

## ЛЕКЦИИ

© Т.Б. АВЕРИНА, 2013

УДК 616.2-089.8-78

**ИСКУССТВЕННОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ\****Т.Б. Аверина*

ФГБУ «Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» (директор — академик РАН и РАМН Л.А. Бокерия) РАМН, Москва

Искусственное кровообращение (ИК) — неотъемлемая часть хирургии открытого сердца.

На протяжении последних 60 лет происходило постоянное усовершенствование аппаратов ИК, появились оксигенаторы и экстракорпоральные контуры с минимальными первичными объемами заполнения, изготавливаемые из новых биосовместимых материалов.

Внедрение гемодилюции, гипотермии и защиты миокарда способствовало оптимизации перфузионного протокола и повлекло за собой ряд фундаментальных исследований, посвященных изучению патофизиологических и клинических аспектов этих направлений.

Несмотря на все достижения, ИК по-прежнему остается нефизиологичной процедурой, расстраивающей все звенья гомеостаза. Пациентом современной кардиохирургической клиники все чаще становится крайне тяжелый больной: новорожденный, маловесный ребенок с тяжелым врожденным пороком сердца или взрослый с повторным вмешательством и обширной сопутствующей патологией. Главной целью перфузиолога, как и много лет назад, является обеспечение безопасности пациента, имеющее технические и физиологические аспекты.

**Ключевые слова:** искусственное кровообращение; аппарат искусственного кровообращения; экстракорпоральный контур; перфузия; операции на открытом сердце.

**EXTRACORPOREAL CIRCULATION***Т.Б. Аверина*

A.N. Bakoulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Russian Academy of Medical Sciences, 121552, Moscow, Russian Federation

Extracorporeal circulation is an integral part of the open heart surgery. For the last 60 years the heart-lung machines have been improved. There appeared oxygenators and extracorporeal circuits with minimal primary filling volumes which are manufactured from the new biocompatible materials.

Introduction of hemodilution, hypothermia, and protection of myocardium facilitated to the perfusion protocol optimization and entailed the number of fundamental researches dedicated to the study of pathophysiological and clinical aspects of these directions.

Despite all achievements the extracorporeal circulation still remains a non-physiological procedure disturbing all parts of homeostasis. The patients of cardiac surgery hospital are more often the extremely heavy patients: newborns, infants with severe congenital heart disease and low body mass, and the adult patients with repeated interventions and wide associated pathology. As well as many years ago, the main purpose of perfusionist shall be insurance of the patient's safety that has the technical and physiological aspects.

**Key words:** extracorporeal circulation; heart-lung machine; extracorporeal circuit; perfusion; open heart surgery.

### **История развития экстракорпорального кровообращения**

Перфузиология — относительно молодая область медицины. Около 60 лет прошло с тех пор, как первые сердечно-легочные машины были успешно применены в клинике (1953 г.). Начиная с этого момента параллельно с развитием кардиохирургии совершенствовались перфузионные технологии и методики проведения ИК.

Автором метода и прототипа современного аппарата искусственного кровообращения является советский ученый-патофизиолог С.С. Брюхоненко (рис. 1). В 20-е годы XX в., изучая причины лихорадочных состояний и механизмы терморегуляции, он начал разрабатывать методику «переживания» изолированной головы собаки, жизнь которой поддерживалась с помощью изобретенного им аппарата — автожектора. Сначала С.С. Брюхоненко применял автожектор для оживления

\* В этом номере журнала начинаем публикацию глав из книги «Лекции по сердечно-сосудистой хирургии», вышедшей под редакцией Л.А. Бокерия (3-е изд., перераб. и доп. М., 2013).



Рис. 1. Сергей Сергеевич Брюхоненко

организма, у которого зафиксирована клиническая смерть, а потом и при внутрисердечных операциях, которые с 1929 г. проводил совместно с Н.Н. Терebinским. Кроме изобретения автожекатора, запатентованного в Англии, Германии и Франции, С.С. Брюхоненко разрабатывал фундаментальные направления, которые переросли в современные экстракорпоральные технологии. В его лаборатории проводились опыты с применением системной гипотермии, в том числе с целью защиты миокарда, предполагалось использование ИК для решения задач трансплантологии. Идея оживления после наступления клинической смерти нашла практическое применение в методиках вспомогательного кровообращения [1].

Долгая работа исследователей увенчалась успехом 6 мая 1953 г., когда J. Gibbon выполнил первую успешную операцию ушивания межпредсердного дефекта на открытом работающем сердце в условиях полного сердечно-легочного обхода. В нашей стране первые операции с ИК были выполнены в Институте хирургии, который возглавлял А.А. Вишневский, в 1957 г. История развития ИК в нашем Центре началась после образования Института грудной хирургии, где сразу была создана экспериментальная группа под руководством В.С. Раевского, а затем в 1960 г. — лаборатория искусственного кровообращения, которой заведовал М.Е. Кламмер. Проведение ИК в то время было сопряжено с большой затратой времени и труда. Модели используемых аппаратов состояли из физиологических узлов многоразового применения, требовали для своего заполнения большой объем донорской крови (до 4–6 л), были сложны в управлении и крайне ненадежны.

