Особенности искусственного кровообращения и селективной перфузии головного мозга в режиме нормотермии у новорожденных и детей первого года жизни при коррекции сложных врожденных пороков сердца в сочетании с аномалиями дуги аорты

К.В. КАРЧЕВСКАЯ, М.Е. ЕВДОКИМОВ, А.Е. ЧЕРНОГРИВОВ, Н.Н. АРТЕМЬЕВ, Т.И. НЕВВАЖАЙ

Specifics of artificial circulation and selective cerebral perfusion in regimen of normothermia in newborns and 1-year old children during correction of complex congenital heart diseases combined with aortic arch anomalies

K.V. KARCHEVSKAYA, M.E. EVDOKIMOV, A.E. CHERNOGRIVOV, N.N. ARTEM'EV, T.I. NEVVAZHAY

КХО №4 ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России, Пенза

Представлено ретроспективное исследование по оценке непосредственных результатов операций коррекции сложных врожденных пороков сердца, сочетающихся с гипоплазией или перерывом дуги аорты. Полученные данные свидетельствуют о том, что проведение селективной перфузии головного мозга в режиме нормотермии возможно при наличии возможности мониторинга насыщения кислородом тканей мозга и висцеральных органов с помощью параинфракрасной спектроскопии. Показано, что данная методика является безопасной по сравнению с гипотермической селективной перфузией головного мозга при аналогичных вмешательствах у новорожденных. Отсутствие неврологических и почечных осложнений у исследуемых пациентов также свидетельствует о возможности применения данной методики, которая позволяет избежать неблагоприятных последствий гипотермии.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца, аномалии дуги аорты, искусственное кровообращение, селективная перфузия головного мозга, нормотермия.

Direct results of surgical correction for complex congenital heart diseases combined with hypoplasia and aortic arch interruption were analyzed in retrospective study. Received data suggest that selective cerebral perfusion in regimen of normothermia is possible when oxygen saturation of cerebral tissues and visceral organs can be monitored using parainfra-red spectroscopy. It is shown that this method is safe compared with results of other authors using hypothermic selective cerebral perfusion in similar cases in newborns. Absence of neurologic and renal complications in investigated patients also indicates the safety of this technique allowing avoiding unfavorable sequences of hypothermia.

Key words: congenital heart diseases, aortic arch anomalies, artificial circulation, selective cerebral perfusion, normothermia.

При реконструктивных операциях на дуге аорты у новорожденных и детей первого года жизни искусственное кровообращение (ИК) неизменно включает либо остановку кровообращения, либо селективную перфузию головного мозга (СПГМ). Поскольку по сравнению с СПГМ остановка кровообращения в послеоперационном периоде сопровождается высоким риском развития неврологических осложнений, именно в сторону СПГМ склоняется интерес большинства оперирующих в этой области кардиохирургов и соответственно анестезиологической и перфузиологической служб [1—3, 11—14, 20]. Способность сохранять оксигенацию мозга на должном уровне во время СПГМ можно продемонстрировать с использованием параинфракрасной спектроскопии [2, 4, 5]. В 2001 г. F. Pigula и соавт. [5] сообщили, что низкопоточная СПГМ во время реконструктивных операций на аорте у новорожденных способствует кровотоку в поддиафрагмально расположенных висцеральных органах, улучшая течение послеоперационного периода. В 2010 г. M. Kagami и соавт. [9] сделали сообщение о высокопоточной СПГМ, которая обеспечивает достаточную оксигенацию мозга и тела через коллатеральные сосуды. Для оценки своей методики исследователи использовали также параинфракрасную спектроскопию [2—7]. Следует также упомянуть, что при изолированной от сопутствующих врожденных пороков сердца коарктации либо перерыве дуги аорты используются хирургические техники без применения ИК, при которых редуцируется кровоток в нижней части тела [16—18]. В перечисленных публикациях приводятся данные о безопасном периоде ишемии нижней части тела в режиме нормотермии в среднем около 30 мин, при котором не наблюдалось неврологических осложнений в виде нарушений функции спинного мозга, хотя имелось выраженное снижение оксигенации тела в этот период [16—18].

