3.2 Оценка динамики тканевой и церебральной оксигенации при заборе аутокрови**

В исследование динамики тканевой и церебральной оксигенации при заборе аутокрови вошли 65 пациентов. В зависимости от объема забранной аутокрови (мл/кг массы тела) они были разделены на две группы. Группу 2А составили

пациенты ( $n = 36$ ) с объемом забора аутокрови до 7 мл/кг массы тела. В группу 2В вошли пациенты ( $n = 29$ ) с объемом забора аутокрови больше 7 мл/кг массы тела. В обеих группах стабильность гемодинамики обеспечивалась введением кристаллоидных растворов и/или перфузата из аппарата ИК.

Результаты обследования по группам – а именно центральная гемодинамика, гематокрит, церебральная и тканевая оксигенация – представлены в Таблице 6.

**Таблица 6 – Зависимость динамики  $StO_2$  и  $SctO_2$ ,  $Hct\%$ , АДср, ЦВД, СИ от объема эксфузии**

Показатель	Группа 2А		Группа 2В	
	Объем $\leq 7$ мл/кг ( $n = 36$ )		Объем $\geq 7$ мл/кг ( $n = 29$ )	
	До эксфузии	После эксфузии	До эксфузии	После эксфузии
<b><math>SctO_2</math> (%)</b>	$71,3 \pm 2,3$	$71,1 \pm 2,2$	$70,3 \pm 1,8$	$67,6 \pm 1,78^* \#$
<b><math>StO_2</math> (%)</b>	$69,4 \pm 2,42$	$70,14 \pm 2,52$	$68,9 \pm 2,23$	$66,44 \pm 2,97^* \#$
<b>АДср. (мм рт. ст)</b>	$79 \pm 10$	$77 \pm 9$	$80 \pm 11$	$77 \pm 11$
<b><math>Hct\%</math></b>	$39,0 \pm 2,05$	$38,0 \pm 2,05$	$41,4 \pm 1,86^*$	$39,3 \pm 1,84^* \#$
<b>ЦВД (мм рт. ст)</b>	$8,78 \pm 1,54$	$8,25 \pm 1,38$	$9,48 \pm 1,86$	$8,93 \pm 1,44$
<b>СИ (л/мин/м<sup>2</sup>)</b>	$1,5 \pm 0,6$	$1,4 \pm 0,4$	$1,6 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,5$

\*  $p < 0,05$  по сравнению с группой 2А; #  $p < 0,05$  между этапами

Анализ полученных данных показал, что перед эксфузией такие параметры, как  $SctO_2$  (%),  $StO_2$  (%), АДср, ЦВД, СИ, не различались между группами. После

эксфузии в группе 2В оба показателя регионарной оксиметрии, а именно  $StO_2$  и  $SctO_2$ , снижались по сравнению с исходными значениями. Также наблюдалось достоверное снижение гематокрита крови. Достоверных изменений гемодинамики (АДср, ЦВД, СИ) не получено. Таким образом, исследования показали отсутствие влияния объема крови, забранной в количестве до 7 мл/кг массы тела, не только на центральную гемодинамику, но и на оксигенацию головного мозга и периферических тканей. Стремление увеличить количество эксфузируемой крови обусловлено линейной зависимостью состояния гемостаза и уменьшением количества донорской крови от объема нормоволемической гемодилюции [17; 18]. Однако исследование показало, что при данном объеме эксфузии крови (более 7 мл/кг массы тела), при еще стабильном состоянии АД и ЦВД, уже наступают нарушения регионарной оксигенации. Объективные данные свидетельствуют в пользу аутогемотрансфузии непосредственно перед ИК, а не в начале операции, когда фактор времени может неблагоприятно влиять на регионарную оксигенацию, в первую очередь, головного мозга.

### **3.3 Оценка динамики тканевой оксигенации и кислородного резерва в зависимости от исходных значений тканевой оксигенации**

В данной части исследования использовался ретроспективный анализ в зависимости от исходных показателей тканевой оксигенации. Пациенты ( $n = 98$ ) были разделены на 3 группы.

Группа 3А ( $n = 18$ ) – пациенты с исходным уровнем тканевой оксигенации менее 70%. В этой группе отмечалось незначительное снижение  $StO_2$  после вводной анестезии, кроме того,  $StO_2$  оставалась ниже нормы на протяжении всей операции.

Группу 3В ( $n = 68$ ) составили пациенты, у которых тканевая оксигенация была исходно выше 70%, а перед ИК снижалась ( $p < 0,05$ ) и оставалась низкой до конца операции (на уровне менее 70%).

Группа 3С (n = 12) включала пациентов, у которых показатели тканевой оксигенации были стабильно высокими на протяжении всей анестезии.

У всех обследуемых пациентов СИ находился в пределах  $1,8 \pm 0,4$  в начале операции и достоверно не отличался между группами наблюдений. Значительного нарушения гемодинамики, обусловленного изменением артериального давления или нарушениями ритма, а также эпизодов неэффективного кровообращения не отмечалось. Показатели оксигенирующей функции легких располагались в пределах нормальных значений.

### 3.3.1 Динамика тканевой оксигенации

Динамика показателей  $StO_2$  по этапам операций внутри групп представлена на Рисунке 13.



\* – достоверные различия от начала операции,  $p < 0,05$

**Рисунок 13 – Динамика тканевой оксигенации ( $StO_2$  (%)) по этапам операций**

Полученные результаты показали, что в начале операции  $StO_2$  в группе 3А была ниже, чем в группах 3В и 3С. Во время операции в группе 3А исходно

низкие значения  $StO_2$  оставались сниженными в предперфузионный период, во время ИК, в конце операции и не отличались от исхода. В группе 3С наблюдения с исходно нормальными значениями тканевой оксигенации  $StO_2$  оставались на исходном уровне, не различались по этапам и были достоверно выше на всех этапах операции в сравнении с 3А и 3В группами. Наиболее динамичной оказалась  $StO_2$  в группе 3В: исходно нормальные значения снизились в предперфузионный период до уровня  $StO_2$  в группе 3С (< 70 %) и оставались низкими во время ИК и в конце операции, аналогично группе 3А. Данные значений между группами представлены в Таблице 7.

**Таблица 7 – Сравнение показателей  $StO_2$  (%) между группами на различных этапах операции**

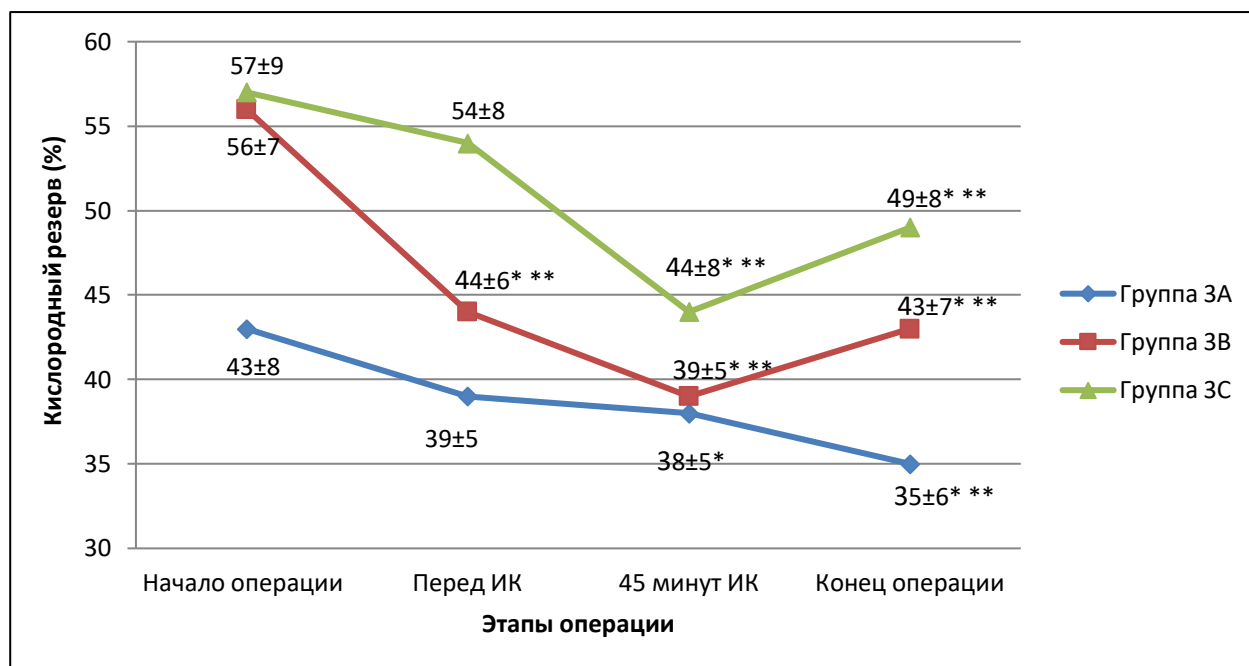
Этапы операции	Группа 3А	Группа 3В	Группа 3С
Исход	64 ± 5,6	78 ± 4,9*	77 ± 6,7*
Перед ИК	60 ± 8,2	65 ± 4,6*	76 ± 5,9 */**
45 минут ИК	63 ± 6,2	65 ± 3,5	75 ± 4,7 */**
Конец операции	64 ± 5,8	66 ± 4,8	74 ± 3,9 */**

\* – достоверные различия по сравнению с группой 3А

\*\* – достоверные различия по сравнению с группой 3В,  $p < 0,05$

### 3.3.2 Динамика кислородного резерва ткани

Кислородный резерв (КР) анализировался на тех же этапах операций для дополнительной оценки тканевой оксигенации. Динамика КР представлена на Рисунке 14.



\* – достоверные различия от начала операции,  $p < 0,05$

\*\* – достоверные различия от предыдущего этапа операции,  $p < 0,05$

#### **Рисунок 14 – Динамика изменения кислородного резерва ( $StO_2 \text{ min}$ ) на различных этапах операции**

Достоверное снижение кислородного резерва уже на этапе перед ИК было отмечено только в группе 3В ( $p < 0,05$ ), хотя тенденция к снижению КР имела место и у пациентов группы 3С. На этапе 45 минут ИК кислородный резерв достоверно снижался относительно начала операции во всех трех группах. Кроме того, в группах 3В и 3С КР достоверно снижался относительно и предыдущего этапа. В конце операции кислородный резерв продолжал снижаться относительно как начала операции, так и предыдущего этапа только в группе 3А с исходно низкими показателями тканевой оксиметрии. В группах 3В и 3С кислородный резерв оставался низким относительно начала операции, но достоверно повышался в сравнении с предыдущим этапом.

Сравнение показателей КР между группами представлено в Таблице 8.



**Таблица 8 – Сравнение показателей кислородного резерва (StO<sub>2</sub> min) между группами**

<b>Этапы операции</b>	<b>Группа 3А</b>	<b>Группа 3В</b>	<b>Группа 3С</b>
<b>Исход</b>	43 ± 8,1	56 ± 7,4*	57 ± 9,9*
<b>Перед ИК</b>	39 ± 5,4	44 ± 6,2*	54 ± 8,3 */**
<b>45 минут ИК</b>	38 ± 5,5	39 ± 5,1	44 ± 8,1 */**
<b>Конец операции</b>	35 ± 6,1	43 ± 6,8 *	49 ± 8,5 */**

\* – достоверные различия с группой 3А

\*\* – достоверные различия с группой 3В, p < 0,05

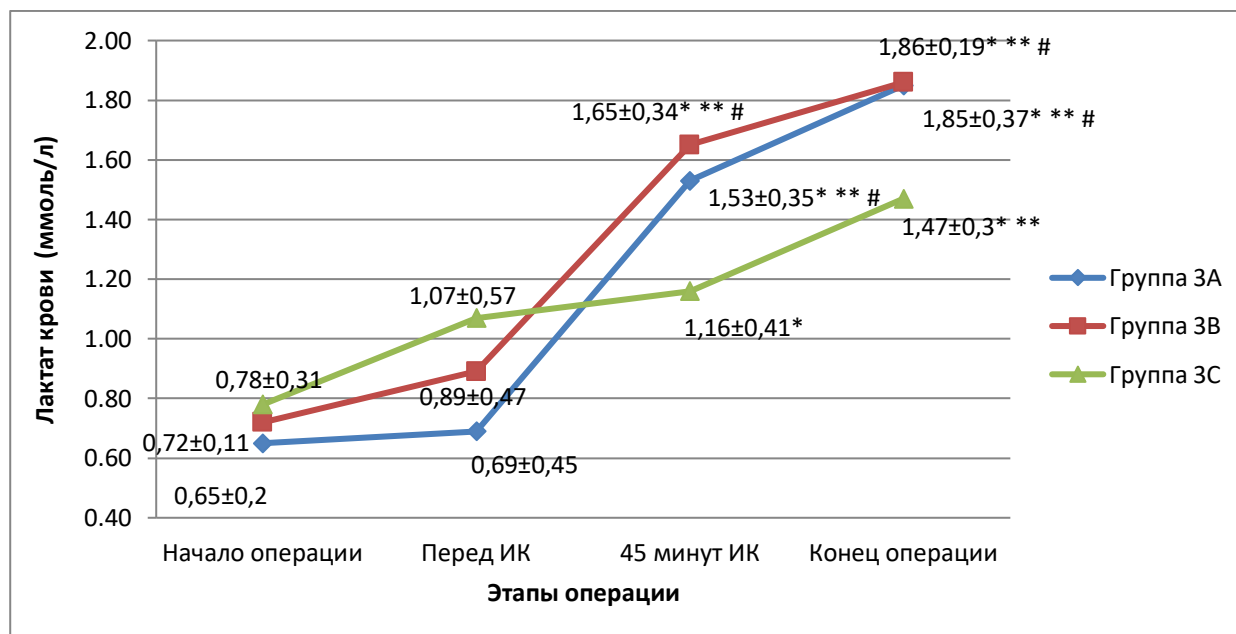
Сравнение динамики тканевой оксигенации и кислородного резерва показало, что в группе 3А у пациентов показатели StO<sub>2</sub> и КР были минимальными, а в группах 3В и 3С – достоверно выше, чем в группе 3А. На последующих этапах наблюдалась разница их динамики: тканевая оксигенация не менялась в течение операции, а кислородный резерв достоверно снижался во время ИК и конце операции. В 3С группе пациентов, как и в группе 3А, изменений StO<sub>2</sub> по этапам операции не выявлено, а КР достоверно снизился по отношению к исходу во время ИК и в конце операции. Иными словами, показатель кислородного резерва оказался более динамичным, чем показатель тканевой оксигенации. Значительный интерес представила группа 3В. Изменения StO<sub>2</sub> и StO<sub>2</sub> min происходили однонаправлено уже на предперфузионном этапе, оба показателя достоверно уменьшались, соответственно, на 13 % и 12 %. Во время ИК StO<sub>2</sub> оставался на уровне показателя предыдущего этапа, а StO<sub>2</sub> min снизился в сравнении с предыдущим этапом еще на 5 %, а в сравнении с исходом на 17 %. На этапе окончания операции показатель тканевой оксигенации оставался стабильно

сниженным по сравнению с исходом на 12–13 %, а кислородный резерв, несмотря на тенденцию к увеличению на 5% по отношению к предыдущему этапу, был ниже исходных значений ( $p < 0,05$ ).