На протяжении 57 лет с момента первой успешной операции на открытом сердце происходило постоянное усовершенствование аппаратов, появление оксигенаторов с минимальными первичны-

ми объемами заполнения и внедрение новых биосовместимых материалов. Все это минимизировало неблагоприятное воздействие перфузии на организм. Разработка и внедрение гемодилюции (Panico F., Neptune W., 1959 г.), гипотермии в сочетании с искусственным кровообращением (Sealy W., 1958 г.) и защиты миокарда (Melrose D.G., 1955 г.) способствовали оптимизации перфузионного протокола и повлекли за собой ряд фундаментальных исследований, посвященных изучению патофизиологических и клинических аспектов этих направлений [2, 3].

### Основы проведения искусственного кровообращения

Искусственное кровообращение можно определить как метод, позволяющий временно замещать функцию сердца и легких при помощи механического и физиологического блоков аппарата искусственного кровообращения (АИК) [2, 3].

К *механическому блоку* (рис. 2, а) относится сам АИК, основными составляющими частями которого являются насосы (роликовые и центрифужные), а также электронные системы контроля и безопасности (давления, температуры, уровня в кардиотомном резервуаре, воздушных пузырьков и т. д.). Основной узел механического блока — это артериальный насос, который замещает функцию сердца, обеспечивая необходимый полный или частичный минутный объем кровообращения (соответственно полная или вспомогательная перфузия). Остальные роликовые насосы АИК могут использоваться произвольно: в качестве коронарных отсосов, левожелудочкового дренажа, для нагнетания кардиоплегического раствора и проведения ультрафильтрации [4].

К *физиологическому блоку* (рис. 2, б) АИК относят одноразовый экстракорпоральный контур (ЭК-контур), основной узел которого — оксигенатор, замещающий во время ИК функцию легких. Это устройство предназначено для насыщения крови кислородом и удаления углекислого газа. В последнее время применяются мембранные оксигенаторы, у которых газообмен осуществляется через газопроницаемую мембрану. Современные оксигенаторы минимально травмируют форменные элементы, белки крови и обеспечивают оптимальный газовый состав.

Оксигенаторы разных фирм различаются техническими характеристиками, к которым относятся: максимальная производительность (л/мин), площадь газообменной поверхности (м<sup>2</sup>), материал мембран (полипропилен, силикон), падение давления на оксигенаторе при различных скоростях, объем заполнения, отсутствие или наличие покрытия (гепаринового или биосовместимого) и т. д. Оксигенаторы для разных возрастных и весовых категорий пациентов различаются своей макси-

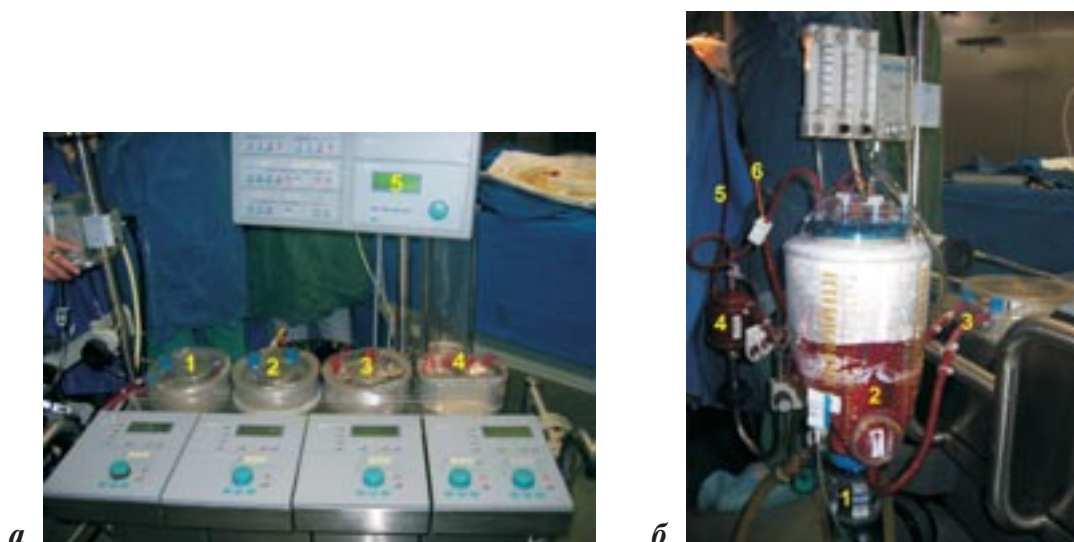


Рис. 2. Аппарат искусственного кровообращения:

*а* – механический блок: 1 – артериальная помпа; 2, 3 – роликовые насосы для коронарных отсосов и дренажа левого желудочка; 4 – насос для подачи кардиоплегического раствора; 5 – блоки контроля и гарантии безопасности; *б* – физиологический блок: 1 – мембранный оксигенатор (Didaco D-705); 2 – кардиотомный резервуар; 3 – насосный сегмент; 4, 5 – артериальная магистраль с артериальным фильтром-ловушкой; 6 – венозная магистраль

мальной производительностью и объемом первичного заполнения.