© Коллектив авторов, 2013

440071 Пенза, ул. Стасова, д. 6

Клиническая характеристика обследованных пациентов

Характеристика	Значение*
Возраст, дни	24,5 (10—36,5)
Масса тела, кг	3,5 (3,3—3,8)
Операция:	
РК КоАо+ДМЖП	3
перерыв дуги Ао+ДМЖП	3
РК аномалии Тауссиг—Бинга+КоАо	1
РК АВК+КоАо	2
РК ТМС+ДМЖП+КоАо	1
реконструкция дуги Ао+суживание ЛА при АТК+ТМС+КоАо+ТМС+ДМЖП	2
Длительность ИК, мин	110,5 (97,5—158)
Длительность СПГМ, мин	32,5 (25—40,5)
Скорость СПГМ, мл/кг/мин	77,87 (62,3—102,2)
$АД_{ср.}$ При СПГМ, мм рт.ст.	59 (51—67)

Примечание. * — средние величины представлены в виде медианы и интерквартильного интервала (25-й—75-й процентиль). РК — радикальная коррекция; Ао — аорта; ДМЖП — дефект межжелудочковой перегородки; КоАо — коарктация аорты; АВК — атриовентрикулярный канал; АТК — атрезия трехстворчатого клапана; ТМС — транспозиция магистральных сосудов; ЛА — легочная артерия; ИК — искусственное кровообращение; СПГМ — селективная перфузия головного мозга; $АД_{ср.}$ — среднее артериальное давление.

В 25-летнем исследовании D. Lerberg [18] указывается, что средний промежуток времени, при котором наблюдалась послеоперационная параплегия, составляет 49 мин при нормотермии и полном пережатии нисходящей аорты.

Цель исследования — изучение адекватности методики СПГМ в режиме нормотермии, поскольку данные литературы по этому вопросу малочисленны в зарубежной литературе и практически отсутствуют в отечественной.

Материал и методы

В исследование включены 12 пациентов, оперированных в нашем отделении по поводу врожденных пороков сердца в сочетании с аномалиями дуги аорты с 19.10.10 по 06.03.12. Из них 3 пациента находились в реанимационном отделении на искусственной вентиляции легких и нуждались в кардиотонической поддержке в умеренных дозах, 9 детей поступили в операционную из хирургического отделения.

Клинические данные пациентов, перечень выполненных хирургических вмешательств и характеристика условий их проведения представлены в **таблице**. Всем пациентам проводили ИК и СПГМ в нормотермическом режиме (36 °С).

После начала ИК пациентам первым этапом выполняли реконструкцию дуги аорты с использованием СПГМ: в сочетании с коронарной перфузией — у 6 (50%) пациентов, СПГМ после остановки сердца раствором кустодиол — также у 6 (50%). Затем вторым этапом устраняли внутрисердечную патологию либо выполняли сужение легочной артерии.

ИК проводили на аппарате TerumoSystem-1 с использованием оксигенаторов с биосовместимым покрытием BabyRX 05. Первичный объем заполнения включал 300—350 мл с учетом заполнения педиатрического гемоконцентратора $CX\text{-}FHCO_2$. Биосовместимое покрытие, в состав которого входит поли-2-метоксиэтила акрилат, подавляет воспалительный ответ, о чем сообщено в клинических исследованиях [10].

ИК проводили в режиме нормотермии с медианой скорости 163,3 мл/кг/мин. Расчетная скорость 190—200 мл/кг/мин была не всегда достижима из-за высокого давления на артериальной магистрали, обусловленного коарктацией аорты. Максимально допустимым уровнем давления на артериальной магистрали мы считали 280—290 мм рт.ст. и старались поддерживать перфузию при давлении на артериальной магистрали не выше 250 мм рт.ст. Кроме того, мы ориентировались на среднее артериальное давление ($АД_{ср.}$) в правой лучевой артерии, не допуская его повышения во время перфузии более 70 мм рт.ст. Напряжение кислорода в артериальной крови поддерживали на уровне более 200 мм рт.ст. со 100% сатурацией. Гематокрит поддерживали на уровне 27—30%, при его снижении использовали донорскую эритроцитную массу. При проведении СПГМ также ориентировались на давление в правой лучевой артерии, при его повышении до 60—70 мм рт.ст. использовали болюсы разведенного перлинганита, общая доза которого за время операции составляла 2—3 мг. Кардиоплегический раствор кустодиол вводили согласно инструкции 6—8 мин при давлении подачи 40—60 мм рт.ст., его средняя доза составляла 30—40 мл/кг.

Оксигенацию артериальной крови измеряли на верхней либо на нижней конечности. Датчики параинфракрасной спектроскопии располагали следующим образом: церебральный — на лобной части головы, соматический — в поясничной области. Измерение начинали перед кожным разрезом. Данные мониторировали и записывали с интервалом 10 с прибором INVOS.

