

Среди известных методов обеспечения операций на открытом сердце существуют искусственное кровообращение (ИК) и бесперфузионная гипотермия (БГ). В кардиохирургии методом выбора для обеспечения условий открытого сердца повсеместно является ИК. Вторым, но менее распространенным методом является бесперфузионная гипотермическая защита [1]. В течение последних десятилетий в клинике Новосибирского НИИПК МЗ РФ был разработан и нашел широкое применение метод бесперфузионной гипотермии [2], который оказался эффективным методом обеспечения операций на открытом сердце у больных ВПС «бледного» типа с неосложненным гемодинамическим течением [7]. В связи со значительным клиническим опытом по хирургическому лечению пороков сердца как в условиях ИК, так и бесперфузионной гипотермии были выявлены достоинства и недостатки каждого из этих методов обеспечения.

Основными недостатками бесперфузионной гипотермии являлись необходимость применения чрездвухплевральной поперечной торакотомии, использование диэтилового эфира для обеспечения гипотермии и проблема, связанная с медленным темпом согревания больных после хирургической коррекции порока.

Эти недостатки являются серьезным фактором, сдерживающим более широкое внедрение этого метода обеспечения в кардиохирургическую практику.

Между тем кардиохирурги продолжают интересоваться такими достоинствами бесперфузионной гипотермии, как относительная простота, экономичность, истинное сухое операционное поле и отсутствие технологической за-

Экстракорпоральная гипотермия в хирургии врожденных пороков сердца

*А.М. Караськов, В.Н. Ломиворотов,
С.Г. Сидельников, И.А. Корнилов, А.В. Шунькин,
В.Г. Стенин, Ю.С. Синельников, Г.А. Цветовская*

**НИИ патологии кровообращения МЗ РФ,
Новосибирск**

руженности в период внутрисердечного этапа операции.

Стало очевидным, что для дальнейшего увеличения эффективности метода гипотермической остановки кровообращения было необходимо устранить указанные выше недостатки.

С этой целью нами был разработан метод комбинированной экстракорпоральной гипотермии для обеспечения операций на открытом сердце у больных ВПС.

Материал и методы

За период с января 1999 по декабрь 1999 гг. операции на открытом сердце в условиях комбинированной экстракорпоральной гипотермии были выполнены у 34 больных ВПС бледного типа в возрасте от 3 до 36 лет ($11,8 \pm 1,3$).

По диагнозу больные распределялись следующим образом: изолированный дефект межпредсердной перегородки (ДМПП-II) — 19 больных, ДМПП-II в сочетании с клапанным стенозом легочной артерии — 1, ДМПП-II в сочетании с частичным аномальным дренажом легочных вен в правое предсердие — 2 больных, изолирован-

ный дефект межжелудочковой перегородки — 11, ДМЖП в сочетании с открытым артериальным протоком — 1 больной.

Описание метода

После вводной анестезии (реланиум 0,15–0,25 мг/кг, калипсол 5 мг/кг, атропин 0,01 мг/кг и ардуан 0,08–0,1 мг/кг) выполнялась интубация трахеи и перевод больного на ИВЛ с FiO_2 50% в режиме умеренной гипервентиляции (pCO_2 арт. 25 мм рт.ст.). Поддерживающая анестезия осуществлялась введением фентанила в дозе 15–20 мг/кг/час, реланиума 0,05–0,075 мг/кг/час и калипсола 1–2 мг/кг/час. Регистрация температуры осуществлялась в носоглотке.

После достижения должной глубины анестезии, введения гепарина 0,1 мг/кг, инсулина 0,5 Ед/кг и на фоне инфузии гемодеза (10 мл/кг) производилось охлаждение головы с помощью матерчатого шлема со льдом и выполнялась продольная стернотомия.

После торакотомии и выделения сердца и магистральных сосудов температура в носоглотке снижалась до $32\text{--}33^\circ\text{C}$ за счет изолированного охлажде-

ния головы. За 2 мин до начала экстракорпорального охлаждения внутривенно вводился гепарин в дозе 3 мг/кг.

Экстракорпоральное охлаждение осуществлялось с использованием теплообменника, двух венозных канюль, установленных в правом предсердии (отточная) и легочной артерии (приточная), и роликового насоса. Объемная скорость перфузии составляла в пределах 0,4–0,5 л/мин/м².