ЭК-контур также состоит из следующих обязательных и необязательных компонентов: жесткого или мягкого кардиотомного резервуара различной емкости, насосного сегмента (диаметром от 1/4 до 1/2 дюйма), теплообменника, артериального фильтра-ловушки, артериальной и венозной линий (диаметром от 1/4 до 1/2 дюйма), двух или трех магистралей для отсосов; его комплектация также является произвольной и может выполняться производителем на заказ в зависимости от потребностей клиники [4].

Перед началом ИК ЭК-контур должен быть заполнен, деаэрирован и подсоединен к сердечно-сосудистой системе больного.

Составы *первичного объема заполнения* (прайма) крайне разнообразны и зависят от многих показателей (возраста и массы тела пациента, объема циркулирующей крови (ОЦК), исходного гематокрита (Ht) и т. д.). Прописи различаются в зависимости от принятого в клинике перфузионного протокола, однако основные компоненты прайма – это гепарин, кристаллоидные и корректирующие растворы (KCl, NaHCO<sub>3</sub>), эритроцитарная масса, растворы естественных (альбумин, сверхзамороженная плазма (СЗП)) и синтетических коллоидов (гидроксиэтилкрахмал и производные желатины). Часто в состав перфузата входят также маннитол, аprotинин и антибиотик [5, 6]. Мы считаем, что состав перфузионной среды должен быть таким, чтобы к началу ИК не происходило значимых изменений «заинтересованных» параметров гомеостаза.

*Подключение ЭК-контра* к сердечно-сосудистой системе пациента может быть различным в за-

висимости от корригируемой патологии. Стандартным является подсоединение по схеме: верхняя полая вена (ВПВ), нижняя полая вена (НПВ) → аорта (Ao) (рис. 3, *а*). Для вмешательств, не предполагающих вскрытие камер сердца (АКШ), или при перфузии с циркуляторным арестом достаточно одного венозного катетера. Часто используются двухсекционные модели, в которых один порт забора находится на уровне правого предсердия, а другой – на уровне нижней полой вены (рис. 3, *б*). При операциях на восходящей аорте и дуге, а также при повторных вмешательствах канюлируют бедренную артерию, в редких случаях для начала экстренной перфузии возможно бедренно-бедренное подключение (рис. 3, *в*), которое наряду с левожелудочковым обходом (в основном левое предсердие (ЛП) → бедренная артерия (БА)) широко используется для частичного сердечно-легочного обхода при реконструкциях торакоабдоминального отдела аорты.

Размеры аортальных канюль определяются в зависимости от необходимого для пациента максимального минутного объема кровообращения (МОК) и пропускной способности канюли определенного диаметра. Диаметры венозных катетеров зависят как от массы тела пациента, так и от размеров полых вен, определяемых визуально хирургом (диаметр катетера не должен превышать 2/3 просвета сосуда). При невозможности обеспечения адекватного оттока венозной крови из-за низкой пропускной способности катетеров может применяться техника вспомогательного венозного дренажа (ВВД).

Тяжелые осложнения, такие как расслоение аорты или канюляция брахиоцефального ствола,

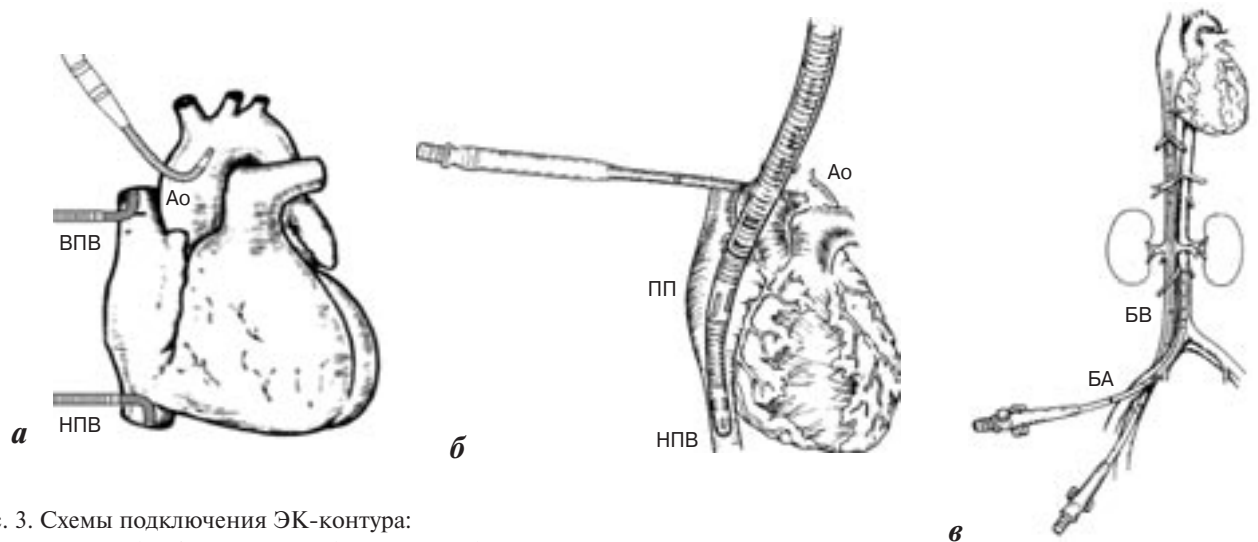


Рис. 3. Схемы подключения ЭК-контура:

а – ВПВ, НПВ – Ao; б – НПВ, ПП – Ao; в – БВ – БА.  
БВ – бедренная вена

можно своевременно распознать и избежать их последствий при постоянном измерении давления в артериальной магистральной. Неправильное положение венозных катетеров нарушает венозный возврат и повышает гидростатическое давление в соответствующем венозном бассейне, что сопровождается развитием интерстициальных отеков и выражается в плохом венозном оттоке. При отсутствии других причин (недостаточный, избыточный диаметр катетера, недостаточная высота для обеспечения гидростатического дренажа и т. д.) следует добиваться правильного положения катетера и адекватного оттока.

После канюляции магистральных сосудов начинается перфузия, которая до момента пережатия полых вен и, соответственно, прекращения притока крови к сердцу называется параллельной, после пережатия – полной. После снятия турникетов с полых вен и зажима с аорты начинается параллельная перфузия, которая может проводиться с полными объемными скоростями, когда необходимый МОК осуществляется аппаратом ИК, и во вспомогательном режиме, когда часть МОК обеспечивается работой сердца, а часть – производительностью артериальной помпы [2].

Так как цель искусственного кровообращения – адекватная доставка кислорода тканям [2, 3], то одним из главных показателей является *объемная скорость перфузии* (ОСП, л/мин), которая рассчитывается на основании площади поверхности тела и необходимого перфузионного индекса (ПИ или ОСП, л/м<sup>2</sup>/мин) – аналога сердечного индекса (СИ) при естественном кровообращении. ОСП или ПИ зависит от режима гипотермии и возраста больного (у детей более высокий уровень основного обмена и, соответственно, СИ).

В зависимости от глубины гипотермии (нормотермия и поверхностная гипотермия – 32–36 °С, умеренная – 26–32 °С, глубокая – 18–26 °С и вы-

раженная – ниже 18 °С) [3] выделяют четыре перфузионных режима. Снижение температуры уменьшает потребности организма в кислороде и тем самым дает возможность редуцировать ОСП, что широко используется в кардиохирургии.

Нормотермическая перфузия проводится с объемной скоростью, равной МОК пациента в условиях основного обмена, и различается у разных возрастных категорий больных. У детей до одного года и раннего возраста исходным ПИ принято считать показатель, равный 3,0–3,5 л/м<sup>2</sup>/мин, у взрослых – 2,4 л/м<sup>2</sup>/мин [2–4].

Перфузия в условиях умеренной гипотермии (26–32 °С) осуществляется с объемными скоростями 2,2–2,4 л/м<sup>2</sup>/мин у всех категорий больных с возможностью ее временного снижения до 1,8 л/м<sup>2</sup>/мин, если это требуется. К снижению объемных скоростей при охлаждении относятся с осторожностью. Из-за неравномерности температур в различных регионах микроциркуляции существуют области с большей и меньшей потребностью в кислороде.

Перфузия с редуцированными кровотоками (low-flow perfusion) проводится в условиях глубокой гипотермии (ниже 24 °С) и часто сочетается с полной остановкой кровообращения. Этот режим бывает необходим при коррекции сложных ВПС у новорожденных и детей первого года жизни. При охлаждении больного до 24 °С объемную скорость перфузии можно снизить до 1,2 л/м<sup>2</sup>/мин, а при более глубокой гипотермии (18–20 °С) – до 35 мл/кг.

Чтобы создать лучшие условия для визуализации операционного поля, может осуществляться циркуляторный арест, или плановая полная остановка кровообращения, при охлаждении пациента ниже 18 °С<sub>rect</sub>. При циркуляторном аресте выполняются в основном операции коррекции сложных ВПС у новорожденных и детей до одного года.

Многие клиники предпочитают этот режим перфузии с редуцированным кровотоком, так как он сокращает время ИК. У взрослых пациентов циркуляторный арест практически не применяется. При необходимости остановки кровообращения, например во время реконструкции дуги аорты, она дополняется изолированной антеградной и ретроградной перфузией головного мозга. В аварийных ситуациях или по хирургическим показаниям перфузия может быть остановлена на незначительное время и при более высоких температурах.

Кроме соблюдения общих предписаний протокола, принятого в учреждении, перфузиолог непрерывно и дискретно во времени контролирует показатели, свидетельствующие об адекватности перфузии, и проводит их своевременную коррекцию.

Адекватность доставки кислорода оценивается на основании насыщения венозной крови кислородом ( $\text{SatVO}_2$  – 65–75 %).