Данные о скорости перфузии, температуре, давлении во время ИК записывали по принятому в нашем центре протоколу каждые 15 мин. Пробы артериальной и венозной крови для определения кислотно-щелочного состояния и уровня лактата забирали на 5-й, 30-й минуте ИК и затем каждые 30 мин. Данные церебральной и соматической регионарной сатурации (rSO_2), уровень лактата, уровень $АД_{ср.}$, скорость перфузии соотносили с одним из

5 периодов: 1) кожный разрез; 2) начало ИК; 3) СПГМ; 4) окончание ИК; 5) конец операции.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Statistica 6. Центральные тенденции представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (25-й—75-й процентиль). Для попарного сравнения использован U-критерий Манна—Уитни. Корреляционные взаимосвязи выявляли с использованием метода Спирмена. Различия считали статистически значимыми при $p<0,05$.

Результаты

Летальных исходов не было. Нормотермическая СПГМ проводилась у всех пациентов с медианой скорости 77,87 мл/кг/мин. Церебральная регионарная сатурация в течение всей операции статистически значимо не изменялась. Медиана церебральной rSO_2 составила 55—65% на протяжении всей операции. Статистически значимые различия найдены в период СПГМ между соматической и церебральной rSO_2 ($p<0,01$). На этапе СПГМ церебральная rSO_2 составила 65% (58—68%), а показатели соматической rSO_2 были 45% (42—59%). Следует отметить, что показатели соматической rSO_2 на этапе СПГМ статистически значимо не отличались от показателей соматической rSO_2 на этапе кожного разреза. В дальнейшем отмечались статистически значимые различия на этапе конца ИК, где показатели соматической rSO_2 были выше показателей соматической rSO_2 перед началом обхода ($p=0,007$). На этапе окончания ИК соматическая rSO_2 также была выше церебральной: 61% (52—67%) и 86% (70—96%) соответственно ($p=0,0046$).

В конце операции сохранялись статистически значимые различия соматической rSO_2 по сравнению с ее уровнем до ИК ($p=0,0005$). Также соматическая rSO_2 в конце операции была выше церебральной rSO_2 на конец операции: 90% (83—96%) и 62,5% (48—71%) соответственно ($p=0,0004$). Эти изменения можно объяснить тем, что была произведена реконструкция дуги аорты, и препятствия кровотоку в нижнюю часть тела были устранены. Изменения соматической и церебральной оксигенации представлены на **рис. 1**.

Как пример типичной динамики церебральной и соматической регионарной сатурации во время описанных выше операций можно привести **рис. 2** — график церебральной и соматической rSO_2 одного из пациентов.

На этапе кожного разреза медиана уровня лактата составила 1,85 (0,9—3,5) ммоль/л; на этапе начала ИК он вырос до 3,1 (2,4—5,3) ммоль/л ($p=0,04$). К концу операции уровень лактата составил 3,95 (2,6—5,9) ммоль/л, что также выше ($p=0,02$), чем на этапе кожного разреза. Следует отметить, что статистически значимых различий между уровнем лактата в начале ИК и во время СПГМ, а также в начале ИК и в конце ИК не выявлено, т.е. уровень лактата значительно повышается во время предбайпассной подготовки, а во время СПГМ статистически значимо не увеличивается по сравнению с таковым в начале ИК **(рис. 3)**.

Не выявлено значимой корреляции между скоростью СПГМ и диурезом в послеоперационном периоде и между скоростью СПГМ и уровнем креатинина в послеоперационном периоде. Отмечена значимая отрицательная корреляция между соматической rSO_2 и уровнем лактата в начале ИК ($r=-0,81$; $p<0,05$). Такая же значимая отрицательная корреляция была найдена между соматической rSO_2 и лактатом в конце операции ($r=-0,74$; $p<0,05$) **(рис. 4)**.