Градиент температуры «теплоноситель — носоглотка» не превышал 5°C. Экстракорпоральное охлаждение производилось до достижения температуры в носоглотке 24–26°C.

После начала окклюзии и отжатия аорты через ее устье выполнялась фармако-холодовая кристаллоидная кардиopleгия с температурой 4–6°C. Изолированное охлаждение головы прекращалось к моменту окончания внутрисердечного этапа операции.

После выполнения основного этапа операции, герметизации полостей сердца и профилактики аэроэмболии возобновляли кровоток по магистральным сосудам и приступали к экстракорпоральному согреванию.

Восстановление сердечной деятельности осуществлялось с помощью прямого массажа сердца и последующей электрической дефибрилляции сердца. Для стимуляции сердечной деятельности при необходимости применялся хлористый кальций, адреналин и допамин.

В течение первых 3–5 мин экстракорпорального согревания градиент температуры «теплоноситель–носоглотка» не превышал 5°C и далее не более 10°C. Экстракорпоральное согревание с объемной скоростью перфузии 0,7–0,8 л/мин/м² прекращалось при достижении температуры в носоглотке в пределах 35–36°C.

После окончания экстракорпорального согревания осуществлялась нейтрализация гепарина протамина-сульфатом в соотношении 1:0,8–1,0.

Для оценки степени метаболических сдвигов в крови на этапах гипотермии и ближайшего послеоперационного периода исследовался углеводный обмен (глюкоза, молочная и пирувиноградная кислоты), липидный обмен (свободные жирные кислоты), продукты перекисного окисления липидов (вторичные конъюгированные диены, малоновый альдегид) и активность каталазы, плазменная концентрация калия и кислотно-основное состояние в артериальной крови. Пробы крови забирались на следующих этапах: 1-й этап — после вводной анестезии, 2-й — на глубине охлаждения перед остановкой кровообращения, 3-й — через 5 мин после восстановления адекватной сердечной деятельности на фоне экстракорпорального согревания, 4-й — после окончания экстракорпорального согревания, 5-й — окончательное согревание до 36–37°C в палате интенсивного наблюдения, 6-й — первые сутки после операции, 7-й — третьи сутки после операции.

Результаты

Как показали результаты исследования, до начала экстракорпорального охлаждения, к моменту выделения сердца и магистральных сосудов температура в носоглотке снижалась в среднем до 32,6±0,24°C за счет изолированного охлаждения головы льдом. Длительность экстракорпорального охлаждения колебалась от 13 до 38 мин, в среднем 24,5±1,3 мин (скорость охлаждения 0,28±0,015°C/мин). Глубина максимального охлаждения перед окклюзией магистральных сосудов достигала в среднем 25,7±0,26°C.

Длительность окклюзионного периода при выполнении внутрисердечного этапа операции колебалась от 11 до 48 мин, составляя в среднем 22,5±1,7 мин. Время восстановления адекватной сердечной деятельности не было длительным и составляло в среднем 3,3±0,29 мин.

После выполнения основного этапа период экстракорпорального согревания до 35,9±0,2°C в носоглотке длился в пределах 31,4±1,2 мин (скорость согревания 0,35±0,018°C/мин).

Изменения кислотно-основного состояния (КОС) крови (табл. 1) отражали картину дыхательного алкалоза, который на глубине охлаждения достигал максимальных значений — pH артериальной крови 7,48±0,014. После выполнения основного этапа операции и через 5 мин после восстановления адекватной сердечной деятельности в артериальной крови регистрировались умеренно выраженные признаки метаболического ацидоза. К моменту окончания операции происходила нормализация показателей КОС крови.

Анализ параметров углеводного обмена свидетельствовал об увеличении содержания глюкозы, лактата и пирувата в крови (табл. 2). Максимальных значений эти показатели достигали в постокклюзионном периоде и к моменту окончания операции. Снижение интенсивности гликолитических процессов происходило при окончательном согревании, а возвращение к исходным значениям — на третьи сутки после операции.

Содержание уровня свободных жирных кислот (СЖК) на этапах гипотермии не претерпевало существенных изменений и только увеличивалось в 2,2 раза к моменту окончательного согревания (табл. 2). Нормализация этого показателя наступала к исходу третьих суток после операции.