Причинами низкого венозного насыщения являются: недостаточная ОСП, артериальная гипоксемия, низкая кислородная емкость крови, наличие работающих шунтов в ЭК-контуре. Высокая венозная сатурация может быть следствием высокой ОСП, гипероксии, высокого гематокрита, не соответствующего глубине гипотермии, перераспределения и централизации кровотока вследствие стресс-реакции организма на ИК, нарушения потребления кислорода на микроуровне, обусловленного гипотермией.

Адекватность по метаболическим признакам оценивается на основании нормальных физиологических параметров кислотно-щелочного равновесия, определяемых с поправкой (pH-stat) или без поправки на температуру (a-stat). Обеспечивая равномерное охлаждение головного мозга за счет  $\text{CO}_2$ -зависимой вазодилатации, pH-stat имеет преимущества при глубокой гипотермии у детей, где главные факторы повреждения мозга – гипоксия и ишемия (особенно при циркуляторном аресте).

Считается, что перфузионное давление у взрослых пациентов не должно быть ниже 50–60 мм рт. ст. Повышенное внимание к его нижней границе связано с тем, что основная масса больных – это «возрастные» пациенты, главными факторами повреждения головного мозга у которых являются выраженный цереброваскулярный стеноз и нарушение миогенной регуляции мозгового кровотока, связанное с гипертензией и сахарным диабетом. У этого контингента среднее АД поддерживают на уровне 70–80 мм рт. ст. Искусственное повышение АД оправданно только для пациентов высокого риска, в остальных случаях применение вазопрессоров способствует только усугублению расстройств микроциркуляции, характерных для ИК [4]. Высокое перфузионное

давление (более 60 мм рт. ст. у детей и 90 мм рт. ст. у взрослых) повышает риск расслоения аорты и геморрагического инсульта, поэтому его необходимо своевременно снижать.

Уровень центрального венозного давления (ЦВД) во время полной перфузии должен стремиться к нулю, то есть не должно быть никаких препятствий для свободного оттока. Высокое ЦВД на фоне сниженного коллоидно-осмотического давления (КОД) и повышенной сосудистой проницаемости будет способствовать экстравазации жидкости и развитию интерстициальных отеков, результатом которых будет затруднение транспорта кислорода и метаболитов на тканевом уровне. После выполнения основного этапа операции, восстановления сердечной деятельности, согревания пациента и назначения необходимой инотропной терапии преднагрузка на сердце постепенно увеличивается до минимальных цифр ЦВД, при которых достигается адекватная гемодинамика при терапевтических дозах кардиотоников.

Органные признаки являются вспомогательными и свидетельствуют о состоянии кровоснабжения конкретного органа [2, 4]. Наличие диуреза свидетельствует об удовлетворительном почечном кровотоке. Адекватность мозгового кровотока можно контролировать с помощью транскраниальной доплерографии, а обеспечение мозга кислородом – мозговой редоксиметрии. По характеру восстановления сердечной деятельности, потребности в инотропных препаратах, времени реперфузии можно судить об эффективности комплекса мероприятий по защите миокарда и т. д.

Актуальный способ повышения адекватности перфузии – это своевременная диагностика ее расстройств. Большинство признаков адекватности перфузии – интегральные показатели, характеризующие «среднее» состояние организма. Поэтому мнение В.П. Осипова (1971 г.) о том, что «состояние кровотока на уровне микрососудов является прямым признаком качества перфузии» и что «ряд признаков адекватности перфузии достоверны только при отсутствии нарушений микроциркуляции», особенно актуально сегодня, когда появились технические возможности для того, чтобы заглянуть в этот черный ящик под названием «микроциркуляция» [3].

Не все органы находятся в одинаковых условиях при ИК: централизация кровообращения осуществляется за счет резкого сокращения кровотока в мышцах, жировой ткани и коже. Поэтому для выявления крайних форм расстройств необходимо исследовать самый уязвимый орган. На протяжении последних пяти лет в НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН проводятся активные исследования микроциркуляции и прямого определения транспорта кислорода во время и после операций с ИК.

**Патофизиология искусственного кровообращения**

Несмотря на все достижения экстракорпоральных технологий и уровень перфузионного обеспечения, утверждение Н. Swan и R. Hudson (1959 г.), что «идеального кардиопульмонального обхода, обеспечивающего доставку нужного количества оксигенированной крови тканям всего организма без сопутствующего неблагоприятного физиологического влияния, не существует», остается актуальным и в наши дни [2]. Многие параметры ИК по-прежнему сильно отличаются от физиологических.

**Негативные факторы перфузии, осложнения, профилактика**

К факторам ИК, негативно воздействующим на организм, относят:

- контактную активацию системного воспаления и гемостаза;
- механическую травму форменных элементов;
- гипероксию;
- гипотермию;
- неппульсирующий кровоток;
- гемодилюцию [4].