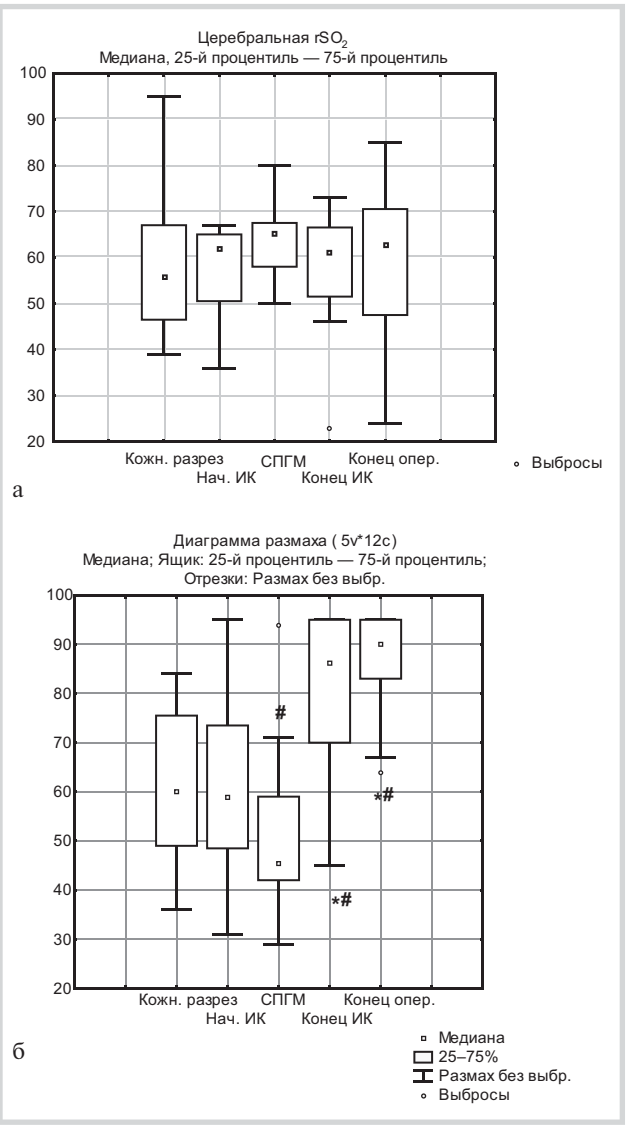


Рис. 1. **Церебральная (а) и соматическая (б) регионарная сатурация (rSO_2) на различных этапах операции.**

ИК — искусственное кровообращение, СПГМ — селективная перфузия головного мозга; *— $p<0,01$ по сравнению с показателем соматической rSO_2 на этапе кожного разреза; #— $p<0,01$ между соматической и церебральной rSO_2.

Кроме того, выявлена обратная корреляция между соматической и церебральной rSO_2 на этапе начала ИК ($r=-0,63$; $p<0,05$). Найдена также умеренная положительная корреляция между $АД_{ср.}$ во время СПГМ и уровнем лактата в конце операции ($r=0,65$; $p<0,05$) **(рис. 5)**.

Отрицательная корреляция между соматической и церебральной rSO_2 на этапе начала ИК свидетельствует, возможно, о степени коарктации и недостаточности кровотока в нижней части тела, возможно, о различной степени развития коллатералей. Это объясняет и положительную корреляцию между $АД_{ср.}$ во время СПГМ и уровнем лактата в конце операции.

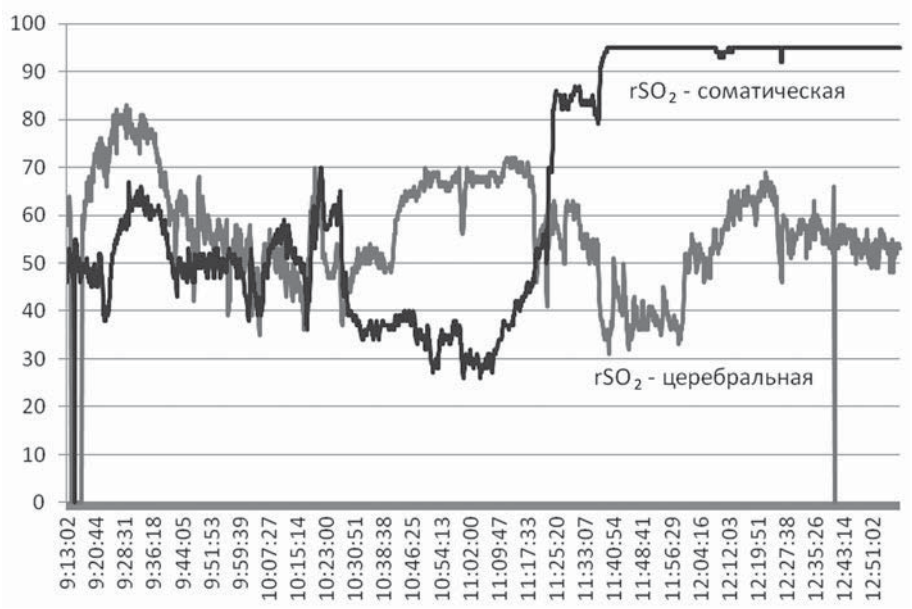


***Рис. 2*. Пример динамики церебральной и соматической регионарной сатурации (rSO_2) одного из пациентов.**

Корреляций между скоростью СПГМ и уровнем лактата либо между скоростью СПГМ и rSO_2 не выявлено.