В целом, оценивая сравнительную динамику  $StO_2$  и  $StO_2 \text{ min}$ , следует подчеркнуть, что кислородный резерв является более информативным в оценке тканевой оксигенации.

### 3.3.3 Динамика лактата крови в исследуемых группах

При анализе уровня лактата артериальной крови, как показателя эффективности кислородного транспорта, во всех исследуемых группах было выявлено его достоверное повышение на этапе 45 минут ИК и в конце операции относительно начала операции. Кроме того, в группах 3А и 3В лактат артериальной крови достоверно повышался на этапе 45 минут ИК относительно предыдущего этапа. Динамика лактата крови представлена на Рисунке 15.



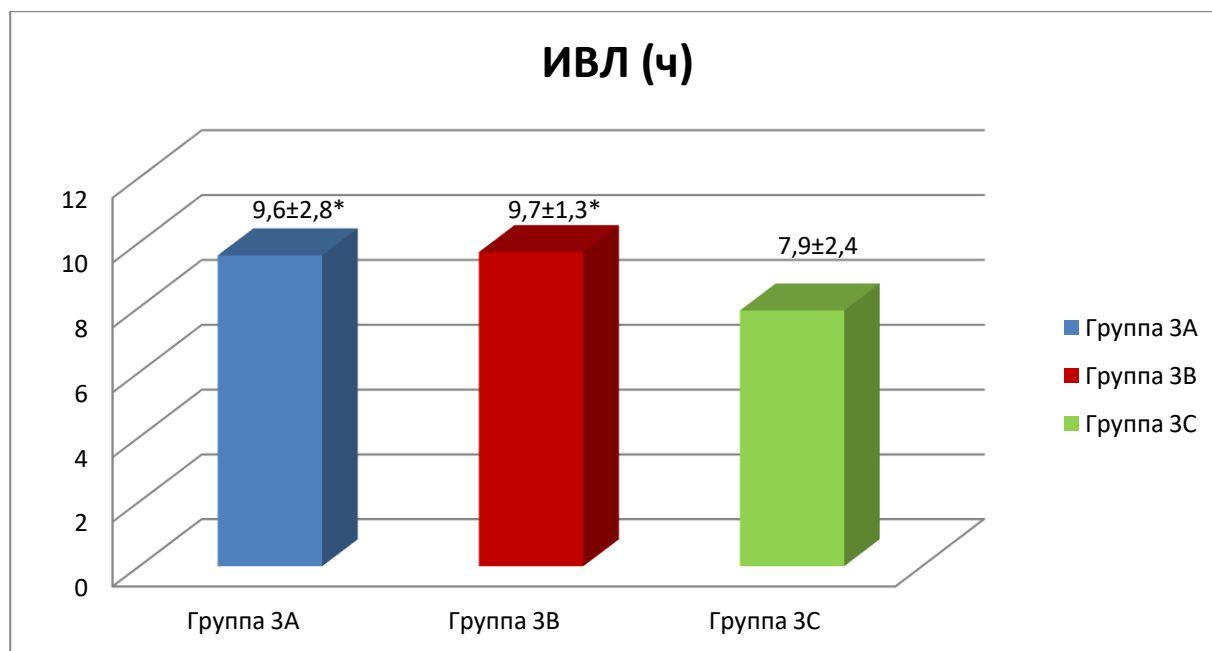
\* – по сравнению с началом операции, \*\* – по сравнению с предыдущим этапом, # – по сравнению с группой 3С,  $p < 0,05$

**Рисунок 15 – Динамика лактата крови в группах в зависимости от этапа операции**

Как видно из графика, уровень лактата артериальной крови в исходе и в предперфузионном периоде не различался по группам. На этапе 45 минут ИК во всех группах имело место достоверное увеличение уровня в сравнении с исходом, но по абсолютному значению величины его оставались в нормальных пределах. В конце операции уровень лактата был выше как в сравнении с предыдущим этапом, так и в сравнении с началом операции, но по абсолютному значению не выходил за верхнюю границу нормы. При сопоставлении концентрация лактата крови была в 3А и 3В группах достоверно выше, чем в группе 3С, которая характеризовалась наименьшей отрицательной динамикой тканевой оксигенации.

### 3.3.4 Роль интраоперационной динамики $StO_2$ в прогнозировании длительности ИВЛ и сроках пребывания пациентов в ОРИТ

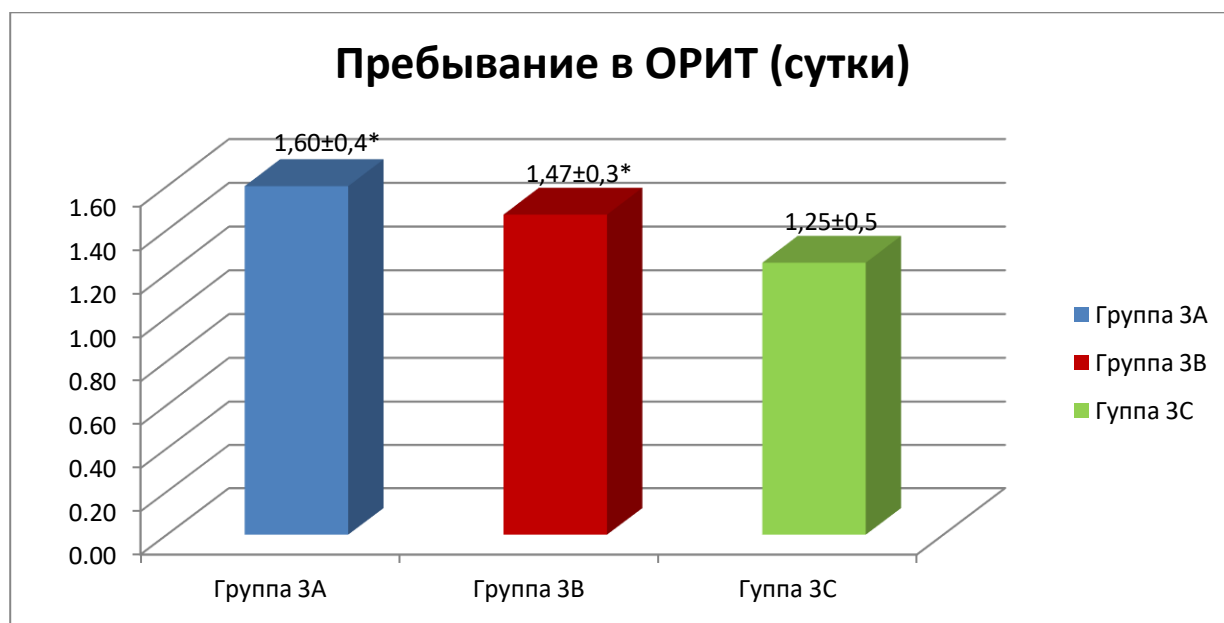
Анализ послеоперационной ИВЛ по группам показал, что группы 3А и 3В достоверно отличались по длительности от группы 3С. Наименьшее время ИВЛ отмечено в группе 3С, что сопровождалось самым низким уровнем лактата и лучшей динамикой тканевой оксиметрии. Данные анализа представлены на Рисунке 16.



\* –  $p < 0,05$  относительно группы 3С

**Рисунок 16 – Длительность послеоперационной ИВЛ (час) в группах**

Длительность пребывания в ОРИТ в группах 3А и 3В была выше по сравнению с группой 3С. Данные представлены на Рисунке 17.



\* –  $p < 0,05$  относительно группы 3С

**Рисунок 17 – Длительность пребывания пациентов в ОРИТ**

### **3.4 Оценка влияния инотропных средств и вазопрессоров на динамику церебральной и тканевой оксигенации**

В исследование было включено 98 пациентов, оперированных по поводу ИБС и клапанной патологии сердца. Катехоламины вводили в постперфузионном периоде, после перехода на естественное кровообращение под контролем гемодинамики и ЧСС. Все пациенты были разделены в зависимости от применения кардиотонических и вазоактивных средств.

Ретроспективно оценивались взаимосвязи динамики изменений  $StO_2$  и  $SctO_2$  более чем на 3 % от применения кардиотонических – допамин (ДП) или вазопрессорных – норадреналин (НА). Пациенты, которым требовалось одновременное назначение и ДП и НА из исследования были исключены ( $n = 5$ ).

Контрольную группу составили 43 пациента без применения катехоламинов и вазопрессоров.

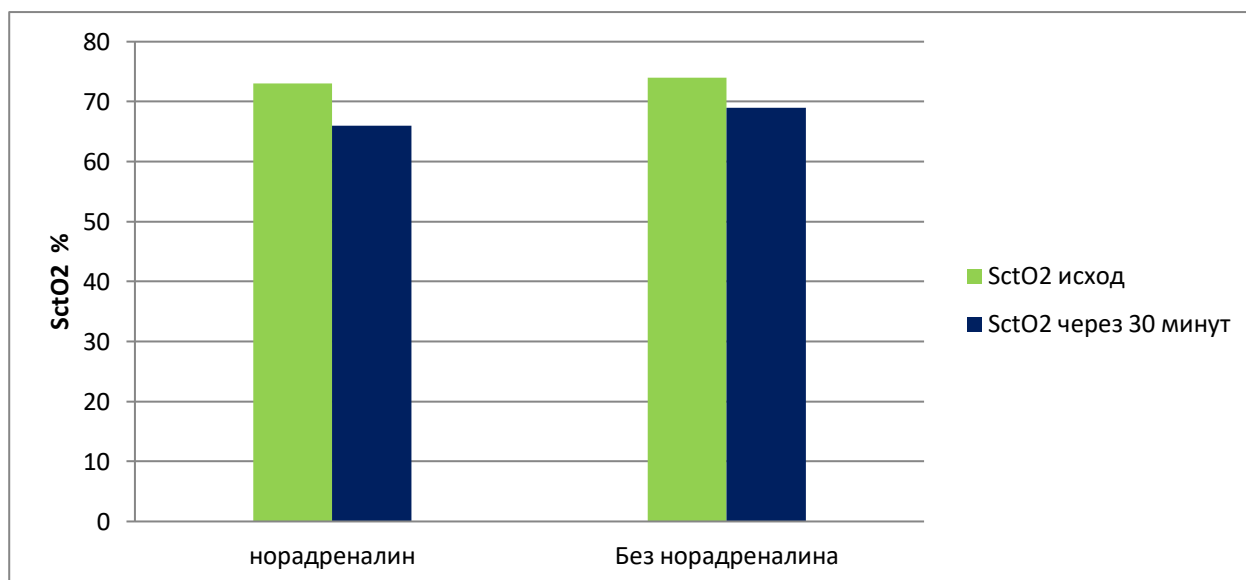
Частота применения и доза этих сердечно-сосудистых средств представлены в Таблице 9.