Согласно современным представлениям, осложнения после операций на сердце связаны с развитием *синдрома системной воспалительной реакции* (ССВР) на комплекс воздействий при кардиохирургическом вмешательстве [7]. В неосложненных случаях системный ответ преходящий и сбалансированный. Если эта реакция избыточна, то она приводит к активации пяти плазменных протеолитических систем (коагуляция, фибринолиз, каскад комплемента, калликреин-кининовая и контактная системы) и по крайней мере трех клеточных элементов – лейкоцитов, тромбоцитов и эндотелиальных клеток, что вызывает увеличение проница-

емости сосудов с накоплением жидкости в интерстициальном пространстве, нарушение микроциркуляции, тканевую гипоперфузию с морфофункциональными изменениями (рис. 4). Результатом этих сложных взаимодействий является также истощение факторов свертывания, что в сочетании с высокой фибринолитической активностью плазмы может привести к угрожающему состоянию и проявиться кровотечением.

Обусловленная контактной активацией, гипотермией, хирургической и механической травмой тромбоцитарная дисфункция и тромбоцитопения рассматривается как одна из главных причин коагулопатии и геморрагии после операций с ИК. Скопление тромбоцитарно-моноцитарных и нейтрофильно-тромбоцитарных агрегатов в микроциркуляции малого круга кровообращения приводит к повышению общего легочного сосудистого сопротивления (ОЛСС) за счет капиллярной обструкции и увеличению сосудистой проницаемости, следствием чего является синдром острого повреждения легких (СОПЛ), так называемое постперфузионное легкое.

Выраженность ССВР зависит от исходной иммунореактивности больного, площади контакта и качества полимерной поверхности, длительности перфузии и особенностей протокола (степень гемодилюции, объем гемотрансфузий, температурный режим и т. д.). Наиболее уязвимым контингентом пациентов в плане развития ССВР считаются новорожденные и дети первого года жизни, что связано с их морфофункциональными особенностями и самыми неблагоприятными условиями проведения ИК (большая площадь контактной поверхности крови с экстракорпоральным контуром, массивная гемотрансфузия, частое использование режима глубокой гипотермии).

Клиническим проявлением чрезмерного ответа является так называемый *постперфузионный синдром*,

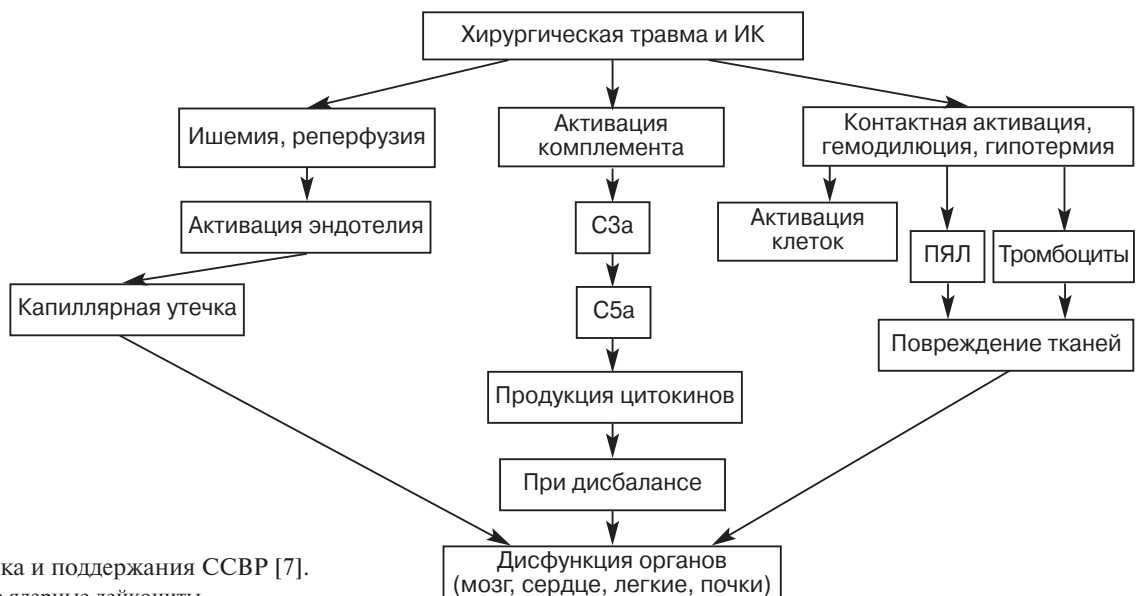


Рис. 4. Схема запуска и поддержания ССВР [7]. ПЯЛ – полиморфные ядерные лейкоциты

включающий в себя лихорадку без инфекционного агента, коагулопатии, респираторные нарушения, дисфункцию миокарда, почечную недостаточность, неврологические осложнения.

Исходя из этиологии и патогенеза ССВР, для его профилактики широко используются достижения перфузионных технологий (мини-контуры, гепариновые и биосовместимые покрытия), перфузионные техники (лейкодеплексия и ультрафильтрация), большинство протоколов включают в себя применение кортикостероидов, апротинина, донорских NO-соединений.