Обсуждение

Методы защиты головного мозга в реконструктивной хирургии дуги аорты хорошо освещены в многочисленных публикациях. В последние несколько лет интерес обращен в основном к селективной перфузии головного мозга из-за наилучших послеоперационных исходов [21]. Однако до сих пор не определены оптимальные режимы скорости и температуры для СПГМ. Существуют работы, в которых описываются хорошие результаты применения СПГМ при глубокой и умеренной гипотермии [29, 30]. Но проспективных и рандомизированных исследований, касающихся СПГМ в режиме нормотермии у детей первого года жизни, нет. H. Kaukuntla и соавт. [22] показали, что во время фазы согревания на гипотермическом ИК периферическая температура слизистых оболочек не соответствует температуре мозга, которая на самом деле оказывается более высокой, чем «оболочечная» температура. Таким образом, часто возникают ситуации с недооцененной гипертермией мозга, которая приводит к нежелательным неврологическим последствиям [22].

У новорожденных с врожденными пороками сердца возможны и дооперационные, и послеоперационные повреждения головного мозга. Предшествующие исследования показали, что от 36 до 73% новорожденных имеют вновь возникшие интрапаренхимальные повреждения головного мозга после ИК [23, 24].

Одним из основных моментов, ограничивающих использование нормотермической СПГМ, является то, что безопасный уровень редуцирования скорости перфузии точно не определен. Некоторые авторы предполагают, что более высокая скорость перфузии позволяет сохранить достаточное напряжение кислорода в головном мозге и поддерживать более физиологичную ауторегуляцию мозгового кровотока. В исследовании M. Ly и соавт. [21] исследовались 2 группы детей, которым проводилась СПГМ в режиме гипо- и нормотермии, скорость СПГМ в обеих группах не различалась и составляла

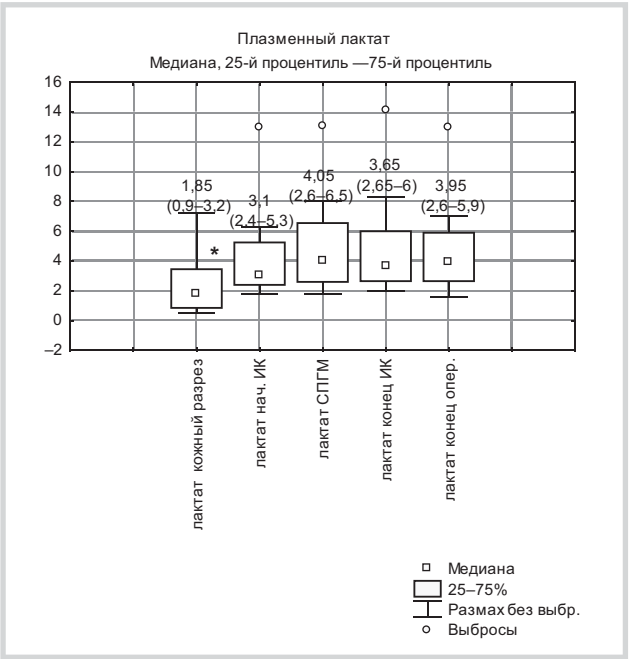


***Рис. 3*. Уровень концентрации плазменного лактата (моль/л) на этапах операции.**

ИК — искусственное кровообращение; СПГМ — селективная перфузия головного мозга.

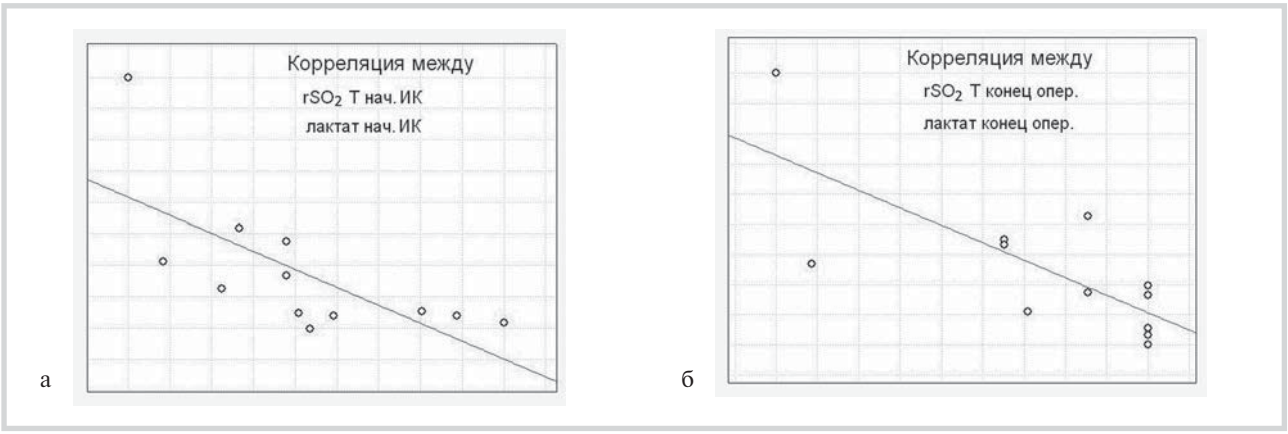


***Рис. 4*. Корреляция между (а) соматической rSO_2 и уровнем лактата в начале искусственного кровообращения (*r*=–0,81) и (б) между соматической rSO_2 и лактатом в конце операции (*r*=–0,74).**