Таблица 1

Динамика показателей кислотно-основного состояния, газового состава артериальной крови и плазменной концентрации калия на этапах гипотермии

	Исходные	Максимальное охлаждение	5 мин после ВП	34°С
рН	7,46±0,01	7,48±0,01	7,32±0,01***	7,44±0,02
ВЕ, ммоль/л	-2,4±0,5	-3,9±0,8	-6,5±0,8***	-5,1±0,7***
рО ₂ , мм рт.ст.	459,4±20,6	533,5±24,8***	454,2±21,0	414,4±20,8
рСО ₂ , мм.ст.	29,1±1,24	25,6±1,02***	37,1±1,59***	27,7±1,69
К ⁺ , ммоль/л	3,46±0,06	3,00±0,12***	3,20±0,11	3,30±0,12

Динамика содержания концентрации калия (табл. 1) отражала картину гипокалиемии, особенно на глубине охлаждения перед выполнением основного этапа операции — 3,0±0,13 ммоль/л.

Анализ динамики продуктов перекисного окисления липидов (табл. 3) показал, что наибольшие изменения происходили в уровне малонового альдегида, величина которого приобретала тенденцию к увеличению в постокклюзионном периоде и достигало максимальных значений при окончательном согревании до 36–37°С (1,85 раза по сравнению с исходными значениями). Наряду с увеличением содержания малонового альдегида отмечалось возрастание активности фермента антиокислительной системы — каталазы, уровень которой увеличивался достоверно (на 30%) на глубине охлаждения и был макси-

мальным при окончательном согревании (в 4 раза по сравнению с исходными данными). Нормализация показателей ПОЛ происходила к исходу третьих суток послеоперационного периода.

В условиях экстракорпоральной гипотермии операции на открытом сердце были выполнены у 34 больных. Летальность в этой группе больных отсутствовала.

Всем больным выполнялась радикальная коррекция, которая заключалась в закрытии дефекта межпредсердной и межжелудочковой перегородки. В двух наблюдениях закрытие ДМПП-II сопровождалось перемещением аномальных легочных вен в левое предсердие, в одном — чрезлегочной открытой легочной вальвулодилатацией. В одном наблюдении у больного с ДМЖП в сочетании открытым артериальным протоком

производилось предварительное его лигирование.

Длительность периода окончательного согревания после выполнения основного этапа операции составила в среднем 3,6±1,7 час. Восстановление сознания регистрировалось через 3,4±1,2 час. после окончания операции. Длительность ИВЛ продолжалась в среднем в течение 12,1±1,0 час. Время пребывания больного в палате интенсивного наблюдения составило в среднем 2,0±0,5 дней, длительность госпитализации после операции — 14,2±2,1 дней.

У 20 из 34 оперированных больных инотропная кардиотоническая поддержка не применялась. У 13 больных на этапе окончательного согревания в течение первых 2–4 час. после операции использовались малые дозы допамина и только у 1 больного возникла необходимость в применении средних

Таблица 2

Динамика уровня глюкозы, молочной, пировиноградной и свободных жирных кислот на этапах гипотермии и в послеоперационном периоде

	Исходные	Максимальное охлаждение	5 мин после ВП	34°С	Окончательное согревание	1 сут п/о	3 сут п/о
Глюкоза, ммоль/л	4,4±0,3	4,8±0,5	7,7±0,7***	7,8±0,7***	7,1±0,5***	5,4±0,3*	4,9±0,2
МК, ммоль/л	1,43±0,07	2,34±0,24***	4,9±0,3***	4,5±0,33***	2,8±0,17***	1,75±0,13***	1,2±0,04
ПВК, ммоль/л	0,29±0,01	0,31±0,01***	0,46±0,02***	0,52±0,02***	0,4±0,01***	0,37±0,01***	0,29±0,01
МК/ПВ, ус. ед.	5,15±0,32	7,42±0,58***	10,90±0,76***	8,80±0,47***	7,2±0,45***	4,7±0,25	4,41±0,26*
СЖК, ммоль/л	0,04±0,04	0,33±0,08	0,29±0,07	0,29±0,04	0,57±0,13*	0,33±0,04	0,23±0,03