**Таблица 9 – Частота применения инотропных средств в постперфузионном периоде**

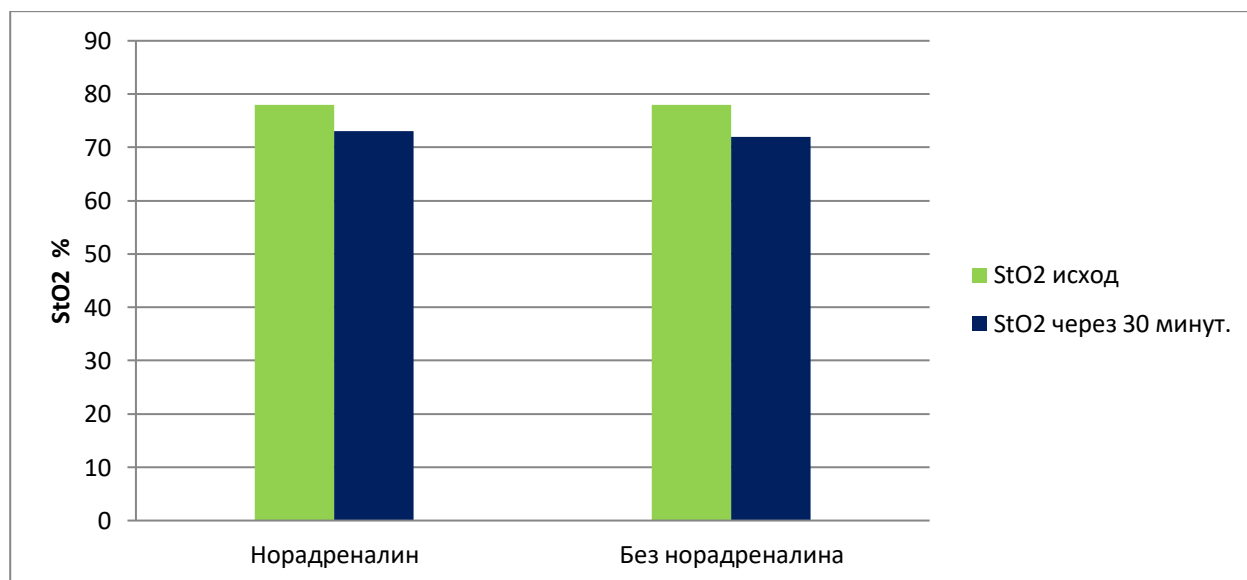
Применение препаратов	Число наблюдений	%
Допамин (3–5 мкг/кг/мин)	34	34,7
Норадреналин (50–200 нг/кг/мин)	16	16,3
Совместное применение допамина и норадреналина	5	5,1
Без использования инотропных и вазоактивных препаратов	43	43,9

В первую очередь был проведен анализ взаимосвязи динамики  $StO_2$  и  $SctO_2$  при инфузии норадреналина. Показанием для введения НА служили признаки сосудистой недостаточности при нормальных показателях ЦВД, венозной оксигенации. Норадреналин в постперфузионный период вводился в дозах от 50 до 200 нг/кг/мин 16 пациентам, что составило 16,3 % от общего числа наблюдений.

На Рисунке 18 представлена динамика церебральной оксиметрии в зависимости от применения норадреналина в дозах 50–200 нг/кг/мин.



А



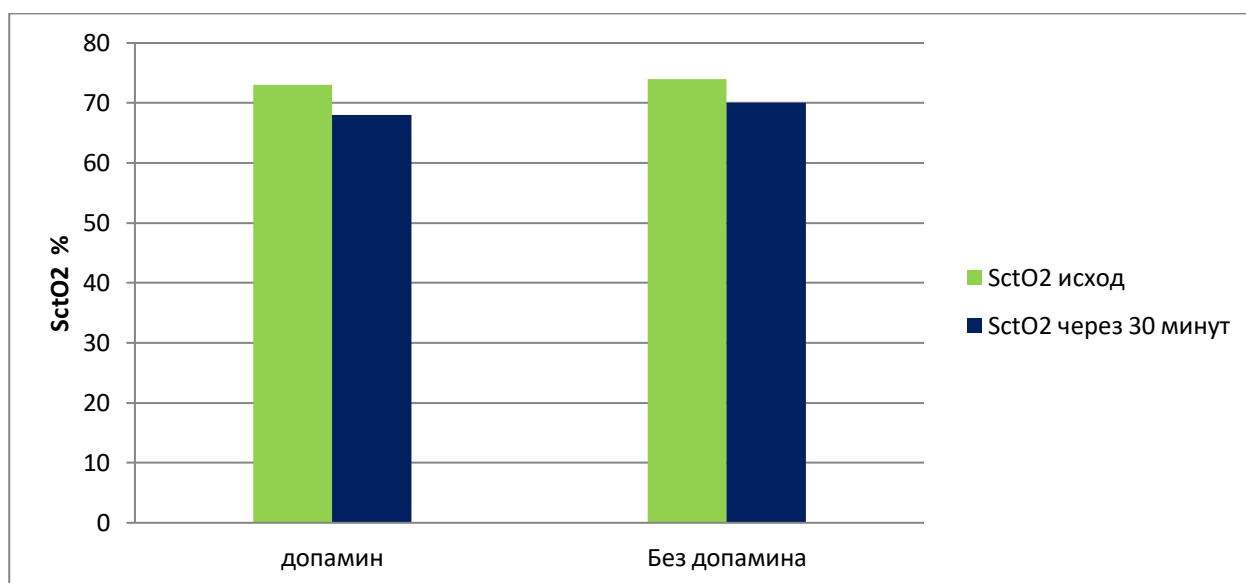
В

**Рисунок 18 – Динамика SctO<sub>2</sub> (А) и StO<sub>2</sub> (В) в зависимости от применения норадреналина**

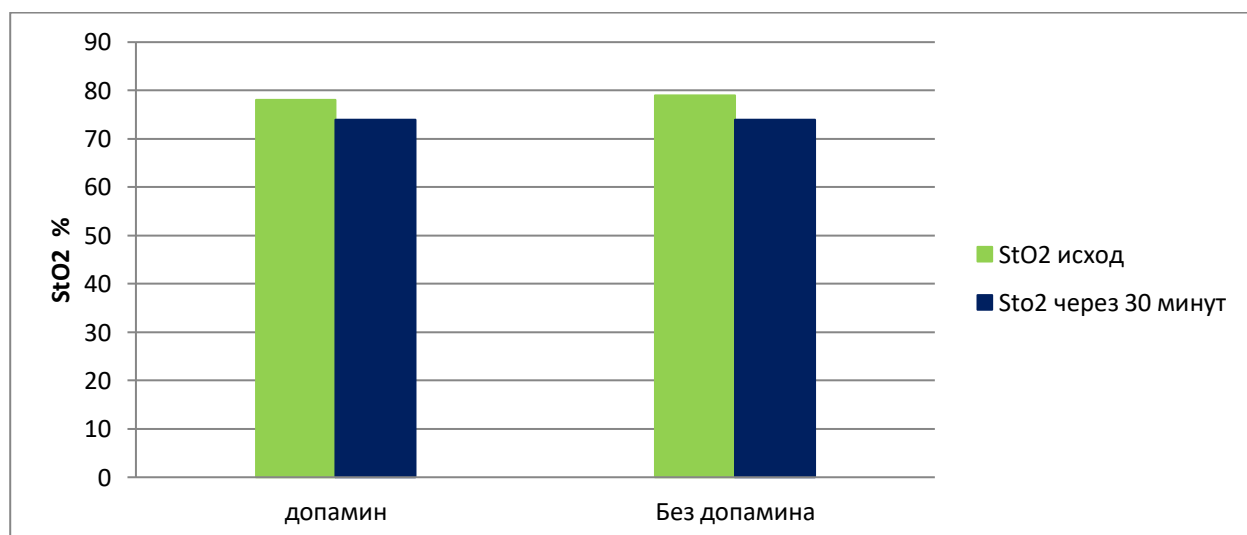
При статистическом анализе полученных данных выявлено, что SctO<sub>2</sub> в группе с применением норадреналина снижалась в 73 % наблюдений, а в группе без применения норадреналина в 79,2 % наблюдений. В свою очередь, StO<sub>2</sub> в группе с применением норадреналина снижалась в 80 % наблюдений, а в контрольной группе в 86,7 % наблюдений. Однако при сравнении оцениваемых

абсолютных значений показателей на фоне стабилизации АД достоверных различий между группами не выявлено ( $p > 0,05$ ).

Далее проанализированы взаимосвязи динамики  $StO_2$  и  $SctO_2$  при применении допамина. Показанием для его введения служило наличие признаков сердечной недостаточности. Инфузия ДП осуществлялась в дозах 2,5–5 мкг/кг/мин в постперфузионный период 34 пациентам, что составило 34,7% от общего числа наблюдений. На Рисунке 19 представлена динамика тканевой оксиметрии в зависимости от применения допамина в дозах 2,5–5 мкг/кг/мин.



А



В

**Рисунок 19 – Динамика  $SctO_2$  (А) и  $StO_2$  (В) в зависимости от применения допамина**

Частота снижения как церебральной, так и тканевой оксигенации в группе без применения катехоламина оказалась выше, а именно:

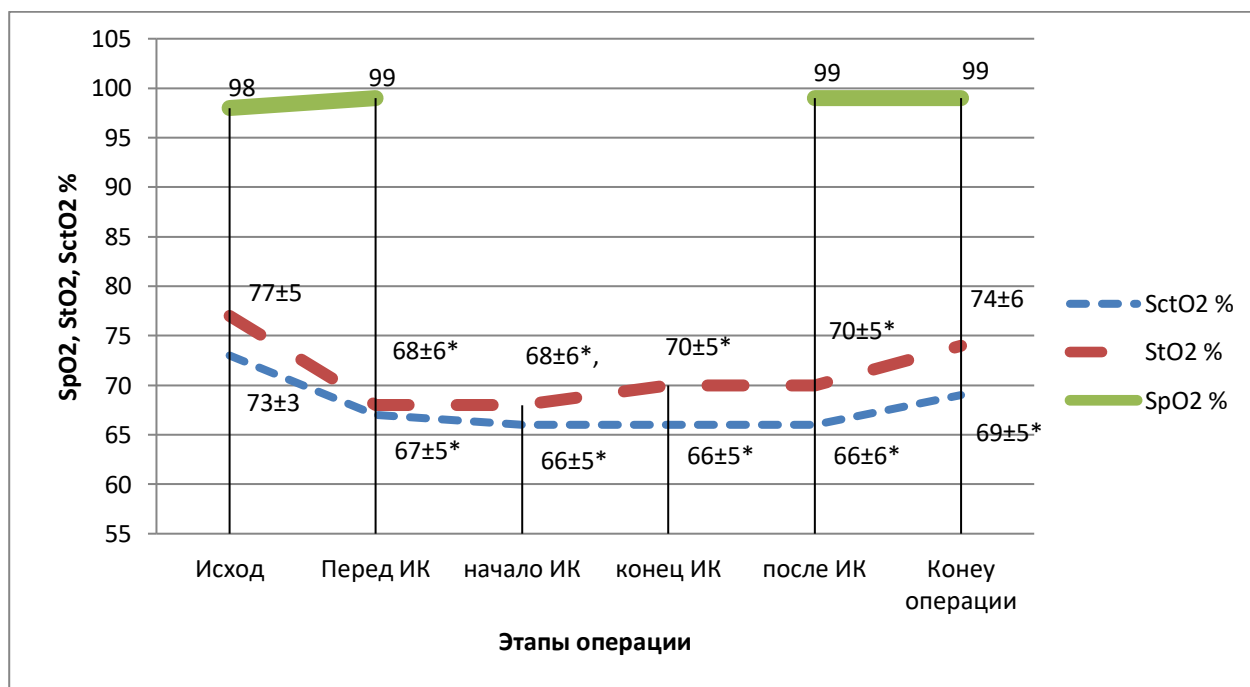
-  $SctO_2$  в группе с допамином снижалась в 68 % наблюдений, а в контрольной группе, без применения кардиотропного средства, в 88 % наблюдений;

-  $StO_2$  при применении допамина снижалась в 82,8% наблюдений, а в контрольной группе, без применения кардиотропного средства, в 87,5% случаев.

Однако при сравнении оцениваемых показателей достоверных различий между группами не получено ( $p > 0,05$ ).

### 3.5 Сравнение трендов тканевой и церебральной оксиметрии с трендом пульсоксиметрии при операциях с искусственным кровообращением

Во всех клинических наблюдениях ( $n = 126$ ), проведенных нами, была параллельно оценена динамика показателей тканевой и церебральной оксигенации и пульсоксиметрии. Данные представлены на Рисунке 20.



\* – по сравнению с началом операции,  $p < 0,05$

**Рисунок 20 – Динамика тканевой и церебральной оксиметрии и пульсоксиметрии в течение операции**



Как видно из Рисунка 20, показатель пульсовой оксиметрии остается корректным до начала искусственного кровообращения, во время ИК показатель SpO<sub>2</sub> отсутствует, и только в конце ИК мы вновь можем получить корректные данные пульсовой оксиметрии.

Динамика тканевой и церебральной оксигенации сопоставима с динамикой в группах исследования, описанных в предыдущих разделах. Во время искусственного кровообращения регистрация параметров продолжается.

## ГЛАВА 4

### Обсуждение полученных результатов

#### **4.1 Оценка динамики регионарной оксиметрии и кислородного резерва при различных видах температурного режима искусственного кровообращения**

В медицинской литературе, в частности в работе Грегори Фишера (G. Fischer) и соавторов, высказывались идеи о представлении церебральной оксигенации как ориентира при определении уровня десатурации всего организма в целом [52]. Авторы публикации провели исследование при операциях на аорте в условиях гипотермического режима искусственного кровообращения. Результатом изысканий стал вывод, что длительность снижения церебральной сатурации менее безопасных пороговых значений коррелирует со временем послеоперационной ИВЛ, длительностью пребывания в ОРИТ и длительностью общей госпитализации. Тканевую оксигенацию с этой точки зрения пока никто не рассматривал, кроме того, не проводилось исследований, направленных на оценку результатов одновременного мониторинга церебральной и тканевой оксиметрии.