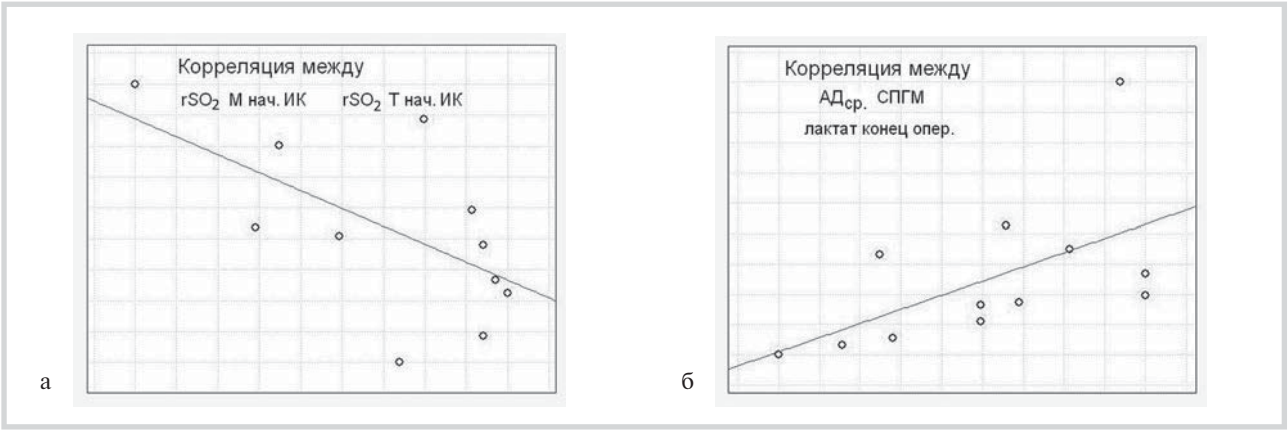


***Рис. 5*. Корреляции между (а) соматической и церебральной rSO_2 на этапе начала искусственного кровообращения (*r*=–0,63) и (б) между средним артериальным давлением во время селективной перфузии головного мозга и лактатом в конце операции (*r*=0,65).**

52,7±27,9 и 48,7±23,7 мл/кг/мин. В нашем исследовании скорость СПГМ составила 81,3 мл/кг/мин (от 46,5 до 108,3 мл/кг/мин). D. Andropoulos и соавт. [25] сообщили, что 36% вновь выявленных повреждений головного мозга соответствовало скорости перфузии на СПГМ меньшей или равной 57 мл/кг/мин. В исследовании C. Dent и соавт. [26] найдено, что снижение скорости перфузии более чем на 50% от расчетной полной скорости перфузии приводит к повреждению головного мозга у 73% наблюдаемых. Все изложенное свидетельствует о том, что для проведения СПГМ требуется адекватный мониторинг состояния головного мозга. Для этой цели можно использовать электроэнцефалографию, но данный метод требует наличия соответствующих специалистов и крайне зависим от окружающих «шумов» — электрокоагуляции, работы электрокардиостимулятора, роликового насоса и т.д. В то же время параинфракрасная спетроскопия является в данных обстоятельствах более стабильным и «читаемым» методом, позволяющим ориентироваться в ситуациях, связанных со снижением мозгового кровотока.

Висцеральные органы и спинной мозг также получают кровоснабжение через коллатерали [27, 28], так как в большинстве случаев патология дуги аорты сочетается с развитием коллатералей. В исследовании M. Ly и соавт. [21], в котором сравнивались группы СПГМ на нормотермии (40 пациентов) и гипотермии (70), статистически значимое различие между группами получено только по длительности ИК. По функциям печени и почек, уровню лактата, смертности различий между гипотермической и нормотермической группами не выявлено [21].

В пользу СПГМ может также свидетельствовать фрагмент из сообщения H. Davae и соавт. [17]. По приведенным ими данным, при реконструкции дуги аорты без ИК соматическая rSO_2 во время пережатия нисходящей аорты становится крайне низкой (около 20%) в течение в среднем 23 мин (20—32 мин). Высокая соматическая rSO_2 на протяжении до- и послеишемических этапов операции обусловлена используемой автором методикой перфузии нижней части тела через открытый артериальный проток. В нашем исследовании минимальная rSO_2 во время пережатия нисходящей аорты составила 29—32% в течение

15 мин у одного пациента. При этом применение СПГМ позволяет увеличивать скорость перфузии с использованием вазодилататоров до безопасных уровней соматической rSO_2, что намного труднее добиться у пациента без ИК.