**Динамика уровня продуктов перекисного окисления липидов
на этапах гипотермии и в послеоперационном периоде**

	Исходные	Максимальное охлаждение	5 мин после ВП	34°C	Окончательное согревание	1 сут №0	3 сут №0
КД еоп	1,64±0,14	1,2±0,12***	1,17±0,13***	1,11±0,08***	1,49±0,09	1,5±0,17	1,62±0,16
МДА, ммоль/л	5,12±0,57	4,51±0,64	6,79±0,94	7,05±0,62	9,53±0,87***	6,72±0,39***	6,54±0,36
Каталаза еоп	66,4±6,5	88,0±6,8*	192,3±25,6***	234,4±27,2***	259,6±28,0***	113,3±7,7***	82,1±4,1***

доз допамина в течение ближайших 10 часов послеоперационного периода.

У одного больного с ДМПП-II на 3-и сутки после операции развилась картина нарастающей тампонады сердца, что потребовало экстренной торакотомии. Дальнейшее течение послеоперационного периода у этого больного неосложненное.

Других угрожающих жизни осложнений зарегистрировано не было.

Неврологические осложнения в группе оперированных больных не отмечались.

Обсуждение результатов

Причинами, побудившими нас к разработке комбинированной экстракорпоральной гипотермии для обеспечения условий «открытого» сердца, были недостатки бесперфузионной гипотермической защиты, которые можно было суммировать следующим образом.

Первое — это обязательное применение поперечной чрездвухплевральной торакотомии, необходимой для согревания больных в постокклюзионном периоде, поскольку легкие использовались в качестве основного теплообменника.

Второе — необходимость использования диэтилового эфира для обеспечения гипотермии, ибо эфир является оптимальным анестетиком, позволяющим избежать возникновения серьезных нарушений рит-

ма сердца при быстром наружном охлаждении. Однако взрывоопасность эфира служит одним из основных факторов, существенным образом сдерживающих внедрение и распространение бесперфузионной гипотермии в кардиохирургической практике.

Третьим недостатком бесперфузионной гипотермии является медленный темп согревания (15–20°C/мин) в постокклюзионном периоде, который достигается орошением плевральных полостей и легких теплым физиологическим раствором 42–43°C. Опасность медленного и неравномерного согревания очевидна, так как только в условиях быстрого и равномерного согревания возможна стабилизация гемодинамических параметров.

Идея экстракорпоральной гипотермии не нова и была предложена в начале 50-х гг. в виде различных вариантов F.Boerema [8] и D.Ross [9]. В дальнейшем этот метод был доработан и внедрен в клиническую практику в 1959 г. C.Drew и I.Anderson [10], которые сообщили о трех случаях использования его в кардиохирургии без применения оксигенатора. Однако метод экстракорпоральной гипотермии в то время был сложным, трудоемким и не нашел дальнейшего применения в клинической практике в связи с возникновением острых расстройств гемодинамики в период охлаждения.

Изучив всевозможные варианты искусственной гипотермии,

мы предложили метод комбинированной экстракорпоральной гипотермии. Суть этого метода заключается в том, что в нем мы соединили вместе наружное и внутреннее охлаждение, что позволило избежать нежелательных эффектов каждого из этих методов обеспечения.

Наружное охлаждение включало в себя изолированное охлаждение головы с помощью матерчатого шлема со льдом после вводной анестезии и ее стабилизации. Подобная методика изолированного охлаждения головы позволила добиваться снижения температуры тела в период выполнения продольной стеральной торакотомии и выделения сердца и магистральных сосудов.

Таким образом, к моменту начала экстракорпорального охлаждения, достигаемого пропусканием крови через теплообменник с помощью двух венозных канюль и роликового насоса, температура в носоглотке снижалась до 32°C. В соответствии с этим длительность экстракорпорального охлаждения не была длительной и составила в среднем 24,5±1,3 мин. При этом особенно следует обратить внимание на то, что в связи с методическими особенностями изолированного охлаждения головы температура в мозге, особенно его поверхностных отделов, была на 6–7°C ниже, чем в ядре тела [4, 5]. К моменту начала экстракорпорального охлаждения, когда температура в носоглотке составляет в пределах 32°C, температу-

ра в мозге уже достигает 25–26°C. А при окончании экстракорпорального охлаждения до 24–25°C температура в мозге в условиях кранио-церебральной гипотермии снижается до 18–20°C, что обеспечивает высокую антигипоксическую защиту мозга в период остановки кровообращения до 60 и более минут.