Тканевая оксиметрия в основном нашла свое применение в медицине критических состояний, а также в таких областях хирургии, как пластическая хирургия, хирургия детского возраста, хирургия позвоночника. По данным медицинской литературы, в частности об этом говорится в работе коллектива авторов во главе с Д. Беккером (D. Backer), основным требованием для корректного измерения тканевой оксигенации является минимальная толщина подкожно-жирового слоя, а кроме того, для получения правильных параметров необходимо задействовать те области поверхности тела, где ткани наименее подвержены отеку, так как отечность может влиять на точность измерений [24]. Эти области располагаются в проекции мышц тенара, икроножной мышцы или в мышцах предплечья – есть данные, что при одновременном сравнении методик

нет существенных различий, в какой из этих областей проводить измерения [40]. Исходя из обозначенных выше условий и особенностей, в нашей работе зоной расположения датчика оксиметра была выбрана область предплечья. Расположение датчика в этой области руки обусловлено небольшой толщиной подкожно-жировой клетчатки, поверхностно расположенной мышечной тканью. К тому же эта область идеально подходит для проведения исследования с тестовой ишемией (проба с артериальной окклюзией). Отмечено, что во время анестезии у кардиохирургических больных снижается  $StO_2$  [2; 96]. Установлено, что ИК может вызывать выраженные нарушения тканевой перфузии. Д. Сандерс (J. Sanders) и его коллеги показали, что у кардиохирургических больных  $StO_2$  снижается на протяжении операции с ИК и сохраняется сниженным в раннем послеоперационном периоде [96]. Работ, где проводится одновременный мониторинг и анализ взаимосвязи таких показателей, как церебральная и тканевая оксиметрия, в настоящее время не встречается.

В наших исследованиях мы выяснили, что при операциях на сердце в условиях искусственного кровообращения при нормотермическом режиме (группа 1А) церебральная оксиметрия имела умеренную прямую достоверную корреляцию ( $r = 0,6$ ;  $p < 0,05$ ) с тканевой оксиметрией в исходе, на этапе перед ИК и в конце операции. В то же время, через 45 минут после начала ИК тканевая оксиметрия умеренно, обратно и достоверно коррелирует с церебральной оксиметрией ( $r = -0,5$ ;  $p < 0,05$ ). А в постперфузионный период  $SctO_2$  находится в сильной прямой зависимости от парциального давления кислорода в центральной вене ( $r = 0,8$ ;  $p < 0,05$ ). В свою очередь, достоверное снижение  $StO_2$  на этом же этапе относительно начала операции доказывает централизацию кровообращения, которая начинается во время искусственного кровообращения и продолжается в постперфузионный период.

В группе 1В (умеренная гипотермия во время перфузии) на этапах до ИК динамика  $SctO_2$  и  $StO_2$  соответствует группе 1А, а также отмечается обратная, но уже сильная, по сравнению с группой 1А, достоверная связь этих показателей на

этапе максимального охлаждения ( $r = -0,7$ ;  $p < 0,05$ ), что свидетельствует о действии умеренной гипотермии во время операций в условиях искусственного кровообращения. Кроме того, аналогичные группе 1А связи тканевой оксиметрии с парциальным давлением кислорода в центральной вене выявлены и в конце операции ( $r = 0,8$ ;  $p < 0,05$ ).

При операциях в условиях ИК в гипотермическом режиме (температура центральная 28,0-29,0 С°) – группа 1С – центральная температура достоверно снижалась относительно исхода на этапах ИК 15 минут, ИК 45 минут и была достоверно ниже по сравнению с группой 1А и группой 1В. На заключительном этапе центральная температура возвращалась к исходным значениям, была достоверно выше предыдущего этапа и не отличалась от температуры на этом же этапе исследования в предыдущих группах. Периферическая температура в течение всех этапов операции и ИК достоверно не изменялась и оставалась сниженной, и только в конце операции на фоне согревания была достоверно выше исхода операции и предыдущего этапа. Учитывая гипотермический режим перфузии в данной группе, отличающийся от групп 1А и 1В, такого эффекта удалось добиться благодаря методу комбинированного согревания с использованием воздушного матраса, подложенного под пациента. В этой же группе отмечена сильная отрицательная корреляция  $StO_2$  в конце операции с уровнем парциального давления кислорода в вене во время ИК ( $r = -0,9$ ;  $p < 0,05$ ), чего не наблюдалось в предыдущих группах. Это свидетельствует о повышенном потреблении кислорода тканями после перенесенного циркуляторного ареста при сохраненной антеградной перфузии головного мозга, а кроме того, связано с дополнительным режимом согревания тела пациента.

Оценивая кислородный резерв, мы показали, что его повышение на этапе перед ИК относительно начала операции, а затем достоверное снижение в начале искусственного кровообращения происходит во всех группах наблюдения (1А, 1В, 1С). А на этапе ИК 45 минут (минимальная температура) в группе 1С кислородный резерв достоверно повышается относительно предыдущего этапа

операции, становится выше начала операции только в этой группе наблюдения и достоверно отличается от групп 1А и 1В. Это свидетельствует о положительном влиянии гипотермии во время ИК. Адекватность оценки кислородного резерва подтверждена защитным действием перфузии в гипотермическом режиме на уровне тканевого метаболизма.

В работе Грегори Фишера (G. Fischer) и соавторов показано, что церебральная оксиметрия повышается во время кардиохирургических операций в условиях глубокой гипотермии (12–15 С°) [53]. На современном этапе кардиохирургии такие температурные режимы применяются все реже. В нашей работе мы показали, что  $SctO_2$  при аналогичных операциях при умеренной гипотермии (28 С°) снижается по сравнению с началом операции, как и при всех остальных температурных режимах искусственного кровообращения, но не выходит за пределы нижней границы нормы. Параллельный мониторинг  $StO_2$  – а точнее, повышение ее показателей и, особенно, показатели ПАО – доказывает положительные эффекты гипотермии в аспекте снижения потребления кислорода тканями еще в тот момент, когда ЦО не изменяется.

Интересно отметить, что при разных температурах на 45 минут ИК (36,0; 32,0 и 28,0-29,0 С°) показатели  $SctO_2$  и  $StO_2$  не отличались по величине. Это говорит о выборе адекватного режима перфузии во всех группах, а в группе 1С о целесообразности применения методики нейропротекции и органопротекции при операциях на восходящей и дуге аорты, и кроме того о необходимости применения дополнительного воздушного согревания после искусственного кровообращения в режиме гипотермии ниже 29,0 С°.

Церебральная оксиметрия дает непрерывный, оперативный контроль церебральной насыщаемости кислородом при отсутствии артериальной пульсации и церебральной перфузии, где мониторинг жизненно важных функций другими устройствами (то есть пульсоксиметрия) прекращает функционировать [36Г]. Это было проанализировано при операциях на аорте в условиях полного циркуляторного ареста, параллельный мониторинг тканевой оксиметрии не

проводился. Исходя из догматов физиологии и патофизиологии известно, что для адекватных и точных показателей пульсоксиметрии необходим хороший кровоток в микроциркуляторном русле, другими словами, отсутствие спазма периферических сосудов и пульсирующий кровоток, который может быть только при наличии сердечного выброса или применении специального режима искусственного кровообращения. Искусственное кровообращение и остановка сердца превращают тип сосудистого кровотока в ламинарный, к этому добавляется спазм микроциркуляторного русла. Эти факторы отрицательно сказываются на возможности получения адекватных и достоверных показаний пульсоксиметра. Наша работа демонстрирует, что даже при всех неблагоприятных факторах, во время ИК, когда методы неинвазивного контроля сатурации артериальной крови становятся трудноинтерпретируемыми, показатели регионарной оксиметрии остаются информативными.

#### **4.2 Оценка динамики $StO_2$ и $SctO_2$ при заборе аутокрови**

Вторая задача этого раздела заключалась в объективной оценке этого метода сохранения крови больного в аспекте влияния его на оксигенацию головного мозга и периферических тканей. Как известно, интраоперационная нормоволемическая гемодилюция (аутогемотрансфузия) вошла в программу сохранения крови больного [17; 18]. Клиническое значение ее – в сохранении компонентов крови и функций тромбоцитов, а также уменьшении использования донорской крови, улучшении гемостаза. До настоящего времени не установлен, в плане влияния на регионарную оксигенацию, объем эксфузии крови, и это послужило основанием для определения церебральной и тканевой оксиметрии. Ксавьер Вальтц (X. Waltz) с соавторами в своей работе показал связь тканевой оксигенации с уровнем гематокрита крови, исследуя пациентов с разными степенями анемий. Оксиметрию с этой стороны оценивали и другие исследователи [69]. В нашей работе мы подтвердили данный результат, но в более важном аспекте, а именно оценив динамику двух видов регионарной

оксиметрии и изменение уровня гематокрита крови при аутогемотрансфузии, которая проводится более чем у 60% пациентов в нашем Центре при кардиохирургических вмешательствах.

В результате статистической обработки данных выявлена достоверная отрицательная динамика показателей церебральной и тканевой оксиметрии в группе 2В (при заборе аутокрови больше 7 мл/кг массы тела). Параллельно с этим определена достоверная отрицательная динамика гематокрита в этой же группе и прямая сильная достоверная корреляционная связь показателя  $StO_2$  с гематокритом ( $r = 0,7$ ;  $p < 0,05$ ) на этапе после эксфузии крови. Таким образом, исследования показали отсутствие влияния объема крови в количестве до 7 мл/кг массы тела не только на центральную гемодинамику, но и на оксигенацию головного мозга и периферических тканей. Стремление увеличить количество эксфузируемой крови обусловлено линейной зависимостью состояния гемостаза и уменьшением количества донорской крови от объема нормоволемической гемодилюции [17; 18]. Однако исследование подтвердило, что при данном объеме эксфузии крови (более 7 мл/кг массы тела) при еще стабильном состоянии АД и ЦВД, уже наступают нарушения регионарной оксигенации.

Эти объективные данные неоспоримо свидетельствуют в пользу аутогемотрансфузии непосредственно перед ИК, а не в начале операции, когда фактор времени может внести дополнительные неблагоприятные воздействия на регионарную оксигенацию, в первую очередь, головного мозга. Своим исследованием мы показали, что метод церебральной и тканевой оксиметрии является одним из основных в обеспечении безопасности больного в кардиоанестезиологии, и доказали безопасность забора аутокрови в дозах до 12 мл/кг массы тела в предперфузионный период.

### 4.3. Оценка динамики $StO_2$ и кислородного резерва в зависимости от исходных значений $StO_2$

Данные нашего исследования совпадают с данными Д. Сандерса (J. Sanders), который с группой соавторов показал, что у кардиохирургических больных  $StO_2$  снижается на протяжении операции с ИК [96]. Одной из причин нарушения тканевой перфузии может быть негативное влияние искусственного кровообращения. Как отмечают Б. Соллер (B. Soller) и соавторы,  $StO_2$  снижается именно во время ИК и сопровождается уменьшением кислородного резерва тканей [103]. По данным нашего исследования тканевая оксигенация снижается уже на этапе перед искусственным кровообращением у пациентов с исходно низкой  $StO_2$  (группа 3А) и у части пациентов с нормальной  $StO_2$  в начале операции (группа 3В). При проведении тестовой ишемии верхней конечности (проба с артериальной окклюзией) выявлено, что показатели  $StO_2 \text{ min}$  (КР) оказались более динамичными, чем показатель тканевой оксигенации. Значительный интерес в сравнительном аспекте представляет группа 3В. Изменения  $StO_2$  и  $StO_2 \text{ min}$  происходили однонаправленно уже в предперфузионном периоде, оба показателя достоверно уменьшались соответственно на 13 % и 12 %. Во время ИК показатели  $StO_2$  остались примерно на том же уровне в сравнении с предыдущим этапом, а  $StO_2 \text{ min}$  снизился в сравнении с предыдущим этапом еще на 5 %, а в сравнении с исходом на 17 %. На этапе окончания операции показатель  $StO_2$  оставался стабильно сниженным по сравнению с исходом на 12–13 %, а кислородный резерв, несмотря на тенденцию к увеличению на 5 % по отношению к предыдущему этапу, был ниже исходных значений ( $p < 0,05$ ). В целом, оценивая сравнительную динамику  $StO_2$  и  $StO_2 \text{ min}$ , следует подчеркнуть, что кислородный резерв является более информативным в оценке тканевой оксигенации. При анализе динамики лактата крови определено, что в конце операции уровень лактата был выше в сравнении как с предыдущим этапом, так и с началом операции, но по абсолютному значению не выходил за верхнюю границу нормы. Этот вывод соответствует данным, полученным нами в



2016 году при исследовании клинических аспектов динамики лактата при операциях на сердце и аорте [16]. В сравнении между группами концентрация лактата крови была в 1 и 2 группах достоверно выше, чем в группе 3, которая характеризовалась наименьшей отрицательной динамикой тканевой оксигенации. При анализе длительности ИВЛ в постоперационном периоде выявлено, что наименьшее время ИВЛ отмечено в группе 3С с наименьшим уровнем лактата и наименьшей отрицательной динамикой тканевой оксиметрии. Группы 3А и 3В достоверно отличались от группы 3С по данному критерию. Такая же тенденция выявлена и при изучении длительности пребывания пациента в ОРИТ, то есть пациенты группы 3С с исходно высокими значениями тканевой оксиметрии и отсутствием выраженной их динамики в ходе операции находились в отделении реанимации незначительно, но достоверно меньше времени по отношению к группам 3А и 3В (1,25 суток против 1,47 и 1,6 суток соответственно).