Следовательно, наше исследование, как и исследование M. Ly [21], подтверждает, что селективная перфузия головного мозга в режиме нормотермии возможна и безопасна, но при этом требуются дальнейшие проспективные исследования.

Таким образом, по анализу имеющихся данных можно сделать вывод о том, что проведение СПГМ в режиме нормотермии возможно при наличии достаточного мониторинга насыщения кислородом тканей мозга и висцеральных органов с помощью параинфракрасной спектроскопии. При этом СПГМ с указанными скоростями позволяет поддерживать церебральную и соматическую регионарную сатурацию на уровне не меньшем, чем тот, который наблюдается на этапе кожного разреза и подготовки к ИК. Прямая корреляция между $АД_{ср.}$ и уровнем лактата, возможно, свидетельствует как о недостаточно развитых коллатералях, так и о недостаточно «раскрытом» микроциркуляторном русле и имеющейся вазоконстрикции, которая препятствует увеличению кровотока через коллатерали в нижнюю часть тела. Полагаем, что для ее улучшения нужно использовать альтернативные нитроглицерину вазодилататоры во время СПГМ. Отсутствие неврологических осложнений и нарушения функции почек у исследуемых пациентов также свидетельствует о возможности проведения данной методики, которая позволяет избежать неблагоприятных последствий гипотермии. Статистически значимый подъем соматической rSO_2 после проведения СПГМ логически объясняется реконструкцией дуги аорты и беспрепятственным кровотоком в нижнюю часть тела. Необходимы дальнейшая разработка данного метода и оценка отдаленных результатов.

Ограничения исследования. Исследование является ретроспективным и содержит малое число пациентов (n=12). Кроме того, у пациентов имелись различия по диагнозам и предоперационному состоянию. Измерение соматической и церебральной rSO_2 начиналось лишь непосредственно перед кожным разрезом, хотя для дальнейших исследований необходим пред- и послеоперационный мониторинг данных параметров. Исследуемые нами пациенты в послеоперационном периоде подвергались лишь обычному плановому осмотру педиатров-кардиологов. Для дальнейшего изучения необходима проспективная оценка интеллектуального, когнитивного и психометрического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pigula F.A., Siewers R.D., Nemotoet E.M. al.* Regional perfusion of the brain during neonatal aortic arch reconstruction. J Thorac Cardiovasc Surg 1999; 117: 1023—1024.
2. *PigulaF.A., Nemoto E.M., Griffith B.P. et al.* Regional low-flow perfusion provides cerebral circulatory support during neonatal aortic arch reconstruction. J Thorac Cardiovasc Surg 2000; 119: 331—339.
3. *Hannan R.L., Ybarra M.A., Ojito J.W. et al.* Complex neonatal single ventricle palliation using antegrade cerebral perfusion. Ann Thorac Surg 2006; 82: 1278—1285.
4. *Andropoulos D.B., Stayer S.A., McKenzie E.D. et al.* Novel cerebral physiologic monitoring to guide low-flow cerebral perfusion during neonatal aortic arch. J Thorac Cardiovasc Surg 2003; 125: 491—499.
5. *Pigula F.A., Gandhi S.K., Siewers R.D. et al.* Regional low-flow perfusion provides somatic circulatory support during neonatal aortic archsurgery. Ann Thorac Surg 2001; 72: 401—406.
6. *Hoffman G.M., Stuth E.A., Jaquiss R.D. et al.* Changes in cerebral and somatic oxygenation during stage 1 palliation of hypoplastic left heart syndrome using continuous regional cerebral perfusion. J Thorac Cardiovasc Surg 2004; 127: 223—233.
7. *Pigula F.A.* Arch reconstruction without circulatory arrest: scientific basis for continued use and application to patients with arch anomalies. Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Ann 2002; 5: 104—115.
8. *Tomoyasu T., Miyaji K., Miyamoto T. et al.* The bilateral pulmonary artery banding for hypoplastic left heart syndrome with a diminutive ascending aorta. Interact Cardiovasc Thorac Surg 2009; 8: 479—481.
9. *Kagami M., Takashi M., Satoshi K. et al.* Regional High-Flow Cerebral Perfusion Improves Both Cerebral and Somatic Tissue Oxygenation in Aortic Arch Repair. Ann Thorac Surg 2010; 90: 593—599.
10. *Ninomiya M., Miyaji K., Takamoto S. et al.* Influence of PMEA-coated bypass circuits on perioperative inflammatory response. Ann Thorac Surg 2003; 75: 913—918.
11. *Bellinger D.C., Jonas R.A., Rappaport L.A. et al.* Developmental and neurologic status of children after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. N Engl J Med 1995; 332: 549—555.
12. *Mahle W.T., Clancy R.R., Moss E.M. et al.* Neurodevelopmental outcome and lifestyle assessment in school-aged and adolescent children with hypoplastic left heart syndrome. Pediatrics 2000; 105: 1082—1089.
13. *Wernovsky G.* Current insights regarding neurological and developmental abnormalities in children and young adults with complex congenital cardiac disease. Cardiol Young 2006; 16: 92—104.
14. *Goldberg C.S., Bove E.L., Devaney E.J. et al.* A randomized clinical trial of regional cerebral perfusion versus deep hypothermic circulatory arrest: outcomes for infants with functional single ventricle. A randomized clinical trial of regional cerebral perfusion versus deep hypothermic circulatory arrest: outcomes for infants with functional single ventricle. J Thorac Cardiovasc Surg 2007; 133: 880—887.
15. *Imoto Y., Kado H., Shiokawa Y. et al*. Norwood procedure without circulatory arrest. Ann Thorac Surg 1999; 68: 559—561.
16. *Conte S., Lacour-Gayet F., Serraf A. et al.* Surgical management of neonatal coarctation. J Thorac Cardiovasc Surg 1995; 109: 663—675.
17. *Davea H., Rossera B., Reinekea K. et al.* Aortic arch enlargement and coarctation repair through a left thoracotomy: significance of ductal perfusion. Eur J Cardiothorac Surg 2012; 41: 906—912.
18. *Lerberg D.B., Hardesty R.L., Siewers R.D. et al.* Coarctation of the aorta in infants and children: 25 years of experience. Ann Thorac Surg 1982; 33: 159—170.
19. *Caputo M., Bays S., Rogers C.A. et al.* Randomized Comparison Between Normothermic and Hypothermic Cardiopulmonary Bypass in Pediatric Open-Heart Surgery. Ann Thorac Surg 2005; 80: 982—988.
20. *Harrington D.K., Fragomeni F., Bonser R.S.* Cerebral Perfusion. Ann Thorac Surg 2007; 83: 2: S799— S804.