Предварительное охлаждение на 4–5°C позволило использовать в параметрах экстракорпорального охлаждения такой температурный градиент (5°C) «теплоноситель-носоглотка», при использовании которого не возникает острых расстройств гемодинамики и в то же время сохраняется высокая скорость перфузионного охлаждения — $0,28 \pm 0,014^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Разработанная комбинированная экстракорпоральная гипотермия позволила исключить из схемы анестезиологического обеспечения эфир и полностью перейти на общепринятую методику тотальной внутривенной анестезии или ее сочетания с ингаляционными галогенсодержащими анестетиками.

Наиболее явным преимуществом этого метода обеспечения является экстракорпоральное согревание в связи с его высокой скоростью, достигавшей $0,35 \pm 0,02^\circ\text{C}/\text{мин}$. Общая продолжительность экстракорпорального согревания до 35–36°C составила в среднем $31,4 \pm 1,2$ мин и практически не зависела от массы тела ($r = 0,03$).

Анализ некоторых показателей гомеостаза показал, что обнаруженные изменения полностью укладываются в русло патофизиологических сдвигов, наблюдаемых при операциях на открытом сердце в условиях перфузионной и бесперфузионной гипотермии [3]. Это касается показателей окислительного, липидного, электролитного обмена и динамики продуктов перекисного окисления липидов, отражающих типичную картину умеренно выраженной операционной агрессии и исчезающих к третьим суткам послеоперационного периода [6]. Обращает внимание, что при операциях в

условиях экстракорпоральной гипотермии к моменту окончания операции в артериальной крови наступает нормализация КОС, тогда как в условиях бесперфузионной гипотермии это происходит только после окончательного согревания в палате интенсивного наблюдения. Это лишний раз свидетельствует о преимуществах быстрого и равномерного согревания после выполнения основного этапа операции.

Как показал первоначальный опыт, комбинированная экстракорпоральная гипотермия является эффективным методом обеспечения операций на открытом сердце у больных ВПС «бледного» типа с неосложненным гемодинамическим течением. При правильном отборе больных на хирургическое лечение в условиях комбинированной экстракорпоральной гипотермии осложнения могут носить минимальный характер, а летальность может быть сведена к минимуму, если не исключена вообще.

Литература

1. Мешалкин Е.Н., Верещагин И.П. Неглубокие гипотермические окклюзии. Новосибирск, 1985. С.210.
2. Литасова Е.Е., Ломиворотов В.Н. Хирургия сложных врожденных пороков сердца в условиях бесперфузионной углубленной (26–25°C) гипотермии // Вестн. хирургии. 1986. № 12. С.17–21.
3. Литасова Е.Е., Ломиворотов В.Н., Постнов В.Г. Бесперфузионная углубленная гипотермическая защита. Новосибирск, 1988. С.206.
4. Ломиворотов В.Н. Клинико-патофизиологическое обоснование углубленной (25–26°C) гипотермии в хирургии врожденных пороков сердца: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Новосибирск, 1988. С.34.
5. Булатецкая Л.М. Особенности терморегуляции человека с нарушенным кровообращением в интактном состоянии и при гипотермии: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Новосибирск, 1991. С.20.
6. Цветовская Г.А., Науменко С.Е., Князькова Л.Г. и др. Гормоны коры надпочечников при кардиохирургических вмешательствах в условиях бесперфузионной гипотермии // Бюлл. СО РАМН. 1995. С.84–89.
7. Караськов А.М. Гипотермия в хирургии открытого сердца. Новосибирск, 1999. С.200.
8. Boerema I., Wildschut A., Schmidt W. e.a. Experimental researches into hypothermia as aid in surgery of heart; preliminary communication // Arch. Chir. Neerl. 1951. 3:25–34.
9. Ross D. Hypothermia by venous cooling // Bull. Int. Chir. 1956. 3: 224–228.
10. Drew C., Anderson I. Profound hypothermia in cardiac surgery. Report of 3 cases // Lancet. 1959. 11, 4: 748–750.