Особенно актуальным представляется дальнейшее уменьшение педиатрических ЭК-контуров, что кроме сокращения контактной поверхности должно привести к минимизации первичного объема заполнения этих систем и, соответственно, к уменьшению применения компонентов донорской крови, вплоть до полного отказа от них даже у новорожденных и маловесных пациентов. У взрослых пациентов также применяются мини-контуры без кардиотомных резервуаров, назначением которых является сокращение контактной поверхности и исключение раневого тканевого фактора из циркуляции за счет обработки кардиотомной крови в аппарате «Cell-saver».

Так как ранняя фаза ССВР связана с контактом с чужеродной поверхностью, то снижение ее активации за счет повышения биосовместимости применяемых материалов кажется логичным подходом в решении этой проблемы. Однако эффективность использования гепариновых и других биосовместимых покрытий часто не показывает выраженных клинических преимуществ, так как для их исследования выбирается группа больных без осложнений с недлительным ИК или пациенты с высоким риском послеоперационных осложнений, определяющую роль в которых играет совокупность других, более мощных факторов.

Так как центральным звеном, определяющим повреждение эндотелия, являются активированные лейкоциты, то их непрерывное удаление представляется эффективной противовоспалительной стратегией. На основании обзора литературных источников можно утверждать, что данная техника также не дает выраженного клинического эффекта, за исключением лейкодеплексии кровяной кардиоплегии.

Чужеродные активированные лейкоциты, содержащиеся в компонентах крови, могут вызывать реперфузионные повреждения при воздействии кислорода уже в начале перфузии. Они ответственны за иммуносупрессию и аллоиммунизацию. Гемотрансфузия, вызывая дисиммунитет, вносит свой вклад в существующий дисбаланс, обусловленный кардиохирургическим вмешательством. С донорскими лейкоцитами связан риск передачи опасных вирусных заболеваний, таких как гепати-

ты В и С, ВИЧ, вирус герпеса Эпштейна–Барр, а также цитомегаловирусной инфекции. Исходя из этого, с начала 1980-х годов предпринимаются усилия для их удаления из трансфузионных сред. Были разработаны специальные фильтры, гидрофильная синтетическая поверхность которых имеет высокое сродство к лейкоцитам, что обеспечивает высокую степень очистки.

### Методики кровосбережения

С целью сокращения трансфузий препаратов донорской крови широко применяется *гемосепарация*. Этот «аппаратный» метод обработки крови является простым и доступным способом сохранения аутокрови на всех этапах операции с ИК и в раннем послеоперационном периоде.

Стандартный процесс обработки состоит из трех этапов:

- 1) сбор и антикоагуляция крови;
- 2) центрифугирование и отмывание;
- 3) реинфузия.

Хорошо известны эффекты *ультрафильтрации* (УФ), связанные с удалением избытка жидкости и снижением водной нагрузки. Так как большинство медиаторов воспаления, исходя из их молекулярной массы, должны хорошо удаляться методом ультрафильтрации, то на ее использование, особенно в педиатрической практике, по-прежнему возлагаются большие надежды.

Целесообразность применения фармакологических препаратов для редукции системного воспаления также неоднозначна. Большое число наблюдений свидетельствует о способности *кортикостероидов* положительно влиять на цитокиновый ответ во время операции на сердце. Показано, что предварительное назначение метилпреднизолона до операции препятствует повышению уровня провоспалительных цитокинов. Однако повышение противовоспалительной активности, обусловленной кортикостероидами, может привести к снижению сопротивляемости организма и маскировке инфекции, а несвоевременное окончание их применения – к синдрому отмены.

Кроме общепризнанного гемостатического эффекта *апротинин* обладает также противовоспалительными свойствами. Однако обнадеживающие результаты относительно подавления воспалительного ответа при применении как низких, так и высоких доз апротинина не подтверждаются некоторыми исследователями.

*Гипероксия*, часто сопровождающая ИК, обладает как защитными, так и повреждающими (особенно у детей с выраженной артериальной гипоксемией) свойствами. Ее протективные свойства обусловлены увеличением утилизации растворенного кислорода при гипотермии. Негативные эффекты обусловлены действием свободных радикалов. Тактика постепенной реоксигенации представляется

нам компромиссной методикой при хирургической коррекции сложных ВПС у пациентов с выраженной гипоксемией.

Внедрение *гипотермии* в сочетании с ИК как метода защиты организма от гипоксии (Sealy W., 1958 г.) внесло значительный вклад в развитие кардиохирургии [7]. Гипотермия снижает интенсивность метаболических процессов, потребность организма в кислороде и таким образом увеличивает устойчивость к гипоксии, чему также способствует обусловленный ею сдвиг кислотно-щелочного равновесия в сторону алкалоза за счет увеличения растворимости газов и снижения  $p\text{CO}_2$ . К негативным эффектам, за счет которых формируется кислородная задолженность во время гипотермического ИК, следует отнести централизацию кровообращения, повышение вязкости крови и сродства гемоглобина к кислороду за счет сдвига кривой диссоциации влево. При гипотермии снижается также метаболизм катехоламинов, а полная перфузия сопровождается выключением из кровообращения легких, где инактивируются многие гормоны и вазоактивные вещества. В современной кардиохирургии имеется тенденция к ограничению использования низких температур, однако в хирургии сложных ВПС гипотермическая перфузия по-прежнему остается предпочтительным методом [6].