21. *Ly M., Roubertie F., Belli E. et al.* Continuous Cerebral Perfusion for Aortic Arch Repair: Hypothermia Versus Normothermia. Ann Thorac Surg 2011; 92: 3: 942—948.

22. *Kaukuntla H., Harrington D., Bilkoo I. et al.* Temperature monitoring during cardiopulmonary bypass — do we undercool or overheat the brain? Eur J Cardiothorac Surg 2004; 26: 580—585.

23. *Andropoulos D.B., Hunter J.V., Nelson D.P. et al.* Brain immaturity is associated with brain injury before and after neonatal cardiac surgery with high-flow bypass and cerebral oxygenation monitoring. J Thorac Cardiovasc Surg 2010; 139: 543—556.

24. *Dent C.L., Spaeth J.P., Jones B.V. et al.* Brain magnetic resonance imaging abnormalities after the Norwood procedure using regional cerebral perfusion. J Thorac Cardiovasc Surg 2006; 131: 190—197.

25. *Andropoulos D.B., Hunter J.V., Nelson D.P. et al.* Brain immaturity is associated with brain injury before and after neonatal cardiac surgery with high-flow bypass and cerebral oxygenation monitoring. J Thorac Cardiovasc Surg 2010; 139: 543—556.

26. *Dent C.L., Spaeth J.P., Jones B.V. et al.* Brain magnetic resonance imaging abnormalities after the Norwood procedure using regional cerebral perfusion. J Thorac Cardiovasc Surg 2006; 131: 190—193.

27. *Miyamoto Y., Fukui S., Kajiyama T. et al.* Analysis of collateral blood flow to the lower body during selective cerebral perfusion: is three-vessel perfusion better than two-vessel perfusion? Eur J Cardiothorac Surg 2009; 35: 684—688.

28. *Roerick O., Seitz T., Mauser-Weber P. et al.* Low-flow perfusion via the innominate artery during aortic arch operations provides only limited somatic circulatory support. Eur J Cardiothorac Surg 2006; 29: 514—524.

29. *Küçüker S.A., Özatik M.A., Sarta A. et al.* Arch repair with unilateral antegrade cerebral perfusion. Eur J Cardiothorac Surg 2005; 27: 638—643.

30. *Oppido G., Napoleone C.P., Turci S. et al.* Moderately hypothermic cardiopulmonary bypass and low-flow antegrade selective cerebral perfusion for neonatal aortic arch surgery. Ann Thorac Surg 2006; 82: 2233—2239.

Поступила 11.10.12