#### **4.4 Оценка влияния катехоламинов на динамику церебральной и тканевой оксигенации**

Явления сердечной или сосудистой недостаточности, требующие применения в постперфузионном периоде инотропных и сосудистых средств, возникают в 50-60 % наблюдений [123]. С этой точки зрения была проанализирована динамика церебральной и тканевой оксиметрии в зависимости от использования действующих на сердечно-сосудистую систему лекарственных средств, которые наиболее часто применяются в кардиоанестезиологии. Обследование трех групп пациентов показало, что церебральная и тканевая оксигенация снижаются во всех случаях наблюдения, а именно при применении норадреналина, при применении допамина и в контрольной группе.

Так,  $SctO_2$  без применения норадреналина снижалась в 79,2 %, а при применении норадреналина в 73 %. Тканевая оксиметрия в этих же группах также имела тенденцию к снижению: в группе с норадреналином снижение  $StO_2$  происходило в 80 % наблюдений, в то время как без его использования в 86,7 %

наблюдений. При статистической обработке данных достоверных различий между группами не получено.

При применении допамина частота снижения  $SctO_2$  оказалась 68 %, без использования препарата – 88 %. Тканевая оксигенация снижалась при применении допамина в 82,8 % наблюдений, без использования допамина в 87,5 %. Несмотря на то, что 68 % и меньше 88 %, достоверных данных в пользу улучшения какого-либо оцениваемого параметра не получено ( $p > 0,05$ ). Проанализировав полученные данные, мы делаем вывод, что применение катехоламина – допамина, в дозах до 5 мкг/кг/мин, и вазопрессора – норадреналина, в дозах 50–200 нг/кг/мин, при кардиохирургических операциях не оказывает влияние на динамику и уровень церебральной и тканевой оксигенации. В работе Хенрика Соренсена (H. Sorensen) и соавторов говорится о противоположном, однако необходимо заметить, что в ней исследовались дозы, превышающие наши [105].

#### **4.5 Сравнение трендов тканевой оксиметрии и пульсоксиметрии при операциях с искусственным кровообращением**

Пульсоксиметрия применяется уже не одно десятилетие и остается «золотым стандартом» в анестезиологии. Исходя из физиологических, патофизиологических и физических аспектов понятна суть и методика любой оксиметрии. Одним из условий достоверности измерений и показаний пульсового оксиметра является наличие фотоплетизмограммы, и измерение абсорбции света производится в моменты систолического выброса сердца, то есть в моменты, когда сигнал, получаемый и регистрируемый датчиком, имеет максимальную амплитуду. Для регионарной оксиметрии систолический выброс не важен. Наше исследование демонстрирует, что показатель пульсовой оксиметрии остается корректным до начала искусственного кровообращения, во время ИК показатель  $SpO_2$  отсутствует, корректные данные пульсовой оксиметрии возможно получить только в конце ИК. Это связано в первую очередь с отсутствием пульсовой волны

во время искусственного кровообращения и, особенно, на этапе остановки сердца. Кроме того, свой вклад вносит спазм сосудов микроциркуляторного русла и гипотермические режимы перфузии. Динамика тканевой и церебральной оксигенации сопоставима с динамикой в группах исследования, описанных в предыдущих разделах. В отличие от пульсовой оксиметрии, регистрация параметров регионарной оксиметрии во время искусственного кровообращения возможна и продолжается. Естественно, что описанные нами виды регионарной оксиметрии не могут быть альтернативой пульсовой оксиметрии, но в кардиоанестезиологии, на этапе искусственного кровообращения, они могут оказаться дополнительным, полезным инструментом в оценке эффективности перфузии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным ВОЗ, Россия занимает лидирующую позицию по показателям смертности от сердечно-сосудистых заболеваний среди экономически развитых государств. В немалой степени это является следствием общей тенденцией к постоянному росту сердечно-сосудистых патологий в нашей стране. В свою очередь, увеличение количества заболеваний закономерно приводит к увеличению числа хирургической коррекции патологии сердца и магистральных сосудов. В такой ситуации активно развивается и совершенствуется техника оперативных вмешательств и, кроме того, расширяются объемы одномоментных кардиохирургических операций, успех которых зависит не только от хирургической техники, но и от анестезиологического обеспечения.

Одна из главных задач кардиоанестезиолога – обеспечение безопасности пациента во время операции. Для достижения этой цели разрабатываются различные подходы, одним из которых является развитие, усовершенствование и внедрение новых методов интраоперационного контроля состояния пациента. Определение прогностической ценности этих методов – важный компонент предпринимаемых усовершенствований. Проиллюстрируем это утверждение примером роли адекватной оценки транспорта кислорода – основополагающей составляющей для обеспечения нормального функционирования клетки, а следовательно, органов и систем органов. На современном этапе развития анестезиологии одним из перспективных методов оценки транспорта кислорода является регионарная (церебральная и тканевая) оксиметрия. Методика отражает баланс между доставкой и потреблением кислорода в исследуемом регионе. Данные можно получать при отсутствии пульсирующего кровотока – именно в этом заключается отличие регионарной оксиметрии от пульсоксиметрии, которая отражает насыщение кислородом исключительно артериальной крови, и ключевым условием для работы этого метода является наличие пульсирующего кровотока. Пульсоксиметрия – один из основных методов мониторинга, однако она не дает анестезиологу представления о функциональном состоянии тканей,

метаболизме кислорода в них. Снижение показателя тканевой оксигенации может происходить у пациентов несколько раньше, чем могут быть обнаружены нарушения гемодинамики по данным иных методов контроля [120]. Тканевая оксигенация, кроме информации о балансе доставки и потребления кислорода, отражает кровоток в сосудах микроциркуляторного русла и во многом зависит от реактивности и тонуса микрососудов. Проведенные ранее исследования показали, что во время кардиохирургических операций тканевая оксигенация снижается на протяжении операции в условиях искусственного кровообращения и сохраняется сниженной в раннем послеоперационном периоде. Следует указать на то, что в этих работах  $StO_2$  анализировалась изолированно от церебральной оксигенации [103,104].

В одну из задач нашего исследования входило проведение параллельного мониторинга двух видов оксигенации и оценка их взаимосвязи между собой, Мы проводили одновременный мониторинг  $StO_2$  и  $SctO_2$  в течение всей операции в условиях искусственного кровообращения.

При анализе полученных данных было выявлено, что церебральная и тканевая оксигенация находятся в прямой зависимости в предперфузионном периоде во всех группах наблюдения (группы 1А, 1В, 1С). На этапе искусственного кровообращения, при нормотермическом и умеренно гипотермическом режиме, церебральная и тканевая оксигенация находятся в обратной связи, что свидетельствует о централизации кровообращения. Данное предположение подтверждает и динамика такого показателя, как парциальное давление кислорода в крови центральной вены, которое на этапе ИК 15 минут достоверно повышалось относительно исхода и предыдущего этапа, и было достоверно выше относительно исхода на этапе ИК 45 минут и в конце операции. В группе 1В (умеренно гипотермический режим перфузии) на этапе искусственного кровообращения выявлена прямая сильная связь показателя тканевой оксигенации с показателями температуры. Патологические основы искусственного кровообращения в режиме умеренной гипотермии дают основание для вывода, что снижение тканевой оксигенации на этом этапе

свидетельствует о спазме микроциркуляторного (периферического) русла и развитии системного воспалительного ответа [10], то есть подтверждает достоверную обратную связь между показателями церебральной и тканевой оксиметрии во время ИК. Конец этапа искусственного кровообращения характеризуется согреванием тела пациента – в группе 1В это было реализовано за счет теплообменного устройства в контуре аппарата искусственного кровообращения и водяного матраца. Этап согревания и следующий за ним, постперфузионный, характеризуются дилатацией периферической системы кровообращения, то есть увеличением кровотока в периферических отделах, ткани которых подвержены в этот момент эффектам системного воспалительного ответа, что является последствием ИК [11]. Описанный процесс приводит к нарушениям клеточных механизмов транспорта кислорода. Этим можно объяснить повышение тканевой оксигенации и ее прямую высокую корреляцию с показателями  $pvO_2$  в постперфузионный период. Группа 1С не отличалась от предыдущих групп по динамике и корреляционным связям показателей тканевой и церебральной оксигенации на этапах операции, предшествующих искусственному кровообращению. Динамика лактата менялась аналогично изменениям в группах 1А и 1В, но в количественном аспекте на 45 минут ИК и в конце операции концентрация его была выше, что обусловлено последствиями гипотермической перфузии и циркуляторного ареста.

Проба с артериальной окклюзией может предоставить дополнительную информацию о состоянии как микроциркуляторного русла, так и клеточного метаболизма кислорода. Нисходящая часть петли и минимальные значения  $StO_2$  дают клиницисту представление об экстракции кислорода тканями, а восходящая часть петли при проведении пробы с артериальной окклюзией отражает состояние тонуса микрососудов. В работах Гиллема Груартмонера (G. Gruartmoner) с соавторами и Эммануэля Фьючера (E. Futier) с соавторами утверждается, что оценка показателей при проведении ПАО имеет большее клиническое значение, чем оценка изолированной динамики тканевой оксигенации [55; 57].

В нашей работе была проанализирована динамика кислородного резерва и его связь с показателями тканевой оксиметрии по этапам операции. В первую очередь следует отметить, что для параллельной оценки этого показателя предложено ориентироваться не на абсолютные значения  $StO_2$  при проведении ПАО ( $StO_2 \text{ min}$ ), а на разницу между  $StO_2$  в начале проведения пробы и  $StO_2 \text{ min}$ , то есть  $(StO_2 - StO_2 \text{ min})$ . Выявлено, что во всех группах (1А, 1В, 1С) кислородный резерв в начале операции и перед ИК имеет такую же динамику, что и тканевая оксигенация. Проведенный анализ продемонстрировал, что кислородный резерв имеет прямую сильную корреляционную связь с показателями тканевой оксиметрии. Во всех группах наблюдения кислородный резерв снижался на этапе ИК 15 минут, что дает основание утверждать об уменьшении устойчивости тканей к гипоксии, это свидетельствует о негативном воздействии искусственного кровообращения на ткани.

В вопросе целесообразности применения ПАО для определения кислородного резерва особую ценность в данной работе представляет группа 1С, показатели которой очень наглядно демонстрируют действие гипотермии на клеточный метаболизм. В группе 1С на этапе ИК 45 при активном охлаждении организма и уменьшении потребности тканей в кислороде, на фоне отсутствия динамики тканевой оксиметрии относительно начала ИК (ИК 15 минут), кислородный резерв резко повышался относительно предыдущего этапа и почти достигал исходных значений. А в группах 1А и 1В кислородный резерв оставался таким же низким, как и в начале искусственного кровообращения.

На этапе после искусственного кровообращения в группе 1С с гипотермией  $< 30,0 \text{ C}^\circ$  и состоянием после циркуляторного ареста кислородный резерв достоверно снижается относительно предыдущего этапа (гипотермии) и начала операции. Подобное явление обусловлено состоянием тканей после перенесенной ишемии. Обращает на себя внимание динамика тканевой оксигенации после ИК, которая повышается относительно предыдущего этапа и имеет сильную отрицательную корреляционную связь с КР. Повышение  $StO_2$  обусловлено вазоплегией на фоне дополнительного воздушного согревания. Необходимо особо

отметить, что повышение тканевой оксигенации по сравнению с предыдущим этапом и ее значения в диапазоне нормы являются мнимыми, поскольку оценка кислородного резерва говорит о нарушении метаболизма в тканях. Обобщая полученные в этой части исследования данные, можно сказать, что тканевая оксигенация и кислородный резерв снижаются в течение анестезии и искусственного кровообращения при всех температурных режимах. Получение более информативных результатов требует проведения ПАО. Касаясь взаимосвязи между церебральной и тканевой оксигенацией, следует отметить, что в предперфузионный период эти два показателя находятся в прямой связи, а во время искусственного кровообращения – в обратной.

Забор аутокрови во время кардиохирургических вмешательств входит в программу сохранения крови пациента в нашем Центре [17; 18]. Наше исследование показывает, что оценка динамики регионарной оксигенации при аутогемотрансфузии может служить критерием безопасности пациента в анестезиологии. Так, сравнивая динамику тканевой и церебральной оксигенации при заборе аутокрови в двух группах пациентов – 2А и 2В, мы выявили, что в группе 2В, при заборе крови более 7 мл/кг массы тела, тканевая и церебральная оксигенация изменяются раньше, чем основные показатели гомеостаза. Следовательно, данные регионарной оксиметрии могут использоваться как ориентир при определении оптимального объема забираемой крови. Необходимо уточнить, что забор аутокрови безопаснее проводить непосредственно перед искусственным кровообращением, а не в начале операции.

Изучая тканевую оксиметрию в отдельном исследовании, мы определили, что пациенты с исходно сниженной тканевой оксигенацией (которая была исходно ниже 70 %) или ее отрицательной динамикой в начале операции (в начале операции была выше 70 %, но потом в короткое время снижалась до 65 %) (группы 3А, 3В) отличались более выраженной динамикой лактата крови на этапе искусственного кровообращения. Однако уровень лактата во всех группах оставался в пределах нормальных значений. Кроме того, в группах 3А, 3В отмечено более длительное время постоперационной ИВЛ и пребывание в



отделении реанимации. В этом аспекте ранее оценивалась церебральная оксигенация [33; 34; 53], но аналогичных работ по оценке тканевой оксигенации не проводилось.