К дополнительным стрессовым факторам ИК относится также непульсирующий режим кровотока. За все время развития клинической перфузиологии не угасает интерес к методу пульсирующего кровотока. Считается, что он снижает общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС), улучшает перфузию тканей, способствует лучшей экстракции кислорода, уменьшает высвобождение стрессорных гормонов, благотворно влияет на почечный и мозговой кровоток [4]. И действительно, чем ближе ИК к естественному, тем легче оно переносится организмом. Но существуют проблемы технического характера: при применении пульсирующего кровотока с мембранным оксигенатором, расположенным после артериальной помпы, пульсовая волна в значительной мере гасится.

Для предотвращения негативных эффектов гипотермии в практику ИК был внедрен метод *гемодилюции*, положительный эффект которой связан со снижением  $\text{Ht}$ , уменьшением вязкости крови и улучшением микроциркуляции. Недостатки гемодилюции обусловлены снижением КОД, кислородной емкости крови, разбавлением факторов свертывания, тромбоцитов, что в большей степени актуально для постперфузионного периода. Снижая кислородную емкость крови, гемодилюция приводит к гипердина-

мическим состояниям при отключении ИК с высокой потребностью в инфузионной терапии. Определение минимально допустимого уровня гематокрита на перфузии привело к большим противоречиям. Клинические исследования свидетельствуют о широком диапазоне безопасного гематокрита у взрослых пациентов (от 14 до 22 %) [6].

В этом обзоре мы коснулись только негативных эффектов и осложнений, которые могут встречаться при адекватном проведении перфузии и использовании всех доступных на сегодняшний день технологий и методик. В связи с современными возможностями кардиохирургии все большее внимание уделяется дальнейшему повышению качества лечения. В области искусственного кровообращения должны быть решены еще многие проблемы, чтобы приблизить его к идеальной перфузии, которая, по мнению П. Галетти и Г. Бричер, «теоретически существует и характеризуется физиологическими величинами всех изменяемых параметров гомеостаза».

#### Литература

1. Брюхоненко С.С. Искусственное кровообращение. М.: Медицина; 1964.
2. Галетти П.М., Бричер Г.А. Основы и техника экстракорпорального кровообращения. М.: Медицина; 1966.
3. Осипов В.П. Основы искусственного кровообращения. М.: Медицина; 1976.
4. Локшин Л.С., Лурье Г.О., Дементьева И.И. Искусственное и вспомогательное кровообращение в сердечно-сосудистой хирургии. М.: Пресса; 1998.
5. Меньшугин И.Н. Искусственное кровообращение у детей в условиях ганглионарной блокады и пульсирующего потока: руководство для врачей. СПб.: Специальная литература; 1998.
6. Groom R.C., Froebe S., Martin J. et al. Update on pediatric perfusion practice in North America: 2005 Survey. *JECT*. 2005; 37: 343–50.
7. Brix-Cristensen V. The systemic inflammatory response after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass in children. *Acta Anaesthesiol. Scand*. 2001; 45: 671–9.
8. Шипулин В.М., Мерунко А.А. Ультрафильтрация крови в детской кардиохирургии. Томск: STT; 2002.
9. Extracorporeal zirkulation in theorie und praxis; Ed. R.J. Tschaut. Lengerich; Berlin; Düsseldorf; Leipzig; Riga; Scottsdale (USA); Wien; Zagreb: Pabst, 1999; 731.

#### References

1. Bryukhonenko S.S. Extracorporeal circulation. Moscow: Meditsina; 1964 (in Russian).
2. Galetty P.M., Bricher G.A. Fundamentals and technique of the extracorporeal circulation. Moscow: Meditsina; 1966 (in Russian).
3. Osipov V.P. The principles of extracorporeal circulation. Moscow: Meditsina; 1976 (in Russian).
4. Lokshin L.S., Lur'e G.O., Dement'eva I.I. Extracorporeal and auxiliary circulation in cardiovascular surgery. Moscow: Pressa; 1998 (in Russian).
5. Men'shugin I.N. Extracorporeal circulation in children in the presence of gangliac blockade and pulsating flow: handbook for physician. Saint Petersburg: Special'naya literatura; 1998 (in Russian).
6. Groom R.C., Froebe S., Martin J. et al. Update on pediatric perfusion practice in North America: 2005 Survey. *JECT*. 2005; 37: 343–50.
7. Brix-Cristensen V. The systemic inflammatory response after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass in children. *Acta Anaesthesiol. Scand*. 2001; 45: 671–9.
8. Shipulin V.M., Merunko A.A. Ultrafiltration of blood in pediatric cardiac surgery. Tomsk: STT; 2002 (in Russian).
9. Tschaut R.J., ed. Extracorporeal zirkulation in theorie und praxis. Lengerich; Berlin; Düsseldorf; Leipzig; Riga; Scottsdale (USA); Wien; Zagreb: Pabst, 1999; 731.