Хенрик Соренсен (H. Sorensen) с соавторами в своем исследовании анализирует действие катехоламинов на динамику регионарной оксиметрии, показывая, что при применении этих препаратов показатели церебральной и тканевой оксигенации снижаются [105]. В нашей работе мы оценивали действие допамина в дозах 3–5 мкг/кг/мин и норадреналина в дозах 50–200 нг/кг/мин. При указанных дозировках тканевая и церебральная оксигенация не менялись на фоне стабилизации центральной гемодинамики. На основании этого мы можем сделать вывод, что применение катехоламинов в обозначенных дозах не оказывает значительного влияния на регионарную оксиметрию на фоне стабилизации гемодинамики и, тем самым, безопасно.

Каждый показатель, регистрирующий тот или иной параметр во время анестезии, является отдельным звеном в цепи безопасности пациента во время анестезии. Бывают различные клинические ситуации, когда регистрация какого-либо показателя затруднена или невозможна. Одним из таких примеров является пульсоксиметрия. Для регистрации  $SpO_2$  необходим пульсирующий кровоток, который при искусственном кровообращении в большинстве случаев отсутствует, а следовательно, и регистрация этого параметра невозможна. Точкой измерения регионарной оксиметрии является преимущественно капиллярная часть сосудистого русла. Кроме того, для получения показателей не требуется пульсирующего кровотока, что увеличивает значимость этой методики во время ИК и ЦА. Проанализировав динамику и тренды пульсовой оксиметрии и регионарной оксиметрии, мы делаем вывод, что при сложностях или невозможности использования мониторинга традиционной пульсоксиметрии можно ориентироваться на показатели регионарной оксиметрии, которая не только демонстрирует потребление кислорода тканью, но и при динамическом одновременном мониторинге церебральной и тканевой оксигенации служит показателем его доставки.

## Выводы

1. Мониторинг тканевой оксиметрии и проведение пробы с артериальной окклюзией являются объективным показателем для оценки регионарной оксигенации во время анестезии при кардиохирургических операциях в условиях искусственного кровообращения.

2. Результаты оксиметрии при проведении пробы с артериальной окклюзией являются более информативным показателем состояния тканевой оксигенации, чем изолированный показатель тканевой оксигенации.

3. Тканевая оксигенация и кислородный резерв тканей снижаются во время анестезии и искусственного кровообращения при температурных режимах искусственного кровообращения (36,0 С°; 32,0-33,0 С°; 28,0-29,0 С°).

4. В предперфузионный период церебральная и тканевая оксиметрия находятся между собой в прямой зависимости. На этапе искусственного кровообращения при нормотермическом и умеренно гипотермическом режиме церебральная и тканевая оксигенация находятся в обратной зависимости.

5. При аутоэкфузии крови в объеме более 7 мл/кг массы тела регионарная оксигенация уменьшается относительно исходных значений, при сохранении гемодинамических показателей в пределах нормы.

6. Применение катехоламинов – допамина в дозах до 5 мкг/кг/мин и норадреналина в дозах 50–200 нг/кг/мин – при кардиохирургических операциях не оказывает влияние на динамику и уровень церебральной и тканевой оксигенации.

7. Низкий уровень тканевой оксигенации и кислородного резерва тканей в начале операции может служить прогностическим признаком более длительной ИВЛ и большего времени пребывания в отделении реанимации.

8. Корректность оценки кислородного резерва тканей при пробе с артериальной окклюзией подтверждена снижением тканевого метаболизма на фоне глубокого охлаждения во время искусственного кровообращения.

## Практические рекомендации

1. Для более информативной оценки динамики тканевой оксиметрии и выявления скрытых нарушений тканевой оксигенации во время кардиохирургических операций следует проводить пробу с артериальной окклюзией.

2. При проведении пробы с артериальной окклюзией следует рассматривать не только абсолютные значения, а разницу между  $StO_2$  и  $StO_2 \text{ min}$  для более объективной оценки  $StO_2$ .

3. Исходный уровень тканевой оксигенации и его динамика в течение операции могут служить предикторами более длительной ИВЛ в постоперационном периоде.

4. При определении оптимального объема и времени аутогемоксфузии следует ориентироваться на динамику тканевой и церебральной оксиметрии. Забор аутокрови безопаснее проводить перед началом искусственного кровообращения.

5. При сложностях или невозможности использования мониторинга традиционной пульсоксиметрии можно ориентироваться на показатели регионарной оксиметрии.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

- АД<sub>ср</sub> – среднее артериальное давление
- АКШ – аортокоронарное шунтирование
- БИКС – ближняя инфракрасная спектроскопия
- ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения
- ДП - допамин
- ИБС – ишемическая болезнь сердца
- ИВЛ – искусственная вентиляция легких
- ИК – искусственное кровообращение
- ИМ – ишемия миокарда
- КР – кислородный резерв
- КЩС – кислотно-щелочное состояние
- ЛЖ – левый желудочек
- МНОАР – Московское научное общество анестезиологов-реаниматологов
- МРТ – магнитно-резонансная томография
- НА - норадреналин
- ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии
- ПАО – проба артериальной окклюзии
- ПОКД – послеоперационная когнитивная дисфункция
- ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография
- СИ – сердечный индекс
- ТО – абсолютная тканевая оксигенация
- ФПГ – фотоплетизмограмма
- ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких
- ЦВД – центральное венозное давление
- ЦО – абсолютная церебральная оксигенация
- ЧСС – частота сердечных сокращений
- ЭКГ – электрокардиография
- ASA – Американское общество анестезиологов (American Society of

Anesthesiologists)

Hb – гемоглобин

HbO<sub>2</sub> – оксигенированный гемоглобин

Hct – гематокрит

PvO<sub>2</sub> – парциальное давление кислорода центральной венозной крови

rSO<sub>2</sub> – регионарная оксиметрия

SctO<sub>2</sub> – абсолютная церебральная оксигенация

ScvO<sub>2</sub> – сатурация центральной венозной крови

SjbO<sub>2</sub> – сатурация крови в луковице яремной вены

SpO<sub>2</sub> – сатурация капиллярной крови

StO<sub>2</sub> – абсолютная тканевая оксигенация

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аксельрод, Б.А. Анестезиологическое обеспечение реконструктивных операций на дуге аорты: нюансы органопротекции / Б.А.Аксельрод, Д.А.Гуськов, Э.Р.Чарчян, С.В.Федулова, А.С.Ойстрах, А.А.Еременко, Л.С.Локшин, З.Р.Хачатрян, Л.А.Медведева, Н.А.Трекова // Анестезиология и реаниматология. – 2015. – № 5. – С. 26-30.
2. Аксельрод, Б.А. Интраоперационные реакции сосудистой системы в кардиоанестезиологии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.20; 14.01.05. – М., 2012. – 48 с.
3. Бунятян, А.А. Гипотермическая перфузия и анестезия в хирургии врожденных и приобретенных пороков сердца: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 00.00.00. – М., 1965. – 27 с.
4. Бунятян, А.А. Руководство по кардиоанестезиологии / А.А.Бунятян, Н.А.Трекова, А.А.Еременко. – М : МИА, 2005. – 688 с.
5. Дементьева, И.И. Органная недостаточность после операций с искусственным кровообращением: факторы риска и прогноз развития / И.И.Дементьева, М.А.Чарная, Ю.А.Морозов и др. // Анналы РНЦХ им. акад. Б.В.Петровского. – 2006. – №15. – Стр. 128-132.
6. Ермольев, С.Н. Оценка состояния микроциркуляции и оксигенации тканей пародонта при гингивите у детей подросткового возраста / С.Н.Ермольев, Л.П.Кисельникова, Г.И.Кузнецова // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2016. – № 3 (58). – С. 18-21.
7. Захаров, В.И. Мониторинг церебральной оксигенации и её взаимосвязь с транспортом кислорода и когнитивными функциями при кардиохирургических операциях: автореф. дис. ... к-та мед. наук: 14.01.20; С-П, 2015. – 26 с.
8. Караськов, А.М. Кислородтранспортная функция системы кровообращения при операциях на открытом сердце в условиях экстракорпоральной гипотермии [Электронный ресурс] / А.М.Караськов,

В.Н.Ломиворотов, С.Г.Сидельников, А.В.Шунькин, В.В.Ломиворотов, И.А.Корнилов. Режим доступа: <http://rosect.ru/congress/suzdal2001/suzdal2.shtml>

9. Клыпа, Т.В. Профилактика и ранняя коррекция послеоперационных неврологических осложнений в кардиохирургии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.20. – М., 2017. – 45 с.

10. Коган, Л.М. Красный и инфракрасный излучатели с повышенным квантовым выходом для оксиметрии // Медицинская техника. – 1992. – № 5. – С. 21-25.

11. Лурье, Г.О. Искусственное кровообращение. – М. : МИА, 2002. – 32 с.

12. Малыхина, И.Ф. Тканевая оксиметрия: оценка жизнеспособности свободных лоскутов при реконструкции головы и шеи / И.Ф.Малыхина, А.И.Неробеев, А.С.Добродеев, Е.В.Вербо, Е.И.Гарелик, К.С.Салихов // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. – 2015. – № 2 (53). – С. 11-24.

13. Осипов, В.П. Основы искусственного кровообращения. – М. : Медицина, 1976. – 377 с.

14. Осипов, В.П. Основы искусственного кровообращения. – М. : Медицина, 1976. – 377 с.

15. Сеченов, И.М. Форма кровяного насоса. // Врач. – 1883. – №18. – С. 273.

16. Трекова, Н.А. Клинические аспекты динамики лактата при операциях на сердце и аорте / Н.А.Трекова, Б.А.Аксельрод, И.И.Юдичев, Д.А.Гуськов // Анестезиология и реаниматология. – 2016. – № 5. – С. 324-329.

17. Трекова, Н.А. Реализация современных принципов бескровной хирургии при операциях на сердце в условиях искусственного кровообращения / Н.А.Трекова, Л.Е.Соловова, А.Г.Яворовский [и др.] // Анестезиология и реаниматология. – 2002. – № 5. – С. 8-12.

18. Трекова, Н.А. Трансфузионная терапия при операциях на сердце и аорте / Н.А.Трекова, Л.Е.Соловова, Д.А.Гуськов [и др.] // Анестезиология и реаниматология. – 2014. – № 3. – С. 3-10.

19. Физиология человека: в 3 т. / под ред. Р.Шмидта и Г.Тевса; пер. с англ. Н.Н.Алипова [и др.]; под ред. П.Г.Костюка. – М.: Мир, 1996.

20. Чертков, К.А. Интраоперационная тканевая оксиметрия и цифровая динамометрия в профилактике развития нестабильности межкостистых фиксаторов [Электронный ресурс] / К.А.Чертков, С.М.Кутепов, А.К.Чертков, К.А.Бердюгин // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 6. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25668>

21. Шурыгин, И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. – СПб.: Невский диалект, 2000. – 301 с.

22. Aoyagi, T. Pulse oximetry: its invention, contribution to medicine, and future tasks / Т.Аoyagi, К.Мiyasaka // Anesthesia and Analgesia. – 2002. – Vol. 94 (2). – P. 11-13.

23. Asgari, S. Intraoperative measurement of cortical oxygen saturation and blood adjacent to cerebral arteriovenous malformations using near-infrared spectroscopy / S.Asgari, H.Rohrborn, T.Engelhorn [et al.] // Journal of Neurosurgery. – 2003. – Vol. 52. – P. 298-304.

24. Backer, D. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches / D.Backer, G.Ospina-Tascon, D.Salgado [et al.] // Intensive Care Medicine. – 2010. – Vol. 36 (11). – P. 1813-1825.

25. Beards, S. Anatomical variation of cerebral venous drainage: the theoretical effect on jugular bulb blood samples / S.Beards, S.Yule, A.Kassner [et al.] // Anaesthesia. – 1998. – Vol. 53. – P. 627–633.

26. Bezemer, R. Assessment of tissue oxygen saturation during a vascular occlusion test using near-infrared spectroscopy: the role of probe spacing and measurement site studied in healthy volunteers / R.Bezemer, A.Lima, D.Myers, E.Klijn, M.Heger [et al.] // Critical Care. – 2009. – Vol. 13 (5). – P. 45-54.

27. Bhambhani, Y. Muscle oxygenation trends during dynamic exercise measured by near infrared spectroscopy // Canadian Journal of Applied Physiology. – 2004. – Vol. 29. – P. 504-523.



28. Boushel, R. Near-infrared spectroscopy for monitoring muscle oxygenation / R.Boushel, C.Piantadosi // *Acta Physiologica Scandinavica*. – 2000. – Vol. 168. – P. 615-622.
29. Brinkman, R. A method for continuous observation of saturation in patients / R.Brinkman, W.Zijlstra, R.Koopman // *Archivum Chirurgicum Neerlandicum*. – 1950. – Vol. 1. – P.333.
30. Buhlmann, A. Ein neuartiges Oxymeter fur die Messung der CySattingung des Blutes im Gewebe und in der Kiivette // *Helvetica Physiologica et Pharmalogica Acta*. – 1956. – Vol. 9. – P. 63.
31. Butler, E. Peripheral near-infrared spectroscopy: methodological aspects and a systematic review in post-cardiac surgical patients / E.Butler, M.Chin, A.Aneman // *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. – 2017. – Vol. 31 (4). – P. 1407-1416.
32. Calderon-Arnulphi, M. Detection of cerebral ischemia in neurovascular surgery using quantitative frequency-domain near-infrared spectroscopy / M.Calderon-Arnulphi, A.Alaraj, S.Amin-Hanjani [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 2007. – Vol. 106. – P. 283-290.
33. Casati, A. Continuous monitoring of cerebral oxygen saturation in elderly patients undergoing major abdominal surgery minimizes brain exposure to potential hypoxia / A.Casati, G.Fanelli, P.Pietropaoli [et al.] // *Anesthesia and Analgesia*. – 2005. – Vol. 101. – P. 740-747.
34. Casati, A. Monitoring cerebral oxygen saturation in elderly patients undergoing general abdominal surgery: a prospective cohort study/ A.Casati, G.Fanelli, P.Pietropaoli [et al.] // *European Journal of Anaesthesiology*. – 2007. – Vol. 24. – P. 59-65.
35. Choi, S. Nitroglycerin- and nicardipine-induced hypotension does not affect cerebral oxygen saturation and postoperative cognitive function in patients undergoing orthognathic surgery / S.Choi, S.Lee, Y.Jung [et al.] // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2008. – Vol. 66 (10). – P. 2104-2109.

36. Cohn, S. Splanchnic perfusion evaluation during hemorrhage and resuscitation with gastric near-infrared spectroscopy / S.Cohn, J.Varela, G.Giannotti // *Journal of Trauma*. – 2001. – Vol. 50. – P. 629-634.

37. Cohn, S. Tissue oxygen saturation predicts the development of organ dysfunction during traumatic shock resuscitation / S.Cohn, A.Nathens, F.Moore [et al.] // *Journal of Trauma*. – 2007. – Vol. 62. – P. 44-54.

38. Cook, D. Cardiopulmonary bypass temperature, hematocrit, and cerebral oxygen delivery in humans / D.Cook, W.Oliver, T.Orszulak, R.Daly, R.Bryce // *Annals of Thoracic Surgery*. – 1995. – Vol.60. – P.1671-1677.

39. Cook, D. Changing temperature management for cardiopulmonary bypass // *Anesthesia and Analgesia*. – 1999. – Vol.88. – P.1254-1271.

40. Creteur, J. The prognostic value of muscle StO<sub>2</sub> in septic patients / J.Creteur, T.Carollo, G.Soldati [et al.] // *Intensive Care Medicine*. – 2007. – Vol. 33. – P. 1549-1556.

41. Crookes, B. Can near-infrared spectroscopy identify the severity of shock in trauma patients / B.Crookes, S.Cohn, S.Bloch [et al.] // *Journal of Trauma*. – 2005. – Vol. 58 (4). – P. 806-813.

42. Croughwell, N. The effect of temperature on cerebral metabolism and blood flow in adults during cardiopulmonary bypass / N.Croughwell, L.Smith, T.Quill, M.Newman [et al.] // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 1992. – Vol. 103. – P. 549-554.

43. Denys, B. Anatomical variations of internal jugular vein location: impact on central venous access / B.Denys, B.Uretsky // *Critical Care Medicine*. – 1991. – Vol. 19. – P. 1516-1519.

44. Deschamps, A. Cerebral oximetry monitoring to maintain normal cerebral oxygen saturation during high-risk cardiac surgery: a randomized controlled feasibility trial / A.Deschamps, R.Hall, H.Grocott [et al.] // *Anesthesiology*. – 2016. – Vol. 124. – P. 826-836.

45. Diephuis, J. Jugular bulb desaturation during coronary artery surgery: a comparison of off-pump and on-pump procedures / J.Diephuis, K.Moons, A.Nierich [et al.] // *British Journal of Anaesthesia*. – 2005. – Vol. 94 (6). – P. 699-701.
46. Eagle, K.A. Guidelines for coronary artery bypass graft surgery: a report of the American College / American Heart Association Task Force on Practice American Guidelines // *J. Am. Coll. Cardiol.* 1999 (# 34). – Vol. 34. – P. 1262-1347.
47. Edmonds, H. All cardiac surgical patients intraoperative cerebral oxygenation monitoring // *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. – 2006. – Vol. 20 (3). – P. 445-449
48. Faulkner, J. Using cerebral oximetry to prevent adverse outcomes during cardiac surgery / J.Faulkner, M.Hartley, A.Tang // *Perfusion*. – 2011. – Vol. 26 (2). – P. 79-81.
49. Fellahi, J. Cerebral and somatic near-infrared spectroscopy measurements during fluid challenge in cardiac surgery patients: a descriptive pilot study / J.Fellahi, M.Fischer, O.Rebet [et al.] // *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. – 2013. – Vol. 27. – P. 266-72.
50. Ferrari, M. Principles, techniques and limitations of near infrared spectroscopy / M.Ferrari, L.Mottola, V.Quaresima // *Canadian Journal of Applied Physiology*. – 2004. – Vol. 29 (4). – P. 463-487.
51. Fischer, G. Cerebral air embolism recognized by cerebral oximetry / G.Fischer, M.Stone // *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. – 2009. – Vol. 13. – P. 56-59.
52. Fischer, G. David Reich, M.D., Konstadinos Plestis, M.D., Randall Griep, M.D. V Cerebral oximetry in cardiac and major vascular surgery. – 2010. *HSR Proc Intensive Care Cardiovasc Anesth.* 2010;2(4):249-56.
53. Fischer, G. Noninvasive cerebral oxygenation may predict outcome in patients undergoing aortic arch surgery / G.Fischer, H.Lin, M.Krol [et al.] // *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 2011. – Vol. 141 (3). – P. 815-821.

54. Fodale, V. The effect of peribulbar block with ropivacaine on bi-hemispheric cerebral oxygen saturation in aged patients / V.Fodale, R.Di Pietro, F.Ferreri [et al.] // *Anaesthesia*. – 2006. – Vol. 61. – P. 764-767.
55. Futier, E. Use of near-infrared spectroscopy during a vascular occlusion test to assess the microcirculatory response during fluid challenge / E.Futier, S.Christophe, E.Robin [et al.] // *Critical Care* 2011. – Vol. 15. – P. 214.
56. Gibbs, E. Arterial and cerebral venous blood: arterial-venous differences in man / E.Gibbs, W.Lennox, L.Nims [et al.] // *Journal of Biological Chemistry*. – 1942. – Vol. 144. – P. 325-332.
57. Gruartmoner, G. Thenar oxygen saturation during weaning from mechanical ventilation: an observational study / G.Gruartmoner, J.Mesquida, J.Masip [et al.] // *European Respiratory Journal*. – 2014. – Vol. 43. – P. 213-220.
58. Han, S. Obstruction of the superior vena cava cannula detected by desaturation of the cerebral oximeter / S.Han, C.Kim, C.Lim, W.Kim // *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. – 2005. – Vol. 19. – P. 420-421.
59. Hemmerling, T. Significant decrease of cerebral oxygen saturation during single-lung ventilation measured using absolute oximetry / T.Hemmerling, M.Bluteau, R.Kazan [et al.] // *British Journal of Anaesthesia*. – 2008. – Vol. 10 (1). – P. 870-875.
60. Heringlake, M. Preoperative cerebral oxygen saturation and clinical outcomes in cardiac surgery / M.Heringlake, C.Garbers, J.Kabler [et al.] // *Anesthesiology*. – 2011. – Vol. 114. – P. 58-69.
61. Ince, C. Hemodynamic coherence and the rationale for monitoring the microcirculation // *Critical Care*. – 2015. – Vol. 19. – P. 8.
62. Jobsis-vanderVliet, F. Discovery of the near-infrared window into the body and the early development of near-infrared spectroscopy // *Journal of Biomedical Optics*. – 1999. – Vol. 4. – P. 392-396.
63. Jorgensen, L. Transcranial doppler for detection of cerebral ischaemia during carotid endarterectomy / L.Jorgensen, T.Schroeder // *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. – 1992. – Vol. 6 (2). – P. 142-147.

64. Kragelj, R. Parameters of post-occlusive reactive hyperemia measured by near infrared spectroscopy in patients with peripheral vascular disease and in healthy volunteers / R.Kragelj, T.Jarm, T.Erjavec [et al.] // *Annals of Biomedical Engineering*. – 2001. – Vol. 29 (4). – P. 311-320.

65. Kragelj, R. Reproducibility of parameters of post-occlusive reactive hyperemia measured by near infrared spectroscopy and transcutaneous oximetry / R.Kragelj, T.Jarm, D.Miklavcic [et al.] // *Annals of Biomedical Engineering*. – 2000. – Vol. 28 (2). – P. 168-173.

66. Lima, A. Low tissue oxygen saturation at the end of early goal-directed therapy is associated with worse outcome in critically ill patients / A.Lima, J.Bommel, T.Jansen // *Critical Care*. – 2009. – Vol. 13 (5). – P. 13-17.

67. Lipcsey, M. Near infrared spectroscopy (NIRS) of the thenar eminence in anesthesia and intensive care / M.Lipcsey, N.Woinarski, R.Bellomo // *Annals of Intensive Care*. – 2012. – Vol. 2. – P. 11.

68. Liu, H. Influence of blood vessels on the measurement of hemoglobin oxygenation as determined by time-resolved reflectance spectroscopy / H.Liu, B.Chance, A.Hielscher, S.Jacques, F.Tittel // *Medical Physics*. – 1995. – Vol. 22. – P. 1209-1217.

69. Lovell, A. Changes in cerebral blood with changes in position in awake and anesthetized subjects / A.Lovell, A.Marshall, C.Elwell [et al.] // *Anesthesia and Analgesia*. – 2000. – Vol. 90. – P. 372-376.

70. Lundsgaard, C. Investigation on the oxygen content of cutaneous blood / C.Lundsgaard, E.Meller // *Journal of Experimental Medicine*. – 1922. – Vol. 36. – P. 559.

71. MacLeod, D. Validation of the CAS adult cerebral oximeter during hypoxia in healthy volunteers / D.MacLeod, K.Ikeda, J.Keifer [et al.] // *Anesthesia and Analgesia*. – 2006. – Vol. 102. – P. 330.

72. Mallory, D. Effects of clinical maneuvers on sonographically determined internal jugular vein size during venous cannulation / D.Mallory, T.Shawker, R.Evans [et al.] // *Critical Care Medicine*. – 1990. – Vol. 18. – P. 1269-1273.

73. Marx, G. Venous oximetry / G.Marx, K.Reinhart // *Current Opinion in Critical Care*. – 2006. – Vol. 12 – P. 263-268.
74. Matthes, K. Ober den Einfluss der Atmung auf die Oa-Sättigung des Arterienblutes // *Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*. – 1934. – Vol.176. – P.683.
75. McCormick, P. Measurement of regional cerebrovascular haemoglobin oxygen saturation in cats using optical spectroscopy // *Neurological Research*. – 1991. – Vol. 13. – P. 65-70.
76. Mesquida, J. Skeletal muscle oxygen saturation (StO<sub>2</sub>) measured by near-infrared spectroscopy in the critically ill patients / J.Mesquida, G.Gruartmoner, C.Espinal // *Biomed Research International*. – 2013. – P. 288-296.
77. Messerer, M. Neuromonitoring after major neurosurgical procedures / M.Messerer, R.Daniel, M.Oddo // *Minerva Anestesiologica*. – 2012. – Vol. 78 (7). – P. 810-822.
78. Moerman, A. Cerebral oximetry: the standard monitor of the future / A.Moerman, S.De Hert // *Current Opinions in Anaesthesiology*. – 2015. – Vol. 28. – P. 703-709.
79. Morel, J. Tissue near infra-red spectroscopy change is not correlated with patients' outcome in elective cardiac surgery / J.Morel, J.Bouchet, M.Vola [et al.] // *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. – 2014. – Vol. 58. – P. 835-842.
80. Morimoto, Y. Prediction of postoperative delirium after abdominal surgery in the elderly / Y.Morimoto, M.Yoshimura, K.Utada [et al.] // *Journal of Anesthesia*. – 2009. – Vol. 23 (1). – P. 51-56.
81. Muellner, T. New instrument that uses near-infrared spectroscopy for the monitoring of human muscle oxygenation / T.Muellner, A.Nikolic, W.Schramm, V.Vecsei // *Journal of Trauma*. – 1999. – Vol. 46. – P. 1082-1084.
82. Murkin, J. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery: a randomized prospective study / J.Murkin, S.Adams, R.Novick // *Anesthesia and Analgesia*. – 2007. – Vol. 104. – P. 51-58.

83. Murkin, J. Near-infrared spectroscopy as an index of brain and tissue oxygenation / J.Murkin, M.Arango // *British Journal of Anaesthesia*. – 2009. – Vol. 103 (1). – P. 3-13.

84. Myers, D. Noninvasive method for measuring local hemoglobin oxygen saturation in tissue using wide gap second derivative near-infrared spectroscopy / D.Myers, L.Anderson, R.Seifert, J.Ortner, C.Cooper [et al.] // *Journal of Biomedical Optics*. – 2005. – № 10. – P. 340-357.

85. Nicolai, L. Verlauf und chemische Kinetik der HbO<sub>2</sub>-Reduktion im lebendem Gewebe // *Pflügers Archiv*. – 1932. – Vol. 229. – P. 372.

86. Nissen, P. Near-infrared spectroscopy for evaluation of cerebral autoregulation during orthotopic liver transplantation / P.Nissen, H.Pacino, H.Frederiksen [et al.] // *Neurocritical Care*. – 2009. – Vol. 11. – P. 235-241.

87. Papadopoulos, G. Cerebral oximetry and cognitive dysfunction in elderly patients undergoing surgery for hip fractures: a prospective observational study / G.Papadopoulos, M.Karanikolas, A.Liarmakopoulou [et al.] // *Open Orthopaedics Journal*. – 2012. – Vol. 6. – P. 400-405.

88. Payen, D. Is thenar tissue hemoglobin oxygen saturation in septic shock related to macrohemodynamic variables and outcome / D.Payen, C.Luengo, L.Heyer [et al.] // *Critical Care*. – 2009. – Vol. 13 (5). – P. 5.

89. Plachky, J. Regional cerebral oxygen saturation is a sensitive marker of cerebral hypoperfusion during orthotopic liver transplantation / J.Plachky, S.Hofer, M.Volkman [et al.] // *Anesthesia and Analgesia*. – 2004. – Vol. 99. – P. 344-349.

90. Prabhune, A. Cerebral oximetry provides early warning of oxygen delivery failure during car-diopulmonary bypass / A.Prabhune, A.Sehic, P.Spence, T.Church, H.Edmonds // *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. – 2002. – Vol. 16. – P. 204-206.

91. Ranjan, S. Anaesthesia induced changes in tissue saturation in response to vascular occlusion test / S.Ranjan, S.Thomson, M.Tuccillo [et al.] // *Care Medicine*. – 2009. – Vol. 35 (1). – P. 157-167.

92. Robertson, C. Cerebral arteriovenous oxygen difference as an estimation of cerebral blood flow in comatose patients / C.Robertson, R.Narayan, Z.Gokaslan [et al.] // *Journal of Neurosurgery*. – 1989. – Vol. 70. – P. 222-230.
93. Rothoerl, R. Dynamic correlation between tissue PO<sub>2</sub> and near infrared spectroscopy / R.Rothoerl, R.Faltermeier, R.Burger [et al.] // *Acta Neurochirurgica*. – 2002. – Vol. 81. – P. 311-313.
94. Saito, K. Gaseous content of arterial, cutaneous and venous blood in normal state and acidosis and alkalosis. // *Journal of Medical Sciences. Biophysics*. – 1938. – Vol. 4. – P. 76.
95. Salazar, D. Cerebral desaturation during shoulder arthroscopy: a prospective observational study / D.Salazar, B.Sears, J.Andre [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 2013. – Vol. 471. – P. 4027-4034.
96. Sanders, J. Tissue oxygen saturation and outcome after cardiac surgery / J.Sanders, I.Toor, T.Yurik [et al.] // *American Journal of Critical Care*. – 2011. – Vol. 20 (2). – P. 138-145.
97. Schoen, J. Preoperative regional cerebral oxygen saturation is a predictor of post-operative delirium in on-pump cardiac surgery patients: a prospective observational trial / J.Schoen, J.Meyerrose, H.Paarmann, M.Heringlake, M.Hueppe [et al.] // *Critical Care*. – 2011. – Vol. 15. – P. 218.
98. Schumacker, H.B. *The evolution of cardiac surgery*. – Bloomington : Indiana University Press, 1992. – 432.
99. Sealy, W. A report on the use of both extracorporeal circulation and hypothermia for open heart surgery / W.Sealy, I.Brown, W.Young // *Annals of Surgery*. – 1958. – Vol. 147. – P. 603-613.
100. Senning, A. Extracorporeal circulation combined with hypothermia // *Acta chirurgica scandinavica*. – 1954. – Vol. 107. – P. 516-524.
101. Shaaban, A. Jugular bulb oximetry during cardiac surgery / A.Shaaban, M.Harmer, I.Latto // *Anaesthesia*. – 2001. – Vol. 56 (1). – P. 24-37.



102. Slater, J. Cerebral oxygen desaturation predicts cognitive decline and longer hospital stay after cardiac surgery / J.Slater, T.Guarino, J.Stack [et al.] // *Annals of Thoracic Surgery*. – 2009. – Vol. 87. – P. 36-44.

103. Soller, B. Noninvasive, near infrared spectroscopic-measured muscle pH and PO<sub>2</sub> indicate tissue perfusion for cardiac surgical patients undergoing cardiopulmonary bypass / B.Soller, P.Idwasi, J.Balaguer [et al.] // *Critical Care Medicine*. – 2003. – Vol. 31. – P. 2342-2351.

104. Soller, B. Oxygen saturation determined from deep muscle, not thenar tissue, is an early indicator of central hypovolemia in humans / B.Soller, K.Ryan, C.Rickards [et al.] // *Critical Care Medicine*. – 2008. – Vol. 36. – P. 176-182.

105. Sorensen, H. Cutaneous vasoconstriction affects near-infrared spectroscopy determined cerebral oxygen saturation during administration of norepinephrine / H.Sorensen, N.Secher, C.Siebenmann, H.Nielsen [et al.] // *Anesthesiology*. – 2012. – Vol. 117 (2). – P. 263-270.

106. Sperna Weiland, N. Cerebral oxygenation during changes in vascular resistance and flow in patients on cardiopulmonary bypass – a physiological proof of concept study / N.Sperna Weiland, D.Brevoord [et al.] // *Anaesthesia*. – 2017. – Vol. 72. – P. 49-56.

107. Stochetti, N. Arterio-jugular difference of oxygen and intracranial pressure in comatose, head injured patients: technical aspects and complications / N.Stochetti, M.Barbagallo, C.Gordon [et al.] // *Minerva Anesthesiologica*. – 1991. – Vol. 57. – P. 319-326.

108. Stoney, W. Evolution of cardiopulmonary bypass // *Circulation*. – 2009. – Vol. 119 (21). – P. 2844-2853.

109. Strahovnik, I. Measurement of skeletal muscle tissue oxygenation in the critically ill / I.Strahovnik, M.Podbregar // *Signa Vitae*. – 2008. – Vol. 3 (1). – P. 43-50.

110. Subramanian, B. A multicenter pilot study assessing regional cerebral oxygen desaturation frequency during cardiopulmonary bypass and responsiveness to an intervention algorithm / B.Subramanian, C.Nyman, M.Fritock [et al.] // *Anesthesia and Analgesia*. – 2016. – Vol. 122. – P. 1786-1793.

111. Szczapa, T. Comparison of cerebral tissue oxygenation values in full term and preterm newborns by the simultaneous use of two near-infrared spectroscopy devices: an absolute and a relative trending oximeter / T.Szczapa, L.Karpinski, J.Moczko // *Journal of Biomedical Optics*. – 2013. – Vol. 18 (8). – P. 87-97.

112. Tang, L. Reduced cerebral oxygen saturation during thoracic surgery predicts early postoperative cognitive dysfunction / L.Tang, R.Kazan, R.Taddei [et al.] // *British Journal of Anaesthesia*. – 2012. – Vol. 108. – P. 623-629.

113. Tobias, J. Cerebral oxygenation monitoring using near infrared spectroscopy during one-lung ventilation in adults / J.Tobias, G.Johnson, S.Rehman [et al.] // *Journal of Minimal Access Surgery*. – 2008. – Vol. 4. – P. 104-107.

114. Tripodaki, E. Microcirculation and macrocirculation in cardiac surgical patients / E.Tripodaki, A.Tasoulis, A.Koliopoulou [et al.] // *Critical Care Research and Practice*. – 2012. – Vol. 65. – P. 43-51.

115. Tripodaki, E. Microcirculation and macrocirculation in cardiac surgical patients / E.Tripodaki, A.Tasoulis, A.Koliopoulou [et al.] // *Critical Care Research and Practice*. – 2012. – Vol. 65. – P. 43-51.

116. Uilkema, R. Correlates of thenar near-infrared spectroscopy-derived tissue O<sub>2</sub> saturation after cardiac surgery / R.Uilkema, A.Groeneveld // *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*. – 2007. – Vol. 6. – P. 265-269.

117. Vernick, W. Early diagnosis of superior vena cava obstruction facilitated by the use of cerebral oximetry / W.Vernick, A.Oware // *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. – 2011. – Vol. 25. – P. 1101-1103.

118. Varela, J. Near-infrared spectroscopy reflects changes in mesenteric and systemic perfusion during abdominal compartment syndrome / J.Varela, S.Cohn, G.Giannotti // *Surgery*. – 2001. – Vol. 129. – P. 363-370.

119. Vierordt, K. Die Anwendung des Spektralapparates zur Photometrie der Absorptionsspektren und zur quantitativen chemischen Analyse. – Tübingen: H.Lauppsche Buchhandlung, 1873. – 456 c.

120. von Bergh M. Tissue Oxygen Saturation in the Emergency and Critical Care Setting [Электронный ресурс] / M.von Bergh, C.Madler // *Emergency Medicine*

& Critical Care. – 2008. Режим доступа:  
<http://www.touchbriefings.com/ebooks/A180xs/emedcritvol4/resources/23.htm>

121. Walther, T. Transapical minimally invasive aortic valve implantation: multicenter experience / T.Walther, P.Simon, T.Dewey, G.Wimmer-Greinecker [et al.] // *Circulation*. – 2007. – Vol. 116 (11). –P. 240-245.

122. Waltz, X. Is there a relationship between the hematocrit-to-viscosity ratio and microvascular oxygenation in brain and muscle / X.Waltz, M.Hardy-Dessources, N.Lemonne, D.Mougenel // *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. – 2015. – Vol. 59 (1). – P. 37-43.

123. White, H. Continuous jugular venous oximetry in the neurointensive care unit--a brief review. / H.White, A.Baker // *Canadian Journal of Anesthesia*. – 2002. – Vol. 49. – P. 623-629.

124. Wolf, U. Regional differences of hemodynamics and oxygenation in the human calf muscle detected with near-infrared spectrophotometry / U.Wolf, M.Wolf, J.Choi, L.Paunescu [et al.] // *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. – 2007. – Vol. 18 (9). – P. 1094-1101.

125. Yoshitani, K. Measurements of optical path length using phase-resolved spectroscopy in patients undergoing cardiopulmonary bypass / K.Yoshitani, M.Kawaguchi, T.Okuno, T.Kanoda // *Anesthesia and Analgesia*. – 2007. – Vol. 104 (2). – P. 341-346.

126. Yoshitani, K. Validity of near-infrared spectroscopy / K.Yoshitani, Y.Ohnishi // *Japanese Journal of Anesthesiology*. – 2005. – Vol. 64 (5). – P. 473-477.

127. Zheng, Y. Continuous cerebral blood flow autoregulation monitoring in patients undergoing liver transplantation / Y.Zheng, A.Villamayor, W.Merritt [et al.] // *Neurocritical Care*. – 2012. – Vol. 17. – P. 77-84.

## СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

**Рисунки**

Рисунок 1 – Принцип трансмиссионной пульсоксиметрии.....	18
Рисунок 2 – Лазерный тканевой оксиметр FORE-SIGHT™ .....	34
Рисунок 3 – Схема распространения излучения в области под датчиком.....	35
Рисунок 4 – Расположение датчиков для измерения церебральной оксигенации.....	36
Рисунок 5 – Расположение датчика оксиметра для измерения тканевой оксигенации.....	37
Рисунок 6 – Схематическая динамика StO <sub>2</sub> при пробе с артериальной окклюзией.....	38
Рисунок 7 – Пример тренда с регистрацией ПАО на экране прибора.....	39
Рисунок 8 – Динамика центральной температуры, измеряемой в мочевом пузыре, по этапам операции.....	42
Рисунок 9 – Разница между StO <sub>2</sub> и StO <sub>2</sub> min на этапах операции.....	48
Рисунок 10 – Динамика SctO <sub>2</sub> , StO <sub>2</sub> и КР по этапам операции при нормотермическом режиме перфузии (группа 1А).....	49
Рисунок 11 – Динамика SctO <sub>2</sub> , StO <sub>2</sub> и КР по этапам операций при умеренно гипотермическом режиме перфузии (группа 1В).....	50
Рисунок 12 – Динамика SctO <sub>2</sub> , StO <sub>2</sub> и КР по этапам операций при гипотермическом режиме перфузии (группа 1С).....	51
Рисунок 13 – Динамика тканевой оксигенации (StO <sub>2</sub> (%)) по этапам операций.....	54
Рисунок 14 – Динамика изменения кислородного резерва (StO <sub>2</sub> min) на различных этапах операции.....	56
Рисунок 15 – Динамика лактата крови в группах в зависимости от этапа операции.....	58
Рисунок 16 – Длительность послеоперационной ИВЛ (час) в группах.....	59
Рисунок 17 – Длительность пребывания пациентов в ОРИТ.....	60

Рисунок 18 – Динамика SctO <sub>2</sub> (А) и StO <sub>2</sub> (В) в зависимости от применения норадреналина.....	62
Рисунок 19 – Динамика SctO <sub>2</sub> (А) и StO <sub>2</sub> (В) в зависимости от применения допамина.....	63
Рисунок 20 – Динамика тканевой и церебральной оксиметрии и пульсоксиметрии в течение операции.....	64

## Таблицы

Таблица 1 – Распределение пациентов, обследованных в интраоперационном периоде, по нозологическим формам.....	29
Таблица 2 – Распределение пациентов в группах по температурному режиму ИК.....	41
Таблица 3 – Динамика основных показателей гомеостаза и регионарной оксигенации по этапам операций в группе 1А.....	43
Таблица 4 – Динамика основных показателей гомеостаза и регионарной оксигенации по этапам операций в группе 1В.....	45
Таблица 5 – Динамика основных показателей гомеостаза и регионарной оксиметрии по этапам операций в группе 1С.....	46
Таблица 6 – Зависимость динамики StO <sub>2</sub> и SctO <sub>2</sub> , Hct%, АДср, ЦВД, СИ от объема эксфузии.....	52
Таблица 7 – Сравнение показателей StO <sub>2</sub> (%) между группами на различных этапах операции.....	55
Таблица 8 – Сравнение показателей кислородного резерва (StO <sub>2</sub> min) между группами.....	57
Таблица 9 – Частота применения инотропных средств в постперфузионном периоде.....	61